

Концептуальная модель участка электрифицированной железной дороги

В.С. Могила

Первым шагом в разработке имитационной модели сложной системы является формирование концептуальной модели на основании достаточно подробного описания исследуемой системы в терминах предметной области. Концептуальная модель участка электрифицированной железной дороги представлена в виде диаграммы на рисунке 1.

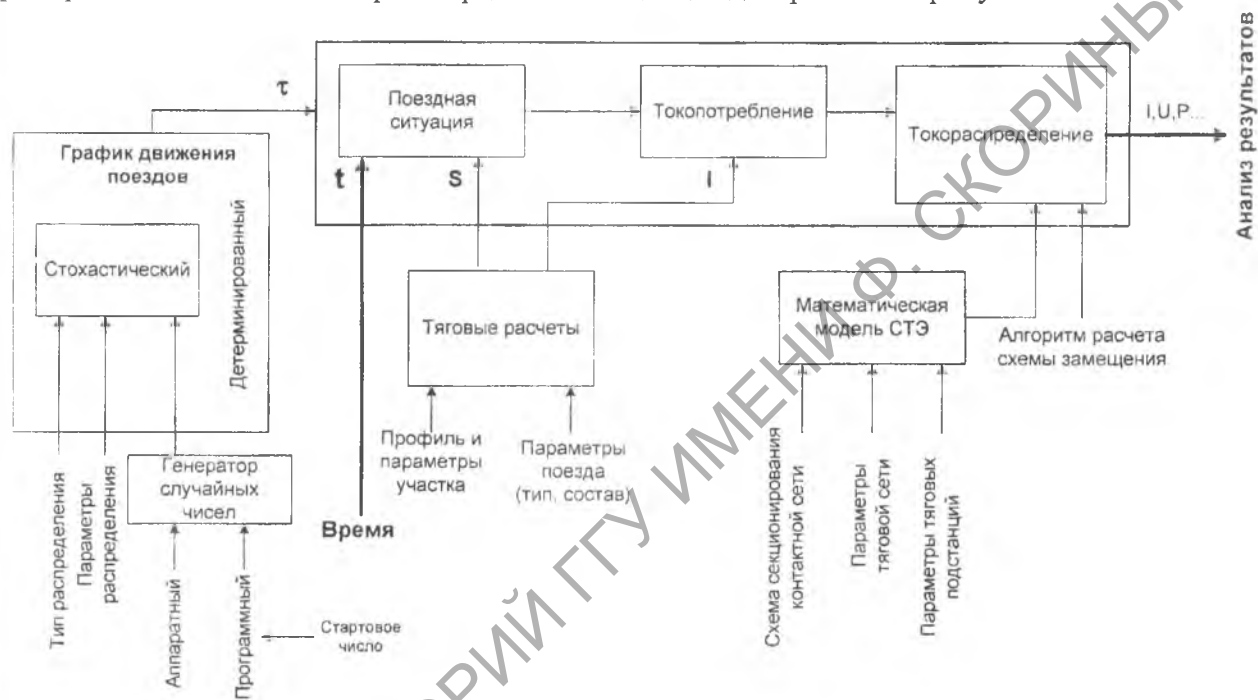


Рисунок 1 – Концептуальная модель участка электрифицированной железной дороги

Представленная концептуальная модель наглядно отображает детализированную логическую схему моделирующего алгоритма, состоящую из следующих блоков:

- блок формирования графика движения поездов;
- блок выполнения тяговых расчетов;
- блок определения поездной ситуации;
- блок формирования математической модели системы тягового электроснабжения;
- блок расчета токораспределения в системе тягового электроснабжения участка электрифицированной железной дороги;
- блок анализа результатов вычислительного эксперимента.

Основное предназначение имитационной модели электрифицированной железной дороги состоит в определении ряда интересующих исследователя показателей ее работы и, в частности, системы электроснабжения. Показатели работы системы электроснабжения, в свою очередь, определяются расположением и токопотреблением поездов на участке, т.е. поездной ситуацией на каждом шаге моделирования. При производстве вычислительного эксперимента текущая поездная ситуация формируется на основании используемого графика движения поездов и результатов тяговых расчетов.

Блок формирования графика движения. Представляется целесообразной реализация возможности использования как вероятностного (стохастического), так и исполненного (детерминированного) графика движения поездов. Это позволит оценивать параметры работы системы тягового электроснабжения при различных режимах пропуска поездов по участку.

Конкретная реализация вероятностного графика определяется выбранным законом распределения числа поездов, одновременно находящихся на участке, и параметрами используемого датчика базовых случайных величин. Наиболее характерным для железной дороги признан гипергеометрический закон распределения числа поездов на участке, имеющий хорошее совпадение со статистическими данными [1]. Д.т.н. К.Г. Марквардтом предложен модифицированный гипергеометрический закон распределения числа поездов для непрерывного, а не дискретного изменения межпоездных интервалов [2], повышающий степень адекватности модели движения поездов на участке железной дороги.

Блок выполнения тяговых расчетов. Реализация графика движения определяет лишь момент отправления поезда с конечного остановочного пункта, расположение поезда в конкретный момент времени определяется на основании результатов предварительно выполненных тяговых расчетов. Тяговые расчеты выполняются путем численного интегрирования уравнения движения поезда. Непосредственные результаты тяговых расчетов представляют собой кривые скорости, времени, активного и полного тока в функции пройденного поездом пути. Анализ этих кривых позволяет определить такие интегральные параметры, как общее время хода, а также время хода в режимах тяги, выбега или торможения, абсолютный и удельный расход электрической энергии на тягу поезда.

На результат тягового расчета существенное влияние оказывает режим ведения поезда, который может быть направлен на оптимизацию прохождения участка, например, с минимальным расходом электроэнергии на тягу или с минимальным временем хода.

Блок определения поездной ситуации. Определение расположения поездов на участке и их токопотребления в текущий момент времени позволяет сформировать мгновенную схему замещения системы тягового электроснабжения участка электрифицированной железной дороги.

Блок формирования математической модели СТЭ. Формирование мгновенной схемы производится на основе математической модели системы тягового электроснабжения, построенной по агрегатному принципу и включающей в себя математические модели внешней системы электроснабжения, тяговой подстанции, контактной сети, а также электроподвижного состава.

Математическая модель тягового трансформатора, построенная на основе магнитосвязанных цепей первичных и вторичных обмоток, учитывает такие важные особенности, как активные сопротивления обмоток, индуктивности рассеяния, магнитные потери от гистерезиса и вихревых токов. Схема замещения контактной сети собрана из каскадно-включенных ячеек-многополюсников. Каждая такая ячейка представляет собой модель элементарного участка тяговой сети, учитывающая наличие как проводов, так и индуктивных связей между контурами, образованными проводами и землей. Также учитывается переходная проводимость между рельсовой сетью и верхним строением пути, что позволяет учитывать различные климатические и погодные условия. Электроподвижной состав замещается отрицательными источниками тока, подключаемыми к узлам цепочечной схемы. Такая дискретность расположения поездов оказывает отрицательное влияние на точность результатов моделирования, которое может быть снижено увеличением числа ячеек контактной сети.

Блок расчета токораспределения. Расчет токораспределения в мгновенной схеме замещения производится посредством узлового анализа – наиболее популярного метода компьютерного расчета электрических цепей. На основе матрицы узловых потенциалов рассчитываются токи и напряжения всех ветвей схемы замещения участка электрифицированной железной дороги переменного тока.

Блок анализа результатов вычислительного эксперимента. Зная напряжения и токи ветвей схемы, несложно определить такие энергетические параметры работы системы электроснабжения – активные и реактивные мощности тяговых подстанций, абсолютные и

удельные величины потерь электрической энергии в тяговых трансформаторах и контактной сети, потребление активной и реактивной энергии электроподвижным составом.

Необходимым условием обеспечения безопасности и надежности перевозочного процесса на электрифицированной железной дороге является находящийся в заданных границах уровень напряжения на токоприемниках электроподвижного состава. В настоящее время в качестве основных критериев качества напряжения при расчете пропускной способности участка и определении надежности электроснабжения электроподвижного состава используются минимальный и средний уровни напряжения на пантографе в режиме тяги.

Важным элементом анализа результатов имитационного моделирования является оценка погрешности. При моделировании стохастического графика движения в результате вычислительного эксперимента всегда присутствует случайная погрешность. Величина случайной погрешности может быть оценена по значению среднеквадратичного отклонения отклика в серии опытов, причем для каждого опыта формируется случайный график движения.

Вывод. Представленная концептуальная модель позволяет на ее основе разработать алгоритмическую и имитационную модели, пригодные для математического моделирования работы системы тягового электроснабжения участка электрифицированной железной дороги.

Abstract. A conceptual model of electrified railway section is considered in the paper.

Литература

1. К. Г. Марквардт, Энергоснабжение электрических железных дорог, Москва, Транспорт, 1965.

2. К. Г. Марквардт, О совершенствовании расчетов системы энергоснабжения электрических железных дорог, Вопросы энергоснабжения электрических железных дорог, Труды МИИТа, Вып. 340 (1970), 3–12.

Белорусский государственный
университет транспорта

Поступило 19.05.06