

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОМ С АСИНХРОННЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

А.Ю. Романов

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
г. Москва*

В настоящем исследовании с помощью расширенной модели движения дизель-поезда ДЭЛ-01 (02) с асинхронными тяговыми двигателями получены графики зависимости скорости, расхода энергии, переключения позиций контроллера машиниста от пройденного расстояния и времени на различных профилях пути и при различных стратегиях ведения поезда. Проведен анализ полученных графиков, в результате чего сделан вывод о целесообразности использования следующей стратегии ведения поезда: разгон с кратковременным нахождением на позициях 1, 2 и 3 контроллера машиниста и более длительным нахождением на экономных позициях 4, 5 и особенно 6 с предпочтительным уклонением от 7 и 8 позиций; движение накатом; торможение. Поскольку модель учитывает не только динамику движения поезда, но и влияние систем автоматического регулирования и частотного управления электропередачей тяговых двигателей и другие факторы, данная стратегия позволяет обеспечивать уменьшение расхода топлива и наиболее безопасный режим движения дизель-поезда в аспекте электромагнитной совместимости его систем. Предлагается использование графиков зависимостей, полученных в результате моделирования, для модуля на нейронных сетях, который будет анализировать текущий режим ведения поезда и выдавать рекомендации машинисту по уменьшению расхода топлива, улучшению условий эксплуатации и соблюдению графика движения.

Ключевые слова: дизель-поезд, асинхронный тяговый двигатель, модель дизель-поезда, тяговые расчеты, автомашинист, системы автоматического управления, электромагнитная совместимость, нейронная сеть.

Введение

Модернизация железнодорожного подвижного состава, постоянное ужесточение требований к сокращению расхода топлива, оптимизации скоростного режима и других эксплуатационных характеристик диктуют необходимость усовершенствования систем управления, автоматического регулирования и поддержки принятия решений машинистом.

В зависимости от степени автоматизации, системы управления технологическими процессами можно разделить на следующие: неавтоматическое и автоматическое управление, автоматизированное связывание и автоматическое регулирование [1]. Процесс управления поездом состоит из следующих операций: получение начальной информации о цели управления; отбор рабочей информации о состоянии объекта управления и о внешних влияниях; обработка начальной и рабочей информации и принятие решения о необходимости воздействия на объект управления; выполнение принятого решения.

Перечисленные операции характерны для всех видов управления (неавтоматического и автоматического) процессами (технологическими, биологическими, экономическими, экологическими, социальными). Формально процессы управления можно рассматривать в виде математических моделей, иллюстрирующих процессы обработки информации, и на основании этого создать общую теорию управления [1]. Наиболее сложный уровень автоматизации – автоматическое управление. Его применяют для управления разнородными системами автоматического управления, которые составляют единую технологическую систему. Системы автоматического управления единицами железнодорожного транспорта предназначены для автоматизации ведения поезда

(включая пуск и разгон, выбор режима ведения на перегонах и торможения у платформы) с целью повышения качества технологического процесса: экономии топлива; соблюдения графика движения и улучшения условий эксплуатации поездов; повышения пропускной способности железных дорог [1–3]. Типичным объектом автоматического управления является такая сложная динамическая система, как асинхронный тяговый электропривод локомотива [4, 5].

Не менее важным объектом управления может выступать и сам поезд. При этом, поскольку окончательный выбор стратегии движения поезда остается за машинистом (что требует от него высокой квалификации, способности учитывать многие факторы, наличия опыта и высокой реакции), широкое распространение получают системы поддержки работы машиниста (так называемый «автомашинист») [6], обеспечивающие предоставление необходимых рекомендаций по оптимизации принятия решений. Цель настоящего исследования – с помощью симуляции точной модели движения подвижного состава и систем его автоматического регулирования осуществить моделирование различных стратегий управления дизель-поездом на различных профилях пути; выполнить анализ полученных графиков движения, которые будут положены в основу построения модуля рекомендаций машинисту по выбору наиболее экономной стратегии управления. Для расчетов используются базовые характеристики поезда ДЭЛ-01 (02) [7] – типичного представителя перспективного направления дизель-поездов с асинхронными тяговыми двигателями.

1. Математическая модель дизель-поезда

Согласно традиционной упрощенной модели, поезд – это материальная точка, которая перемещается по заданному маршруту. Данную модель можно усовершенствовать, учитывая данные о начале движения поезда, длине состава, возможности его размещения вдоль приемно-отправного места, торможении, оптимальности расхода топлива и др. Кроме того, можно выполнять моделирование управления не всем поездом, а только системой его электропривода [8] или электропередачи [9], что также способствует обеспечению минимизации времени и энергозатрат.

При проведении исследования за основу принимались традиционные тяговые расчеты [10–12], учитывающие вес поезда, время в пути, скорость движения в режиме полной мощности локомотива, кинетическую энергию поезда. Тяговые расчеты предоставляют необходимые данные для выработки наиболее оптимальной стратегии управления поездом, обеспечивающей максимальную экономию энергоресурсов при наибольших допустимых скоростях движения.

Условия движения дизель-поезда. При движении вагоны дизель-поезда взаимодействуют друг с другом через сцепные устройства, а также испытывают влияние движения по рельсам, скорости и направления ветра и т. д. В результате действия этих сил на поступательное движение дизель-поезда накладываются перемещения подвижного состава во всех направлениях: продольные, поперечные и вертикальные, а также вращательные движения по вертикальной и горизонтальной осям. Поэтому движение электропоезда по рельсам сопровождается частичным влиянием, галопированием, наклоном и колебанием вагонов и локомотива [10]. При традиционных тяговых расчетах (для упрощения рассмотрения условий движения) считается, что масса дизель-поезда сосредоточена в центре его веса, а из всех перемещений рассматривается только его поступательное движение по железнодорожному пути и вращательное движение якорей тяговых электродвигателей, элементов передачи и колесных пар. Другие перемещения не учитываются, а силы, потраченные на них, относят к силе сопротивления движению и отдельно не рассматривают, что приводит к снижению точности моделирования.

Во время движения поезд находится в трех состояниях: в состоянии разгона, в движении на выбеге при выключенных тяговых двигателях и в состоянии торможения [11, 13]; он также подвергается воздействию многих сил, а функционирование отдельных узлов описывается собственными законами.

Рассматриваемый дизель-поезд ДЭЛ-01(02) имеет два моторных вагона, каждый из которых оснащен 2 асинхронными тяговыми двигателями, воздействующими на собственную колесную пару через редуктор [7]. При этом надо отметить, что разные колесные пары зачастую имеют разное сцепление с рельсами; из-за износа диаметры колес могут не совпадать [14]; вагоны постоянно испытывают продольные колебания через сцепку; движение обеспечивается работой независимых дизельных генераторов, связанных собственными системами электропередачи с асинхронными тяговыми электродвигателями. Все эти факторы могут приводить к тому, что возникает

проскальзывание колесных пар (буксование), снижается КПД электропередачи, магнитные моменты тяговых двигателей могут значительно отличаться и даже быть противоположными; в результате – повышается износ механизмов и расход топлива. Для улучшения эффективности работы и взаимодействия отдельных систем дизель-поезда существуют различные системы автоматического регулирования электропередачи генераторов и дизелей [8, 9, 14], тяговых двигателей в режимах выбега, торможения и разгона [8, 13], сложность разработки которых обусловлена условиями функционирования электрического оборудования.

Поэтому (с целью повышения точности моделирования) для каждого состояния введена опеределенная система уравнений, каждое из которых описывает соответствующий аспект движения поезда [15]: скорость движения и пройденное расстояние, массу поезда, силу ускорения (с учетом угловых ускорений) и др. При этом, линейное уравнение движения дизель-поезда показывает, как силы, действующие на поезд, влияют на характер его движения; уравнение силы тяги дизель-поезда отражает электромеханические характеристики тягового электрического двигателя [4, 5]. Кроме того, при моделировании используются: уравнение для определения силы сопротивления движению дизель-поезда (с учетом удельной силы сопротивления, а также сопротивления при движении на уклонах и криволинейных участках) [10], уравнение тормозной силы дизель-поезда (механической и электрической), уравнение динамики движения дизель-поезда в дифференциальном виде, уравнение начала движения (трогания), уравнение расчета длины всего состава, уравнение расчета тормозного пути [13]. Отдельно применяется математическая модель трехфазного асинхронного тягового электропривода, описанная в работе [16], где она сформулирована в системе фазных координат и сведена к системе уравнений и усилена уравнениями для оценки энергетической эффективности движения поезда. Моделирование электропередачи тяговых приводов дизель-поезда также выполняется с использованием отдельной математической модели для n -тяговых двигателей, описанной с помощью нелинейной системы уравнений в работе [17] и адаптированной к описанию рассматриваемого дизель-поезда, который имеет две пары тяговых двигателей [7]. Учтены воздействия систем регулирования и автоматического управления [8, 9, 13, 16, 17], функционирующих в условиях электромагнитных помех и наводок, которые возникают от силового электрического оборудования, в виде дополнительных уравнений обратной связи, влияющих на управляющие коэффициенты в базовых уравнениях.

Таким образом, получена модель дизель-поезда, функционирующего в изменяющихся условиях работы (изменение профиля пути, условий сцепления колес с рельсами, загруженности поезда, климатических условий, износа деталей), и учитывающая такие факторы, как: совместная работа дизеля и генератора; механическое движение дизель-поезда и его частей; процессы в электрических цепях и условия электромагнитной совместимости; особенности распределенной тяги; нелинейность параметров тяговых двигателей; управляющие воздействия от систем автоматического регулирования.

2. Моделирование движения дизель-поезда в MATLAB

Упомянутые выше системы уравнений были объединены и согласованы между собой в виде общей многослойной модели, реализованной в среде MATLAB, являющейся высокопродуктивным языком для технических расчетов и включающей в себя вычисления, визуализацию и программирование в удобной среде, где задачи и решения выражаются в форме, близкой к математической. При моделировании использовались средства Simulink Toolbox, предоставляющие удобный интерфейс пользователя для построения модели и проведения моделирования. В результате моделирования были рассчитаны следующие параметры: затраченная мощность, пройденный путь, мгновенная скорость, ускорение. При выборе позиций контроллера машиниста (КМ) учитывались также расход времени и профиль пути. Поскольку часть общей модели строилась на линейных формулах тяговых расчетов [11], моделирование выполнялось с фиксированным шагом в 0,1 с, что позволило приблизить модель к дифференциальной и получить четкие графики зависимостей и достаточную точность моделирования. Полученные значения тяговых и тормозных усилий дизель-поезда, а также такие параметры, как скорость и ускорение, соответствуют реальным характеристикам современных дизель-поездов [7, 13], что свидетельствует об адекватности разработанной модели и дает возможность моделировать различные стратегии ведения поезда, используя полученные графики зависимостей для анализа эффективности этих стратегий.

Управление в технических системах

Основные технические параметры дизель-поезда. При моделировании мы исходили из следующих технических характеристик дизель-поезда: состав дизель-поезда – 2 главных вагона и 1 прицепной; ширина рельса – 1520 мм; диаметр колеса – 950 мм; передаточное отношение тягового редуктора – 3,47; вес поезда – 208,28 т (вес двух главных вагонов – 149 т, прицепного – 59,28 т); статическая нагрузка от колесной пары на рельсы – 20 тс; длина перегона – 3500 м; интервал движения – 5 мин; уклон пути – до 20 ‰.

Зависимость частоты вращения и мощности дизельного двигателя от позиций КМ приведена в таблице [7].

Частота вращения и мощность дизеля в зависимости от позиций КМ

Позиция КМ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота вращения, об/с	810	900	1086	1270	1457	1643	1829	2014	2200
Мощность, кВт	39,6	39,6	149	213	260	301	382	441	472

3. Результаты моделирования движения дизель-поезда

Было проведено моделирование движения поезда на перегонах длиной 3,5 км за заданное время – 5 мин. Рассматривалось движение на 4 профилях пути – на подъеме (рис. 1, а), на спуске (рис. 1, б), на смешанном профиле (рис. 1, в) и на ровном (рис. 1, г).

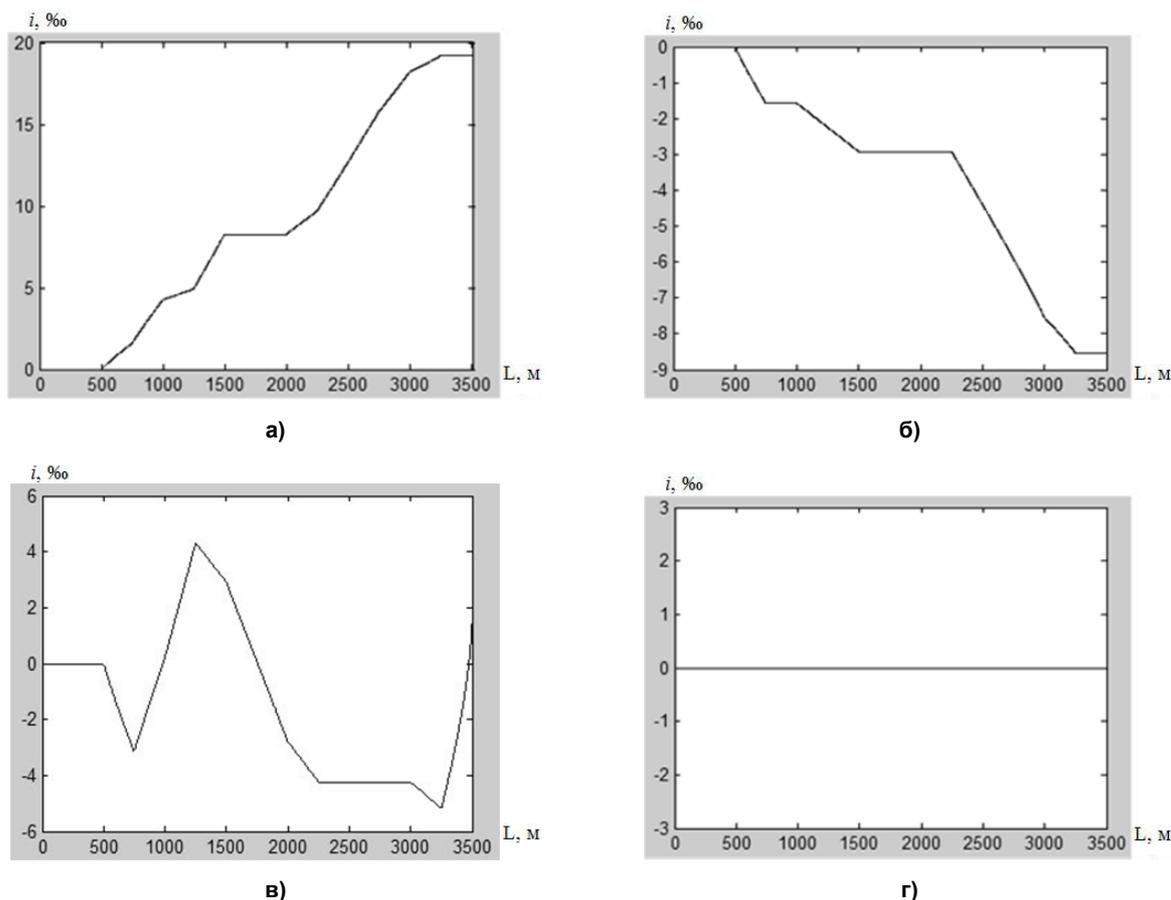


Рис. 1. График изменения углов наклона при движении на разных профилях пути: на подъеме (а), на спуске (б), на смешанном (в) и на ровном (г)

На каждом профиле приведен анализ трех стратегий ведения поезда.

I стратегия – быстрый разгон (позиции КМ 7 и 8), движение накатом, торможение.

II стратегия – замедленный разгон с равномерным переходом по всем позициям КМ, кроме высоких (7, 8), движение накатом, торможение.

III стратегия – спокойный разгон с быстрым прохождением нижних позиций (1, 2, 3) и умеренным нахождением в наиболее экономичных позициях КМ (4, 5, 6), движение накатом, торможение.

Следует также отметить, что что позиции КМ 1, 2, 7, 8 являются экстремальными для работы дизель-поезда [8, 14]: нижние имеют низкие обороты и нужны в первую очередь для разгона (при этом при пуске двигателя наблюдаются колебательные процессы в электрических контурах и повышенные механические продольные колебания самих вагонов); верхние имеют высокие обороты и осуществляют работу при максимальной мощности, что требует функционирования обоих моторных вагонов (это делает механическую и электрическую части более чувствительными к ударам колес на стыках рельс и наклону профиля пути). Этими же причинами обусловлена и менее стабильная работа систем автоматического регулирования. Кроме того, слишком частые переключения позиций КМ также приводят к дополнительным нежелательным процессам в силовой установке дизель-поезда.

Иная ситуация с позициями КМ 4, 5, 6, которые являются наиболее эффективными [13]. При движении, когда переключатель КМ находится в позициях данного диапазона, и набрана достаточная мощность, один из дизелей может отключаться, что уменьшает вероятность рассинхронизации моментов тяговых двигателей.

На рис. 2 приведены графики зависимости расхода энергии и изменения скорости движения от пройденного расстояния при движении на подъеме (рис. 2, а, б), на спуске (рис. 2, в, г), при смешанном (рис. 2, д, е) и ровном профиле пути (рис. 2, ж, з). Цифрами 1, 2, 3 на рис. 2 обозначены графики, полученные при использовании, соответственно, I, II и III стратегий ведения поезда.

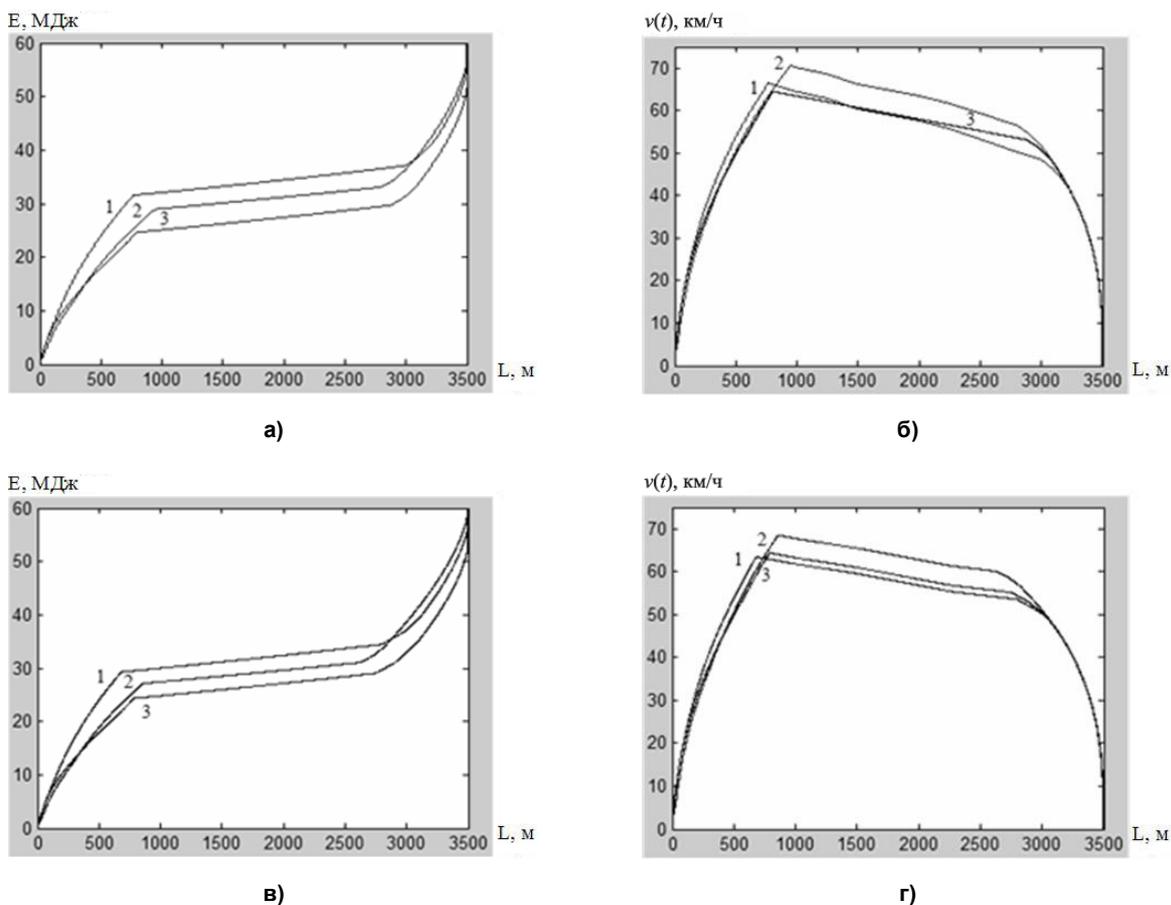


Рис. 2. Графики изменения затрат энергии и скорости от пройденного расстояния на разных профилях пути: движение на подъеме (а, б), движение на спуске (в, г), смешанный профиль (д, е), ровный профиль (ж, з) (см. также с. 48)

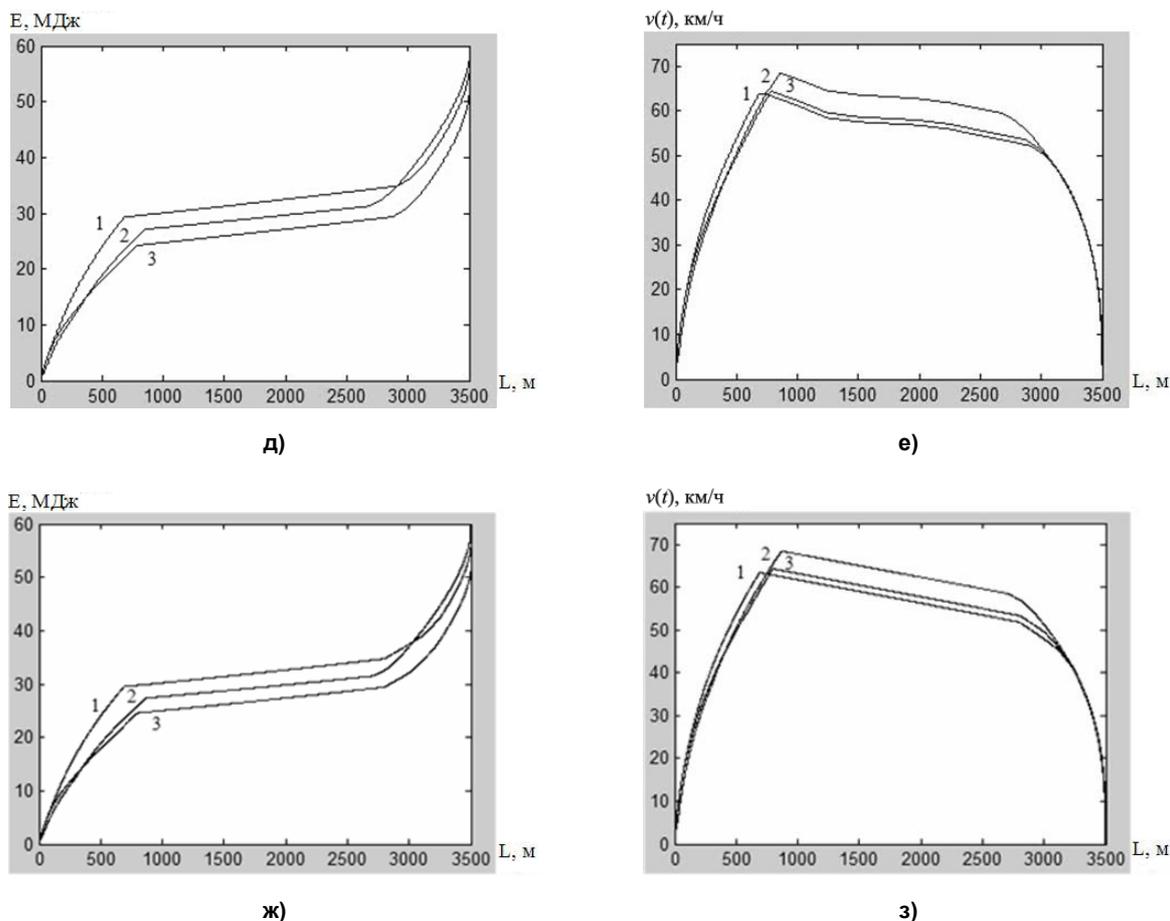


Рис. 2. Окончание

Кроме основных трех стратегий ведения поезда, которые позволяют преодолевать заданное расстояние за расчетное время, возможны экстремальные ситуации, при которых необходимо преодолеть перегон как можно скорее, на максимальной скорости. Иная экстремальная ситуация складывается при неблагоприятных дорожных условиях или в случае, если движущийся впереди поезд ограничивает максимальную скорость движения (например, до 50 км/ч). Движению в экстремальных условиях соответствуют IV и V стратегии.

IV стратегия – быстрый разгон до максимальной скорости (в модели устанавливалось ограничение до 80 км/ч) при высоких позициях КМ (7 и 8) и поддержание ее с постепенным переключением КМ в 6 позицию, которой вполне достаточно для поддержания необходимой скорости, но которая является более экономичной, после чего – торможение.

V стратегия – быстрый разгон до максимально возможной на данном перегоне скорости (в модели устанавливалось ограничение до 50 км/ч) при высоких позициях КМ (7 и 8) и поддержание ее с переключением КМ в 4 позицию, которой также достаточно для поддержания скорости, но которая является более экономичной, после чего – торможение.

На рис. 3 приведены графики зависимости скорости и энергозатрат от времени для пяти стратегий ведения поезда на ровном профиле пути. Стратегии I, II, III, IV и V на рис. 3 обозначены, соответственно, цифрами 1, 2, 3, 4 и 5.

На рис. 4–8 приведены графики переключения позиций КМ (1–8 позиции разгона; 9–11 – соответствуют 1–3 позиции торможения) в зависимости от времени для 5 стратегий ведения поезда на ровном профиле.

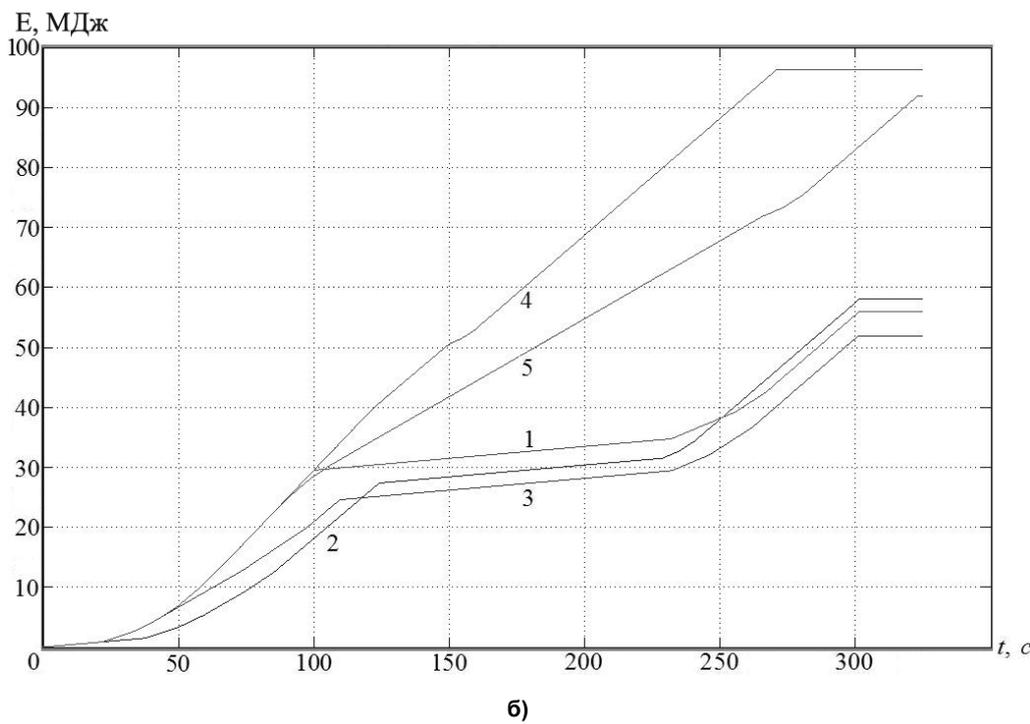
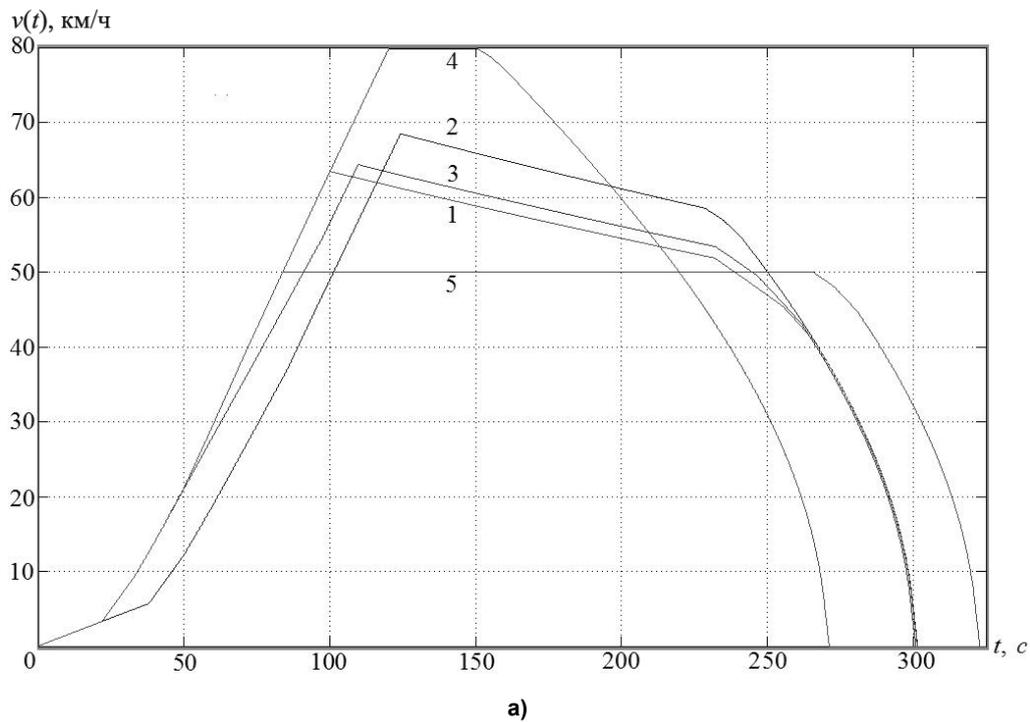


Рис. 3. Графики изменения скорости (а) и затрат энергии (б) от времени на ровном профиле пути

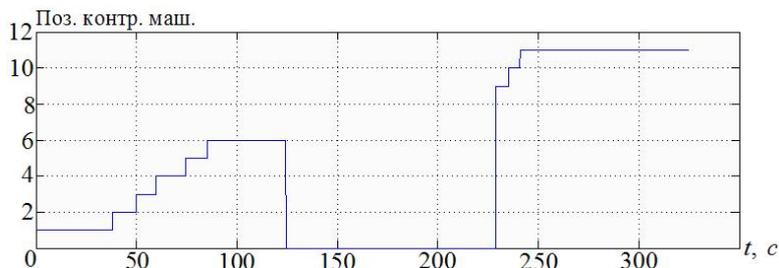


Рис. 4. График переключения позиций КМ в зависимости от времени для I стратегии ведения поезда на ровном профиле пути

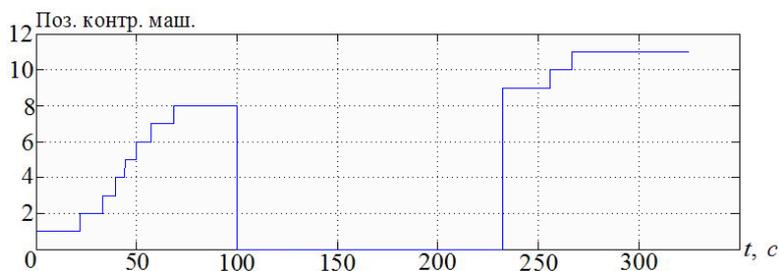


Рис. 5. График переключения позиций КМ в зависимости от времени для II стратегии ведения поезда на ровном профиле пути

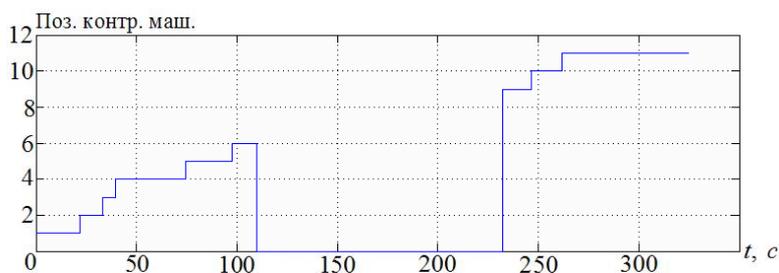


Рис. 6. График переключения позиций КМ в зависимости от времени для III стратегии ведения поезда на ровном профиле пути

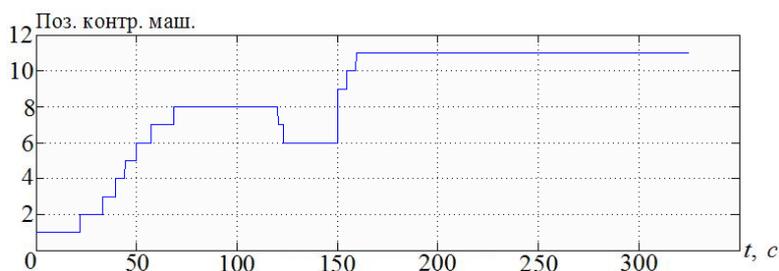


Рис. 7. График переключения позиций КМ в зависимости от времени для IV стратегии ведения поезда на ровном профиле пути

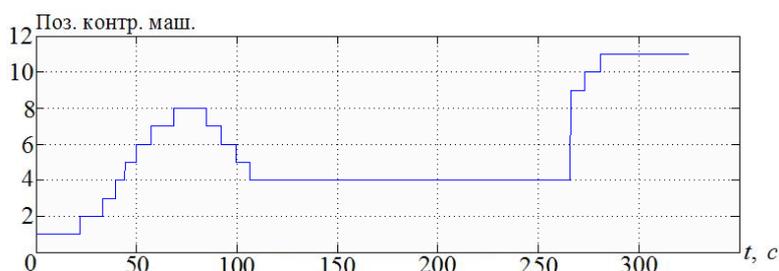


Рис. 8. График переключения позиций КМ в зависимости от времени для V стратегии ведения поезда на ровном профиле пути

В результате анализа полученных графиков видно, что I стратегия ведения поезда (рис. 4) характеризуется наибольшим нахождением в режиме движения накатом, однако, во время набора скорости наблюдается значительный перерасход энергии.

Используя II стратегию ведения поезда (рис. 5), машинист вынужден набирать более высокую скорость и дольше находиться в режиме разгона чтобы успеть достичь пункта назначения за отведенное время. Соответственно, период нахождения в режиме движения накатом уменьшается, а затраты энергии на торможение увеличиваются, поскольку тормозить надо начинать раньше и при большей скорости, в результате чего эта стратегия ведения поезда является наименее эффективной, а энергозатраты даже больше чем при I стратегии.

III стратегия ведения поезда (рис. 6) оказалась наиболее экономной. Благодаря использованию энергетически выгодных позиций КМ при разгоне достигается экономия, которая перекрывает даже несколько большие затраты энергии в результате более короткого по времени нахождения в режиме движения накатом и при торможении, по сравнению с I стратегией. Также данная стратегия является наиболее безопасной для эксплуатации дизель-поезда в аспекте электромагнитной совместимости его систем.

Экстремальные стратегии IV и V (рис. 7, 8) оказались наиболее энергозатратными (рис. 3, б), что неудивительно, поскольку поставленное условие – пройти расстояние как можно быстрее при ограничениях скорости (80 км/ч – для IV стратегии и 50 км/ч – для V стратегии) – вынуждает избегать режима движения накатом и постоянно поддерживать наибольшую разрешенную скорость, что возможно лишь при уменьшении до более экономичной, но достаточной для поддержания необходимой скорости, позиции КМ. В условиях моделирования на ровном профиле пути IV стратегия ведения поезда обеспечивает выигрыш времени до 30 с, а V стратегия – позволяет снизить отставание от графика до 25 с (рис. 3, а). Однако очевидно, что использование данных стратегий целесообразно только при наличии экстремальных условий и ограничений.

Таким образом, наиболее целесообразным является использование следующей стратегии ведения поезда: разгон с недолгим нахождением на позициях 1, 2 и 3 контроллера машиниста и более долгим пребыванием на экономных позициях 4, 5 и особенно 6 с предпочтительным уклонением от 7 и 8 позиций; движение накатом; торможение.

Выводы

Результаты проведенного моделирования приводят к выводу о том, что анализ полученных графиков зависимости скорости движения поезда от пройденного пути позволяет выдавать машинисту рекомендации по корректировке режима движения с целью уменьшения энергозатрат. Выполнение данной задачи вполне способна обеспечить нейронная сеть, которая может распознавать по указанным графикам, к какой зоне относится текущий график движения поезда, и если зона не оптимальна по энергозатратам, выдать необходимые рекомендации машинисту по изменению стратегии ведения поезда, чтобы переместиться в оптимальную зону [18]. Графики зависимости скорости от времени и пройденного пути являются непрерывными (рис. 3), в то время как соответствующие им графики переключения позиций КМ являются дискретными (рис. 4–8). Следовательно, нейронная сеть должна быть ассоциативной и распознавать непрерывные изображения-графики. При этом желательно, чтобы непрерывные изображения ассоциировались с дискретными, которые соответствовали бы определенной стратегии ведения поезда, т. е. чтобы сама сеть была двунаправленной, что позволило бы восстанавливать непрерывные изображения по дискретным и наоборот. Важным требованием является также умение нейронной сети доучиваться во время работы для улучшения распознавания на основе полученного опыта. Большинство этих свойств обладают нейронные сети адаптивной резонансной теории (АРТ), анализ возможности применения которых к задаче построения системы автомашинист является прерогативой дальнейших исследований. При реализации такой системы (как и систем контроля и автоматического регулирования) для повышения ее надежности и качества функционирования необходимо выполнение требований электромагнитной совместимости с электрическими цепями, дизельными генераторами и тяговыми двигателями.

Литература

1. Автоматизация электроподвижного состава / под ред. А.Н. Савоськина. – М.: Транспорт, 1990. – 311 с.
2. Gouin, M. *Le fret express la grande vitesse ferroviare* / M. Gouin // *Revue Generale des Chemins de fer*. – 1996. – No. 4. – P. 947–953.
3. Soenen, R. *Die technische Harmonisierung* / R. Soenen // *Rail International*. – 1997. – No. 6–7. – P. 947–953.
4. Михальченко, Г.С. Моделирование переходных режимов в асинхронном тяговом приводе локомотивов / Г.С. Михальченко, Г.А. Федяева, А.И. Власов // *Вестник ВНИИЖТ*. – 2003. – № 4. – С. 42–47.
5. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / под ред. Н.А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
6. Системы автотоведения, регистрации параметров движения и работы тягового подвижного состава: обзорное пособие. – М.: ООО «АВТ Технологии», 2011. – 96 с.
7. Дизель поезд ДЕЛ-02. Руководство по эксплуатации. Часть 1. Описание и работа. 1030.00.00.001 РЭ. – 2005. – 105 с.
8. Носков, В.И. Создание тягового электропривода моторвагонных поездов на основе новых информационных технологий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Носков. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2009. – 23 с.
9. Кулагин, Д.А. Повышение эффективности работы тяговой электропередачи дизель-поездов ДЕЛ-02: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Кулагин. – Запорожье: ДП «ДНДЦ УЗ», 2011. – 21 с.
10. Осипов, С.И. Основы тяги поездов: учеб. для студентов техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / С.И. Осипов, С.С. Осипов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.
11. Гребенюк, П.Т. Тяговые расчеты: справ. / П.Т. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцова; под ред. П.Т. Гребенюк. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
12. Заковоротний, О.Ю. Модель руху дизель-поїзда на основі тягових розрахунків / О.Ю. Заковоротний, О.Ю. Романов // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Матеріали 17 міжнародної науково-практичної конференції*. – Харків: НТУ «ХПИ», 2009.
13. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заповольский, С.Ю. Леонов. – Харьков: ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 с.
14. Орловский, И.А. Измерение параметров режима дизель-поезда ДЕЛ-02 во время эксплуатации и сравнение их с математической моделью / И.А. Орловский // *Электротехника и электроэнергетика*. – 2010. – № 1. – С. 4–18.
15. Романов, А.Ю. Модель движения дизель-поезда / А.Ю. Романов, В.Д. Дмитриенко, М.В. Липчанский // *Третья университетская научно-практическая студенческая конференция магистрантов НТУ «ХПИ»*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009.
16. Усольцев, А.А. Векторное управление асинхронными двигателями: учеб. пособие по дисциплинам электромехан. цикла / А.А. Усольцев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2002. – 43 с.
17. Исследование стабильности работы систем регулирования возбуждения тяговых двигателей тепловозов / Г.Г. Басов, Е.Н. Шапран, Э.Х. Тасанг, А.А. Крючков // *Вестник ВНИИЖТ*. – 2006. – № 2. – С. 16–21.
18. Разработка теории методов искусственного интеллекта для моделирования и оптимизации динамических объектов: отчет о НИР (заключительный) / В.Д. Дмитриенко; НТУ «ХПИ». – № ГР 0104U003016. – Харьков, 2006. – 100 с.

Романов Александр Юрьевич, канд. техн. наук, старший преподаватель департамента компьютерной инженерии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва; a.romanov@hse.ru.

Поступила в редакцию 1 февраля 2016 г.

DIESEL TRAINS WITH ASYNCHRONOUS TRACTION MOTORS MANAGEMENT STRATEGIES MODELING

A.Yu. Romanov, a.romanov@hse.ru

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation

In this research, by using the extended motion model of DEL-01 (02) diesel train with asynchronous traction motors the graphs of speed, power consumption, driver's controller switching position dependences on the traveled distance and the time for different railway hauls profiles and different strategies of the train driving are obtained. The analysis of the graphs results in the conclusion of the feasibility of using the following strategy of train driving: acceleration with short-term presence on the positions 1, 2 and 3 of the driver's controller and a long-term presence on the economical positions 4, 5 and in particularly 6 with the preferred evasion of positions 7 and 8; coasting; braking. Since the model takes into account not only the dynamics of the train, but also the influence of automatic and frequency control of traction engine electric drive and other factors, this strategy allows to provide a reduction in fuel consumption and the safest mode of movement of diesel trains in terms of electromagnetic compatibility of its systems. It is proposed to use the dependence graphs, obtained by simulation of module on neural networks, able to analyze the current mode of train driving and make recommendations to a train driver to reduce fuel consumption, improve operating conditions and comply with the timetable.

Keywords: diesel train, asynchronous traction motor, diesel train model, traction calculations, automatic train driver, automatic control system, electromagnetic compatibility, neural network.

References

1. Savoskin A.N. *Avtomatizatsiya elektropodvizhnogo sostava* [Automation of Electric Rolling]. Moscow, Transport Publ., 1990. 311 p.
2. Gouin M. Le Fret Express la Grande Vitesse Ferroviare. *Revue Generale des Chemins de fer*, 1996, no. 4, pp. 947–953.
3. Soenen R. Die Technische Harmonisierung. *Rail International*, 1997, no. 6–7, pp. 947–953.
4. Mikhal'chenko G.S., Fedyayeva G.A., Vlasov A.I. [Simulation of Transients in Asynchronous Traction Drive of Locomotives]. *Bulletin of Joint Stock Company Railway Research Institute*, 2003, no. 4, pp. 42–47. (in Russ.)
5. Rotanova N.A. *Elektropodvizhnoy sostav s asinkhronnymi tyagovymi dvigatelyami* [The Electric Power with the Asynchronous Traction Motors]. Moscow, Transport Publ., 1991. 336 p.
6. *Sistemy avtovedeniya, registratsii parametrov dvizheniya i raboty tyagovogo podvizhnogo sostava: obzornoe posobie* [The Systems of Automatic Driving, Registration of Parameters of Movement and Operation of Traction Rolling Stock: Overview Guide]. Moscow, LLC "AVP Technology", 2011. 96 p.
7. *Dizel' poezd DEL-02. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Chast' 1. Opisaniye i rabota. 1030.00.00.001 RE* [Diesel Train DEL-02. Manual. Part 1: Description and Operation. 1030.00.00.001 RE], 2005. 105 p.
8. Noskov V.I. *Sozdaniye tyagovogo elektroprivoda motorvagonnykh poezdov na osnove novykh informatsionnykh tekhnologiy. Avtoreferat dissertatsii* [The Development of the Traction Electric Multiple Units Trains on the Basis of New Information Technologies. Abstract of the Thesis]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2009. 23 p.
9. Kulagin D.A. *Povysheniye effektivnosti raboty tyagovoy elektroperedachi dizel' poezdov DEL-02. Avtoreferat dissertatsii* [Improving of the Efficiency of the Traction Power of Diesel Trains DEL-02. Abstract of the Thesis]. Zaporozhye, DP "DNDTS UZ", 2011. 21 p.
10. Osipov S.I., Osipov S.S. *Osnovy tyagi poezdov. Uchebnik dlya studentov tekhnikumov i kolledzhey zheleznodorozhnogo transporta* [Basics of Trains Traction. The Textbook for Students of Technical Schools and Colleges of Railway Transport]. Moscow, UMK MPS of Russia, 2000. 592 p.
11. Grebenyuk P.T., Dolganov A.N., Skvortsova A.I. *Tyagovyye raschety: spravochnik* [Traction Calculations: Handbook]. Moscow, Transport Publ., 1987. 272 p.

12. Zakovorotnyi O.Yu., Romanov O.Yu. *Model Rukhu diesel poyizda na osnovi tiagovykh rozrakhunkiv* [Trains Movement Model on the Basis of Craction Calculations]. *Informatsiyini tekhnologiyi: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya. Materialy 17 mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* [Informational Technologies: Science, Engineering, Technology, Education, Health. Materials of the 17-th International Scientific Conference]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2009. (in Ukr.)
13. Noskov V.I., Dmitrienko V.D., Zapolovsky N.I., Leonov S.Y. *Modelirovanie i optimizatsiya sistem upravleniya i kontrolya lokomotivov* [Modelling and Optimization of Management and Control Systems of Locomotives]. Kharkov, KhPI "Transport of Ukraine", 2003. 248 p.
14. Orlovsky I.A. [Measurement of Mode Parameters of Diesel Train DEL-02 During Operation and Their Comparison with the Mathematical Model]. *Electrical Engineering and Power Generation*, 2010, no. 1, pp. 4–18. (in Russ.)
15. Romanov A.Yu, Dmitrienko V.D., Lipchansky M.V. *Model' dvizheniya dizel'-poezda* [Diesel Train Traffic Model]. *Tret'ya universitetskaya nauchno-prakticheskaya studencheskaya konferentsiya magistrantov NTU "KhPI"* [The Third University Students' Scientific-Practical Conference of Undergraduates of NTU "KPI"]. Kharkov, NTU "KhPI", 2009. (in Ukr.)
16. Usoltsev A.A. *Vektornoe upravlenie asinkhronnymi dvigatelyami. Uchebnoe posobie po distsiplinam elektromekhanicheskogo tsikla* [Vector Control of AC Motors. Tutorial on Disciplines of Electromechanical Cycle]. Saint Petersburg, SPbGU ITMO, 2002. 43 p.
17. Basov G.G., Shapran E.N., Tasang E.Kh., Kryuchkov A.A. [Study of the Stability of the Control Systems of Traction Engines of Locomotives]. *Bulletin of Joint Stock Company Railway Research Institute*, 2006, no. 2, pp. 16–21. (in Russ.)
18. Dmitrienko V.D. *Razrabotka teorii metodov iskusstvennogo intellekta dlya modelirovaniya i optimizatsii dinamicheskikh ob'ektov: Otchet o NIR (zaklyuchitel'nyy)* [Development of the Theory of Artificial Intelligence Methods for Modeling and Optimization of Dynamic Objects: Research Report (Final)]. NTU "KhPI", no. GR 0104U003016, Kharkov, 2006. 100 p.

Received 1 February 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Романов, А.Ю. Моделирование стратегий управления дизель-поездом с асинхронными тяговыми двигателями / А.Ю. Романов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 43–54. DOI: 10.14529/ctcr160204

FOR CITATION

Romanov A.Yu. Diesel Trains with Asynchronous Traction Motors Management Strategies Modeling. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 43–54. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr160204