

охлаждения компонентов 2-й группы потребуется разработка способа предварительного охлаждения сетевой воды до температур 2–4 °С. Компоненты 3-й группы могут быть охлаждены до температуры конденсации низкотемпературными хладагентами.

С целью определения возможности двухступенчатой очистки газовой смеси наряду с температурами конденсации компонентов определяли их растворимость в воде при 20 °С.

Теплофизические свойства потоков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплофизические свойства потоков

Свойство	Горячий поток (газовоздушная смесь)			Холодный поток (вода)
	160	90	125	
Температура, °С	160	90	125	30
Плотность ρ , кг/м ³	0,815	0,973	0,876	996
Вязкость кинематическая $\nu \cdot 10^{-6}$ м ² /с	30,09	22,11	26,63	0,805
Вязкость μ , Па·с	0,000025	0,000022	0,000023	0,000802
Удельная теплота конденсации ДИНФ, кДж/кг	90,19	74,34	82,23	–
Теплоёмкость c , кДж/(кг·К)	1,017	1,009	1,011	4,175
Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	3,63	3,14	3,41	0,618
Критерий Прандтля Pr	0,682	0,690	0,690	5,42
Скорость потока w , м/с	7,8	7,8	7,8	1,5

При расчете коэффициента теплоотдачи со стороны конденсирующегося пара схема расчета выбиралась в зависимости от конструкции конденсатора и режима течения пара.

В результате теплотехнических расчетов определено, что охлаждение газовой смеси от 160 до 90 °С может быть обеспечено установкой в магистральный газопровод кожухотрубного теплообменника, состоящего, по предварительной оценке, из 7 стальных труб $d_y = 21$ мм длиной 0,8 м каждая, установленных шахматным пучком. Для предварительного расчета теплообменника начальную температуру охлаждающей воды принимали равной 20 °С, конечную – 60 °С.

Таким образом, проведенные исследования и расчеты показали, что компоненты паровой смеси, конденсирующиеся при $t \geq 15$ °С при охлаждении от 160 до 90 °С существенно снижают концентрацию. В частности, концентрация диизонилфталата снизилась более чем в 300 раз.

УДК 622.23.08

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*И. С. ЕВДАСЕВ, А. В. ДРОБОВ, В. Н. ГАЛУШКО, И. С. ДЕМИДОВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При учете электромагнитных процессов система нетягового электроснабжения железной дороги переменного тока представляет собой многомерный нелинейный динамический объект. Ввиду большой размерности, сложности и недостаточной информационной обеспеченности практическое использование динамических моделей систем нетягового электроснабжения на современном этапе не представляется возможным. Поэтому для определения режимов данных систем актуально использование имитационного моделирования.

Целью данной работы является разработка программы определения варианта организации электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта на основании метода статистических испытаний. Выбор наилучшего варианта осуществляется по критериям наименьших приведенных затраты и вероятности безотказной работы.

Ниже приведено описание трех разработанных программ, позволяющих выбрать наилучший вариант электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта.

1 *Имитационная модель электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ УЗЛОВ)*. Программа позволяет: выбрать номинальную мощность трансформаторов; рассчитать сечения проводов кабелей по критерию допустимого нагрева; выполнить технико-экономический расчет и сохранение результатов первого варианта организации электроснабжения по критерию приведенных затрат.

2 *Имитационная модель электросетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки железнодорожных участков*. Алгоритм ИМ электроснабжения электросетей продольного электроснабжения и линий автоматической блокировки (АБ) железнодорожных участков (ИМ ПЭ) основан на поиске варианта организации электроснабжения с наименьшей величиной технологического расхода электрической энергии на ее транспортировку с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора электрооборудования. Расчет с помощью ИМ ПЭ позволяет достичь следующих результатов:

- визуализации расстановки потребителей с помощью координатной оси;
- расчет полной мощности потребителя, на основании которой осуществляется выбор номинальной мощности трансформаторов потребителей и коэффициенты загрузки;
- расчет потерь ЭЭ в трансформаторах и линиях на основании ТКП 460-2012;
- потребление активной и реактивной ЭЭ за определенное время (по умолчанию принимается один год) для каждого потребителя с учетом количества рабочих смен в сутки потребителя;
- нагрузки на высокой стороне за счет добавления потерь в трансформаторах ТП;
- суммарные ТРЭТ в элементе (линии, трансформаторы) электрической сети;
- расчет полной мощности линий ПЭ и АБ;
- потери в головном трансформаторе, питающем линии ПЭ и АБ;
- распределение ТРЭТ между абонентами дистанции электроснабжения.

3 *Имитационная модель оценки параметров надёжности электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта (ИМ НАДЕЖН)*. Данная программа позволяет рассчитать вероятность безотказной работы ИМ ПЭ и N' наиболее эффективных вариантов ИМ УЗЛОВ. На основании полученной информации выявляются наиболее “узкие места” в различных вариантах схем электроснабжения, разрабатываются мероприятия по повышению надежности электроснабжения.

Для фидера № 1212 ТП-313 ЭЧС-4 Барановичской дистанции электроснабжения при $N = 1000$ модельных экспериментах вероятность безотказной работы составила 0,969306, а при аналитическом расчете – 0,969, что указывает на приемлемую точность результатов.

Статистическая проверка адекватности математической модели ИМ УЗЛОВ. Проверка адекватности результатов программы и аналитического расчета активной и реактивной мощностей проводилась на шаге расчета, соответствующего выбору полной мощности трансформаторов, для фидера № 206 ЭЧС-16 Витебской дистанции электроснабжения. Выполнение алгоритма проверки адекватности позволило сформулировать следующие выводы: результаты ИМ УЗЛОВ можно считать не противоречащими аналитическому расчету; критерий Фишера $|t| < t_{\text{крит}}$ указывает на отсутствие в ИМ УЗЛОВ систематической погрешности; радиус доверительного интервала не превосходит допустимой погрешности. Все пункты проверки расчета мощностей указывают на адекватность имитационной модели ИМ УЗЛОВ.

С помощью разработанной программы ИМ УЗЛОВ определяются наиболее эффективные варианты организации электроснабжения. ИМ ПЭ позволяет найти вариант организации электроснабжения с наименьшей величиной ТРЭТ с помощью метода статистических испытаний на основании рационального подбора оборудования. ИМ ПЭ используется для правильного выбора трансформаторов, кабельных или воздушных линий для ИМ УЗЛОВ. ИМ НАДЕЖН позволяет оценивать вероятность безотказной работы всей системы на основании данных о интенсивности отказов оборудования. Результаты ИМ УЗЛОВ, ИМ ПЭ и ИМ НАДЕЖН являются исходной информацией для оценки наиболее эффективных решений с использованием весовых коэффициентов важности. Весовые коэффициенты могут быть определены с помощью регрессионного

анализа или экспертного метода опроса. Для Витебского узла с помощью представленных программ была определена схема питания потребителей, которая обеспечивает снижение потерь мощности в линиях 6–10 кВ на 10–11 %.

УДК 622.23.08

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ

И. С. ЕВДАСЕВ, А. В. ДРОБОВ, Е. В. КУРОПАТКИН, В. Н. ГАЛУШКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Целью работы является решение актуальной научно-технической проблемы создания эффективного метода и средств исследования надежности сложных электрических систем (СЭС) сетей 0,4 кВ. Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие задачи: разработан метод имитационного моделирования надежности СЭС сетей 0,4 кВ; разработан программно-технологический комплекс имитационного моделирования, обеспечивающий реализацию метода; апробированы разработанный метод имитации, средства автоматизации имитационных экспериментов и технологии использования этих средств для реализации метода и методик решения задач проектного моделирования СЭС.

В имитационной модели могут быть реализованы произвольные вероятностные закономерности надежностных свойств элементов и воздействий на систему. На основании исходных данных составляется матрица надежности СЭС для различных вариантов.

При заполнении ячеек для оценки надежности данной информации используется графоаналитический способ, либо на основе последовательно-параллельных связей элементов (для упрощения схем используется приближенный метод преобразования треугольника в звезду и обратно). В качестве источника информации может быть использован “Комплекс автоматизированного диспетчерского управления”.

После заполнения ячеек матрицы для каждого элемента ее содержимого, характеризующегося определенной вероятностью безотказной работы, с помощью генераторов псевдослучайных чисел на каждый элемент разыгрывается случайное число, определяющее его состояние. После розыгрыша каждый элемент схемы (системы) принимает одно из двух логических значений – исправен или неисправен. Полученные для каждого розыгрыша результаты позволяют определить вероятность безотказной работы системы для определенного промежутка времени работы системы на основании N имитационных экспериментов.

Программный инструментарий имитационной модели при анализе работоспособности системы позволяет моделировать отказ потребителя электрической энергии, исходя из климатических и производственных условий его эксплуатации. Для этой цели используются дополнительные элементы программы, реализованные в виде аналитических моделей определения показателей безотказности функционирования восстанавливаемых или невосстанавливаемых объектов в программе Mathcad для различных законов распределения. В качестве наиболее значимых показателей безотказности используются вероятность безотказной работы, средняя наработка, гамма-процентная наработка до отказа, средняя остаточная наработка до отказа.

Анализ результатов модельных экспериментов на имитационной модели СЭС при сравнении различных альтернативных вариантов электроснабжения реализуется следующим образом: оценка надежности всей системы и каждого потребителя в отдельности с помощью множества откликов при изменении параметров процесса; выбор рационального варианта организации СЭС с точки зрения надежности; поиск «узких» мест в СЭС.

Практическое применение программного инструментария заключается в оптимизации технических решений по обеспечению надежности при проектировании и эксплуатации сложных электрических систем. Результаты исследования позволяют прогнозировать показатели надежности электрооборудования СЭС; установить «узкие места» в обеспечении надежности; разработать мероприятия по повышению эффективности функционирования электрооборудования.