

*К.А. ИВАНОВ*, УкрГАЗТ (г. Харьков),  
*В.И. НОСКОВ* канд. техн. наук, ОАО НИИ "Преобразователь"  
(г. Запорожье)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЛОКОМОТИВОВ**

У статті запропоновані принципи застосування різних методів комплексної оцінки тягових електропередач автономних локомотивів.

The authors propose principles of using various methods of complex value for traction electrotransmission of autonomous locomotives.

**Постановка проблемы.** Стратегической целью государственной политики в развитии железнодорожного транспорта является создание отечественного конкурентно способного подвижного состава. Государственной программой "Развитие рельсового подвижного состава социального назначения для железнодорожного транспорта и городского хозяйства", предусмотрено производство современных магистральных грузовых, пассажирских и маневровых локомотивов, дизель-поездов и электропоездов. Кроме того, Кабинет Министров Украины утвердил концепцию Государственной целевой программы внедрения на железных дорогах скоростного движения пассажирских поездов до 200 км/ч, сокращения длительность пребывания пассажиров в пути с 6 – 10 до 3 – 5 часов, увеличения заполняемости пассажирских вагонов в 1,5 – 1,8 раза.

При реализации Государственной программы на этапе проектирования автономных локомотивов приходится решать ряд вопросов, связанных с выбором параметров электропередач, силового агрегата (дизель-генератор), элементов механической части привода (редуктора), определения характеристик и количества тяговых двигателей (ТД) и ряда других компонент. Как следует из [1 – 3] для проведения сравнительных исследований статических и динамических характеристик проектируемых электропередач локомотивов используются методы недостаточно наглядные и недостаточно полно описывающие показатели электропередач. Использование прикладных программ моделирования непрерывных систем существенно расширяет возможности исследования [4, 5].

**Анализ литературы.** При сравнительных исследованиях локомотивов с различными электропередачами возникает ряд вопросов, связанных с комплексной оценкой их характеристик, а также моделированием всех компонент электропередачи: тягового генератора, выпрямителя, преобразователя частоты (для электропередач с асинхронными ТД), ТД, элементов механической части привода и нагрузки.

Вопросам сравнительных оценок и исследований тяговых электропередач, разработки математических моделей посвящено большое

число публикаций [6, 7]. Однако предлагаемые методы исследований не дают достаточно объективной характеристики электропередач, а математические модели довольно сложны и требуют значительных затрат машинного времени для проведения многовариантных исследований. В работе [8] представлена универсальная модель дизель-поезда, позволяющая проводить исследования различных типов электропередач.

**Целью статьи** является разработка методов комплексной оценки тяговых электропередач автономных локомотивов в статических и динамических режимах, которые позволят на этапе проектирования сделать правильный выбор типа электропередачи и определить требования к её компонентам.

**Реализация разработки методов комплексной оценки тяговых электропередач локомотивов.** Тяговая электропередача (ЭП) осуществляет преобразование механической энергии дизеля в механическую энергию движения автономного локомотива. Предельная тяговая характеристика  $F = f(V)$  приведена на рис. 1; определяется назначением локомотива: грузовой, пассажирский, маневровый и др.

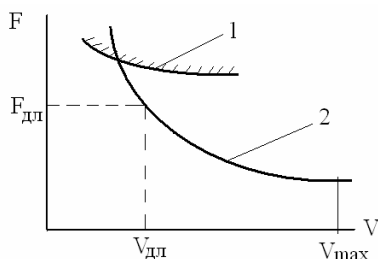


Рис. 1. Предельная тяговая характеристика локомотива  
 $F$  – тяговое усилие,  $V$  – скорость движения

Тяговая характеристика содержит несколько участков: зона пуска (1) и зона постоянной мощности (2) с ограничением максимальной скорости. Тяговое усилие в зоне пуска, как правило, ограничивается сцеплением колеса с рельсом. Для электропередач с коллекторными тяговыми двигателями серийного возбуждения, согласно правилам производства тяговых расчетов (ППТР), коэффициент сцепления  $\psi$  определяется зависимостью:

$$\psi = 0,25 + \frac{8}{100 + V}. \quad (1)$$

Тяговое усилие в этой зоне определяется как

$$F = \psi \cdot G, \quad (2)$$

где  $G$  – масса локомотива.

Использование электропередач с асинхронными ТД позволяет повысить, примерно, в 1,3 раза коэффициент сцепления в этой зоне. Кроме того, существуют схемные решения, позволяющие поднять коэффициент сцепления для электропередач с двигателями постоянного тока, например, поосное регулирование тяги [9].

Зона постоянства мощности имеет свое начало – от зоны пуска, и конец – на максимальной скорости локомотива. Расширение скоростного диапазона за счет снижения мощности электропередачи недопустимо.

В этой зоне тяговое усилие определяется формулой

$$F = \frac{P}{V}, \quad (3)$$

где  $P$  – мощность дизеля.

Аналогичным образом характеризуются свойства локомотива в режиме электрического торможения, когда механическая энергия движения поезда через электропередачу гасится на тормозных резисторах.

Характеристика электрического тормоза локомотива  $B = f(V)$  приведена на рис. 2.

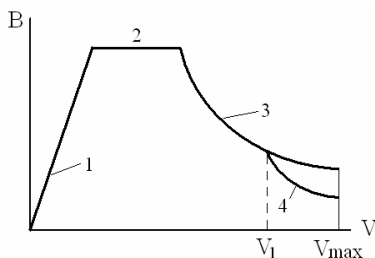


Рис. 2. Предельная тормозная характеристика.  
 $B$  – тормозное усилие

Тормозная характеристика также содержит несколько участков, которые определяются, в основном, возможностями электропередачи. Участок 1 – ограничение магнитного потока тяговых двигателей, 2 – ограничение тормозного усилия, 3 – ограничение тормозной мощности, 4 – ограничение по коммутации (для тяговых двигателей постоянного тока). Обычно  $V_1 = (0,7 - 0,8)V_{max}$ , при этом тормозная мощность снижается в соответствии с выражением:  $\frac{P_T}{V} = const$ .

Для сравнения тяговых электропередач используются следующие показатели.

Установленная мощность электрооборудования может быть оценена как отношение произведения значений пусковой тяги на максимальную скорость локомотива, к мощности дизеля ( $k_{\text{пр}}$ ).

Поскольку тяговое усилие локомотива определяет токи в элементах электропередачи, а максимальная скорость – напряжение, этот показатель в определенной степени характеризует и электрическую мощность, заложенную в электрооборудование. Связь между электрическими и механическими характеристиками локомотива осуществляется через параметры механической части привода (передаточное отношение редуктора и диаметр колеса).

Изменяя эти параметры можно смещать электрические характеристики электропередачи относительно механических в нужном направлении.

Продолжительная мощность электрооборудования оценивается как отношение произведения значений продолжительной тяги на максимальную скорость, к мощности дизеля ( $k_{\text{рлл}}$ ). Этот показатель характеризует область, в которой локомотив может работать длительно. Здесь следует отметить, что есть электропередачи (например, с асинхронными тяговыми двигателями), у которых длительная тяга равна пусковой.

Коэффициент полезного действия электропередачи. Этот важный показатель не всегда приводится, особенно для зарубежных локомотивов. Поэтому сравнение электропередач по данному коэффициенту практически выполнить невозможно.

В данной работе предлагается проводить оценку электропередач локомотивов по интегральному показателю мощности. Интегральный показатель мощности представляет собой отношение площади тяговой характеристики к мощности дизеля:

$$k_{pu} = \frac{1}{P_{\text{д}}} \int_0^{V^{\max}} F \cdot dV . \quad (4)$$

Этот показатель является наиболее универсальным, так как включает в себя данные по к.п.д. (в том числе и электропередачи), тяговые и скоростные характеристики локомотива.

Для сравнительной оценки электропередач в режиме электрического торможения можно использовать тот же интегральный показатель, только вместо тягового усилия для расчетов следует брать тормозное усилие:

$$k_{pu} = \frac{1}{P_{\text{д}}} \int_0^{V^{\max}} B dV . \quad (5)$$

По имеющимся в литературе данным было выполнено сравнение тепловозных электропередач, выполненных на базе коллекторных ТД и асинхронных в статических режимах. В режиме тяги  $k_{\text{пр}}$  асинхронной электропередачи с асинхронными ТД выше на 15%, чем электропередачи с коллекторными ТД; в режиме тормоза  $k_{\text{пр}}$  электропередачи с асинхронными ТД выше на 40%, чем электропередачи с коллекторными ТД.

Для оценки динамических характеристик электропередачи авторами предлагается проводить её исследования на разработанной модели поезда. Структурная схема модели приведена на рис. 3. Она состоит из следующих элементов: блока вычисления момента тяги состава  $M_T$ ; блока вычисления момента сопротивления движению  $M_C$ ; блока вычисления коэффициента  $K$ ; блока интегрирования (оператор  $1/p$ ). Коэффициент  $K$  определяется как:

$$K = \frac{3,6}{mR_K}, \text{ где } m - \text{масса груженого состава, } R_K - \text{радиус колеса.}$$

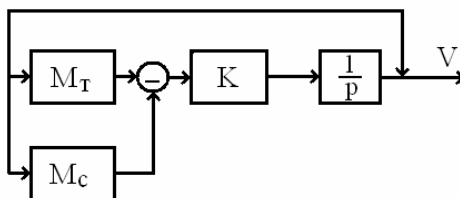


Рис. 3. Структурная схема модели

Приведенная модель позволяет оценить тяговые свойства электропередач и выполнить их сравнение на этапе проектирования.

На данной модели были проведены исследования динамических характеристик дизель-поезда с различными типами тяговых электропередач: с асинхронными ТД и с коллекторными ТД. Были получены скоростные характеристики и характеристики ускорения, реальность характеристик была подтверждена результатами испытаний дизель-поезда ДЭЛ-02.

**Выводы:** На основании проведенных исследований установлено следующее:

1. Наиболее универсальным показателем сравнения электропередач локомотивов в статических режимах является интегральный показатель мощности ( $k_{pi}$ ), который представляет собой отношение площади тяговой (тормозной) характеристики к мощности дизеля.

2. Для объективной оценки динамических характеристик электропередач предлагается проводить их исследования на разработанной модели поезда.

**Список литературы:** 1. Перспективы и проблемы внедрения асинхронного электропривода на тепловозах / В.И. Носков, В.С. Марченко, Г.А. Михневич и др. // Сб. науч. трудов НИИ завода "Электротяжмаш" и МЭТП. Вып. 1. – 1989. – С. 40–44. 2. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов / А.Д. Степанов и др. – М.: Транспорт, 1982. – 254 с. 3. Носков В.И., Шника Н.И., Яровой Г.И. О создании тяговых асинхронных электроприводов в НПО "Электротяжмаш" // Новини енергетики. – 2001. – №9. – С. 86–88. 4. Дьянков В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – Спб.: Питер, 2002. – 448 с. 5. Даниленко А.Ф., Дмитриенко В.Д., Заполоский Н.И. Математические модели оптимальных систем управления тяговым асинхронным приводом тепловозов // Электронное моделирование. – 1991. – Т. 13. – № 2. – С. 40–44.

6. *Верлань А.Ф., Дмитриенко В.Д., Корсунов Н.И., Шорох В.А.* Эволюционные методы компьютерного моделирования. – Киев: Наукова думка, 1991. – 256 с. 7. *Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю.* Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003 – 248 с. 8. *Носков В.И.* Исследование с помощью математических моделей тяговых асинхронных электроприводов скоростных поездов // Коммунальное хозяйство городов. – 2006. – № 72. – С. 288–298. 9. *Шапран Е.Н.* Совершенствование микропроцессорных систем управления тепловозов с высоким использованием сил сцепления // Вестник НТУ "ХПИ". Сборник научных трудов. Тем. вып. "Информатика и моделирование". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2006. – № 23. – С. 145–154.

*Поступила в редакцию 30.09.2007*