

Е.А. Новик, М.В. Ярославцев

(г. Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОВОЗОМ С ГИБРИДНЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ**

### **MODELLING OF ENERGY CONSUMPTION OF A HYBRID DIESEL-ELECTRIC LOCOMOTIVE**

*Выполнено исследование возможности применения комбинированной энергетической установки на многосекционных грузовых тепловозах. Показаны техническая возможность и экономическая целесообразность замены дизель-генератора одной из секций магистрального тепловоза литий-железофосфатным аккумулятором.*

*The research deals with the possibility of application of hybrid electric drives with energy storage devices on multiple unit diesel locomotives. The technical ability and economic expediency of a lithium battery application instead of the diesel generator on a traction unit is shown.*

*Ключевые слова: тепловоз, накопитель энергии, расход энергии на тягу, гибридные энергетические установки.*

*Keywords: diesel locomotive, energy storage, traction energy consumption, hybrid electric powertrain.*

Неэлектрифицированные участки составляют почти 50% протяженности железных дорог России. Более трети парка грузовых магистральных локомотивов приходится на тепловозы. Несмотря на то, что тепловоз совершает в среднем в 1,5 раза меньшую транспортную работу по сравнению с электровозом, затраты на топливо в расчете на один тепловоз оказываются на 13% большими, чем стоимость электроэнергии, потребляемой одним электровозом. Очевидно высокое значение технических мероприятий, позволяющих сократить потребление топлива и повысить энергетическую эффективность тепловозов.

Важнейшим резервом экономии энергии на железнодорожном транспорте является повторное использование кинетической энергии поезда. Так, на электрифицированных линиях экономия за счет применения рекуперативного торможения составляет свыше 3% от расхода электроэнергии на тягу поездов. Уровень рекуперации зависит от большого числа факторов и уже сегодня приближается к 8% на ряде дорог, имеющих горный профиль и технические средства, позволяющие активное применение рекуперативного торможения.

Можно ожидать, что не меньший эффект в отношении расхода топлива будет достигнут при оборудовании тепловозов накопителями энергии. Более

того, наличие бортового накопителя энергии позволит также обеспечить постоянство нагрузки дизель-генераторной установки, что также сокращает расход топлива и уменьшает интенсивность износа деталей. Ещё одним немаловажным преимуществом перехода к использованию комбинированной энергоустановки является возможность повышения пиковой мощности локомотива. Это позволит сократить потери времени на торможение и набор скорости в случае остановок при скрещении и обгонах поездов.

В настоящее время, по мере развития накопителей энергии, на тепловозах стало возможным заменить реостатное торможение приемом энергии в бортовой накопитель. Предложено несколько проектов таких локомотивов. В США компанией-перевозчиком BNSF совместно с производителем локомотивов General Electric предложена аккумуляторная секция тепловоза с зарядом во время торможений на затяжных спусках [1]. В России построен маневрово-вывозной тепловоз ТЭМ9h с гибридным тяговым приводом, допускающим заряд накопителя от сети депо и от дизель-генератора [2].

Авторами выполнено исследование возможности применения комбинированной установки на многосекционных грузовых тепловозах. Особенностью отечественных магистральных тепловозов является постоянное соединение секций. Это делает возможным обмен энергией между генераторными и аккумуляторными секциями локомотива. Для этого потребуются заменить дизель-генератор второй секции аккумуляторной батареей и повысить мощность двигателя первой секции.

Для определения параметров гибридной энергоустановки необходимо знать мощность и энергию, потребляемые на движение поезда. Для расчета была использована среда моделирования Simulink. В ней составлена модель, основанная на уравнении движения поезда [3, 4]. Структура модели показана на рис. 1. На модели выполнен тяговый расчет для участка железной дороги протяженностью 280 км, имеющего уклоны до 22 тысячных.

С помощью полученной модели построены тяговые и тормозные характеристики тепловоза, на основании тягового расчета определены основные параметры комбинированной энергетической установки [5, 6]. В качестве базового локомотива для сравнения был выбран тепловоз наиболее распространенной серии 2ТЭ116, состоящий из двух секций мощностью по 3000 л. с. [7]. Как показали результаты моделирования, средняя потребляемая за время движения по перевальному участку мощность составляет около 2800 кВт, что объясняется недоиспользованием мощности двигателя при достижении установленной скорости во время движения на спусках.

В результате предложено повысить мощность двигателя одной из секций до 4000 л.с. (2900 кВт) и установить на второй секции накопитель энергии

энергоемкостью 2000 кВт-ч. Масса такого накопителя составит около 26 т, а объем 16 м<sup>3</sup>, что позволит разместить предложенный блок накопителей вместо дизель-генераторной установки.

Задание тяговых и тормозных характеристик

Выбор режима движения

Расчет потребляемой мощности и энергии

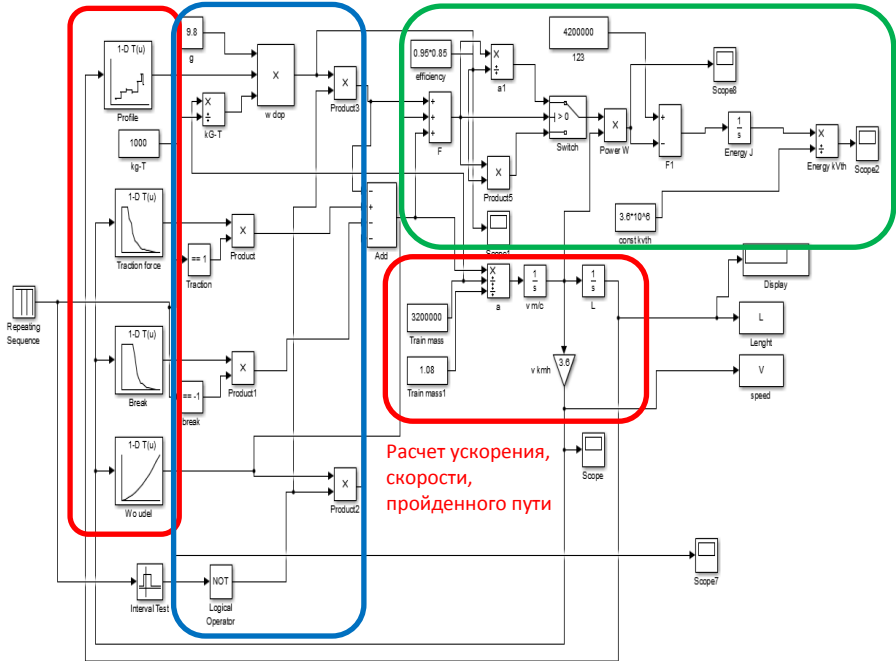


Рис. 1. Имитационная модель для расчета потребления энергии на тягу тепловозом с гибридной энергетической установкой.

Проведенная экономическая оценка показала, что при современной удельной стоимости аккумуляторных сборок около 160 долларов США/кВт-ч величина экономии стоимость накопителя энергии приблизительно равна стоимости производимых в настоящее время локомотивных дизель-генераторов. При этом в ходе эксплуатации будет достигнуто сокращение расхода энергии на тягу за счет приема энергии торможения, а также обеспечения более выгодного режима эксплуатации дизельного двигателя. В то же время, величина достигаемого эффекта существенно зависит от таких

условий эксплуатации, как частота скрещений и доля протяженности вредных спусков на плече эксплуатации локомотивов [8, 9].

В результате выполненного исследования построены тяговые и тормозные характеристики тепловоза, на основании тягового расчета определены основные параметры комбинированной энергетической установки, такие как мощность дизель-генератора, запас энергии и мощность накопительного устройства. В работе показаны техническая возможность и экономическая целесообразность замены дизель-генератора одной из секций магистрального тепловоза литий-железофосфатным аккумулятором.

### Список литературы

1. *Chris Noon Leading The Charge: Battery-Electric Locomotives Will Be Pushing US Freight Trains Further* [Электронный ресурс] // General Electric .– Режим доступа: <https://www.ge.com/news/reports/leading-charge-battery-electric-locomotives-pushing-us-freight-trains> .– October 24, 2018 General Electric. – дата обращения: 01.10.2020.– загл. с экрана.

2. Гибридный тепловоз ТЭМ9h [Электронный ресурс] // Снежинский завод специальных электрических машин.– URL: <https://www.snmomentum.ru/gibrid> ( дата обращения: 01.10.2020.)– загл. с экрана.

3. *Ярославцев, М. В.* Энергоэффективный тяговый привод городского безрельсового транспорта: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы: автореферат дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Ярославцев Михаил Викторович; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2016. – 16 с.

4. *Yaroslavtsev M. V.* Assessment of performance factors of hybrid electric vehicle powertrain / M. V. Yaroslavtsev, N. I. Schurov, E. A. Belova // *Applied Mechanics and Materials.*– 2014.– Vol. 698.– P. 7-11.

5. *Ярославцев, М. В.* Выбор основных параметров тягового привода гибридного транспортного средства / М. В. Ярославцев // *Электротехника. Энергетика. Машиностроение* : сб. науч. тр. I Международной научной конференции молодых ученых.– Новосибирск, 2014.– С. 290-293.

6. *Щуров, Н. И.* Эффективное использование энергии буферного накопителя гибридного транспортного средства / Н.И. Щуров, М.В. Ярославцев // *Инновационные технологии и экономика в машиностроении* : сб. тр. V Международной научно-практической конференции.– Томск, 2014.– С. 312-315.

7. *Филонов, С. П.* Тепловоз 2ТЭ116 / С. П. Филонов и др.– М.: Транспорт, 1996. – 334 с.

8. *Spiridonov, E. A.* Evaluation of energy recuperation efficiency for operating conditions of city electric transport / E. A. Spiridonov, M. V. Yaroslavtsev // *Proceedings of IFOST-2016 : 11th International Forum on Strategic Technology.*– Novosibirsk, 2016.– P. 61-64.

9. *Goldie-Scot, L.A* Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices [Электронный ресурс] // Bloomberg NEF .– Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> .– дата обращения: 01.10.2020.– загл. с экрана.

*Материал поступил в редколлегию 13.10.20.*