

УДК 629.423.1:621.313

*Юрий Черных*

**ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ РЕМОНТНОГО ЦИКЛА ЭЛЕКТРОВОЗА  
С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ**

*На основании сравнительного анализа эксплуатационных и ремонтных затрат по электровозам с асинхронными и коллекторными тяговыми двигателями предложена схема ремонтного цикла электровоза с асинхронным тяговым приводом.*

*На основі порівняльного аналізу експлуатаційних і ремонтних витрат по електровозах з асинхронними і колекторними тяговими двигунами запропонована схема ремонтного циклу електровоза з асинхронним тяговим приводом.*

*Based on comparative analysis of the operating and repairs costs for electric locomotives with asynchronous traction engines and collector proposed by scheme of repairing cycle of an electric asynchronous traction engines.*

**Ключові слова:** аналіз затрат, схема ремонтного циклу електровоза, асинхронний тяговий привід.

Как известно, перспективность электровозов с асинхронным тяговым приводом заключается прежде всего в отсутствии коллекторно-щеточного аппарата, что снимает ограничения по условиям коммутации и механической прочности коллектора, кроме того при одинаковой мощности и других равных параметрах асинхронный тяговый двигатель (АТД) имеет меньшую массу чем коллекторный (КТД) на 10–15 %, уменьшается расход ряда материалов, в частности исключается расход коллекторной меди, а общий расход меди на двигатель снижается в 2–2,5 раза (см. табл. 1) снижается трудоемкость изготовления АТД примерно на 20 %, обслуживания в эксплуатации на 10–15 %, повышается надежность тягового двигателя [1].

Кроме того, использование АТД позволяет реализовать следующие преимущества:

- повышение производительности электровозов за счет увеличения осевой мощности и повышения тяговых свойств;
- автоматизация режимов ведения поезда;
- улучшение энергетических показателей системы электрической тяги на переменном токе в целом;
- повышение надежности и сокращение расходов на содержание и ремонт электровозов в целом за счет бесконтактной силовой схемы и схемы цепей управления.

© *Черных Ю. М., 2012*

*Таблица 1. Данные о расходе активных материалов асинхронных (АД) и коллекторных (КД) тяговых двигателей*

	Параметры	НБ-602Ф5 (АД ВЛ86)	НБ-418К6 (КД ВЛ80Р, ВЛ80С)
1	Масса меди двигателя, кг	230	623
2	Масса меди коллектора, кг	0	129
3	Масса электротехнической стали, кг	1458	546
4	Удельная масса двигателя, кг/кВт	4,28	5,51
5	Удельная масса меди, кг/кВт	0,255	0,842
6	Удельная масса стали, кг/кВт	1,62	0,74
7	Мощность продолжительного режима, кВт	900	740
8	Масса двигателя, кг	3850	4080

Так, например, опыт двухлетней эксплуатации электровозов Е1200 на железных дорогах ФРГ показал, что годовые расходы на содержание и ремонт уменьшились более чем в 2 раза (см. табл. 2) (с 97000 до 45000 марок) по сравнению с электровозом ЕА1000, имеющим коллекторный привод, при увеличении объема перевозок на 1 электровоз в 1,5 раза (с 20 млн до 30 млн т. км) [2.8].

*Таблица 2. Сравнение годовых затрат на ремонт и обслуживание электровозов с коллекторными и асинхронными тяговыми двигателями на железных дорогах Германии*

Показатель	Тип электровоза		Уменьшение (-), увеличение (+), %
	с асинхронным двигателем (Е 1200)	с коллекторным двигателем (ЕА1000)	
Объем работы, млн т. км в год	30	20	+150
Эксплуатационные расходы, ПФ/т. км брутто*, в т. ч.:	2,28	3,04	-130
- затраты на техническое обслуживание и ремонт	0,15	0,485	-320
- затраты на содержание и ремонт, марки	45000	97000	-215
- износ бандажей на 10 тис. км пробега, мм	0,45	0,545	-120
- относительный износ бандажей, % на единицу работы	65	100	-35
- расход песка, кг/млн. т км брутто	176	504	-280
Число отказов в месяц	0,4	0,9	-225

\*В эксплуатационные расходы включены расходы на электроэнергию, техническое обслуживание и ремонт, заработная плата, стоимость подвижного состава и системы энергоснабжения.

В результате удельная стоимость перевозок при использовании указанных локомотивов уменьшилась в 1,3 раза (с 3,04 до 2,28 пфеннигов на 1 т. км). Снижению затрат на обслуживание и ремонт электровоза с АТД способствует высокая надежность оборудования: количество отказов не превышает 0,4 на электровоз в месяц (для электровоза EA1000 тот же показатель равен 0,9). Повышенные противобоксовочные свойства асинхронного привода обеспечивают уменьшение износа рельсов и бандажей колес, а также увеличение реализуемого коэффициента сцепления (на 20-40% в диапазоне скоростей 0-40 км/ч, максимальные абсолютные значения в пусковой области достигали значения 0,42). Отмечено также, что, несмотря на увеличенную на 50% массу состава, расход песка на электровозе E1200 сократился по сравнению с электровозами EA1000 более чем в 2 раза.

Исследования, проведенные на германских дорогах (по электровозам E1200, E120, 182.001, BR121-АТД; 156, 183, 243/112/- КТД), показывают, что стоимости содержания в эксплуатации электровоза с КТД и электровоза с АТД соотносятся в следующей пропорции (см. табл. 3) [3].

*Таблица 3. Соотношения стоимости содержания в эксплуатации германских электровозов с коллекторными и асинхронными тяговыми двигателями (E1200, E120, 182.001, BR121)*

Наименование затрат	Соотношение затрат
Годовые затраты на содержание и ремонт	56:30
Затраты, отнесенные к 1 брутто·км	32:30
Суммарные затраты на эксплуатацию, содержание и ремонт	75:41

По результатам эксплуатационных испытаний электровозов серии E120 затраты на текущее содержание электровозов ввиду опытного и разнопланового характера их эксплуатации еще не смогли оценить количественно, но общая тенденция по отдельным элементам оборудования была определена. За период испытаний (3 года) трансформаторы, тяговые двигатели и приводы практически не требовали технического обслуживания.

Состояние ходовых частей в процессе испытаний было удовлетворительным, они не требовали специального обслуживания, износы гребней и бандажей колесных пар не превышали установленных значений. Затраты на текущее содержание кузовов электровозов серии E120 не превышали соответствующих затрат по другим сериям электровозов.

Вследствие отсутствия контроллеров на E120 расходы на их техническое обслуживание заменяются расходами на техническое обслуживание 4-квadrантного регулятора тока и инвертора. Эти затраты превышали соответствующие затраты на силовые и управляющие электронные устройства электровоза 420. Однако с учетом того, что анализ затрат производился только для пяти электровозов, находящихся в опытной эксплуатации, а часть возникающих отказов имела повторяющийся характер и за рассматриваемый период (3 года) не производилась доработка и усовершенствование рассматриваемых устройств,

следует ожидать, что уровень указанных затрат для серийных электровозов серии E120 будет ниже соответствующего уровня для электровозов серии 420 с КТД.

Специалисты ФРГ считают, что электровозы E120 можно эффективно использовать как при грузовых, так и при пассажирских перевозках, и это приведет к уменьшению парка электровозов и снижению на 5–10 % капиталовложений и эксплуатационных расходов, в т.ч. можно ожидать экономии электроэнергии в пассажирском движении на 3–7 %, а в грузовом – на 8–10 %.

Имеется опыт эксплуатации электровозов с АТД на железных дорогах США с 1982 г., где на начало 1989 г. общее их количество достигало 400 единиц и был заключен договор с фирмой АBB Тraction на изготовление еще 130 секций типа Аггоw-Ш для фирмы «Нью Джерси транзит» (см. табл. 4). Стоимость электропоезда с АТД и тиристорными преобразователями составляла (на 1990 г.) 250 тыс. долл. США, а традиционного электропоезда с двигателями постоянного тока со ступенчатым контактно-реостатным регулированием – 230 тыс. Однако ремонтные затраты за весь срок эксплуатации поезда составляют в первом случае 449 тыс. долл., во втором – 678 тыс., т.е. уменьшаются в 1,5 раза. На основании этого сделан вывод о том, что следует ожидать как массовых заказов на новые электропоезда, так и модернизации существующего подвижного состава с целью замены коллекторных тяговых двигателей постоянного тока на АТД [4].

*Таблица 4. Затраты на ремонт электропоездов на ж.д. США за период их эксплуатации*

Наименование затрат	Электропоезд	
	с асинхронными двигателями и тиристорными преобразователями	с коллекторными двигателями постоянного тока со ступенчатым контактно-реостатным регулированием
Ремонтные затраты, тыс. долл. США (по сост. на 1989 г.)	449 (при стоимости электропоезда 250 тыс. долл.)	678 (при стоимости электропоезда 230 тыс. долл.)

На британских железных дорогах намечается массовый переход на ЭПС переменного тока 25 кВт 50 Гц на АД; обеспечено снижение массы ТД в 2 раза и значительно повышена его надежность. Сейчас пробег применяемых коллекторных тяговых двигателей до отказа составляет 804 тыс. км, при переходе на АТД этот показатель будет улучшен в 1,5 раза [7].

Эксплуатация и испытания новочеркасских электровозов показывает, что использование АТД повышает надежность и сокращает расходы на содержание и ремонт.

При сопоставлении в идентичных условиях эксплуатации электровозов ВЛ85 и ВЛ86 оказалось, что эксплуатационные затраты на выполнение годового объема перевозок при использовании электровозов с АТД уменьшились с 5 млн 433 тысяч до 5 млн 413 тысяч рублей, в т.ч. затраты на ремонт и реновацию электровозов с 503 тыс. до 426 тысяч рублей, т.е. уменьшились на 15 %. Капитальные вложения у потребителя уменьшились с 1 млн 138 тыс. до 1 млн 66 тыс., а всего затраты у потребителя – с 6 млн 571 тыс. до 6 млн 479 тыс. рублей (см. табл. 5) [5].

*Таблиця 5. Сравнительный анализ затрат на выполнение годового объема перевозочной работы*

Показатель	Тип электровоза		Отношение к ВЛ85, %
	ВЛ86 с асинхронным двигателем	ВЛ85 с коллекторным двигателем	
Эксплуатационные затраты, т. р. в т. ч. на:	5413	5433	99,6
ремонт и реновацию локомотивов	426	503	85
ремонт и реновацию вагонов	1520	1518	100,1
содержание локомотивных бригад	165	177	93
ремонт, содержание и одиночную смену материалов верхнего строения пути	1353	1333	101
тормозные колодки	152	143	106
потребляемую электроэнергию	2101	2037	103
обслуживание постоянных устройств	0	8	-
Капитальные вложения у потребителя, в т.ч.:			
стоимость вагонов	495	514	96
стоимость грузов в пути	572	594	96
дополнительные расходы в постоянные устройства на развитие пропускной способности	0	29	-
Всего затрат у потребителя	6479	6571	98

Здесь необходимо отметить, что для преобразовательных устройств и систем управления электровоза ВЛ86 использовались электронные компоненты, а также конденсаторы с достигнутыми в настоящее время (в странах бывшего СССР) технико-экономическими параметрами. При использовании преобразовательных устройств, разработанных западноевропейскими фирмами, эффект от применения электровозов с АТД должен возрасти.

В качестве иллюстрации этого тезиса можно привести опыт эксплуатации на государственных ж.д. Норвегии электровозов с АТД серии EL17, разработанных совместно фирмами BBC и Хеншель.

При эксплуатации электровозов с фазным тяговым приводом, оборудованных четырехквadrантным преобразователем, потребляемый из контактной сети ток на 18–20 % меньше, чем у электровозов с фазовым регулированием напряжения, причем эти данные не учитывают экономии электроэнергии вследствие применения рекуперативного торможения.

Известно, что пробег любого электровоза во многом зависит от эксплуатационной готовности, в частности, частоты отказов, которые распределялись в течение года следующим образом:

– ползуны, повреждения буксовых подшипников	– 4
– пневматическое оборудование, тормоза	– 1
– токоприемник	– 3
– тяговое оборудование, высоковольтные устройства	– 4
– вспомогательные машины (питание)	– 5
– электронная аппаратура	– 8
– прочее электрооборудование	– 13
– причина отказа неизвестна	– 9
Итого	47

Число отказов приблизительно соответствует среднему значению этого показателя у локомотивов других типов (порядка 40). Явного снижения числа отказов пока нет, что объясняется появлением некоторых новых неисправностей, во многом случайных и распространяющихся на большее число систем или узлов. Тем не менее среднесуточный пробег электровоза с АД (EL17) на 5-16% выше чем у электровоза с КТД (EL16, EL14) при меньшей среднемесячной продолжительности работы.

Кроме того на величину пробега сравнительно сильное влияние оказывают работы по техническому обслуживанию.

Система профилактического технического обслуживания электровозов серии EL17 построена, в принципе, таким же образом, как и локомотивов с КТД. На норвежских ж.д. различают технические осмотры (К), проводимые в локомотивном депо, текущие ремонты (Т) в локомотивных мастерских, а также средний и капитальный ремонт (R), осуществляемые на ремонтных заводах.

Уменьшение трудоемкости ремонта и обслуживания электровозов с АД позволили увеличить продолжительность работы между техническими осмотрами К2 с 3 суток до 4–6 суток (см. табл. 6), а норму пробега между текущими ремонтами Т1 с 15 тыс. км до 25 тыс.; между текущими ремонтами Т2 – с 30–50 тыс. км до 100 тыс., и полностью исключить текущие ремонты Т3, проводящиеся через 60–100 тыс. км пробега электровозов с КТД и Т4 (через 180–200 тыс. км), Т5 (через 400 тыс. км) [6].

*Таблица 6. Эксплуатация подвижного состава на государственных железных дорогах Норвегии (фирмы изготовители: BBC, Hensehel)*

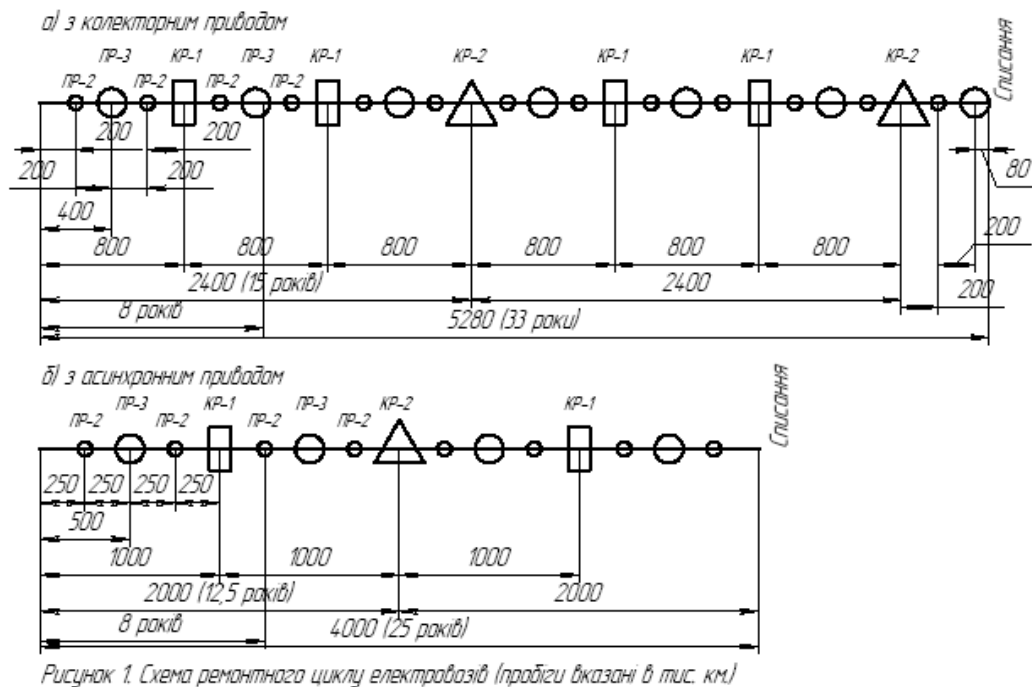
Наименование	Тип электровоза		
	С асинхронными тяговыми двигателями (EL17)	С коллекторными тяговыми двигателями	
		(EL16) с фазовым регулированием напряжения	(EL14) со ступенчатым регулированием напряжения
<b>1. Нормы пробега между осмотрами и ремонтами:</b>			
Технический осмотр К1, сут.	1	1	1

*Продолжение табл. 6*

Технический осмотр К2, сут.	4-6	7	3
Текущий ремонт Т1, тыс. км	25	25	15
Текущий ремонт Т2, тыс. км	100	50	30
Текущий ремонт Т3, тыс. км	-	100	60
Текущий ремонт Т4, тыс. км	-	200	180
Текущий ремонт Т5, тыс. км	-	400	-
Средний ремонт R1, тыс. км	600	1200	700-900
Капитальный ремонт R2, тыс. км	1200	-	1400-1800
<b>2. Показатели использования:</b>			
Среднемесячный пробег, тыс. км	16,5	15,6	13,8
Среднемесячная продолжительность работы, локомотиво-сутки	21,25	23,5	25,75

Учитывая все изложенное при разработке схемы ремонтного цикла для электровоза с асинхронным тяговым приводом типа ДС-3, спроектированного и изготовленного научно-производственным комплексом «Электровозостроение» из схемы ремонтного цикла, применяемого для электровозов с КТД, были исключены, ТО-2 и ТР-1, а нормы пробега между ТО-3 увеличены с 10 до 125 тыс. км, между ТР-2 – с 200 до 250 тыс. км, между ТР-3 – с 400 до 500 тыс. км, между КР-1 с 800 до 1000 тыс.км.

Предлагаемая схема ремонтного цикла электровоза с асинхронным тяговым приводом приведена на рис.1.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Жулев О.Н., Иванченко Н.К., Курочка А.Л., Янов В.П. Проблемы создания электровозов с асинхронными тяговыми двигателями. – М.: Известия высших учебных заведений, «Электромеханика», № 11, 1983.
2. Трехфазный асинхронный тяговый электропривод на локомотивах промышленного транспорта. Экспресс-информация. – Промышленный транспорт. №13, 1980 г. Teich Werner. Drehstrom-Antriebstechnik fur Industrielokomotiven. "Eisenbahntechn. Rundsch".1979, №11, 813-819, 819-822 (нем).
3. Испытания электровоза с асинхронным тяговым приводом. – М.: Железнодорожный транспорт. – Реферативный журнал, 21Л, Электрооборудование транспорта, 1980, № 7.
4. Эксплуатация электровозов с асинхронными тяговыми двигателями на железных дорогах США. – М.: Железнодорожный транспорт, реферативный журнал, 11В, Техническая эксплуатация подвижного состава и тяга поездов,1990, № 1.
5. Манаенко В.В., Швец Т.Е. Техничко-економические аспекты создания электровозов с асинхронным тяговым приводом. – Н.: Электровозостроение, т. 28, 1987.
6. Крот Я., Растен Э. Опыт эксплуатации электровозов серии EL17 с трехфазным тяговым приводом. – М.: Железные дороги мира, 1989, № 4.
7. Преимущества электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями, реферативный журнал.11В, 1990, №2, 2В65 Special train to test new energy saving traction motors//Railways. – 1989. – ауг-септ. С. 39-англ.
8. Трехфазные локомотивы на частных железных дорогах ФРГ. – Реферативный журнал. 11В, 1988, 11Л61.