

УДК 621.331

В. Г. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук, проф., Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ НЕНАДЁЖНОСТИ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, УЧАСТВУЮЩЕГО В РЕГУЛИРОВАНИИ РЕЖИМОВ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В данной статье на основе информации о суммарной величине потока отказов и типовых калькуляций работ по ликвидации последствий отказов разработана модель экономического ущерба от возможных отказов при осуществлении регулировочных воздействий в системе электроснабжения тяги поездов.

Ключевые слова: система электроснабжения тяги поездов, экономический ущерб, отказ, регулирование режимов.

Введение. Подходы к оценке экономического ущерба от ненадёжности силового оборудования определяются типом предприятия, для которого производится регулировка режимов работы оборудования. Ущерб может быть выражен в виде стоимости недовыпущенной продукции или стоимости расходов от простоя вследствие перерывов в электроснабжении, недополученных доходов энергопередающих компаний или социального ущерба при рассмотрении систем электроснабжения жилищно-коммунального сектора. В данной диссертации мы будем рассматривать лишь составляющую ущерба, связанную с уменьшением надёжности силового оборудования тяговых подстанций и контактной сети при осуществлении регулирования режимов с целью достижения рационального.

Цель статьи. Разработать модель экономического ущерба от ненадёжности силового оборудования для задач регулирования режимов системы тягового электроснабжения.

© В. Г. КУЗНЕЦОВ, 2013

Обзор литературы. В общем виде величина экономического ущерба при осуществлении регулирования режимов на тяговых подстанциях может быть определена как сумма:

$$Y = \Delta D + Y_{\text{отк}}, \quad (6)$$

где ΔD – недополученные доходы железной дороги из-за перерыва в электроснабжении (или в связи с пониженной эффективностью системы электроснабжения);

$Y_{\text{отк}}$ – составляющая ущерба, связанная с ликвидацией последствий отказа силового оборудования.

Исходные данные для расчёта экономического ущерба могут быть получены из ежегодных отчётов Главного управления электрификации и электроснабжения Укрзалізничці [1]. Первая составляющая ущерба может быть определена следующим образом [2]:

$$\Delta D = \Delta W \cdot C_{\text{э}} \cdot \omega \cdot T, \quad (7)$$

где ΔW – недоотпущенная потребителям электроэнергия, кВт·ч;

$C_{\text{э}}$ – тариф на электроэнергию;

ω – суммарный параметр потока отказов СТЭ;

T – среднее время недоотпуска электроэнергии.

Составляющая ущерба, связанная с ликвидацией последствий отказа силового оборудования, может быть определена следующим образом

$$Y_{\text{отк}} = C_{\text{зп}} + C_{\text{тр}}, \quad (8)$$

где $C_{\text{зп}}$ – расходы на заработную плату персоналу, который чувствует в ликвидации аварии;

$C_{\text{тр}}$ – транспортные расходы.

Для расчёта суммарного параметра потока отказов ω системы электроснабжения тяги поездов необходимо составить структурно-логическую модель системы тягового электроснабжения, затем преобразовать её к элементарному виду [3].

Основной материал. Отказы силового оборудования систем тягового электроснабжения железных дорог вызывают потери в эксплуатационной работе транспорта, связанные с остановкой поездов и перерывами в перевозочном процессе. Для электроснабжения тяги экономический ущерб может быть определён по следующему выражению:

$$Y = Y_{\text{пр}} + Y_{\text{ост}} + Y_{\text{отк}}, \quad (9)$$

где $Y_{\text{пр}}$ – ущерб, связанный с простоем поездов от отказа СТЭ;

$Y_{\text{ост}}$ – ущерб, связанный с остановкой поездов.

Первая составляющая ущерба может быть определена по нормативному документу [2]

$$Y_{\text{пр}} = \sum Nt_{\text{гр}} \cdot C_{Nt_{\text{гр}}} + \sum Nt_{\text{пс}} \cdot C_{Nt_{\text{пс}}}, \quad (10)$$

где $\sum Nt_{\text{гр}}$, $\sum Nt_{\text{пс}}$ – поездо-часы простоя грузовых и пассажирских поездов соответственно при отказе силового оборудования во время регулирования режимов; $C_{Nt_{\text{гр}}}$, $C_{Nt_{\text{пс}}}$ – укрупненная расходная ставка простоя грузовых и пассажирских поездов соответственно, грн./поездо·ч [4,5].

Величина времени задержки поездов зависит от параметров потока поездов, средней продолжительности простоя поездов при авариях данного типа, от типа системы сигнализации и связи. Среднее время простоя поездов вследствие отказов силового оборудования во время регулирования режимов может быть определена по данным эксплуатации дистанций электроснабжения. При отсутствии данных эксплуатации для приближённых теоретических расчётов поездо-часов отключения тяговой сети может использоваться следующая формула

$$\sum Nt_{\text{откл}} = \omega \cdot N_{\text{сут}} \cdot l_{\text{уч}} \cdot T, \quad (11)$$

где ω – суммарный параметр потока отказов СТЭ из-за регулирования режимов, ед./поездо·км;

$N_{\text{сут}}$ – суточные размеры движения на участке, поездов/сут;

$l_{\text{уч}}$ – длина участка, км;

T – среднее время закрытия участка в результате одного отказа устройств электроснабжения в результате регулирования режимов.

Величину экономического ущерба, связанного с остановкой поездов вследствие перерывов в электроснабжении можно определить так

$$Y_{\text{ост}} = \sum N_{\text{з.гр}} \cdot C_{\text{ост.гр}} + \sum N_{\text{з.пс}} \cdot C_{\text{ост.пс}}, \quad (12)$$

где $\sum N_{\text{з.гр}}$, $\sum N_{\text{з.пс}}$ – число поездов, которые были задержаны (грузовых и пассажирских соответственно) при заданных параметрах потока поездов;

$C_{\text{ост.гр}}$, $C_{\text{ост.пс}}$ – стоимость остановки грузового и пассажирского поезда [4,5].

Величину экономического ущерба от ненадёжности регулировочных устройств во время осуществления регулирования режимов систем тягового электроснабжения можно определить по (8), где каждая из четырёх составляющих будет учитывать материальные затраты на восстановление работоспособности элемента. Затраты труда на выполнение операций по восстановлению работоспособности элементов могут быть определены по [6]. Стоимость отдельных операций рассчитывается по типовым калькуляциям работ.

С другой стороны, общий ущерб можно разбить на четыре составляющие по типу регулирующих воздействий:

$$Y = Y_U + Y_{\text{пт}} + Y_{\text{тт}} + Y_{\text{кс}}, \quad (13)$$

где Y_U – составляющая ущерба, вызванная ненадёжностью силового оборудования, задействованного в регулировании напряжения на шинах тяговых подстанций;

$Y_{\text{пт}}$ – составляющая ущерба, вызванная ненадёжностью силового оборудования, задействованного в переключении понизительных трансформаторов на параллельную работу;

$Y_{\text{тт}}$ – составляющая ущерба, вызванная ненадёжностью силового оборудования, задействованного в переключении преобразовательных агрегатов тяговых подстанций на параллельную работу;

$Y_{\text{кс}}$ – составляющая ущерба, вызванная ненадёжностью силового оборудования, задействованного в переключении схем питания контактной сети.

Стоимость отказа каждого элемента системы электроснабжения, который задействован в процессе регулирования режимов, можно рассчитать по следующему выражению:

$$Y = \sum_{i=1}^m C_i P_i t_{\text{отк}} , \quad (14)$$

где C_i – средняя стоимость часа отказа для i - того состояния отказа элемента;

$t_{\text{отк}}$ – продолжительность периода, в котором рассчитывается ущерб от отказа;

m – общее число состояний, в которых присутствует отказ.

В том случае когда в системе применяются различные методы резервирования, т.е. когда имеются резервные элементы в системе, ущерб от отказа может быть рассчитан по следующему выражению:

$$Y = \sum_{i=1}^{m_1} C_i P_i t_{\text{отк}1} + \sum_{i=1}^{m_2} C_i P_i t_{\text{вр}} , \quad (15)$$

где C_i – стоимость часа отказа системы (элемента), грн./ч.

m_1 – число состояний с отказом, в которых количество отказавших элементов превосходит число резервных элементов;

m_2 – число состояний с отказом, в которых число отказавших элементов не превосходит число резервных элементов;

$t_{\text{вр}}$ – время, в течение которого происходит ввод резервных элементов в работу.

Очевидно, что доля второго слагаемого в выражении (15) меньше, чем первого слагаемого. Если время ввода в работу резервных элементов достаточно мало, то вторым слагаемым можно пренебречь.

Величина C_i представляет собой среднюю величину за время длительности отказа. Ущерб в данном случае возникает из-за перерыва в электроснабжении. В общем случае ущерб от перерыва в электроснабжении будет зависеть не только от длительности интервала времени, в течении которого ликвидировался отказ, но и от положения этого интервала на оси времени. При одноставочных тарифах на электроэнергию величина ущерба от отказа i -го элемента может быть рассчитана по известному тарифу на электроэнергию и средней продолжительности перерыва в электроснабжении

$$C_i = \frac{C_9}{t_{\text{отк}}} \sum_{l=1}^k S_l t_l , \quad (16)$$

где C_9 – величина одноставочного тарифа на электроэнергию;

S_l – потеря мощности в l - м интервале;

t_l – продолжительность l -го интервала;

k – общее количество интервалов.

$$t_{\text{отк}} = \sum_{l=1}^k t_l , \quad (17)$$

Для учёта экономического ущерба от возможных отказов при регулировании режимов СТЭ необходимо прежде всего описать все возможные ситуации, которые могут возникнуть при регулировании, определить степень риска, просчитать стоимость операций по ликвидации отказов, стоимость остановки или простоя поездов в пути следования (для отказов, связанных с фактами простоя или остановки поездов). Все возможные ситуации заносим в табл.

Таблица – Экономические риски от возможных отказов

Ситуация	Описание рассматриваемого отказа	Суммарный параметр потока отказов, $\omega(t)$, 1/перекл.	Стоимость операции по восстановлению ресурса (замены), грн.
Переключение понизительных трансформаторов на параллельную работу (или в обратном направлении)	Восстановление (ремонт) выключателя переменного тока	0,008	2 400
Переключение преобразовательных трансформаторов на параллельную работу	Восстановление (ремонт) выключателя переменного тока или быстродействующего выключателя постоянного тока	0,029	2 400
Регулирование напряжения на шинах тяговой подстанции при однострансформаторной схеме	Восстановление (ремонт) устройств РПН	$5,71 \cdot 10^{-5}$	30 000
Регулирование напряжения на шинах тяговой подстанции при двухтрансформаторной схеме	Восстановление (ремонт) устройств РПН, ввод в работу резервного питания	Может быть рассчитан по формуле $\omega(t) = \frac{Q'(t)}{P(t)}$	Возможна задержка поездов или прекращение движения в некоторых случаях
Переключение со схемы двухстороннего питания на схему параллельного питания (и обратно)	Восстановление (ремонт) выключателей постоянного тока на пункте параллельного соединения (ППС) или poste секционирования (ПСК)	0,2	9 600
Переключение со схемы узлового питания на схему параллельного питания (и обратно)	Восстановление (ремонт) выключателей постоянного тока на ППС или ПСК	0,1	4800
Переключение со схемы двухстороннего питания на схему узлового питания	Восстановление (ремонт) выключателей постоянного тока на ППС или ПСК	0,1	4800

Вывод. Предложенная модель экономического ущерба от возможных отказов системы тягового электроснабжения позволяет определить величину ущерба для разных ситуаций, которые связаны с регулированием режимов. Для каждой элементарной ситуации данная модель предусматривает представление ущерба в виде произведения вероятности отказа на стоимость операции по восстановлению (замены) оборудования, которое утратило работоспособность. Среднюю величину указанных сомножителей рекомендовано получать в условиях эксплуатации по заводским инструкциям и калькуляциям работ соответственно.

Список литературы: 1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2010 році [Текст] / .-К. Державна адміністрація залізничного транспорту, 2011.-244с. 2. Гусарова, Е.В.

Экономическое обоснование эффективности проектных решений и внедрения новой техники на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. пособие / Е.В. Гусарова.-Хабаровск:Изд.-во ДВГУПС,2008.-157с. 3. Кузнецов, В.Г. Учёт надёжности систем тягового электроснабжения при регулировании их режимов [Текст] / В.Г. Кузнецов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.-2012.-№3/8 (57).-С.20-24. 4. Рекомендації з техніко-економічних розрахунків окремих показників експлуатаційної роботи залізниць. ЦД-0037: Затв. Наказом Укрзалізниці від 18.06.2001 № 329-Ц [Текст] / розроб. О.Ф. Вергун, Л.Ю. Гаркуша.-К. Транспорт України,2001.-64с. 5. Практичні рекомендації з технологічного-економічного управління експлуатаційною роботою залізниць. ЦД-0068 : Затв. Наказом Укрзалізниці від 10.11.2006 №412-Ц [Текст] / розроб. В.О. Шини.-К.:Мін-во трансп. та зв'язку України. Держ. адмін. заліз. трансп. України. Укрзалізниця. Голов. упр. перевезень,2007.-56с. 6. Технологічні карти з капітального, поточного ремонтів і профілактичних випробувань специфічного обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць [Текст] / розроб. ВАТ „Укртранспроект”.-К.:Укрзалізниця. Головне управління електрифікації та електропостачання,2008.-107с.

Поступила в редколлегию 02.06.2013

УДК 621.331

Модель экономического ущерба от ненадёжности силового оборудования, участвующего в регулировании режимов системы тягового электроснабжения/ Кузнецов В. Г. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 38 (1011). – С.135-140 . – Бібліогр.: 6 назв.

У даній статті на основі інформації про сумарну величину потоку відмов і типових калькуляцій робіт по усуненню наслідків відмов розроблено модель економічного збитку від можливих відмов при здійсненні регулювання режимів в системі електропостачання тяги поїздів.

Ключові слова: система електропостачання тяги поїздів, економічний збиток, відмова, регулювання режимів.

This article presents the model of economic damage from possible failures during regimes regulation of power traction supply systems on the basis of information on the overall failure rate and standard price calculations of works.

Keywords: railway power supply system, economic damage, failure, regulation of regimes