

УДК 621.33.21: 622.62-83

**Е.И. Хованская, канд. тех. наук, В.В. Винокуров**  
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОЙ СЕТИ ШАХТНОГО ТРАНСПОРТА С ИНДУКТИВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ**

*Актуальность задачи.* Горнодобывающая промышленность является одной из основных составляющих топливно-энергетического комплекса Украины. На угольных предприятиях особое место среди электропотребителей занимает рельсовый транспорт. Широкое применение контактных электровозов ограничено требованиями «Правил безопасности в угольных шахтах», что обуславливает использование альтернативных видов транспорта. В настоящее время основную долю локомотивного парка шахт составляют аккумуляторные электровозы. Однако последние имеют ряд недостатков. Перспективным является использование бесконтактных электровозов повышенной частоты, которые обладают существенными преимуществами, основные из которых – это неограниченность пробега, высокая удельная мощность, отсутствие необходимости сооружения зарядных камер и безопасность обслуживания [1].

*Постановка проблемы.* Принцип действия бесконтактного транспорта основан на индуктивной передаче энергии подвижному составу. Основными структурными элементами его системы электроснабжения являются источник тока повышенной частоты (тяговый преобразователь частоты – ТПЧ) и тяговая сеть, имеющая продольную емкостную компенсацию индуктивного сопротивления кабелей [1]. Эксплуатация опытных образцов показала, что при пуске ТПЧ на тяговую сеть, а также в случае сброса–наброса нагрузки от электровозов в компенсирующих конденсаторах и элементах изоляции происходят негативные явления, в частности, наблюдаются значительные перенапряжения. В результате этого имеет место выход из строя конденсаторов, нарушение паспортных режимов работы, что снижает эффективность работы всего комплекса. Таким образом, существует потребность детального изучения волновых процессов в питающей сети в различных режимах ее функционирования для корректировки параметров элементов электрооборудования комплекса в целях обеспечения передачи необходимой мощности подвижному составу.

*Анализ результатов последних исследований.* В работах [2-5] выделены основные задачи моделирования режимов транспорта с индуктивной передачей энергии, показаны модели тяговой сети для пуска ТПЧ и при движении электровозов вдоль выработки. Однако нагруженный режим тяговой сети исследован недостаточно, поскольку математическое описание движущегося объекта

(нагрузки тяговой сети) достаточно сложно. Следует отметить, что имитационное моделирование режимов тяговой сети до сих пор не находило применения, хотя такой метод является наиболее мощным и универсальным для исследования и оценки эффективности систем, поведение которых зависит от воздействия различных факторов [6]. Поэтому задачей данной работы ставится создание имитационной модели, позволяющей исследовать параметры режимов тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии.

*Описание модели.* На рис. 1 показана принципиальная схема транспорта с индуктивной передачей энергии, которая положена в основу имитационного моделирования тяговой сети.

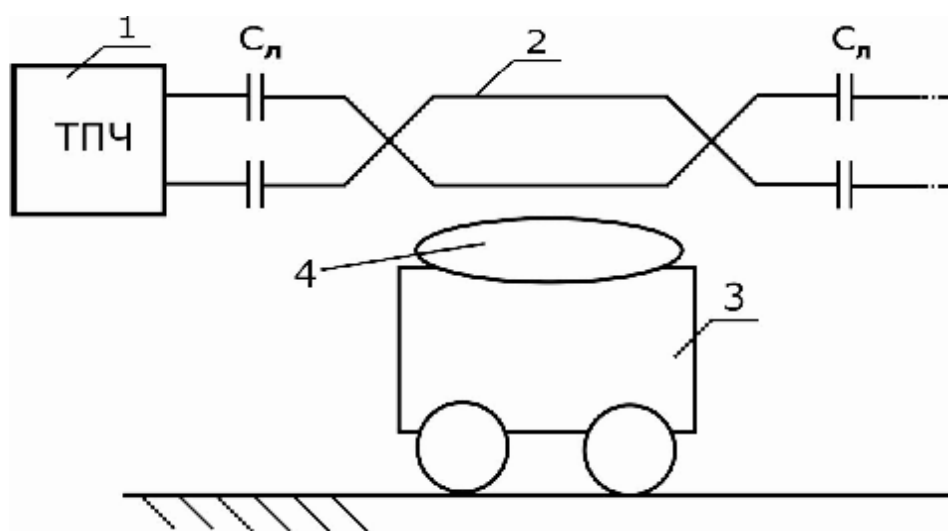


Рис. 1. Принципиальная схема транспорта с индуктивной передачей энергии:  
 1 – ТПЧ; 2 – тяговая сеть; 3 – подвижной состав; 4 – энергоприемник;  
 $C_{л}$  – компенсирующий конденсатор

Тяговая сеть представляет собой линию с распределенными параметрами [1–4]. Сложность ее моделирования обусловлена, во-первых, наличием потерь, во-вторых, большим числом неоднородностей (в виде емкостей продольной компенсации), в-третьих, короткозамкнутостью кабелей тяговой сети в конце. При разработке модели приняты следующие допущения:

- тяговая сеть рассматривается как однородная линия, в расщелки которой включены сосредоточенные неоднородности (конденсаторы продольной компенсации);
- кабели тяговой сети находятся в одинаковых условиях относительно выработки, в которой они проложены;
- компенсационные пункты расположены на одинаковых расстояниях друг от друга;
- ТПЧ представлен в виде источника напряжения;
- тяговая сеть рассматривается в режиме холостого хода, т.е. нагрузка отсутствует (электровоз не движется);
- активная проводимость изоляции тяговой сети незначительна и поэтому не учитывается;

- активная проводимость утечки в конденсаторах продольной компенсации не учитывается из-за ее незначительного влияния на точность расчета при реальных длинах тяговых сетей;
- первичные (погонные) параметры тяговой сети во времени неизменны;
- изменения электрических характеристик крепи и вмещающих пород не оказывают влияния на параметры сети;
- длина линии 770 м.

Имитационная модель для исследования параметров режимов тяговой сети создана в приложении пакета Matlab Simulink и представлена на рис. 2. Разработанная модель позволяет описывать изменения напряжения и тока в разных сечениях линии в режимах пуска ТПЧ на сеть и ее холостого хода. Тяговая сеть составлена в модели из последовательно соединенных элементов "линия с распределенными параметрами" и "компенсирующий конденсатор", а заземление в конце имитирует короткозамкнутость кабелей. В целях задания степени заряженности компенсирующих конденсаторов предусмотрено использование блока "Графический интерфейс пользователя пакета моделирования энергетических систем" (Powergui). Для удобства получения данных в модели в характерных узлах схемы подсоединены измерительные приборы и счетчики, позволяющие в реальном масштабе времени наблюдать изменения параметров режима тяговой сети.

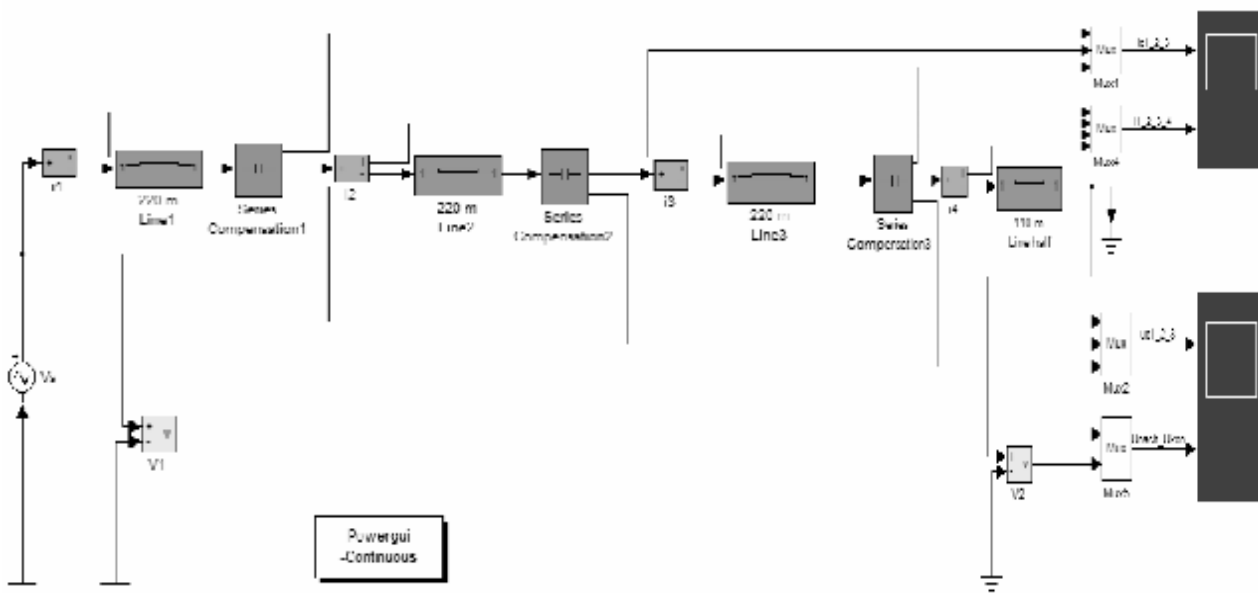


Рис. 2. Имитационная модель тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии

Принцип расчета волновых процессов, заложенный в пакете Matlab, основывается на методе Бержерона (бегущей волны), который в большинстве случаев используется для исследования переходных процессов в длинных линиях без потерь. Однако использование переменного шага интегрирования при моделировании [6] позволило имитировать тяговую сеть с учетом ее особенностей и достичь удовлетворительных результатов. Значения параметров режима

сети, полученные на разработанной имитационной модели, отличаются от известных экспериментальных не более чем на 12%.

На основании результатов моделирования построен график распределения напряжений вдоль ненагруженной тяговой сети (рис. 3).

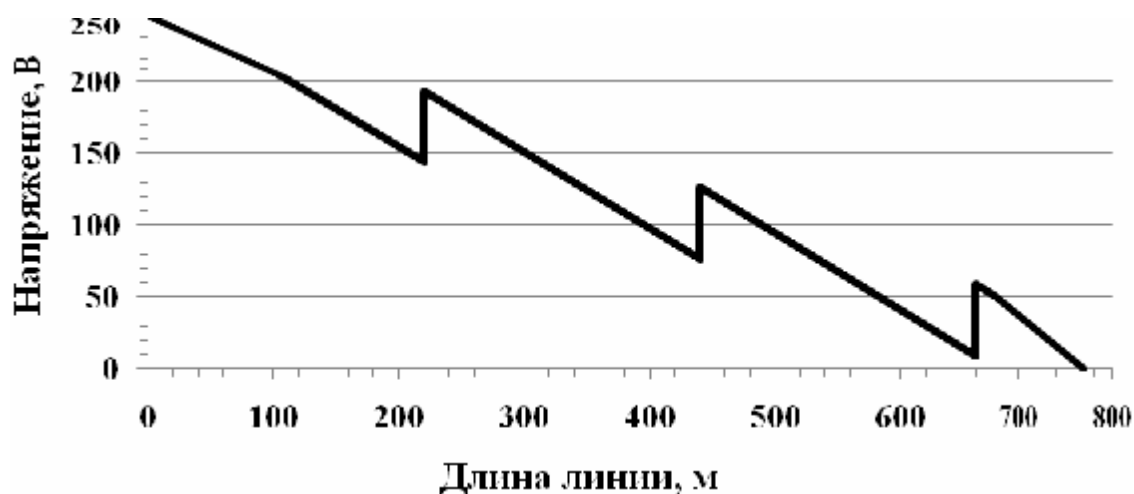


Рис. 3. График распределения напряжений вдоль тяговой сети

### **Выводы.**

Использование пакета Simulink позволило смоделировать тяговую сеть транспорта с индуктивной передачей энергии в переходных режимах. Преимуществами такого моделирования являются простота проведения вычислительного эксперимента, возможность задания в широких пределах параметров элементов модели, удобство получения и вывода рассчитанных значений.

Созданная модель позволяет исследовать параметры режима ненагруженной тяговой сети. Изучение режима сброса–наброса нагрузки (движение электровоза) требует модификации разработанной модели. Таким образом, следующим этапом должно стать моделирование нагруженной сети.

### **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. Пивняк Г.Г., Зражевский Ю.М., Хованская Е.И. Задачи моделирования режимов работы тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2004. – Ч. 7. – С. 112–116.
3. Зражевский Ю.М., Хованская Е.И., Бобров А.В. Особенности моделирования режимов работы тяговой сети транспорта с индуктивной передачей энергии // Электротехника и электроэнергетика. – 2001. – №2. – С.66–68.
4. Хованская Е.И., Ковалев А.Р. Анализ пускового режима тяговой сети в комплексе транспорта с индуктивной передачей энергии. – Гірничя електромех. та автомат.: наук.-тех. зб. – 2000. – Вип. 64. – С.30–34.
5. Винокуров В.В. Оцінка математичних моделей режимів роботи тягової мережі транспорту з індуктивною передачею енергії // Наук. вісн. НГУ. – 2010. – №6. – С. 83–86.
6. Лазарев Ю.Ф. Начала программирования в среде MatLAB: Учеб. пособие.– К.: НТУУ "КПИ", 2003. – 424 с.

*Рекомендовано до друку: професором Випанасенко С.І.*

