

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)**

IV издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 7-9 апреля 2009 г., г. Брест, Республика Беларусь

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 20-23 октября 2009, Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 23 октября 2009 г.

Примечание. Теряет силу III издание от 19.06.1984 г.

**Р  
601**

**ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИКО-  
ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
И ДИЗЕЛЬНОЙ ТЯГИ**

## Содержание

1. Общие положения.....	3
2. Исходные данные для проведения расчетов .....	4
3. Определение капитальных вложений.....	5
4. Определение годовых объемов перевозок.....	8
5. Определение расходов энергоносителей на выполнение перевозочной работы .....	9
6. Определение стоимости используемых энергоносителей.....	10
7. Определение срока окупаемости проекта по энергетической составляющей .....	11
8. Определение годовых эксплуатационных расходов.....	12
9. Определение экологической составляющей эффективности внедрения электротяги на отдельном участке.....	15
10. Оценка технико-экономических расчетов.....	16
11. Заключение.....	18

## 1. Общие положения.

1.1 Настоящие Рекомендации следует использовать при определении целесообразности перевода на электрическую тягу отдельных действующих участков железных дорог, а также определения эффективности использования видов тяги на вновь сооружаемых линиях железнодорожного транспорта.

Расчеты по сравнению эффективности электрической и дизельной тяги поездов должны производиться в полном соответствии с действующей в каждой стране нормативной базой по определению сравнительной эффективности вариантов развития отраслей народного хозяйства с учетом перспективы, роста эксплуатационных расходов, уровней цен на материалы, оборудование, продукцию машиностроения, энергоносители. Должны учитываться также действующие и перспективные нормативы сроков окупаемости капиталовложений.

При расчетах должны учитываться действующие нормативные документы по расчету пропускной способности железнодорожных линий, правила тяговых расчетов, характеристики подвижного состава, наличие источников электроснабжения, цены на электроэнергию и дизельное топливо, перспектива их роста и стабильность поставок.

При определении капиталовложений и эксплуатационных расходов необходимо учитывать соответствующие для каждой страны издержки на покрытие общепроизводственных, административных и прочих накладных расходов.

1.2 Оценка технико-экономической эффективности электрической и дизельной тяги поездов производится сравнением вариантов с определением:

а) капиталовложений:

- в сооружения устройств электроснабжения тяги поездов;
- строительство и модернизацию объектов внешнего электроснабжения;
- модернизацию и реконструкцию действующих объектов электроснабжения;
- реконструкцию и модернизацию устройств обеспечения безопасности движения и связи;
- проведения работ по электромагнитной совместимости тягового электроснабжения с другими железнодорожными и общегосударственными техническими средствами;
- на защиту окружающей среды;
- строительство и реконструкцию объектов локомотивного, путевого и других хозяйств инфраструктуры железных дорог;
- стоимости приобретаемого нового тягового состава и мотор-вагонных пассажирских поездов;
- строительства жилья для обслуживающего персонала;
- разработку и согласование проектно-сметной и рабочей документации;
- прочие расходы.

б) годовых эксплуатационных расходов;

в) приведенных расходов;

- г) сроков окупаемости капитальных вложений;
- д) потребности в кадрах.

## 2. Исходные данные для проведения технико-экономических расчетов.

2.1 Для проведения технико-экономических расчетов необходимо иметь данные:

- техническую характеристику рассматриваемого участка (длину, количество путей, действующий, а также перспективный график движения поездов, виды движения, массу грузовых, пассажирских и пригородных поездов в четном и нечетном направлении, изменение массы поездов в связи с внедрением электротяги;

- технические характеристики применяемого или перспективного, в результате реализации проекта, тягового подвижного и мотор-вагонного состава (стоимость, удельные расходы энергоносителей, эксплуатационные расходы на содержание);

- капитальные вложения на реализацию проекта в соответствии с п.1.2.;

- стоимость энергоносителей, используемых на тягу поездов и обогрев пассажирских вагонов, а также перспективу изменения на них цены

2.2 Расчет производится для конкретного участка, учитывается его протяженность, число главных путей, профиль, план, размещение отдельных пунктов, число путей, подлежащих электрификации, схема тягового обслуживания, возможность продления плеч обслуживания с целью уменьшения количества закупки

тягового и мотор-вагонного подвижного состава и использования времени работы локомотивных бригад.

### 3. Определение капитальных вложений

3.1 Определение капитальных вложений, связанных с внедрением электрической тяги поездов.

Технико-экономическое сравнение эффективности внедрения электрической тяги проводят на этапе предпроектной подготовки, когда нет еще проектной документации. Поэтому целесообразно принять в расчет удельные величины капитальных вложений, полученные в результате реализации аналогичных проектов в последнее время. А именно:

- стоимость сооружения 1 км развернутой длины контактной сети переменного (постоянного) тока;
- стоимость строительства одной тяговой подстанции с соответствующим первичным напряжением переменного (постоянного) тока;
- стоимость поста секционирования, пункта параллельного соединения, автотрансформаторного пункта;
- стоимость 1 км сооружения высоковольтных линий электропередач для основного и резервного питания устройств СЦБ;
- стоимость комплектных трансформаторных подстанций соответствующих типов;
- усредненную стоимость сооружения объектов внешнего электроснабжения (1 км ЛЭП 35-220 кВ, 1 ячейки ОРУ или ЗРУ 35-220 кВ и др.);
- усредненная стоимость сооружения дежурных пунктов контактной сети;

- усредненная стоимость закупки инвентаря и аварийно-восстановительной техники для ремонта и обслуживания устройств электроснабжения, диагностического оборудования;
- усредненная стоимость реконструкции и модернизации устройств СЦБ и связи (на аналогичный пост ЭЦ, блок-участок и т.д.);
- стоимость внедрения энергодиспетчерского круга, систем телемеханики, систем учета электроэнергии;
- расходы, связанные с созданием инфраструктуры по обслуживанию электроподвижного состава;
- усредненные удельные расходы на разработку технико-экономического обоснования (ТЭО), экспертизу ТЭО, проектирование, отвод земель и т.д., если на данном этапе достаточно информации для оценки этих позиций;
- капитальные вложения на обеспечения электромагнитной совместимости и решение вопросов экологии.

В общем случае можно использовать формулу:

$$K_{\Sigma} = \sum K_{\Sigma i} \quad (1),$$

где:  $K_{\Sigma i}$  -  $i$ -е капитальные затраты на сооружение постоянных устройств электроснабжения и связанных с введением электрификации устройств в соответствии с перечнем по статьям расходов, перечисленных выше.

### 3.2 Определение капитальных вложений для закупки тягового и мотор-вагонного подвижного состава.

3.2.1 В первую очередь рассматривают вопрос возможности продления существующих плеч обслуживания. Если этого сделать нельзя, то рассчитывают необходимое число нового тягового и мотор-вагонного подвижного состава.

3.2.2 Инвентарный парк определяют с учетом особенностей отдельных стран и железных дорог. В общем случае можно применить формулу:

$$K_{пс} = \sum N_{li} C_{li} = N_{г} C_{г} + N_{п} C_{п} + N_{пр} C_{пр} \quad (2),$$

где:

- $K_{пс}$  – суммарные капитальные вложения в закупку тягового и мотор-вагонного подвижного состава;
- $N_{li}$ ,  $C_{li}$  – соответственно количество инвентарного парка  $i$ -го типа (грузового, пассажирского, пригородного) подвижного состава и стоимость единицы;
- $N_{г}$ ,  $N_{п}$ ,  $N_{пр}$ ,  $C_{г}$ ,  $C_{п}$ ,  $C_{пр}$  – соответственно число единиц грузового, пассажирского и пригородного подвижного состава и стоимость единицы.

3.2.3 Количество грузового подвижного состава определяется по выражению

$$N_{г} = A_{г} / (m_{г} * k_{г}) \quad (3),$$

где:

- $A_{г}$  - годовой объем грузовых перевозок на рассматриваемом участке в ткм.брутто или лок-км;
- $m_{г}$  - годовая производительность одного грузового локомотива рабочего парка в (ткм.брутто)/год, или (лок-км)/год;
- $k_{г}$  – отношение рабочего парка грузовых локомотивов к инвентарному.

3.2.4 Количество тягового и моторвагонного подвижного состава для обеспечения пассажирских перевозок определяется по выражению

$$N_{п} = A_{п} / (m_{п} * k) \quad (4),$$

где:

- $A_{п}$  - годовой объем пассажирских перевозок на рассматриваемом участке в ткм.брутто или лок-км;
- $m_{п}$  - годовая производительность одного пассажирского локомотива рабочего парка в (ткм.брутто)/год, или (лок-км)/год;
- $K_{п}$  – отношение рабочего парка пассажирских локомотивов к инвентарному.

3.2.5 Количество пригородного мотор-вагонного подвижного состава определяется по выражению:

$$N_{пр} = A_{пр} / (m_{пр} * K_{пр}) \quad (5),$$

где:

- $A_{пр}$  - годовой объем пригородных перевозок на рассматриваемом участке в ткм.брутто или лок-км;
- $m_{пр}$  - годовая производительность одного пригородного поезда рабочего парка в (ткм.брутто)/год, или (лок-км)/год;
- $K_{пр}$  – отношение рабочего парка к инвентарному.

#### 4. Определение годовых объемов перевозок.

4.1 На действующем участке железной дороги, которую предполагается электрифицировать, годовой объем перевозок целесообразно определять по действующему графику движения поездов с учетом перспективы увеличения перевозок при введении электрической тяги.

4.2 Объем грузовых перевозок в общем случае можно определить по формуле:

$$A_{г} = \sum [(M_{гчi} * n_{гчi} + M_{гнi} * n_{гнi}) * L_i * 365] / 10000 \quad (6),$$

где:

- $A_g$  - годовой объем грузовых перевозок в 10 тыс.ткм.брутто;
- $M_{гчi}, M_{гнi}$  – соответственно масса четного и нечетного грузового поезда, проходящего на  $i$ -м отрезке рассматриваемого участка, т;
- $n_{гчi}, n_{гнi}$  - соответственно количество четных и нечетных грузовых поездов, проходящих на  $i$ -м отрезке рассматриваемого участка, шт.;
- $L_i$  - длина  $i$ -го отрезка пути на рассматриваемом участке, км;
- **365** – количество дней в году;
- **10000** – переводной коэффициент в принятые единицы эксплуатационной работы.

4.3 Объем пассажирских перевозок в общем случае можно определить по формуле:

$$A_{п} = \sum [(M_{пчi} * n_{пчi} + M_{пнi} * n_{пнi}) * L_i * 365] / 10000 \quad (7),$$

где:

- $A_{п}$  - годовой объем пассажирских перевозок в 10 тыс.ткм.брутто;
- $M_{пчi}, M_{пнi}$  – соответственно масса четного и нечетного пассажирского поезда, проходящего на  $i$ -м отрезке рассматриваемого участка, т;
- $n_{пчi}, n_{пнi}$  - соответственно количество четных и нечетных пассажирских поездов, проходящих на  $i$ -м отрезке рассматриваемого участка, шт.;

4.4 Объем пригородных перевозок в общем случае можно определить по аналогичной формуле:

$$A_{\text{пр}} = \sum [(M_{\text{прчи}} * n_{\text{прчи}} + M_{\text{прни}} * n_{\text{прни}}) * L_i * 365] / 10000 \quad (8),$$

где:

- $A_{\text{пр}}$  - годовой объем пригородных перевозок в 10 тыс.ткм.брутто;
- $M_{\text{прчи}}, M_{\text{прни}}$  – соответственно масса четного и нечетного пригородного поезда, проходящего на  $i$ -м отрезке рассматриваемого участка, т;

$n_{\text{прчи}}, n_{\text{прни}}$  - соответственно количество четных и нечетных пригородных пассажирских поездов, проходящих на  $i$ -м отрезке рассматриваемого участка, шт.

4.5 В зависимости от страны применения могут быть приняты другие методики определения объемов перевозок на рассматриваемом участке.

## 5. Определение расходов энергоносителей на выполнение перевозочной работы

5.1 Расход энергоносителей на выполнение перевозочной работы определяется по удельным расходам энергоносителей по видам движения с учетом типов применяемых локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава.

5.2 В первом приближении можно использовать средние удельные нормы по видам движения для предполагаемых типов локомотивов для аналогичных участков. В этом случае применяются формулы:

Для электротяги

$$W_{\text{год}} = (A_{\text{Г}} * W_{\text{Г}} + A_{\text{п}} * W_{\text{п}} + A_{\text{пр}} * W_{\text{пр}}) * 10^{-3} \quad (9),$$

где:

- $W_{\text{год}}$  – годовой объем потребления электроэнергии на тягу поездов на рассматриваемом участке, тыс. кВт.час./год;
- $W_{\text{г}}$ ,  $W_{\text{п}}$ ,  $W_{\text{пр}}$  – удельные расходы электроэнергии на единицу работы в грузовом, пассажирском и пригородном движении на рассматриваемом участке, кВт.час./10 тыс.ткм.брутто.

Для тепловозной тяги

$$M_{\text{дтгод}} = (A_{\text{г}} * p_{\text{г}} + A_{\text{п}} * p_{\text{п}} + A_{\text{пр}} * p_{\text{пр}}) * 10^{-3} \quad (10),$$

где:

- $M_{\text{дтгод}}$  – годовой объем потребления дизельного топлива на тягу поездов на рассматриваемом участке, тонн/год;
- $p_{\text{г}}$ ,  $p_{\text{п}}$ ,  $p_{\text{пр}}$  – удельные расходы дизтоплива на единицу работы в грузовом, пассажирском и пригородном движении на рассматриваемом участке, кг /10 тыс.ткм.брутто.

5.3 При необходимости удельные нормы и расход энергоносителей можно уточнять в зависимости от типов поездов, веса, профиля участка и т.д.

## 6. Определение стоимости используемых энергоносителей.

6.1 Годовую стоимость используемых энергоносителей в общем случае можно определить по выражениям:

для электротяги:

$$C_{\text{эгод}} = W_{\text{год}} * T_{\text{э}} \quad (11),$$

для тепловозной тяги:

$$C_{\text{дтгод}} = M_{\text{дтгод}} * T_{\text{дт}} \quad (12),$$

где:

- $C_{\text{эгод}}$ ,  $C_{\text{дтгод}}$  – соответственно годовая стоимость электроэнергии и дизельного топлива, используемого на рассматриваемом участке;

-  $T_{\text{э}}$ ,  $T_{\text{дт}}$  - соответственно тарифна электроэнергия и дизельное топливо на момент проведения расчетов, в денежных единицах за используемый кВт.час или тонну.

6.2 При определении стоимости электроэнергии расчеты можно уточнять в зависимости от тарифов, которые действуют на определенной территории, а также от способа закупки электроэнергии.

## 7. Определение срока окупаемости проекта по энергетической составляющей.

7.1 Поскольку в эксплуатационных расходах на перевозочный процесс значительная доля приходится на энергоносители, а разница на ремонты, амортизацию и содержание эксплуатационного персонала для вариантов использования электротяги и дизельной тяги не столь значительная, то в первом приближении для принятия решения можно определить эффективность проекта без учета полных эксплуатационных расходов по видам тяги.

7.2 Для определения срока окупаемости можно применить формулу:

$$T_{\text{ок}} = [(K_{\text{пэз}} + K_{\text{э}}) - (K_{\text{псд}} + K_{\text{д}})] / (C_{\text{дтгод}} - C_{\text{эгод}}) \quad (13),$$

где:

-  $T_{\text{ок}}$  - срок окупаемости внедрения электротяги на участке, лет;

-  $K_{\text{пэз}}$  – капитальные затраты на приобретение электроподвижного состава;

-  $K_{\text{э}}$  – капитальные затраты связанные с сооружением постоянных устройств электроснабжения и их эксплуатацией;

-  $K_{псд}$  – капитальные затраты на закупку дизельного подвижного состава;

-  $K_d$  – капитальные затраты, связанные с сооружением постоянных устройств, необходимых для обеспечения дизельной тяги.

7.3 При использовании данной формулы нужно иметь в виду то, что первый шаг организации перевозочного процесса – это дизельная тяга. Введение электротяги всегда сопряжено с дополнительными капитальными вложениями на сооружение устройств электроснабжения тяги поездов. Эти дополнительные капиталовложения компенсируются экономией эксплуатационных расходов, в основе которой лежит разница в стоимости используемых энергоносителей.

7.4 В случае, если рассматривается целесообразность перевода действующего участка железной дороги с дизельной тягой на электротягу капитальные вложения в закупку дизельного подвижного состава и сооружения постоянных устройств, связанных с обслуживанием дизельного подвижного состава равны нулю, формула приобретает вид:

$$T_{ок} = (K_{псэ} + K_э) / (C_{дтгод} - C_{эгод}) \quad (14),$$

7.5 Анализ по формулам 13 и 14 рекомендуется проводить при составлении программ электрификации участков железных дорог на длительную перспективу. В этом случае участки с меньшим сроком окупаемости включаются для реализации в первую очередь, с большим сроком отодвигают на более позднюю перспективу.

## 8. Определение годовых эксплуатационных расходов.

8.1 Определение годовых эксплуатационных расходов при электрической тяге.

8.1.1 Для сравнения вариантов должны быть определены эксплуатационные расходы по содержанию и обслуживанию устройств электроснабжения (хозяйство электроснабжения), тяги поездов, а также по содержанию и обслуживанию парка подвижного состава (локомотивное и мотор-вагонное хозяйства).

8.1.2 Эксплуатационные расходы по содержанию инфраструктуры электроснабжения состоят из элементов:

- фонда оплаты труда работников, связанных с обслуживанием и ремонтом технических средств устройств электроснабжения, аварийно-восстановительной и другой специальной техники и устройств ( $\text{Э}_{\text{от}(\text{э})}$ );
- отчислений на социальные мероприятия ( $\text{Э}_{\text{отч}(\text{э})}$ );
- расходов на материалы ( $\text{Э}_{\text{м}(\text{э})}$ );
- расходов на топливо и смазочные материалы ( $\text{Э}_{\text{топ}(\text{э})}$ )\*;
- расходов на электроэнергию ( $\text{Э}_{\text{э}(\text{э})}$ )\*;
- амортизационных отчислений ( $\text{Э}_{\text{ам}(\text{э})}$ );
- прочих расходов ( $\text{Э}_{\text{проч}(\text{э})}$ ).

Кроме того, в эксплуатационные расходы входят общепроизводственные и административные расходы.

8.1.3 В общем случае расчет годовых эксплуатационных расходов по содержанию инфраструктуры электроснабжения может быть произведен по формуле:

$$\text{Э}_{\text{год}(\text{э})} = \sum \text{Э}_{i(\text{э})} = \text{Э}_{\text{от}(\text{э})} + \text{Э}_{\text{отч}(\text{э})} + \text{Э}_{\text{м}(\text{э})} + \text{Э}_{\text{топ}(\text{э})} + \text{Э}_{\text{э}(\text{э})} + \text{Э}_{\text{ам}(\text{э})} + \text{Э}_{\text{проч}(\text{э})} \quad (15),$$

\*Примечание: в данной формуле учитываются расходы на топливо и смазочные материалы, а также на электроэнергию для нужд эксплуатации и ремонта технических средств электроснабжения.

8.1.4 В случае возникновения сложности при определении эксплуатационных расходов по элементам расчет можно проводить по усредненным удельным эксплуатационным расходам аналогичных действующих участков, таким как: расходы на содержание одной тяговой подстанции; расходы на содержание 100 км развернутой длины устройств продольного электроснабжения, расходы на содержание 100 км развернутой длины контактной сети и др. Эти данные могут быть определены из годовой статистической отчетности, из годового анализа работы хозяйств и других источников.

8.2 Определение годовых эксплуатационных расходов на обслуживание, ремонт тягового и мотор-вагонного подвижного состава и содержание локомотивных бригад.

8.2.1 Расходы на техническое обслуживание, ремонт тягового и мотор-вагонного подвижного состава и содержание локомотивных бригад  $\Delta_{\text{год}(T)}$  определяются по формуле:

$$\Delta_{\text{год}(T)} = \sum \Delta_i(T) = \Delta_{\text{от}(T)} + \Delta_{\text{отч}(T)} + \Delta_{\text{м}(T)} + \Delta_{\text{топ}(T)} + \Delta_{\text{э}(T)} + \Delta_{\text{ам}(T)} + \Delta_{\text{рем}(T)} + \Delta_{\text{проч}(T)}$$

(16),

где:

- $\Delta_{\text{от}(T)}$  – расходы на оплату труда персонала, связанного с техническим обслуживанием, ремонтом тягового и мотор-вагонного подвижного состава в условиях локомотивных и мотор-вагонных депо, а также расходы на содержание локомотивных бригад;
- $\Delta_{\text{отч}(T)}$  - отчисления на социальные мероприятия;
- $\Delta_{\text{м}(T)}$  - расходы на материалы;
- $\Delta_{\text{топ}(T)}$  - расходы на дизельное и другие виды топлива и смазочные материалы, используемые непосредственно на тягу, а также на ее обеспечение;

- $\text{Ээ}(\tau)$  - расходов на электроэнергию, которая используется на тягу поездов, а также другие эксплуатационные нужды;
- $\text{Эам}(\tau)$  - амортизационные отчисления;
- $\text{Эрем}(\tau)$  – расходы на заводские виды ремонтов тягового и моторвагонного подвижного состава;
- $\text{Эпроч}(\tau)$  - прочие расходы.

В эксплуатационные расходы входят также общепроизводственные и административные расходы.

8.2.2 Годовые расходы на оплату труда персонала, связанного с техническим обслуживанием, ремонтом тягового и моторвагонного подвижного состава в условиях локомотивных и моторвагонных депо, а также расходы на содержание локомотивных бригад ( $\text{Эот}(\tau)$ ) можно определить по средним удельным расходам на эти цели, которые есть в годовой статистической или управленческой отчетности.

8.2.3 Отчисления на социальные нужды ( $\text{Эотч}(\tau)$ ) определяются по нормативам страны применения.

8.2.4 Расходы на заводские виды ремонтов тягового и моторвагонного подвижного состава ( $\text{Эрем}(\tau)$ ) определяются по данным калькуляции ремонтных заводов на отдельные виды ремонтов соответствующего типа подвижного состава и требуемого количества ремонтов.

8.2.5 Отчисления на амортизацию проводится по методике, принятой в каждой стране или отрасли хозяйства.

## 9. Определения экологической составляющей эффективности внедрения электротяги на отдельном участке.

9.1 Экологическая составляющая представляет собой внешние негативные последствия деятельности железнодорожного транспорта на природную среду и имеет несколько факторов,

основные из которых следующие: потери энергии, климатические изменения, локальное загрязнение и влияние на биологическую среду. При этом также учитывается такой фактор как шум, который отрицательно влияет на социальную сферу, особенно в населенных зонах.

9.2 Основным источником загрязнения атмосферы на железнодорожном транспорте является отработанные газы дизельного тягового подвижного состава. Расчет годовых объемов выбросов вредных веществ можно осуществить по формуле:

$$V_{\Sigma\text{год}} = \sum V_{i\text{год}} = \sum q_i * (M_{\text{дтгод}} * K_{\text{дт}}) \quad (17),$$

где:

-  $V_{\Sigma\text{год}}$  - суммарный объем выбросов вредных веществ от сгорания дизтоплива, в тоннах;

-  $V_{i\text{год}}$  – объем выбросов отдельного  $i$ -го вредного вещества в тоннах;

-  $q_i$  - усредненные удельные выбросы  $i$ -го вредного вещества при сгорании дизельного топлива, кг /тонну;

-  $M_{\text{дтгод}}$  – годовой объем потребления дизельного топлива на тягу поездов на рассматриваемом участке, тонн;

-  $K_{\text{дт}}$  – коэффициент потребления топлива на тепловозную тягу, обычно 0,89;

Усредненные выбросы при расчетах для дизельного топлива можно принимать: для  $\text{NO}_x$  – 66,5 кг /тонну; для  $\text{CO}$  – 45,0 кг /тонну; для  $\text{CH}$  – 16,5 кг /тонну; для  $\text{LOC}$  – 4,65 кг /тонну; для  $\text{SO}_2$  – 4,2 кг /тонну; для  $\text{C}$  – 4,58 кг /тонну.

9.3 При внедрении электротяги поездов снижаются затраты железнодорожного транспорта на оплату сборов (налогов) за загрязнение окружающей среды. Снижение расходов на оплату сборов можно определить по формуле:

$$\Delta C_{\text{осгод}} = M_{\text{дтгод}} * h_{\text{дт}} \quad (18),$$

где:

-  $\Delta C_{\text{осгод}}$  - снижение расходов на оплату сборов за загрязнение окружающей среды;

-  $h_{\text{дт}}$  - норматив сбора за загрязнение окружающей среды при использовании дизельного топлива на железнодорожном транспорте, ден.ед./тонну. Устанавливается законодательством каждой страны

## 10. Оценка технико-экономических расчетов

### 10.1 Определение приведенных годовых расходов.

Приведенные годовые расходы определяются для каждого вида тяги по формулам:

- для дизельной тяги:  $P_{\text{дт}} = E * K_{\text{дт}\Sigma} + \text{Э}_{\text{год(г)}}$  (19);

- для электрической тяги  $P_{\text{эт}} = E * K_{\text{эт}\Sigma} + \text{Э}_{\text{год(э)}} - \Delta C_{\text{ос}}$  (20);

где:

-  $E$  – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений, определяемый как  $1/T_n$ , где –  $T_n$  - нормативный срок окупаемости капиталовложений (устанавливается каждой страной);

-  $K_{\text{дт}\Sigma} = K_{\text{псд}} + K_{\text{д}}$  - суммарные капитальные вложения на строительство инфраструктуры, связанной с обеспечением дизельной тяги и закупку необходимого дизельного тягового и мотор-вагонного состава (см. п. 7.2);

-  $K_{\text{эт}\Sigma} = K_{\text{псэ}} + K_{\text{э}}$  – суммарные капитальные затраты связанные с сооружением постоянных устройств электроснабжения электротяги и их эксплуатацией, а также на закупку необходимого электрического тягового и мотор-вагонного подвижного состава (см.п. 7.2).

Преимущество имеет вариант с меньшими приведенными расходами.

10.2 Определение фактического срока окупаемости внедрения электротяги на рассматриваемом участке с учетом всех основных составляющих.

Как итоговую для определения фактического срока окупаемости внедрения электрической тяги поездов на рассматриваемом участке с учетом предполагаемых затрат на строительство инфраструктуры, связанной с обеспечением дизельной тяги, и закупкой необходимого дизельного тягового и мотор-вагонного подвижного состава, суммарных капитальных затрат, связанных с сооружением постоянных устройств электроснабжения электротяги и их эксплуатацией, закупкой необходимого электрического тягового и мотор-вагонного подвижного состава, а также снижения экологических сборов, можно предложить формулу:

$$T_{\text{окфакт}} = (K_{\text{эт}\Sigma} - K_{\text{дт}\Sigma}) / (\text{Э}_{\text{год(т)}} - \text{Э}_{\text{год(э)}} - \Delta C_{\text{осгод}}) \quad (21)$$

10.3 При проведении анализа, начинать надо с участков железных дорог с большой грузонапряженностью и пассажиропотоками, внедрение электротяги на которых имеет низкий срок окупаемости капиталовложений. Однако, иногда необходимость внедрения электротяги обуславливается экологическими факторами или общественным мнением. В таких случаях могут реализовываться и проекты с длительным сроком окупаемости.

10.5 Определение энергосберегающего эффекта от внедрения электрической тяги поездов.

В связи с тем, что энергоэффективность электрической тяги выше чем тепловозной тяги, при переводе участка на электрическую тягу происходит экономия условного топлива, которую можно рассчитать по формуле:

$$\Delta E_{\text{тупгод}} = 1,45 M_{\text{дтгод}} - 0,325 W_{\text{год}} \quad (22),$$

где:

- $\Delta E_{\text{тупгод}}$  - снижение потребления условного топлива на тягу поездов на рассматриваемом участке, т.у.т.;
- $M_{\text{дтгод}}$  - годовой объем потребления дизельного топлива на тягу поездов на рассматриваемом участке в тоннах (определяется по формуле 10);
- **1,45** – переводной коэффициент от натурального показателя в т.у.т. для дизельного топлива;
- $W_{\text{год}}$  – объем годового потребления электроэнергии на тягу поездов в тыс.кВт.час, используемый на рассматриваемом участке (определяется по формуле 9);
- **0,325** – переводной коэффициент в условное топливо для электроэнергии.

Оценка энергосберегающего эффекта важна для доказательства целесообразности внедрения проекта с точки зрения проведения государственной политики энергосбережения и одобрения его правительством в соответствии с установленным порядком, привлечения иностранных инвестиций, привлечения инвестиций местных бюджетов и т.д.

Для оценки снижения себестоимости перевозок целесообразно определить снижение энергетической составляющей эксплуатационных расходов, которая и есть основной составляющей окупаемости проекта:

$$\Delta C_{\text{годгод}} = C_{\text{дтгод}} - C_{\text{эгод}} = M_{\text{дтгод}} * T_{\text{дт}} - W_{\text{год}} * T_{\text{э}} \quad (23),$$

где все величины приняты в соответствии с формулами 11 и 12.

## 11. Заключение

Преимущества использования электротяги перед тепловозной тягой обусловлены прежде всего тем, что

удельные нормы при электротяге в перерасчете на условное топливо на 50-60% ниже, вследствие чего имеется энергосберегающий эффект, что очень важно для снижения энергоемкости перевозного процесса железнодорожным транспортом.

Кроме этого, внедрение электротяги дает ощутимый экологический эффект в виде снижения выбросов вредных веществ от сгорания дизельного топлива, а также снижение сборов за загрязнения окружающей среды.

Однако, внедрение электрической тяги сопряжено с дополнительными капитальными вложениями на сооружение постоянных устройств, связанных с передачей электрической энергии на подвижной состав (контактная сеть, тяговые подстанции, устройства внешнего электроснабжения и т.д.), а также на закупку электротягового подвижного состава. Эти затраты значительные. Их окупаемость в основном обусловлена снижением расходов на оплату потребляемых на тягу поездов энергоносителей.

Поэтому, стартовыми расчетами для оценки эффективности внедрения электротяги, должны быть расчеты по сопоставлению расходов на оплату энергоносителей для выполнения единицы эксплуатационной работы, выполненной электротягой и тепловозной тягой, которые можно осуществить по формуле:

$$C_{\text{ед.раб.ЕТ}} = W_{\text{э}} * T_{\text{э}} \geq C_{\text{ед.раб.ДТ}} = p_{\text{ДТ}} * T_{\text{ДТ}} \quad (24),$$

где:

-  $W_{\text{э}}$ ,  $T_{\text{э}}$  - соответственно усредненные удельные нормы расхода электроэнергии на выполнение единицы работы электротягой на рассматриваемом участке, кВт.час./10 тыс.ткм.брутто, и действующие тарифы на электроэнергию, ден.ед./кВт.час;

-  $p_{дг}$ ,  $T_{дг}$  - соответственно усредненные удельные нормы расхода дизельного топлива на выполнение единицы работы тепловозной тягой на рассматриваемом участке, кг/10 тыс.ткм.брутто, и действующие цены на дизельное топливо, ден.ед./кг.

При значительном превышении  $C_{ед.раб.ЕТ}$  над  $C_{ед.раб.ДТ}$  внедрение электротяги всегда будет иметь небольшие сроки окупаемости, которые будут сокращаться с увеличением объемов перевозок и ростом цен на дизтопливо.