

УДК 621.311

Е.С. СНЕЖИНСКАЯ, студент гр. ЭМЖм-1-23 (КГЭУ)

А.Р. АБДУЛЛИНА, студент гр. ЭМЖм-1-23 (КГЭУ)

Научный руководитель Р.С. ЛИТВИНЕНКО, к.т.н, доцент (КГЭУ)

г. Казань

## СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ И УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Поезда преодолевают сопротивление движению, включая трение качения, аэродинамические нагрузки и уклон пути, используя тяговые средства. Электрические двигатели, соединенные с движущимися осями, передают вращающий момент. Энергия для этих двигателей поступает от генераторов электростанций через внешние и внутренние (тяговые) системы электроснабжения (рис.1).

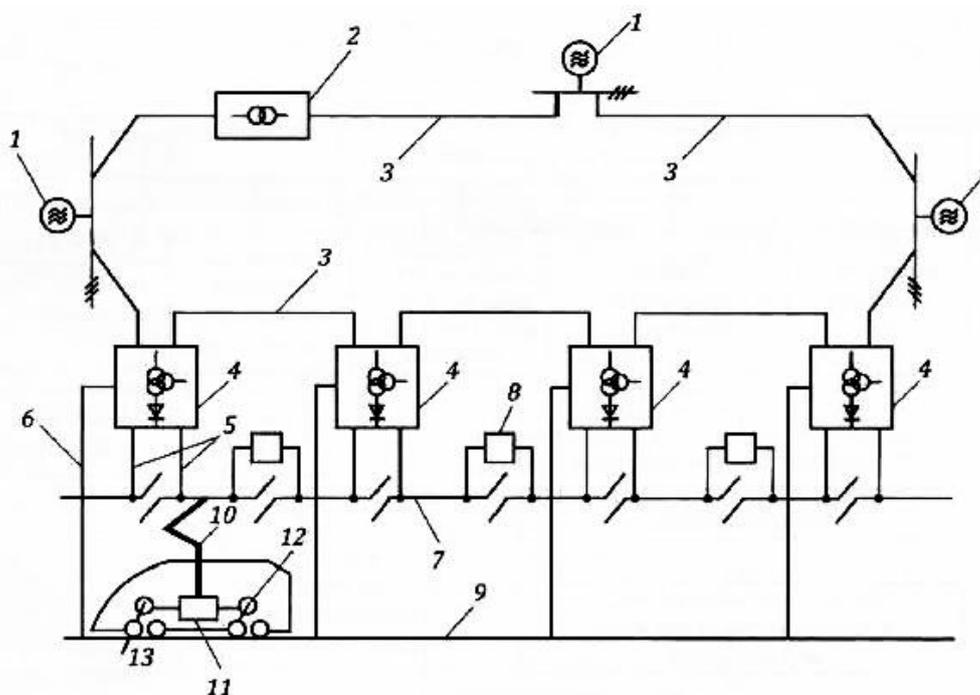


Рисунок 1. Схематическое изображение комплекса устройств электрической железной дороги. Система внешнего электроснабжения: 1 – электростанции; 2 - крупные районные трансформаторные подстанции; 3 - высоковольтные линии электропередачи напряжением 110, 220 кВ и выше. Система внутреннего (тягового) электроснабжения: 4 - тяговые преобразовательные подстанции; 5 - питающие линии; 6 - отсасывающие линии; 7- контактная сеть; 8- линейные устройства секционирования; 9- рельсовая

обратная сеть. Электрический подвижной состав (ЭПС): 10 – токоприемники; 11 – пускорегулирующая аппаратура и преобразователи электрической энергии; 12 – тяговые электрические двигатели; 13 – механическая передача вращающего момента двигателей к колесным парам.

На традиционных железнодорожных линиях с максимальной скоростью до 160 км/ч, удельная мощность электропотребления составляет примерно 300-500 кВт/км в одном направлении. Электротяговая нагрузка на таких линиях описывается случайной функцией, подчиняющейся гипотезе нормального распределения. При выборе устройств тягового электроснабжения учитываются максимальные значения токовых нагрузок в определенный временной интервал.

Высокоскоростные железные дороги с максимальной скоростью 250 км/ч и более, с повышенной пропускной способностью и расчетными интервалами между поездами в пределах 3-15 минут, имеют другие характеристики электротяговой нагрузки [2]. Для них характерны импульсные нагрузки как для устройств электротяговой сети, так и для преобразовательного электрооборудования тяговых подстанций. Это приводит к увеличению пиковых нагрузок на тяговые подстанции, росту потерь напряжения и энергии в устройствах тягового электроснабжения, усложнению токосъема и увеличению нагрева проводов контактной сети. Все эти факторы повышают требования к избирательности релейных защит в аварийных режимах.

На высокоскоростных линиях удельная мощность электропотребления может достигать 1,0-2,5 МВт/км. С увеличением скорости свыше 160 км/ч требуемая электротяговая мощность значительно растет. Эта зависимость определяется множеством факторов, таких как масса поезда, скорость движения, сопротивление движению, интервалы между поездами, частота троганий и разгонов, применение рекуперативного торможения, план и профиль пути, аэродинамическое сопротивление и характеристики сети тягового электроснабжения [1].

Точный расчет системы электроснабжения представляет собой сложную задачу. Для более точного проектирования высокоскоростных линий часто используется метод математического моделирования (рис. 2).

Существует разделение систем электрической тяги на три вида: постоянного тока, переменного тока и трехфазного тока, в зависимости от рода тока в электротяговой сети [5]. Дополнительная классификация проводится по напряжению в контактной сети, частоте и числу фаз переменного тока, представленная на рисунке 10.3.

Система электрической тяги трехфазного тока, впервые использованная в Италии в начале XX века, не получила широкого распространения из-за сложности контактной сети и токоприемников [7].

Электрическая тяга однофазного тока начала использоваться с переменного тока пониженной частотой 16 2/3 Гц и напряжением 15 кВ на магистральных линиях Германии, Австрии, Швейцарии и Швеции. Эта система позволила питать коллекторные тяговые двигатели однофазного тока переменным током без преобразования в постоянный ток.

Современные поезда оснащены бесколлекторным тяговым приводом трехфазного тока с однофазно-трехфазными преобразователями частоты, устраняя необходимость в системе тягового электроснабжения переменного тока с пониженной частотой. Однако существующие электрифицированные линии не могут быть легко переведены из-за значительных затрат на реконструкцию системы тягового электроснабжения. Система электрической тяги однофазного тока с пониженной частотой 16 2/3 Гц все еще используется на нескольких железных дорогах мира.



Рисунок 2. Алгоритм расчета электротягового комплекса методом математического моделирования

В прошлом в Советском Союзе, Франции, Италии и других странах применялась система электрической тяги постоянного тока, сначала с низким напряжением, а затем с напряжением 3 кВ. В настоящее время в России более 18 тыс. км линий электрифицированы на постоянном токе 3 кВ, включая высокоскоростную магистраль Санкт-Петербург - Москва. Электрификация на постоянном токе 3 кВ в России приостановлена из-за недостатков, таких как низкое напряжение в электротяговой сети и высокие токовые нагрузки контактной сети. Некоторые участки с напряжением 3 кВ на грузонапряженных линиях переводятся на переменный ток, например,

участки Зима - Иркутск - Слюдянка на Транссибирской магистрали и Лоухи - Мурманск Октябрьской железной дороги. Несмотря на недостатки, система электрической тяги постоянного тока представляет собой перспективное решение при условии повышения напряжения до 18-24 кВ [6].

В настоящее время система электрической тяги однофазного тока стандартной частоты 50 (60) Гц и стандартного напряжения 25 кВ находит более широкое применение. Главным преимуществом этой системы является повышенное напряжение, что при той же мощности электропотребления приводит к уменьшению токовых нагрузок контактной сети [3]. Это позволяет сократить сечение проводов контактной сети, увеличить расстояние между тяговыми подстанциями и уменьшить потери энергии в системах электроснабжения. Такая система обеспечивает высокую проходимость и пропускную способность электрифицированных линий.

Высокоскоростные железные дороги в мире преимущественно электрифицированы по системе однофазного тока 25 кВ, 50 (60) Гц. Наиболее нагруженные линии могут использовать систему 2 x 25 кВ. Существует опыт применения однофазного тока напряжением 50 кВ в Южно-Африканской республике.

В Советском Союзе и в России электрификация по системе однофазного тока началась в 1956 году. На данный момент протяженность линий, электрифицированных по системе однофазного тока 25 кВ 50 Гц, составляет около 24 тыс. километров.

#### Список литературы:

1. Зубрев Н. И., Устинова М. В. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 392 с.
2. Литвиненко, Р. С. Оценка влияния надежности элементов наземного городского электрического транспорта на его пропускную способность / Р. С. Литвиненко, П. П. Павлов, А. Э. Аухадеев // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2(22). – С. 95-103.
3. Валиев Ш. К., Дубров И. А. Инновационные тренажеры систем автоматики и телемеханики // Инновационный транспорт. – 2020. – № 1 (35). – С. 46–50.
4. Чернышова Л. И. Роль ресурсосбережения в оптимизации затрат предприятий железнодорожного транспорта // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2016. – № 11 (93). – С. 20.

5. Литвиненко, Р. С. Оценивание надежности гибридного транспортного средства на этапе разработки / Р. С. Литвиненко, Р. Г. Идиятуллин, Л. Н. Киснеева // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2016. – № 2. – С. 34-40.

6. Сопов В., Щуров Н. Системы электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе в 2 ч. Часть 1. Учебник для вузов. – 2017.

7. Масловская М. А., Довгелюк Н. В. Особенности реконструкции железных дорог при электрической тяге. – 2018.

Информация об авторах:

Снежинская Ева Сергеевна, студент гр. ЭМЖм-1-23, КГЭУ, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, s.theses@mail.ru

Абдуллина Аида Радиковна, студент гр. ЭМЖм-1-23, КГЭУ, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, 77aida77@gmail.com

Литвиненко Руслан Сергеевич, к.т.н, доцент, КГЭУ, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, litrus277@yandex.ru