

# Сравнение затрат жизненного цикла на примере тепловозов серий BR 232 и ER 20

Сопоставлены затраты жизненного цикла тепловоза старой постройки серии 232 с затратами современного тепловоза серии ER 20. Исходные данные были получены от компании Eisenbahnen und Verkehrsbetriebe Elbe-Weser (EVB), эксплуатирующей эти локомотивы. Для анализа была разработана оригинальная модель затрат жизненного цикла (LCC). Из результатов анализа видно, что с ростом пробега общие затраты тепловоза серии 232 увеличиваются быстрее, чем у тепловоза ER 20. Расчеты на модели показали, что при годовом пробеге выше 42 000 км общие затраты тепловоза ER 20 ниже, чем у тепловоза 232.

В 2005 г. компания EVB приобрела новый тепловоз Eurorunner (ER 20) компании Siemens. В локомотивном парке EVB был в распоряжении тепловоз, соответствовавший BR 232 железных дорог Германии (DB). Было принято решение сопоставить оба тепловоза по затратам и результатам эксплуатации на основе анализа затрат жизненного цикла. Поскольку компания EVB была заинтересована в сборе и анализе объективной информации, по-

лученные результаты явились основой для экономической оптимизации работы локомотивного парка.

Сравнение экономических показателей эксплуатации тепловозов обоих типов было проведено в расчете на срок 8 лет. Результаты анализа должны были дать ответ на вопрос о том, какой тяговый подвижной состав следует приобретать компании — новый или уже проверенный в многолетней эксплуатации.

## Исходные данные

Тепловоз серии 232 (рис. 1) эксплуатируется компанией с 2001 г., а ER 20 (рис. 2) — с начала 2005 г. Для этого временного интервала имелась исчерпывающая информация по всем видам затрат, в том числе о расходах на топливо и масла, числе часов нахождения в ремонте и затратах субподрядчиков.

Для будущих, более длительных циклов эксплуатации тепловоза ER 20 фактических данных не было, поэтому указанный блок затрат учитывался по приближенным оценкам. При этом использовались данные для почти однотипного тепловоза серии 2016 Федеральных железных дорог Австрии (ÖBB), эксплуатировавшегося там уже несколько лет. Для этого локомотива компания Siemens провела LCC-анализ совместно с ÖBB.

## Технические характеристики и условия эксплуатации тепловозов

Технические характеристики обоих тепловозов уже неоднократно публиковались в железнодорожной печати, поэтому в приводимой таблице содержатся лишь те параметры, по которым выполнялось сравнение.

Оба тепловоза используются компанией-оператором EVB с кон-



Рис. 1. Тепловоз серии 232



Рис. 2. Тепловоз серии ER 20

**Технические характеристики тепловозов серий BR 232 и ER 20**

Серия тепловоза	BR 232	ER 20
<i>Характеристики дизеля</i>		
Изготовитель, обозначение	Коломна, 5D49, 16 цилиндров	MTU 16V 4000 R41, 16 цилиндров
Мощность, кВт	2206	2000
Минимальное удельное потребление топлива, г/кВт·ч	205	195
Электрическая передача мощности	Переменный ток – постоянный	Переменный ток – переменный
Регулирование мощности	Традиционное	Микропроцессорное
<i>Общие характеристики тепловозов</i>		
Максимальная сила тяги при трогании, кН	340	235
Максимальная скорость, км/ч	120	140
Осевая формула	3 <sub>0</sub> -3 <sub>0</sub>	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>
Подвеска тягового привода	Опорно-осевая	Подрессоренная
Масса, т	120	80
Годы поставки	1973–1982	С 2001

тейнерными поездами NTT (Neutral Triangel Train). Поезда обращаются на неэлектрифицированных линиях оператора и линиях железных дорог Германии (DB) между городами Гамбург, Бремерхафен и Бремен.

Условия эксплуатации характеризуются следующими данными:

- масса поезда до 1400 т;
- максимальная скорость 100 км/ч;
- преимущественно равнинные участки с отдельными небольшими подъемами.

По оценкам оператора EVB, оба тепловоза по своим эксплуатационным качествам примерно одинаковы. Различия в мощности, силе тяги при трогании и массе в анализе не учитывались.

## Модель LCC

Целью исследований было реальное сопоставление всех связанных с тепловозами удельных затрат. В основу исследования требовалось заложить возможно более полную модель LCC. Дополнительно она должна была иметь возможность расширения во времени,

чтобы можно было простейшим образом учесть будущие периоды эксплуатации.

В связи с этим к модели LCC предъявлялись следующие требования:

- прямое (по возможности без промежуточных расчетов) использование данных о фактических затратах компании EVB и времени (в часах) нахождения локомотивов в ремонте и на техобслуживании;
- расчет затрат на один тепловоз в год как параметр сравнения для выбранного интервала времени;
- использование задаваемого пробега в качестве параметра загрузки локомотива.

Задавая разные значения пробега, можно было исследовать влияние различной степени загрузки на величину затрат. К рассмотрению привлекались также и другие параметры загрузки, в частности число рабочих часов дизеля в году. Из-за того что загрузка тепловозов в значительной степени однородна (ведение поездов определенного типа на сети дорог относительно небольшой протяженности), ради упрощения анализа исходили из примерно

постоянного соотношения между пробегом и рабочим временем дизеля. В связи с этим в модели было достаточно использовать в качестве параметра загрузки только пробег. Сложные варианты модели с несколькими параметрами загрузки в данном случае не обещали заметных различий в результатах.

Компании EVB и Siemens в совместном предварительном исследовании сначала определили важнейшие блоки затрат. Это были реальные затраты компании EVB в процессе ее деятельности как коммерческого предприятия. Затраты подразделялись на четыре основные позиции:

- эксплуатационные;
- на текущее техническое обслуживание;
- на крупные мероприятия (ревидии), проводимые с установленной периодичностью;
- инвестиционные (затраты на приобретение или лизинг).

На базе этой информации была сформирована следующая ступень модели LCC.

С технической точки зрения анализ выполнялся так, что данные о фактических затратах из системы учета коммерческой эксплуатации можно было напрямую передавать в модель. Для обеспечения прозрачности в модели следовало предусмотреть ряд параметров:

- номинальный процент по долгосрочным кредитам – 6%;
- инфляция – 1,5%;
- стоимость 1 ч работ по техническому обслуживанию – 45 евро;
- цена на дизельное топливо – 0,9 евро/л;
- цена моторного масла – 1,2 евро/л.

## Эксплуатационные затраты

Расходы на дизельное топливо и моторное масло зависят от серии тепловоза. В то же время для стоимости других расходных материалов (песка, пластичной смаз-

ки для гребней бандажей, моющих средств для дисков колес и т.п.) зависимость от серии была незначительной, поэтому в модели она не учитывалась. Затраты на персонал, мойку и использование трассы для обоих тепловозов тоже были примерно сопоставимыми и не зависели от серии.

Поскольку оба тепловоза обращались по идентичным графикам, они в среднем имели одинаковую загрузку (масса поезда, воздействие наружной температуры, ветра и т.д.). В связи с этим можно было сравнивать удельные расходы топлива и других материалов на единицу длины линии для больших интервалов времени. По фактическим данным, представленным EVB, рассчитывали удельный расход топлива и масел на 1 км. В качестве решающего параметра для величины эксплуатационных затрат был назван расход топлива. Его соотношение представлены на рис. 3.

Из рисунка видно, что в одинаковых условиях эксплуатации тепловоз серии 232 потребляет топлива почти на 20% больше, чем ER 20. Кроме того, у него значительно больше и расход моторного масла. Однако его влияние на эксплуатационные затраты незначительно из-за малых объемов потребления.

**Затраты на техническое обслуживание**

К затратам этой категории относятся только те, которые возникают в течение года в рамках выполнения работ по техническому обслуживанию и поэтому могут непосредственно использоваться в модели.

Рассматривались следующие виды работ:

- осмотры и проверки;
- проба и замена масел;
- замена хладагента;
- опробование индуктивного автостопа и точечной системы локомотивной сигнализации;

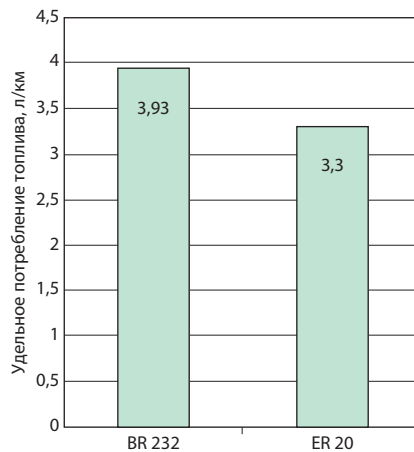


Рис. 3. Средние значения удельного расхода дизельного топлива в расчете на 1 км у тепловозов серий BR 232 и ER 20

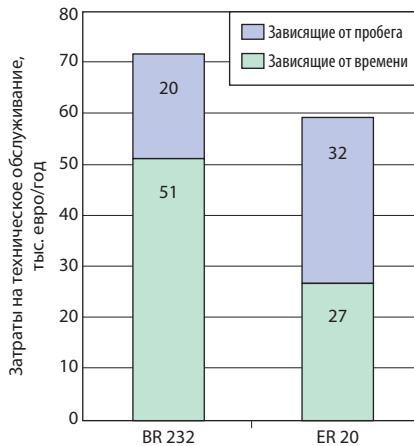


Рис. 4. Затраты на техническое обслуживание тепловозов при годовом пробеге 120 тыс. км

- работы, выполняемые по установленному графику;
- обточка колесных пар.

Так как загрузка тепловозов, т.е. годовой пробег, должна была стать параметром модели, потребовалось предварительно выполнить дополнительное разделение затрат на техническое обслуживание. Были выделены две категории работ: зависящие от времени и от пробега. Первые каждый год остаются без изменения, в то время как вторые определяются величиной пробега.

На рис. 4 показано сравнение затрат на техническое обслуживание для тепловозов обеих серий в расчете на пробег в 120 тыс. км/год

(реальное значение для компании EVB).

Из рис. 4 можно видеть, что доля зависящих от времени затрат у тепловоза ER 20 заметно ниже, чем у тепловоза серии 232. Этот эффект желателен и наблюдается у современных локомотивов всех изготовителей, так как позволяет снизить затраты путем перехода на техническое обслуживание по состоянию.

У тепловоза серии 232, напротив, большая доля затрат зависит от времени. В принципе, и для этого локомотива возможна дальнейшая оптимизация в направлении внедрения системы технического обслуживания, ориентированного на величину пробега. Правда, в этом случае затраты компании EVB на проведение соответствующих исследований, изменение основных инструкций, методов документирования и т.п. применительно к единственному тепловозу были бы слишком высокими по сравнению с ожидаемым экономическим эффектом.

ER 20 по сравнению с тепловозом серии 232 имеет следующие преимущества:

- в общем более длинные межремонтные интервалы с меньшими затратами;
- более высокая доля зависящих от загрузки затрат в сравнении с затратами, зависящими от времени, даже после возможной оптимизации тепловоза серии 232;
- значительно более длительные сроки между обточками колес благодаря меньшему износу ходовой части.

**Затраты на ревизии и заводские ремонты**

Затраты на выполнение крупных работ, а также инвестиционные характеризуются разовыми крупными оттоками средств. Для того чтобы можно было их учесть в годовых расходах, эти блоки затрат потребовалось пересчитать на время работы локомотивов. При этом исполь-

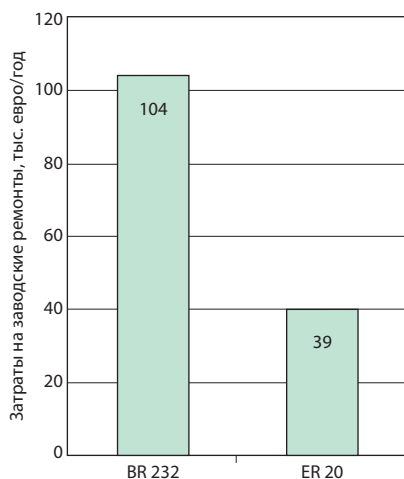


Рис. 5. Затраты на проведение заводских ремонтов при годовом пробеге 120 тыс. км

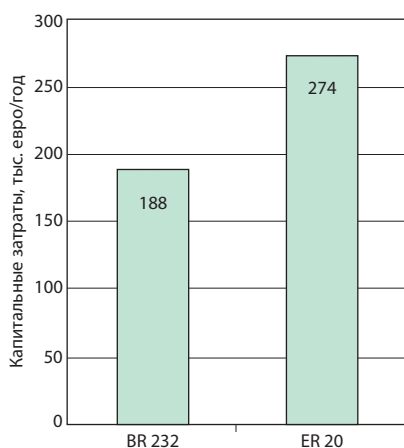


Рис. 6. Сравнение капитальных затрат

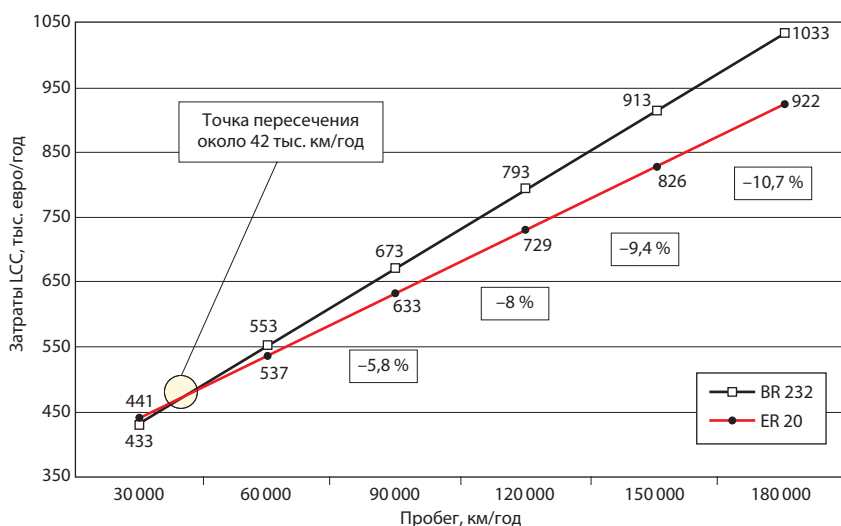


Рис. 7. Зависимость затрат LCC от годового пробега для тепловозов обеих серий

зовалась обычная для составления балансов процедура, в соответствии с которой каждый год проводили расчеты резерва для этих блоков затрат.

Моделирование выполнялось следующим образом. Все предположительные затраты, например на заводской ремонт до конца рассматриваемого временного периода, учитывались путем создания резерва на основе модели ежегодных отчислений. На базе этих средств после 8 лет эксплуатации выполнялся заводской ремонт тепловоза и, следовательно, полностью восстанавливалась его работоспособность. На рис. 5 приведены соотношения затрат на заводские ремонты для тепловозов обеих серий.

Интервал между заводскими ремонтами для тепловозов обеих серий одинаков и составляет 8 лет. В то же время периодичность капитальных ремонтов для дизелей тепловоза серии 232 составляет 5 лет, а для ER 20 – 8 – 10 лет. Заводской ремонт тележек тепловоза серии 232 проводится после пробега 600 тыс. км, в то время как для тележек тепловоза ER 20 – после 800 тыс. км.

Из рис. 5 следует, что для тепловоза серии 232 доля резервов на проведение заводских ремонтов

значительно выше, чем для тепловоза ER 20. Прежде всего это объясняется возрастом тепловоза BR 232 и его прогрессирующим износом, что делает необходимым более частый контроль и ремонт деталей и узлов.

Так, при ревизии дизеля на тепловозе серии 232 осенью 2005 г. было обнаружено превышение предельных значений износа некоторых деталей. По оценкам специалистов, без заводского ремонта дизеля следовало ожидать его серьезного повреждения спустя короткое время.

Следующей проблемой является возрастающий дефицит запасных частей для тепловоза серии 232, что может потребовать их дорогостоящего восстановления или изготовления новых.

### Капитальные затраты

Для расчета капитальных (инвестиционных) затрат учитывалось, что для тепловоза серии 232 использовались ежегодные ссуды, а для ER 20 – выплаты по лизингу. При этом принимаемый в расчетах срок службы первого из них составлял 10 лет, а второго – 8 лет. Учитывалось также, что для тепловоза серии 232 установлена процентная ставка 6%, а остаточная стоимость тепловоза ER 20 после 8 лет эксплуатации составила 40%. Затраты на лизинг тепловоза ER 20 соответствовали ценам, существовавшим на тот период. Капитальные затраты на тепловоз серии 232 складываются из уплаченной покупателем цены и затрат на заводской ремонт, выполненный сразу же после покупки. На основании полученных результатов рассчитывали годовые финансовые затраты на основе модели ежегодных отчислений.

На рис. 6 показано сравнение блоков инвестиционных затрат для обоих тепловозов. Для тепловоза серии 232 они значительно ни-



же, чем для ER 20, тем не менее следует учитывать, что приобретение старого подвижного состава на свободном рынке связано со значительными затратами в период его последующей эксплуатации.

### Результаты сравнения

На рис. 7 показаны зависимости рассчитанных на модели LCC годовых затрат от годового пробега тепловозов обеих серий. Видно, что тепловоз серии 232 является выгодной альтернативой по общим затратам только при очень малом годовом пробеге, что объясняется низкими капитальными затратами. Однако уже начиная с пробега 42 тыс. км (около 161 км в сутки при пятидневной рабочей неделе) его удельные эксплуатационные затраты становятся выше, чем у ER 20. Преимущество нового тепловоза по этому виду затрат непрерывно растет с увеличением годового пробега, и при значении 180 тыс. км (около 690 км в сутки при пятидневной рабочей неделе) разница достигает 10%.

На рис. 8 приведено сравнение затрат LCC в случае годового пробега 120 тыс. км для тепловозов обеих серий. Экономия в пользу ER 20 в этом случае составляет около 8%.

### Заключение и перспективы

Обусловленное капиталовложениями преимущество тепловоза серии 232 при малом годовом пробеге сводится на нет с увеличением его загрузки следующими факторами:

- повышенным расходом топлива в практической эксплуатации, несмотря на небольшое различие удельных расходов дизелей;
- высокими затратами на заводской ремонт и короткими межре-

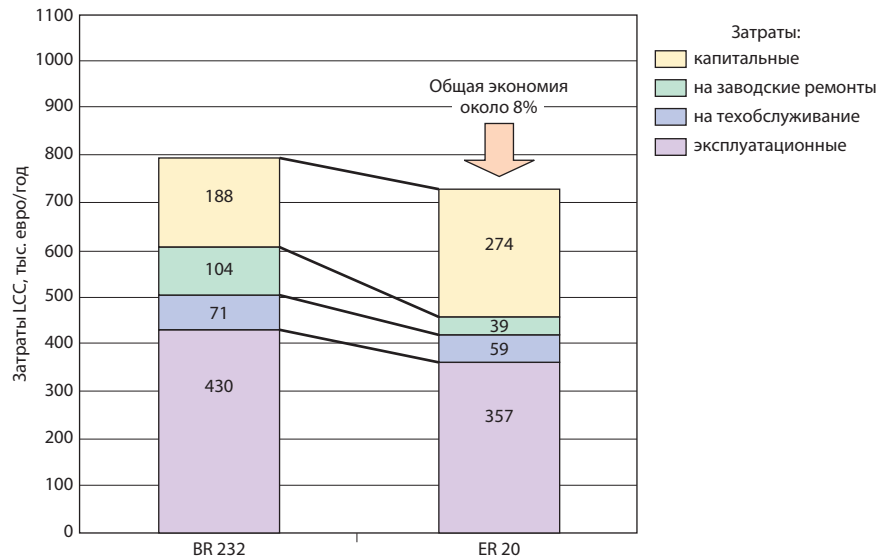


Рис. 8. Сравнение LCC тепловозов обеих серий для годового пробега 120 тыс. км

монтными интервалами, особенно для дизеля и тележек;

- высокими затратами на все виды ремонта из-за возрастающего дефицита запасных частей.

Модель LCC была реализована компанией EVB на базе фактических данных, благодаря чему результаты расчета и в дальнейшем будут отражать реальные соотношения затрат. Кроме того, в будущем в поле зрения оператора должны попасть и другие блоки затрат:

- на компенсацию износа инфраструктуры по каждой серии локомотивов;
- на снижение или устранение последствий воздействия на окружающую среду выхлопных газов, шума, загрязнений грунта (смазками, конденсатом и пр.).

Сегодня эти затраты из-за особенностей системы платы за пользование инфраструктурой являются для оператора фиксированными, т. е. не зависящими от типа подвижного состава. По этой причине на данном этапе они не были вклю-

чены в модель LCC. Однако в дальнейшем неизбежна их поэтапная детализация. Постепенно они станут «нагружать» оператора своими фактическими значениями. К тому времени потребует соответствующее расширение модели LCC. Благодаря технологическим преимуществам нового тепловоза ER20 следует ожидать, что с учетом названных блоков затрат результаты будут еще более однозначными в его пользу, т. е. в пользу приобретения нового подвижного состава.

Результаты проведенного сравнения и увеличение объема перевозок стали для компании EVB причиной приобретения еще двух тепловозов ER 20, первый из которых был поставлен в феврале 2006 г., а второй — в начале мая 2006 г. Тепловоз серии 232 в среднесрочной перспективе будет использоваться для перевозок малой интенсивности.

*По материалам компаний Eisenbahnen und Verkehrsbetrieben Elbe – Weser (EVB) и Siemens.*