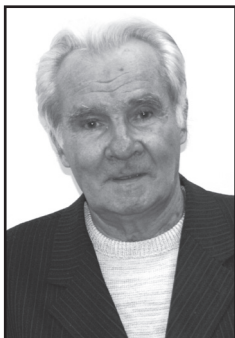




Многопроводные тяговые сети переменного тока



Юрий ЧЕРНОВ
Yuri A. CHERNOV

Максим ГАВРИЛОВ
Maxim S. GAVRILOV



Чернов Юрий Антонович — доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Гаврилов Максим Станиславович — студент 5-го курса МИИТ, Москва, Россия.

Изложен метод расчета токораспределения в проводах многопроводной тяговой сети переменного тока. Предложены формулы определения сопротивления одного пути многопроводной тяговой сети двухпутной линии и взаимного сопротивления проводов двух путей с учетом наведенных токов в проводах второго пути, позволяющие при расчете режимов электроснабжения использовать программное обеспечение для системы 25 кВ. Полученные уравнения, имея в виду условия тяговой сети с экранирующим и усиливающим проводами, дают возможность применять их при исключении любого провода или нескольких проводов из наличествующей многопроводной совокупности.

Ключевые слова: железная дорога, многопроводная тяговая сеть, переменный ток, сопротивления проводов, токораспределение, методика расчета, математический аппарат.

Для повышения эффективности электроснабжения железных дорог, электрифицированных по системе переменного тока 25 кВ, уже давно предлагалось использовать усиливающий провод (УП), соединенный параллельно с контактной подвеской [1]. До этого на Северо-Кавказской дороге в конце 70-х годов прошлого века был реализован вариант с экранирующим и усиливающим проводами (ЭУП) [2]. Он стал аналогом системы, ранее разработанной в Японии, когда с целью уменьшения магнитного потока между контактной сетью и рельсами (а тем самым значительно снижается индуктивное сопротивление тяговой сети) удалось применить коаксиальный кабель. При этом контактная сеть присоединяется к жиле кабеля, а рельсы к его оболочке.

Экономия капитальных затрат предполагает в подобных случаях осуществлять поэтапное наращивание мощности системы электроснабжения [3]. На первом этапе электрификация ориентирована на увеличение расстояний между подстанциями. В зависимости от роста грузопотока определяется очередность следующего этапа

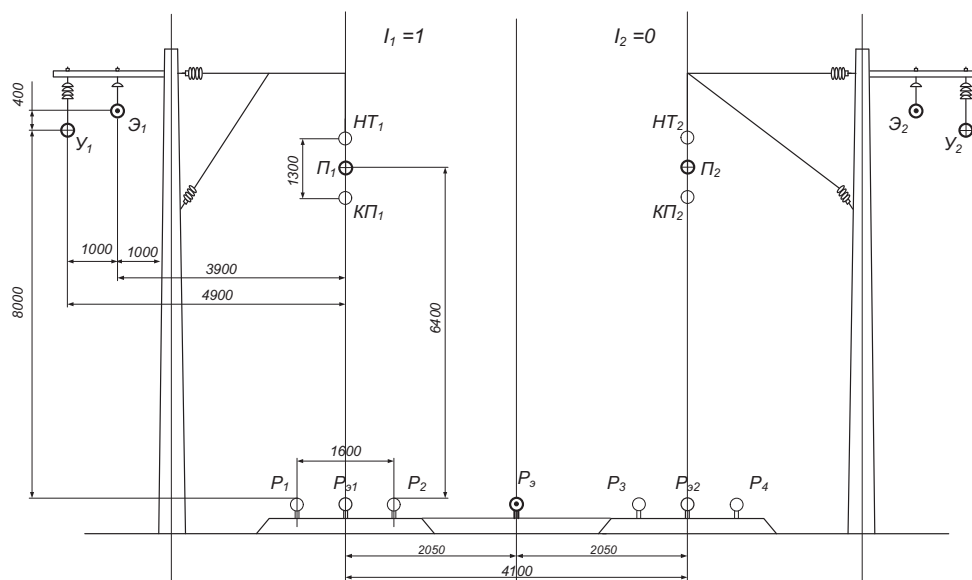


Рис. 1. Расположение проводов на двухпутной линии.

Обозначения: Y_1, Y_2 – усиливающие провода первого и второго путей; $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ – экранирующие провода первого и второго путей; $КП_1, КП_2$ – контактные провода первого и второго путей; $НТ_1, НТ_2$ – несущие тросы первого и второго путей; P_1, P_2 – одиночные рельсы первого пути; P_3, P_4 – одиночные рельсы второго пути; P_{31}, P_{41} – эквивалентные провода первого и второго путей; P_{32}, P_{42} – эквивалентные рельсы первого и второго путей; P_3 – эквивалентный рельс обоих путей.

усиления (УП или ЭУП) и сроки его завершения [4].

Для расчетов режимов работы с УП или системы ЭУП достаточно найти сопротивление тяговой сети их энергосистем. Задача может быть выполнена с использованием программного обеспечения.

В системе с ЭУП расположение проводов цепной контактной подвески (К и Т) обычное, соответствующее применяемой системе 25 кВ. Расположение других проводов с расстояниями между ними, принятыми в проекте, показано на рис. 1.

К траверсам с полевой стороны опор (ближе к ним) подвешен на одном изоляторе экранирующий провод ($\mathcal{E}$), затем на минимально допустимом по условиям изоляции расстоянии на гирлянде из трёх или четырёх изоляторов – усиливающий провод (Y).

Экранирующий провод подключён параллельно к рельсам через нулевые точки путевых дроссель-трансформаторов через два дроссельных стыка на третий или через землю при индивидуальных заземлителях. Усиливающий провод соединяется с контактной подвеской в трех точках на одном анкерном участке.

Для определения величин токов, протекающих по проводам тяговой сети, запи-

шем выражения для падений напряжения с учетом направлений токов.

$$\Delta \dot{U}_{n1} = Z_{n1} \dot{I}_{n1} + Z_{n1y1} \dot{I}_{y1} - Z_{n1\mathcal{E}1} \dot{I}_{\mathcal{E}1} + Z_{n1n2} \dot{I}_{n2} + Z_{n1y2} \dot{I}_{y2} - Z_{n1\mathcal{E}2} \dot{I}_{\mathcal{E}2} - Z_{n1\mathcal{E}3} \dot{I}_{\mathcal{E}3}; \quad (1)$$

$$\Delta \dot{U}_{y1} = Z_{n1y1} \dot{I}_{n1} + Z_{y1} \dot{I}_{y1} - Z_{y1\mathcal{E}1} \dot{I}_{\mathcal{E}1} + Z_{n2y1} \dot{I}_{n2} + Z_{y1y2} \dot{I}_{y2} - Z_{y1\mathcal{E}2} \dot{I}_{\mathcal{E}2} - Z_{y1\mathcal{E}3} \dot{I}_{\mathcal{E}3}; \quad (2)$$

$$\Delta \dot{U}_{\mathcal{E}1} = -Z_{n1\mathcal{E}1} \dot{I}_{n1} - Z_{y1\mathcal{E}1} \dot{I}_{y1} + Z_{\mathcal{E}1} \dot{I}_{\mathcal{E}1} - Z_{n2\mathcal{E}1} \dot{I}_{n2} - Z_{y2\mathcal{E}1} \dot{I}_{y2} + Z_{\mathcal{E}1\mathcal{E}2} \dot{I}_{\mathcal{E}2} + Z_{\mathcal{E}1\mathcal{E}3} \dot{I}_{\mathcal{E}3}; \quad (3)$$

$$\Delta \dot{U}_{n2} = Z_{n1n2} \dot{I}_{n1} + Z_{n2y1} \dot{I}_{y1} - Z_{n2\mathcal{E}1} \dot{I}_{\mathcal{E}1} + Z_{n2} \dot{I}_{n2} + Z_{n2y2} \dot{I}_{y2} - Z_{n2\mathcal{E}2} \dot{I}_{\mathcal{E}2} - Z_{n2\mathcal{E}3} \dot{I}_{\mathcal{E}3}; \quad (4)$$

$$\Delta \dot{U}_{y2} = Z_{n1y2} \dot{I}_{n1} + Z_{y1y2} \dot{I}_{y1} - Z_{y2\mathcal{E}1} \dot{I}_{\mathcal{E}1} + Z_{n2y2} \dot{I}_{n2} + Z_{y2} \dot{I}_{y2} - Z_{y2\mathcal{E}2} \dot{I}_{\mathcal{E}2} - Z_{y2\mathcal{E}3} \dot{I}_{\mathcal{E}3}; \quad (5)$$

$$\Delta \dot{U}_{\mathcal{E}2} = -Z_{n1\mathcal{E}2} \dot{I}_{n1} - Z_{y1\mathcal{E}2} \dot{I}_{y1} + Z_{\mathcal{E}2} \dot{I}_{\mathcal{E}2} - Z_{n2\mathcal{E}2} \dot{I}_{n2} - Z_{y2\mathcal{E}2} \dot{I}_{y2} + Z_{\mathcal{E}2\mathcal{E}1} \dot{I}_{\mathcal{E}1} + Z_{\mathcal{E}2\mathcal{E}3} \dot{I}_{\mathcal{E}3}; \quad (6)$$

$$\Delta \dot{U}_{\mathcal{E}3} = -Z_{n1\mathcal{E}3} \dot{I}_{n1} - Z_{y1\mathcal{E}3} \dot{I}_{y1} + Z_{\mathcal{E}3} \dot{I}_{\mathcal{E}3} - Z_{n2\mathcal{E}3} \dot{I}_{n2} - Z_{y2\mathcal{E}3} \dot{I}_{y2} + Z_{\mathcal{E}3\mathcal{E}1} \dot{I}_{\mathcal{E}1} + Z_{\mathcal{E}3\mathcal{E}2} \dot{I}_{\mathcal{E}2}; \quad (7)$$

где $\Delta \dot{U}_{n1}, \Delta \dot{U}_{y1}, \Delta \dot{U}_{\mathcal{E}1}, \Delta \dot{U}_{n2}, \Delta \dot{U}_{y2}, \Delta \dot{U}_{\mathcal{E}2}, \Delta \dot{U}_{\mathcal{E}3}$ – падения напряжения на 1 км длины следующих контуров: эквивалентный провод первого пути – земля, усиливающий провод первого пути – земля, экранирующий провод первого пути – земля, эквивалентный провод второго пути – земля, усиливающий провод второго пути –



Таблица 1
Коэффициенты токораспределения
по проводам при нагрузке на одном пути

	$Z_{\text{пер}} = \infty$	$Z_{\text{пер}} = 0$
K_{n1}	$ 0,570+j0,018 =0,570$	$ 0,569+j0,018 =0,569$
K_{y1}	$ 0,430-j0,018 =0,430$	$ 0,431-j0,018 =0,431$
K_{n2}	$ 0,330+j0,044 =0,333$	$ 0,277+j0,059 =0,284$
K_{y2}	$ -0,036-j0,016 =0,040$	$ -0,037-j0,016 =0,040$
K_{n3}	$ 0,036+j0,016 =0,040$	$ 0,037+j0,016 =0,040$
K_{y3}	$ 0,166-j0,007 =0,166$	$ 0,113+j0,008 =0,114$
K_{sp}	$ 0,504-j0,037 =0,506$	$ 0,359+j0,012 =0,359$

земля, экранирующий провод второго пути — земля, эквивалентный рельс — земля, В;

$i_{n1}, i_{y1}, i_{n2}, i_{y2}, i_{n3}, i_{y3}, i_{sp}$ — токи в соответствующих проводах, А;

$Z_{n1}, Z_{y1}, Z_{n2}, Z_{y2}, Z_{n3}, Z_{y3}, Z_{sp}$ — сопротивления контуров соответствующий провод — земля, Ом/км;

Методика расчета сопротивлений контуров провод-земля и взаимных сопротивлений между ними, отмеченных нижним двойным индексом, изложена в [5].

Для определения токов в указанных проводах необходимо составить и решить систему уравнений с семью неизвестными.

Падения напряжения в параллельных проводах равны. Следовательно, можно записать:

$$\Delta \dot{U}_{n1} = \Delta \dot{U}_{y1}; \Delta \dot{U}_{n2} = \Delta \dot{U}_{y2}; \Delta \dot{U}_{n3} = \Delta \dot{U}_{y3}; \Delta \dot{U}_{sp} = \Delta \dot{U}_{sp}.$$

Приравняв правые части этих выражений и сгруппировав подобные члены, получаем четыре уравнения. Для получения пятого уравнения предположим, что нагрузка контактной сети и усиливающего провода первого пути равна единице ($i_1 = 1$).

В этом случае при раздельном питании путей имеем:

$$i_{n1} + i_{y1} = 1.$$

Поскольку рассматривается режим, при котором на втором пути нагрузки нет ($i_2 = 0$), то шестое уравнение имеет вид

$$i_{n2} + i_{y2} = 0.$$

Вид седьмого уравнения зависит от принимаемой величины переходного сопротивления между рельсом и землей. Рассмотрим два крайних случая: $Z_{\text{пер}} = 0$ и $Z_{\text{пер}} = \infty$. Очевидно, что придется решать две системы уравнений, а за результиру-

ющее сопротивление тяговой сети примем среднее арифметическое двух полученных значений.

$Z_{\text{пер}} = \infty$ означает, что рельс изолирован от земли и весь тяговый ток возвращается по рельсам и экранирующим проводам. При этом запишем следующее седьмое уравнение:

$$i_{n1} + i_{y1} + i_{sp} = 1.$$

При $Z_{\text{пер}} = 0$ обратным проводом для тягового тока служит земля. В рельсах и экранирующих проводах токи возникают вследствие наведения в них ЭДС токами в других проводах. Соответствующий ток, например, в эквивалентном рельсе двух путей равен:

$$i_{sp} = \frac{Z_{n1sp} i_{n1} + Z_{y1sp} i_{y1} - Z_{n2sp} i_{n2} + Z_{y2sp} i_{y2} - Z_{n3sp} i_{n3} + Z_{y3sp} i_{y3}}{Z_{sp}}.$$

Система уравнений при $Z_{\text{пер}} = \infty$ имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} & (Z_{n1} - Z_{n1y1}) i_{n1} + (Z_{n1y1} - Z_{y1}) i_{y1} - (Z_{n1y1} - Z_{y1y1}) i_{y1} + \\ & + (Z_{n1n2} - Z_{n2y1}) i_{n2} + (Z_{n1y2} - Z_{y1y2}) i_{y2} - \\ & - (Z_{n1y2} - Z_{y1y2}) i_{y2} - (Z_{n1y3} - Z_{y1y3}) i_{y3} = 0; \\ & - (Z_{n1y1} - Z_{n1y1}) i_{n1} - (Z_{y1y1} - Z_{y1y1}) i_{y1} + (Z_{y1} - Z_{y1y1}) i_{y1} - \\ & - (Z_{n2y1} - Z_{n2y1}) i_{n2} - (Z_{y2y1} - Z_{y2y1}) i_{y2} + \\ & + (Z_{y1y2} - Z_{y2y1}) i_{y2} + (Z_{y1y3} - Z_{y3y1}) i_{y3} = 0; \\ & (Z_{n1n2} - Z_{n1y2}) i_{n1} + (Z_{n2y1} - Z_{y1y2}) i_{y1} - (Z_{n2y1} - Z_{y2y1}) i_{y2} + \\ & + (Z_{n2} - Z_{n2y2}) i_{n2} + (Z_{n2y2} - Z_{y2}) i_{y2} - \\ & - (Z_{n2y2} - Z_{y2y2}) i_{y2} - (Z_{n2y3} - Z_{y2y3}) i_{y3} = 0; \\ & - (Z_{n1y2} - Z_{n1y2}) i_{n1} - (Z_{y1y2} - Z_{y1y2}) i_{y1} + (Z_{y1y2} - Z_{y1y2}) i_{y1} - \\ & - (Z_{n2y2} - Z_{n2y2}) i_{n2} - (Z_{y2y2} - Z_{y2y2}) i_{y2} + \\ & + (Z_{y2} - Z_{y2y2}) i_{y2} + (Z_{y2y3} - Z_{y3y2}) i_{y3} = 0; \\ & i_{n1} + i_{y1} + 0 + 0 + 0 + 0 = 1; \\ & 0 + 0 + i_{n2} + i_{y2} + 0 + 0 = 0; \\ & 0 + 0 + i_{n1} + 0 + 0 + i_{y2} + i_{sp} = 1. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При $Z_{\text{пер}} = 0$ изменение претерпит только последнее уравнение:

$$-Z_{n1sp} i_{n1} - Z_{y1sp} i_{y1} + Z_{n2sp} i_{n2} - Z_{y2sp} i_{y2} + Z_{n3sp} i_{n3} + Z_{y3sp} i_{y3} = 0.$$

Решая данные системы уравнений, получим токораспределение по проводам тяговой сети при раздельном питании путей и условии, что нагружен только один (первый) путь. При этом коэффициенты

Таблица 2

Сопротивление одного пути системы с ЭУП и взаимное сопротивление двух путей

Тяговая сеть	Переходное сопротивление	Z_0 , Ом/км	$ Z_0 $, Ом/км	$Z_{\text{овпп}}$, Ом/км	$ Z_{\text{овпп}} $, Ом/км
25 кВ	$Z_{\text{пер}} = \infty$	0,214+j0,449	0,498	0,055+j0,175	0,184
	$Z_{\text{пер}} = 0$	0,189+j0,405	0,447	0,030+j0,131	0,134
	$Z_{\text{ср}}$	0,201+j0,427	0,4725	0,042+j0,153	0,159
25 кВ с УП	$Z_{\text{пер}} = \infty$	0,141+j0,348	0,375	0,054+j0,155	0,164
	$Z_{\text{пер}} = 0$	0,115+j0,300	0,321	0,028+j0,106	0,110
	$Z_{\text{ср}}$	0,128+j0,324	0,348	0,041+j0,131	0,137
25 кВ с ЭУП	$Z_{\text{пер}} = \infty$	0,121+j0,242	0,271	0,031+j0,063	0,070
	$Z_{\text{пер}} = 0$	0,107+j0,228	0,252	0,017+j0,049	0,052
	$Z_{\text{ср}}$	0,114+j0,235	0,2615	0,024+j0,056	0,061

распределения тока первого пути по проводам равны

$$K_{n1} = \frac{i_{n1}}{I_1}, K_{y1} = \frac{i_{y1}}{I_1}, K_{\text{з1}} = \frac{i_{\text{з1}}}{I_1};$$

$$K_{n2} = \frac{i_{n2}}{I_1}, K_{y2} = \frac{i_{y2}}{I_1}, K_{\text{з2}} = \frac{i_{\text{з2}}}{I_1}, K_{\text{зр}} = \frac{i_{\text{зр}}}{I_1}.$$

Результаты расчета коэффициентов токораспределения для указанных на рис. 1 расстояний между проводами при подвеске ПБСМ-95 + МФ-100, рельсах Р-65 и $\gamma_3 = 0,01$ Ом/м приведены в таблице 1.

Для определения полного сопротивления тяговой сети воспользуемся падением напряжения в контуре «эквивалентный провод – рельс»:

$$\Delta U = \Delta U_{\text{п}} + \Delta U_{\text{зр}}. \quad (9)$$

Подставим в это уравнение правые части выражений (1) и (7). При этом используем метод наложения. Очевидно, что при отсутствии нагрузки на первом пути и ее наличии на втором токи распределяются по проводам в соответствии с коэффициентами таблицы 1, у которых следует поменять местами номера путей. Более того, коэффициенты будут справедливы и для случая нагрузки обоих путей. Следовательно, можно записать:

$$i_{n1} = K_{n1} i_1 + K_{n2} i_2; \quad i_{n2} = K_{n2} i_1 + K_{n1} i_2;$$

$$i_{y1} = K_{y1} i_1 + K_{y2} i_2; \quad i_{y2} = K_{y2} i_1 + K_{y1} i_2;$$

$$i_{\text{з1}} = K_{\text{з1}} i_1 + K_{\text{з2}} i_2; \quad i_{\text{з2}} = K_{\text{з2}} i_1 + K_{\text{з1}} i_2;$$

$$i_{\text{зр}} = K_{\text{зр}} i_1 + K_{\text{зр}} i_2.$$

Подставив эти выражения в формулы (1) и (7), после преобразования вместо (9) получим

$$\Delta U = \left(\begin{aligned} & a_{n1} K_{n1} + a_{y1} K_{y1} - a_{\text{з1}} K_{\text{з1}} + a_{n2} K_{n2} + \\ & a_{y2} K_{y2} - a_{\text{з2}} K_{\text{з2}} - a_{\text{зр}} K_{\text{зр}} \\ & + (a_{n1} K_{n2} + a_{y1} K_{y2} - a_{\text{з1}} K_{\text{з2}} + a_{n2} K_{n1} + \\ & + a_{y2} K_{y1} - a_{\text{з2}} K_{\text{з1}} - a_{\text{зр}} K_{\text{зр}}) i_2, \end{aligned} \right) i_1 + \quad (10)$$

$$\text{где } a_{n1} = (Z_{n1} - Z_{n1\text{зр}}); \quad a_{y1} = (Z_{n1y1} - Z_{y1\text{зр}});$$

$$a_{\text{з1}} = (Z_{n1\text{з1}} - Z_{\text{з1зр}}); \quad a_{n2} = (Z_{n1n2} - Z_{n2\text{зр}});$$

$$a_{y2} = (Z_{n1y2} - Z_{y2\text{зр}}); \quad a_{\text{з2}} = (Z_{n1\text{з2}} - Z_{\text{з2зр}});$$

$$a_{\text{зр}} = (Z_{n1\text{зр}} - Z_{\text{зр}}).$$

Выражение в скобках при i_1 можно назвать полным сопротивлением одного пути двухпутного участка при раздельном питании путей и обозначить его Z_0 . Выражение во вторых скобках представляет собой взаимное сопротивление двух путей. Обозначим его $Z_{\text{овпп}}$. Тогда

$$\Delta U = i_1 Z_0 + i_2 Z_{\text{овпп}}.$$

Зная коэффициенты распределения токов по проводам и значения сопротивлений проводов и взаимной индукции между проводами, можно рассчитать Z_0 и $Z_{\text{овпп}}$.

Предложенные методики определения токораспределения по проводам и сопротивления системы электроснабжения с ЭУП могут быть использованы и при исключении любого провода или нескольких проводов из многопроводной тяговой сети. Для этого в системе уравнений (8) достаточно убрать столбцы с токами в исключаемых проводах на первом и втором путях и строки, учитывающие их ин-





дуктивную связь на обоих путях с другими. В выражении (10) следует принять коэффициенты распределения тока в отключаемом проводе $K_i = 0$. Например, для системы 25 кВ имеем:

$$Z_0 = a_{n1}K_{n1} + a_{n2}K_{n2} - a_{ap}K_{ap}; \quad (11)$$

$$Z_{0впп} = a_{n1}K_{n2} + a_{n2}K_{n1} - a_{ap}K_{ap}. \quad (12)$$

Формулы (11) и (12) отличаются от ранее известных [5] учетом влияния наведенных токов на втором пути от нагрузки на первом пути на сопротивление одного первого пути двухпутной линии.

Расчеты для указанных исходных данных были проведены для систем электропитания 25 кВ, 25 кВ с УП и 25 кВ с ЭУП. Результаты приведены в таблице 2.

Анализируя результаты расчетов, видно, что доля тока в проводах контактной сети и усиливающих проводах не зависит от величины переходного сопротивления «рельс—земля». Токи в рельсах и экранирующих проводах зависят от значения переходного сопротивления. Отметим и то, что наведенные токи на втором пути в эквивалентном контактном и усиливающем про-

водах имеют противоположное направление.

Результаты таблицы 2 позволяют утверждать, что переход от обычной системы 25 кВ к системе с УП снижает сопротивление одного пути двухпутного участка на величину порядка 26%, а к системе с ЭУП — на 45%.

Переход от системы с УП к системе с ЭУП даст снижение сопротивления примерно на 25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карякин Р. Н. Тяговые сети переменного тока. — М.: Транспорт, 1987. — 279 с.
2. Бочев А. С., Мунькин В. В., Фигурнов Е. П. Электротяговая сеть с усиливающим и обратным проводами // Железные дороги мира. — 1997. — № 11. — С. 8–12.
3. Чернов Ю. А. К вопросу о проектировании устройств электроснабжения железных дорог // Межвуз. сб. науч. трудов. — М.: МИИТ, 1981. — Вып. 684. — С. 3–5.
4. Чернов Ю. А. Оптимизация развития системы тягового электроснабжения методом динамического программирования // Транспорт Урала. — 2012. — № 3. — С. 90–93.
5. Чернов Ю. А. Электроснабжение электрических железных дорог: учеб. пособие. — М.: МИИТ, 2005. — 154 с.

MULTIWIRE AC ELECTRIC TRACTION NETWORKS

Chernov, Yuri A. — D. Sc. (Tech), professor of the department of transport electric power of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Gavrilov, Maxim S. — 5th year student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article describes a method for calculating current distribution in wires of multiwire AC electric traction network. Formulas for determining the resistance of one track of a multiwire electric traction network of a double-track line and mutual resistance of wires of two tracks with account of induced currents in the wires of the second track are proposed, enabling in the calculation of modes of power supply to use the software for a 25 kV system. The resulting equations, referring to the conditions of electric traction network with screening and reinforcing wires provide an opportunity to apply them in exclusion of any wire or several wires of available multiwire complex.

ENGLISH SUMMARY

Background. To improve the efficiency of power supply of railways, electrified by 25 kV AC system, it has long been proposed to use a reinforcing wire (RW), connected in parallel with overhead catenary [1]. Prior to that, in the North-Caucasian railway in the late 1970s an option has been implemented with screening and reinforcing wires (SRW) [2]. It became an analogue to the system, previously developed in Japan, where in order to reduce the magnetic flow between catenary and rails (and thus

induced resistance of electric traction network greatly reduces) a coaxial cable was applied. At the same time catenary is connected to a cable core and rails to its sheath.

Capital cost savings involve in such cases the gradual expanding capacity of power supply system [3]. In the first phase electrification is focused on extension of the distance between substations. Depending on the traffic growth the order of the next phase of amplification (RW or SRW) and its completion date are determined [4].

Objective. The objective of the authors is to present a method for calculating current distribution in wires of multiwire AC electric traction network.

Methods. The authors use mathematical methods and analysis.

Results. For calculation of modes of operation within RW or SRW systems it is sufficient to determine electric traction network resistance of their power systems. The task may be performed using software.

In a system with SRW location of wires of circuit overhead catenary (K and T) is ordinary and corresponds to the used 25 kV system. Location of other wires with distances between them, adopted in the project, is shown in Pic. 1.