

Кулагин Дмитрий Александрович – к.т.н., доцент (Украина, г. Запорожье, Запорожский национальный технический университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ВОЖДЕНИЯ МОТОРВАГОННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПО НАКЛОННЫМ ПРОФИЛЯМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Введение. Вождение машинистом моторвагонного электротранспорта имеет ряд специфических особенностей. Они определяются тем, что на моторвагонной тяге осуществляются в основном пригородные перевозки, для которых характерны частые остановки при высокой плотности движения. В таких условиях моторвагонный подвижной состав должен реализовывать высокие значения разгонного и тормозного ускорений. Вследствие этого моторвагонным поездам присущи более высокие значения мощности на единицу массы поезда. Кроме того, большие скорости движения на коротких перегонах ставят задачу осуществления начала торможения из больших начальных значений скорости движения [1]. Поэтому принципы вождения моторвагонного электротранспорта отличаются от принципов, заложенных в основе формирования рациональных режимов движения поездов с локомотивами. Следует отметить, что данные принципы существенно отличаются даже внутри отдельных групп по видам тяги в зависимости от веса поезда, его типа, особенностей груза и других факторов [2].

На электровозах 77-82% электроэнергии, которая потребляется, идет на преодоление сопротивления движению поезда, а пусковые и тормозные потери энергии составляют лишь 5-8%. Однако, на моторвагонном подвижном составе до 75% электроэнергии тратится на пусковые и тормозные процессы [2]. Современный выпускаемый моторвагонный электротранспорт имеет тяговые асинхронные двигатели переменного тока, что позволяет несколько уменьшить общие потери электроэнергии за счет применения узлов с более высоким коэффициентом полезного действия для построения тяговой электропередачи.

Актуальность исследования. Режим вождения поезда избирается в соответствии с расписанием движения и условий, которые характеризуют определенные тягово-энергетические показатели. От правильно выбранного режима вождения поезда зависит расход первичного энергоносителя [1] и условия работы элементов тяговой электропередачи. Поэтому выбор рационального способа управления моторвагонным электротранспортом является актуальной задачей как с точки зрения экономии энергоресурсов так и с точки зрения оптимизации принципов, закладываемых в системы автовождения таких поездов.

Цель статьи – обобщение рекомендаций по выбору рационального способа управления моторвагонным электротранспортом при движении по наклонному профилю железнодорожного пути и постановка принципов управления режимом работы тягового асинхронного двигателя в зависимости от этого.

Материалы исследования. Режим вождения моторвагонного электротранспорта можно разделить на определенные фазы:

- разгон;
- установившееся движение;
- движение в режиме выбега;
- торможение;
- стоянка.

Данные режимы можно проиллюстрировать обобщенной диаграммой движения моторвагонного электротранспорта, которая приведена на рис. 1.

На рис. 1 показаны следующие режимы движения:

- на этапе 1, который относится к режиму разгона и является пусковым этапом, за промежуток времени от 0 до t_1 поезд набирает скорость до величины v_n ;

- на этапе 2 за промежуток времени от t_1 до t_2 поезд набирает скорость до величины скорости установившегося движения v_y ;
- на этапе 3 за промежуток времени от t_2 до t_3 поезд движется с постоянной скоростью установившегося движения v_y ;
- на этапе 4 за промежуток времени от t_3 до t_4 поезд движется в режиме выбега. При этом скорость поезда уменьшается до величины v_z ;
- на этапе 5 поезд за промежуток времени от t_4 до t_5 полностью останавливается.

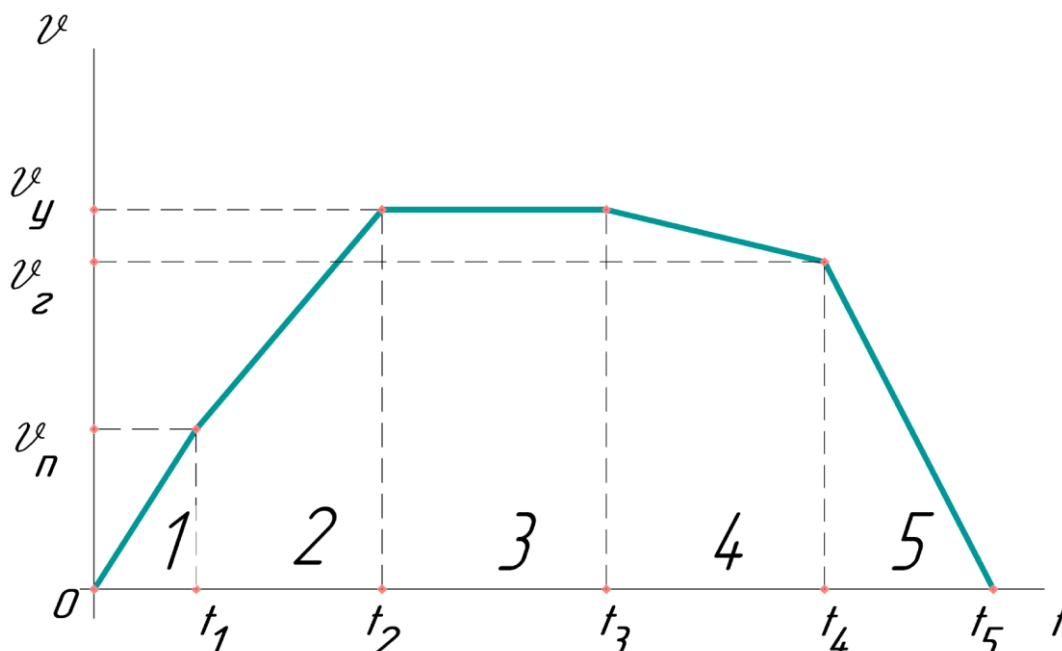


Рисунок 1 - Обобщенная диаграмма движения моторвагонного электротранспорта

После завершения этапа торможения происходит стоянка.

При появлении сигнала задания на движение поезда, исходящего от командоконтроллера машиниста, системы автовождения или узла управления поездом, формирование импульсов управления ключами тягового автономного инвертора напряжения (ТАИН) происходит по принципу широтно-импульсной модуляции.

При достижении выходного напряжения ТАИН уровня, необходимого для функционирования систем собственных нужд, процесс формирования сигнала управления ключами ТАИН происходит по амплитудному принципу на основе соотношения

$$\frac{E}{f} = const, \quad (1)$$

где E – электродвижущая сила (ЭДС) тягового двигателя, которая рассчитывается на основе измеренных значений активной составляющей тока и напряжения в шине постоянного тока;

f – фактическая частота тока тягового асинхронного двигателя.

Расчет ЭДС тягового двигателя осуществляется на основе соотношения

$$E = U_d - i_{sy} Z_s, \quad (2)$$

где U_d – напряжение в звене постоянного тока тягового преобразователя частоты;

i_{sy} – значение активной составляющей статорного тока тягового двигателя;

Z_s – сопротивление обмотки статора тягового асинхронного двигателя.

В таком режиме происходит работа тяговой электропередачи до момента достижения в шине постоянного тока номинального напряжения тяговой машины. После этого в зависимости от задания на скорость движения поезда, происходит переход работы системы автоматического управления тяговой электропередачей в зону управления с ослабленным потокоцеплением ротора тягового асинхронного двигателя.

Уменьшение модуля вектора потокоцепления ротора двигателя достигается при постоянном значении выходного напряжения ТАИН путем дальнейшего увеличения частоты задания для тягового двигателя. При этом изменение задания модуля вектора потокоцепления ротора двигателя происходит пропорционально сигналу модуляции, который вырабатывается системой автоматического управления тяговой электропередачей.

Описанная последовательность изменения законов управления тяговой электропередачей соответствует диаграмме рис. 2, на которой показаны диапазоны работы и моменты переключения между законами управления ТАИН и изменение при этом скорости вращения тягового асинхронного двигателя.

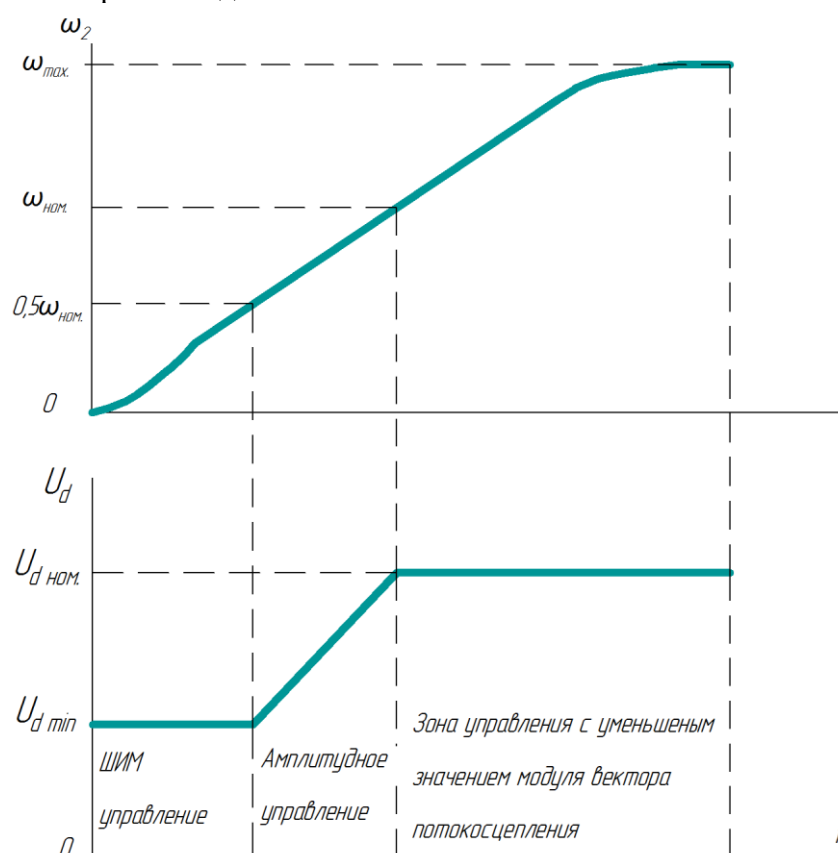


Рисунок 2 - Последовательность изменения законов управления тяговым преобразователем частоты

На профиле железнодорожного пути с перевалами, где чередуются между собой подъемы, площадки и спуски, рекомендуется вести поезд в растянутом состоянии [2] без использования выбега. В этом случае регулируют скорость движения путем изменения силы тяги. Если моторвагонный поезд следует по подъему, то силу тяги увеличивают, а на ровных площадках и спусках – уменьшают. На подъезде к подъему, который нельзя преодолеть за счет накопленной кинетической энергии, силу тяги увеличивают.

Если впереди имеет место легкий профиль пути и есть возможность прохождения его в режиме выбега, машинист осуществляет разгон поезда до максимально необходимой скорости [1].

Если впереди профиль пути сложный (содержит сложный подъем, кривые), то возможность использования выбега для движения поезда почти отсутствует из-за

стремительного падения скорости на подъеме. Машинисту приходится выполнять повторные пуски и разгон, который уменьшает оптимальные затраты энергии на движение по данному участку. Способ движения по такому участку должны быть таким, чтобы обеспечить приблизительно неизменной скорость движения поезда [1]. Машинист должен выбрать такой режим движения, чтобы скорость поезда отвечала установившемуся режиму движения, при котором полностью выполняется установленный график движения на участке пути.

При движении по участкам с равнинным профилем железнодорожного пути и относительно редкими остановками поезда машинисту нужно избирать такой режим вождения, при котором обеспечивается наименьшее колебание скорости движения с использованием таких позиций командоконтролера, которые отвечают максимально возможным значениям коэффициента полезного действия моторвагонного поезда. Уменьшение неравномерности движения поезда в этом случае дает заметный эффект вследствие нелинейной зависимости между силой сопротивления движению и скоростью движения [2].

Профиль участков железнодорожных путей, на которых есть ограничения относительно использования мощности поездов по сцеплению с рельсами, характеризуется наличием подъемов большой крутизны, однако относительно небольшой длины [2]. Поэтому при разработке и реализации рациональных режимов вождения моторвагонного электротранспорта на таких участках наряду с реализацией самой большой силы тяги необходимо обеспечивать использование кинетической энергии подвижного поезда.

При приближении поезда к сложной части профиля железнодорожного пути машинист должен придать поезду, по возможности, наибольшую скорость в пределах допустимого значения скорости движения поезда на данном участке пути [1-4]. Такой режим вождения поезда дает возможность преодолевать часть подъема за счет накопленной на предыдущих участках профиля пути кинетической энергии за счет перехода ее в потенциальную энергию во время движения по подъему. Данный процесс проиллюстрирован рисунком 3.

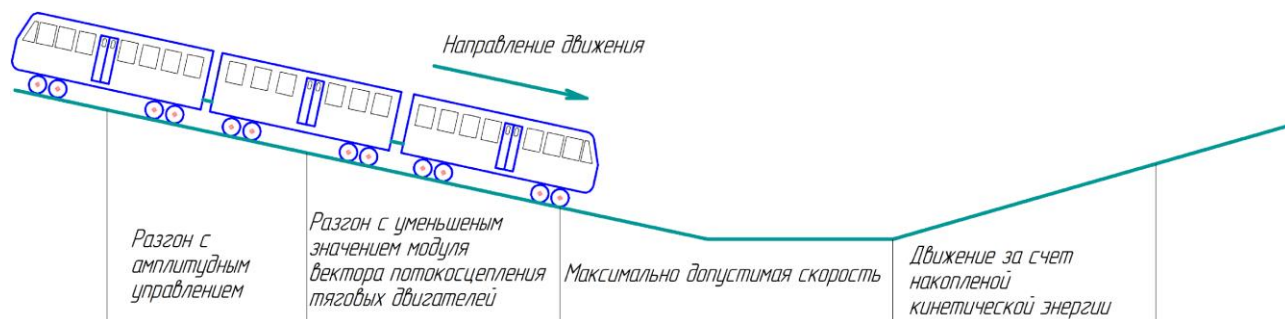


Рисунок 3 - Последовательность изменения способов вождения моторвагонного поезда при движении по наклонным участкам с переходом на подъем

После разгона машинист выключает тяговые электродвигатели, давая возможность поезду преодолеть часть подъема в режиме выбега до того момента, когда скорость поезда уменьшится до необходимой средней скорости, после чего командоконтроллер переводится в нужную позицию для поддержки постоянной скорости движения на всем перегоне. При движении поезда по подъему накопленная кинетическая энергия будет уменьшаться, а ток тяговых асинхронных двигателей увеличиваться. Однако переходить на низшие позиции рекомендуется лишь при достижении током двигателей, а соответственно и силой тяги поезда, предельных значений на данной позиции. Если скорость поезда продолжает уменьшаться, необходимо перевести систему тяговой электропередачи в режим номинального значения модуля вектора потокоосцепления ротора тягового асинхронного двигателя.

При чередовании элементов профиля пути с малыми значениями уклонов и элементов профиля со значительной крутизной необходимо использовать первые для накопления кинетической энергии поезда. Для этого целесообразно переходить на более глубокое

уменьшение значения модуля вектора потокосцепления. Подобные условия движения в конце подъема могут оказаться рациональными по отношению к экономии первичных энергоносителей в том случае, если после подъема находится станция, на которой предусмотрена остановка, или находится подъем, на котором поездом преодолевается высота большая, чем 10 м и уклон элементов профиля пути больший, чем 4 ‰ [2]. Кроме того, использование накопленной кинетической энергии за счет увеличения скорости перед подъемом при уменьшении значения модуля вектора потокосцепления ротора тягового асинхронного двигателя позволяет уменьшить нагрузку на сам двигатель и тем самым снизить температуру нагрева электрической машины в процессе движения по подъему. Особенно важно иметь максимально допустимую для данного участка пути скорость перед подъемом, который находится сразу после вредного спуска (спуск, на котором по условиям безопасности движения необходимо использовать регулировочное торможение для того, чтобы скорость поезда не превышала максимально допустимого значения, то есть на таком спуске удельное дополнительное сопротивление движению превышает удельное сопротивление движению данного поезда) [2].

Местные инструкции для локомотивных бригад относительно рациональных режимов вождения моторвагонного электротранспорта должны содержать не только рекомендации, разработанные для определенных условий движения, а и знакомить локомотивные бригады с основными принципами, которые следует использовать для максимального использования мощности моторвагонного электротранспорта. Поэтому, работа по обучению локомотивных бригад рациональным режимам вождения моторвагонного электротранспорта должна включать в себя не только теоретическое обучение, а и практический показ данных принципов опытными машинистами и машинистами-инструкторами. Рациональные режимы вождения моторвагонного электротранспорта должны основываться не на сборнике правил и инструкций относительно режимов вождения поезда на конкретных участках профиля железнодорожного пути или конкретных участках дистанций железных дорог, а на глубоком понимании сущности физических процессов, которые происходят при движении поезда в том или другом режиме при разных условиях и обстоятельствах. Такое понимание процессов возможно лишь с обретением высокого профессионализма и опыта локомотивными бригадами, при постоянном обмене передовым опытом между разными машинистами.

Выгодно отличаются данные высокие требования относительно понимания физической сущности рациональных режимов вождения моторвагонного электротранспорта к человеку-машинисту и к системе автоведения моторвагонного электротранспорта, которая на основе определенных математических соотношений и алгоритмов, полученных из опытных поездок с машинистами-инструкторами способна к самообучению, постороннему обучению и поиску оптимального, по определенным критериям, режима рационального вождения на определенном профиле железнодорожного пути. Введение оптимальных режимных карт для такой системы автоведения моторвагонного электротранспорта позволяет учесть порядок вождения поезда, режимы работы командоконтроллера машиниста, время следования по перегону, расстояния между остановочными пунктами, оптимальные значения скорости, ускорение и рывка, переход в режим выбега и прочее.

Выводы.

1. Определены общие рекомендации по управлению тяговым преобразователем частоты моторвагонного электротранспорта, на основании которых возможно построение системы автоведения моторвагонного электротранспорта переменного тока по наклонным профилям железнодорожного пути.

2. Режим вождения моторвагонного поезда выбирается в соответствии с расписанием движения и условий, которые характеризуют определенные тягово-энергетические показатели. При этом машинист должен обязательно учесть возможность использования кинетической энергии, накопленной на спусках для движения по следующим подъемам. Кроме того, такую возможность необходимо закладывать при построении оптимальных режимных карт для системы автоведения моторвагонного электротранспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цукало П.В. Экономия электроэнергии на электроподвижном составе / П.В. Цукало. – М.: Транспорт, 1983. – 174 с.
2. Черепашенец Р.Г. Вождение поездов / Р.Г. Черепашенец, В.А. Бирюков, В.Т. Понкрашов, А.Н. Судаловский; под ред. Р.Г. Черепашенца. – М.: Транспорт, 1994. – 304 с.
3. Дубровский З.М. Электровоз. Управление и обслуживание / Дубровский З.М., Курчатова В.А., Томфельд Л.П. – М.: Транспорт, 1979. – 231 с.
4. Калько В.А. Тепловоз. Иллюстрированное пособие машинисту / Калько В.А., Медведев Г.Г., Рукавишников Ю.А. – М.: Транспорт, 1967. – 223 с.

Ключевые слова: электроподвижной состав, наклонный профиль пути, принципы вождения, тяговый преобразователь частоты, тяговый двигатель, система автовождения.

УДК 629.423.24

Кулагин Д.А. Определение рационального способа вождения моторвагонного электротранспорта переменного тока по наклонным профилям железнодорожного пути // Вестник КазАТК. – Алматы, 201_. – № __. – С.

В статье рассмотрены принципы рационального способа вождения моторвагонного электротранспорта переменного тока по наклонным профилям железнодорожного пути, которые включают в себя возможность использования кинетической энергии, накопленной на спусках для движения по следующим подъемам. На основании предложенных рекомендаций возможно построение системы автовождения моторвагонного электротранспорта для управления движением по уклонам.

The article considers the principles of rational method of driving electric railcar AC on inclined profiles railway, which include the possibility of using the kinetic energy accumulated on the slopes for movement in the following periods. On the basis of the suggested recommendations, it is possible to build subsystem driving electric railcar for traffic control on the basis of specialization.

Сведения об авторе:

Кулагин Дмитрий Александрович

Место работы: Украина, г. Запорожье, Запорожский национальный технический университет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»

Научная степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ЗНТУ

Адрес: 69063, Украина, г. Запорожье, ул. Жуковского, 64, Запорожский национальный технический университет

Электронная почта: nemix123@rambler.ru

Контактный телефон: +38-066-236-52-71 +38-068-446-70-90.

Kulagin Dmitro Alexandrovich

Location: Ukraine, Zaporozhye, Zaporizhzhya national technical University, Department «Electrical supply of industrial enterprises»

Scientific degree: candidate of technical Sciences

Academic status: assistant Professor

Position: associate Professor of the Department «Electrosupply of the industrial enterprises of Zaporozhye national technical University

Address: 69063, Ukraine, Zaporozhye, street Zhukovsky, 64, Zaporizhzhya national technical University

E-mail: nemix123@rambler.ru

Contact phone: +38-066-236-52-71 +38-068-446-70-90.