

## **Частина I. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ**

УДК 622.62–83: 621.33

**Ю.А. Папаика, канд. техн. наук, А.Г. Лысенко**

*(Украина, г. Днепропетровск, Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет")*

### **АНАЛИЗ РЕЖИМОВ НАПРЯЖЕНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ШАХТНОГО ТРАНСПОРТА**

Идею бесконтактной передачи электроэнергии на движущийся объект, известную еще с начала XX века, сегодня широко используют в развитых странах Европы для зарядки аккумуляторных автобусов городского электротранспорта. В Национальном горном университете научную школу по разработке этого направления возглавляет академик НАН Украины профессор Пивняк Г.Г. В настоящее время проводятся работы по совершенствованию тягового преобразователя, тяговой сети и системы электропривода транспортной установки. В данной статье описаны результаты исследования режимов напряжения тяговой сети при различных конфигурациях ее параметров. Результаты работы могут быть интересны при дальнейших разработках системы бесконтактного транспорта в промышленности.

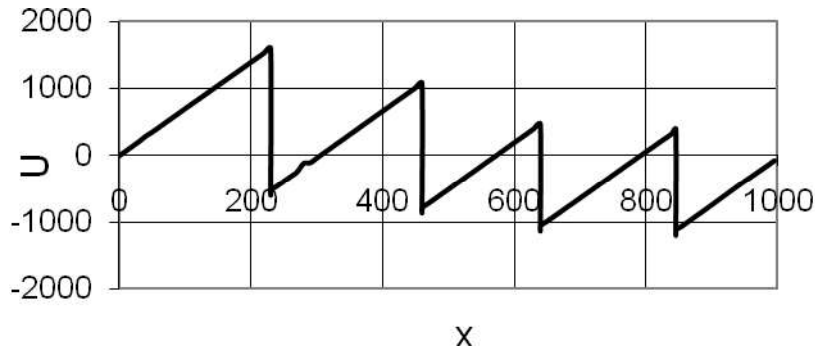
Тяговая сеть представляет большое сопротивление для тока высокой частоты, поскольку ее индуктивное сопротивление пропорционально частоте тока. Во избежание чрезмерного повышения напряжения в линии реактивная составляющая падения напряжения отдельных участков тягового кабеля компенсируется конденсаторами, включенными в рассечку тяговой сети. Конденсаторы устанавливаются вдоль линии в компенсирующих пунктах.

Тяговая сеть рассматривается как линия с распределенными параметрами, состоящая из однородных участков с размещенными между ними сосредоточенными неоднородностями (конденсаторами продольной компенсации) [1]. Падение напряжения на конденсаторах полагается эквивалентным наличию источников ЭДС, подключенных в местах нахождения компенсационных пунктов [1, 3].

Данные эксплуатации опытного образца комплекса с бесконтактными электровозами свидетельствуют, что в тяговой сети наблюдаются значительные перенапряжения, которые приводят в некоторых случаях к срабатыванию защиты, а в других – к выходу из строя компенсирующих конденсаторов. Такая ситуация прежде всего может быть обусловлена несогласованностью некоторых параметров тяговой сети и приемного контура электровоза. Все это приводит к ухудшению энергетических показателей и надежности функционирования системы бесконтактного транспорта. Поскольку тяговая сеть представляет собой передаточное звено между преобразователем частоты и подвижным составом, то очевидно, что пути решения существующей проблемы нужно искать в плоскости анализа режимов собственно тяговой сети. Такими режимами являются, в частности, пусковой режим, холостой ход линии, режим с работающими электровозами. Исследования тяговой сети с целью оптимизации ее параметров, режимов и тем самым повышения энергетической эффективности транспорта с индуктивной передачей энергии в целом являются актуальной научно-технической задачей.

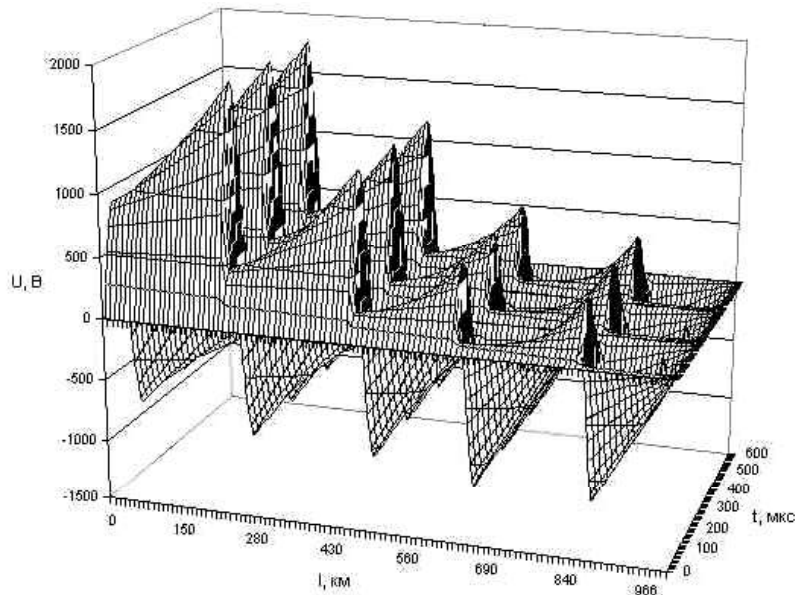
Отдельные задачи моделирования режимов тяговой сети решались ранее. Были созданы математические модели тяговой сети для установившегося и переходного режимов [1, 2, 3]. В настоящее время разработана новая модель тяговой сети с использованием пакетов MathCAD и Excel на конечно-разностном представлении системы дифференциальных уравнений в частных производных, отличительной особенностью которой является универсальность, что позволяет исследовать любые ее режимы. При составлении математической модели тяговая линия была представлена в виде участков с распределенными параметрами с последовательно включенными сосредоточенными неоднородностями (места включения пунктов компенсации). Распределение напряжения вдоль линии определялось для исключения режима перенапряжений в линии при включении электровоза.

Результаты, полученные с помощью такой модели, свидетельствуют о зависимости изменения напряжения в тяговой сети от параметров компенсирующих устройств и мест их установки (рис. 1). Данные результаты возможно использовать в дальнейших исследованиях режимов тяговой линии при наличии одного или нескольких электровозов.



**Рис. 1.** Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 1 км

Анализ кривой напряжения вдоль тяговой сети длиной 1 км (рис. 2) в течение трех периодов показывает, что наибольшие значения напряжения приходятся на первый компенсационный пункт. Поэтому ставится вопрос о необходимости уточнения места расположения этого компенсационного пункта с целью недопущения возникновения перенапряжений при включении нагрузки.

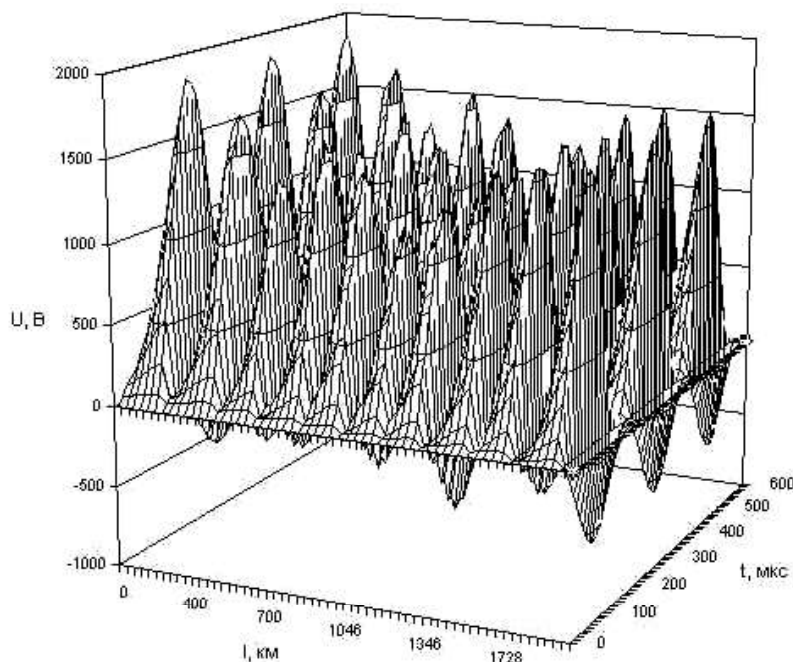


**Рис. 2.** Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 1 км с учетом времени

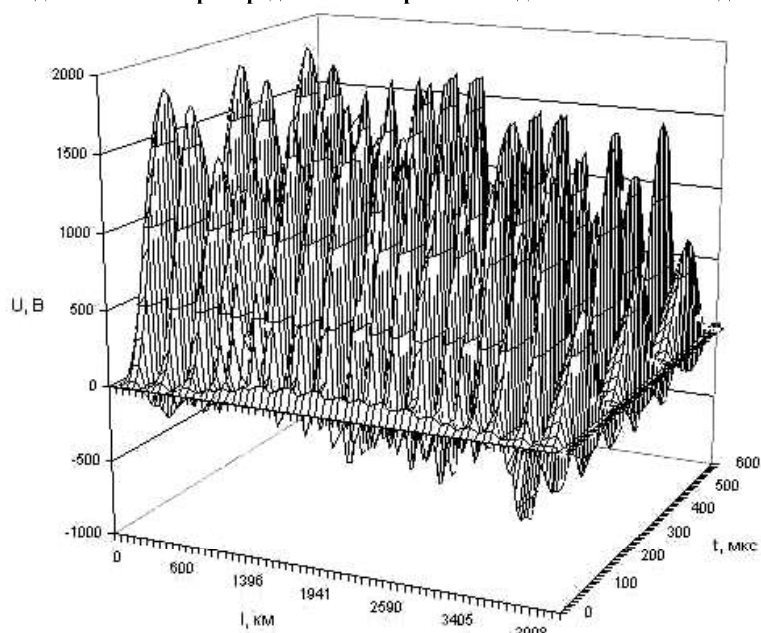
Процесс распределения напряжения вдоль тяговой линии при длине выработки 2 и 4 км (рис. 3,4) несколько сложнее, однако, значение наибольшего напряжения на первом компенсационном пункте сохраняется. Это подтверждает вывод о том, что наибольшая вероятность выхода из строя от перенапряжений сохраняется у конденсаторов первого компенсационного пункта.

Анализ режима напряжения проведен для ненагруженной сети, но при этом следует учесть, что в режиме сброса-наброса нагрузки от электровозов тенденция перенапряжений на компенсационных пунктах будет усиливаться. Связано это с электромагнитными процессами, происходящими в тяговой сети и обусловленными ее волновыми свойствами.

При движении электровоза в тяговой линии индуцируется ЭДС самоиндукции, что приводит к дополнительному повышению напряжения. Напряжение в каждом сечении тяговой сети с учетом величины ЭДС, наводимой электровозом, не должно превышать допустимых значений с точки зрения надежности и безопасности функционирования комплекса. Из векторной диаграммы (рис. 5) видно, что вектор напряжения на линии  $U_n$  зависит от ЭДС, индуцированной приемным контуром,  $E_n = I_j \omega M$ , от падения напряжения на активных элементах сети  $I_n R_n$  и от вектора реактивной составляющей падения напряжения на реактивных элементах сети  $I_j(x_n - x_c)$ , который в свою очередь зависит от степени компенсации индуктивности линии [1]. Отсюда следует, что уровень напряжения на участках тяговой линии можно уменьшить, снижая активное сопротивление тяговых кабелей (что выполнить весьма сложно из-за особенностей их конструкции), также обеспечив режим резонанса напряжений в последовательной цепи (полная компенсация индуктивности линии).



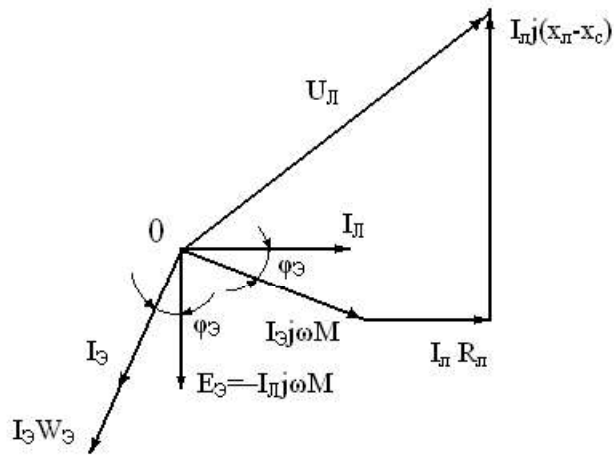
**Рис. 3.** Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 2 км



**Рис. 4.** Вид зависимости распределения напряжения вдоль тяговой сети длиной 4 км

Очевидно, что нагрузка, вносимая в тяговую сеть, еще больше усугубит картину неравномерности распределения напряжений, особенно в местах установки конденсаторов. Таким образом, наиболее опасными с точки зрения возникновения перенапряжений будут компенсационные пункты.

Напряжение в любом сечении тяговой сети до точки приложения нагрузки равно векторной сумме напряжения ненагруженной сети и падения напряжения на вносимом сопротивлении электровозов. Для электровозов В14 вносимое сопротивление в часовом режиме составляет 3 Ом, что при стабилизированном токе сети 150 А приводит к повышению активной составляющей напряжения сети на 450 В. Пренебрежение этой величиной недопустимо. Это особенно важно, если учесть, что наибольшее напряжение в сети, ограниченное по условиям безопасности, не должно превышать 1650 В (2120 В – амплитудное значение). Поэтому выбор и размещение компенсирующих устройств необходимо производить с учетом вносимых электровозами сопротивлений.



**Рис. 5. Векторная диаграмма системы "тяговая линия–электровоз"**

### **Выводы**

1. Выравнивание напряжений является необходимым процессом и должно быть учтено при проектировании тяговых сетей. Для тяговых сетей шахтного рельсового транспорта с индуктивной передачей энергии неравномерность распределения напряжений может быть устранена только благодаря рациональному размещению компенсирующих устройств.
2. Выбор и размещение компенсирующих устройств необходимо производить с учетом вносимых электровозами сопротивлений.

### **Список литературы**

1. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт / Г.Г. Пивняк, И.П. Ремизов, С.А. Саратикянц и др.; под ред. Г.Г. Пивняка. – М.: Недра, 1990. – 245 с.
2. Хованская Е.И. Особенности моделирования нестационарной нагрузки тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии / Е.И. Хованская, А.Г. Лысенко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №3. – С.84-86.
3. Задачи моделирования режимов работы тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии / Г.Г. Пивняк, Ю.М. Зражевский, Е.И. Хованская // Техн. термодинаміка. Тем. вип. „Проблеми сучасної електротехніки”. – 2004. – Ч.7. – С.112-116.

*Рекомендовано до друку проф. Разумним Ю.Т.*