

УДК 621.331:621.311 + 519.876.5

Статистическое моделирование при исследовании системы тягового электроснабжения

В. С. МОГИЛА, А. В. ВОРОНИН

В настоящее время имитационное моделирование получило широкое распространение во всем мире в качестве надежного инструмента выбора оптимальных параметров систем тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог [1]. В Белорусском государственном университете транспорта авторами статьи в сотрудничестве со службой электроснабжения Белорусской железной дороги разработаны методика и прикладное программное обеспечение для выполнения имитационного моделирования работы системы тягового электроснабжения участка железной дороги, электрифицированного по системе $1 \times 27,5$ кВ или 2×25 кВ переменного тока промышленной частоты.

Частным случаем имитационного моделирования при исследовании систем тягового электроснабжения является статистическое моделирование. Статистическое моделирование подразумевает последовательный расчет мгновенных схем замещения, формируемых в соответствии с поездной ситуацией. Причем поездная ситуация для каждого случая формируется исходя из модифицированного гипергеометрического распределения числа поездов, находящихся одновременно на исследуемом участке железной дороги [2]. В качестве параметров распределения используются минимальный межпоездный интервал и среднее число пар поездов, проходящих за сутки по участку.

Последовательно формируемые поездные ситуации (и, соответственно, схемы замещения) не связаны друг с другом, что не позволяет учесть последовательность возникновения тяговых нагрузок. Этот недостаток (по сравнению с полноценным имитационным моделированием) не позволяет определить ряд параметров работы системы тягового электроснабжения (отжиг проводов, старение изоляции трансформаторов и машин, работа ступенчатых регуляторов АРПН и т.д. [2]). Но, тем не менее, такие интегральные величины, как средние потери энергии, средний уровень напряжения на токоприемниках электропоездов за время хода их под током, вполне могут быть определены методом статистического моделирования с меньшими вычислительными и временными затратами [3].

Для проверки пригодности метода статистического моделирования при исследовании систем тягового электроснабжения было выполнено моделирование для участка Белорусской железной дороги «Осиповичи – Пуховичи», питающегося по системе $1 \times 27,5$ кВ от тяговой подстанции «Вереяцы». Моделировалось движение пригородных электропоездов ЭР9 по стохастическому графику с минимальным межпоездным интервалом 10 минут и средним числом 25 пар поездов в сутки.

Была выполнена серия вычислительных экспериментов с разным числом анализируемых поездных ситуаций. В качестве отклика была выбрана средняя величина напряжения на токоприемниках электроподвижного состава – важный параметр, характеризующий надежность электроснабжения.

Гипотеза о нормальности распределения отклика должна быть отвергнута (в соответствии с результатами статистических тестов χ^2 , на Z -значение для эксцесса и асимметрии при объеме выборки 8192). В таблице 1 представлено изменение таких статистик отклика, как выборочное среднее (первый начальный момент), являющееся оценкой математического ожидания, и квадратный корень второго центрального момента, являющийся оценкой среднеквадратичного отклонения, при увеличении объема выборки, т.е. числа рассчитываемых мгновенных схем.

Таблица 1 – Статистические характеристики отклика

Кол-во рассчитанных мгновенных схем	128	1024	2048	4096	8192
Оценка математического ожидания, кВ	26.9724	26.8391	26.8249	26.7982	26.7936
Оценка среднеквадратичного отклонения, кВ	0.178137	0.0949558	0.0733262	0.0589101	0.0424348

На рисунке 1 отражена тенденция к уменьшению оценки среднеквадратичного отклонения отклика, характеризующей погрешность вычислительного эксперимента, при увеличении числа рассчитываемых мгновенных схем, что свидетельствует о сходимости результатов вычислительного эксперимента.

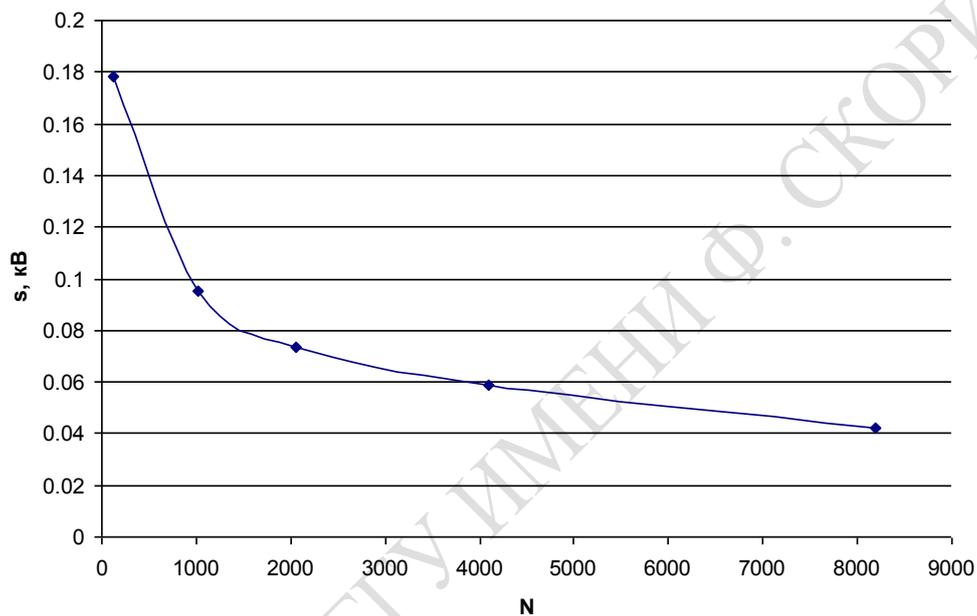


Рисунок 1 – Изменение оценки среднеквадратичного отклонения среднего напряжения на токоприемнике электроподвижного состава

Результаты проведенного исследования вполне подтверждают возможность использования метода статистического моделирования, требующего меньших вычислительных затрат, при анализе параметров работы участка электрифицированной железной дороги.

Abstract. The capability of statistical modeling use for traction power-supply system analysis is considered in the paper. The results of experimental research of statistical modeling efficiency are given.

Литература

1. Выбор системы тягового электроснабжения, Железные дороги мира, № 4 (1999), 22–29.
2. К. Г. Марквардт, О совершенствовании расчетов системы энергоснабжения электрических железных дорог, Труды МИИТ, Вып. 340 (1970), 3–12.
3. Р. И. Мирошниченко, М. С. Гочуа, Д. А. Палей и др., Решение задач энергоснабжения на электронных машинах, Москва, Транспорт, 1971.