


УДК 621.436

## Анализ способов управления дизелем в составе энергетической установки с электрической трансмиссией

**А.Г. Кузнецов**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

## Analysis of Diesel Engine Management Methods in a Power Unit with Electric Transmission

**A.G. Kuznetsov**BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: kuzag441@mail.ru

**i** Рассмотрены особенности различных способов управления транспортным средством при двух подходах к заданию режимов работы энергетической установки: при активной роли дизеля и активной роли тяговых электродвигателей. Показано, что использование первого подхода может дать преимущество в динамичности управления. Предложен способ управления, при котором сигналом педали водителя задаются параметры и форма характеристики тяговых электродвигателей и частота вращения вала дизеля в соответствии с характеристикой минимальных расходов топлива. Для иллюстрации влияния способов управления энергетической установкой на показатели работы транспортного средства приведены результаты моделирования движения грузового автомобиля с дизелем Liebherr V8 (Германия) мощностью 505 кВт.

**Ключевые слова:** дизель, энергетическая установка, способ управления, динамичность, экономичность, моделирование.

**i** Particular properties of different ways of vehicle control were considered under two approaches determining how the power unit operating mode is defined: with the active role of the diesel engine and with the active role of the electric traction motor. It is shown that the first approach may have an advantage from the point of view of the driving dynamics. The engine management method is proposed where the driver's pedal signal sets the parameters and form of the electric traction motor characteristics and the engine speed according to the minimum fuel consumption characteristic. To illustrate the influence of the different power unit management methods on the vehicle performance, motion simulation results for a 505 kW Liebherr diesel truck are presented.

**Keywords:** diesel, power unit, engine management, driving dynamics, economical fuel consumption, simulation.

В настоящее время все большее распространение получают транспортные средства с энергетическими установками комбинированного типа, в которых сочетаются двигатель внутреннего сгорания как источник энергии и электрическая трансмиссия для передачи энергии к ко-

лесам [1–4]. Энергетические установки такого типа (рис. 1) характерны для тепловозов и грузовых автомобилей большой мощности.

Динамичность управления транспортным средством и экономичность работы его энергетической установки во многом зависят от спосо-

ба управления. Способы управления комбинированными энергетическими установками, содержащими дизель как источник энергии и электрическую трансмиссию, более разнообразны, нежели способы управления установками с механическим типом трансмиссии [1]. Так, в трансмиссии с механической коробкой передач при жесткой связи валов двигателя и колес транспортного средства для того, чтобы транспортное средство двигалось с максимальной скоростью, приходится задавать максимальную частоту вращения вала двигателя. Энергетическим установкам комбинированного типа присуща большая гибкость в выборе режимов работы двигателя и механической части трансмиссии и их сочетания в связи с отсутствием жесткой механической связи между валом двигателя и колесами. При балансе работы элементов энергетической установки по мощности двигатель внутреннего сгорания и тяговые электродвигатели могут работать на разных режимах при различных сочетаниях частоты вращения и крутящего момента. В комбинированных энергетических установках возможна также оптимизация режимов работы по выбранным критериям. Управляющие сигналы из системы управления могут подаваться на элементы энергетической установки таким образом, чтобы обеспечить выход на требуемые или оптимальные режимы работы.

В энергетической установке комбинированного типа с системой автоматического управления (см. рис. 1) дизель является источником энергии, которая через электрическую трансмиссию передается на колеса транспортного средства. Трансмиссия представляет собой электрическую цепь переменного-постоянного типа, объединяющую тяговый генератор, преобразователь-выпрямитель и тяговые электродвигатели. Частота вращения вала дизель-генератора  $n_d$  определяется соотношением крутящего момента дизеля и момента сопротивления генератора. В единой электрической цепи трансмиссии переменное напряжение  $\sim U$ , вырабатываемое тяговым генератором, после преобразования на выпрямителе в виде напряжения  $U$  подается на тяговые электродвигатели. Валы тяговых электродвигателей через редукторы жестко связаны с валами колес транспортного средства, поэтому частота вращения колес и соответственно скорость транспортного средства  $v$  определяются частотой вращения валов тяговых электродвигателей  $n_{эд}$  в зависи-

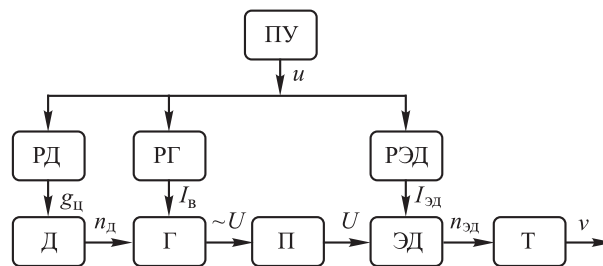


Рис. 1. Функциональная схема энергетической установки комбинированного типа:

ПУ — педаль управления; РД — регулятор дизеля; РГ — регулятор генератора; РЭД — регулятор электродвигателей; Д — дизель; Г — тяговый генератор; П — преобразователь-выпрямитель; ЭД — тяговые электродвигатели; Т — транспортное средство;  $u$  — сигнал управления;  $g_{ц}$  — цикловая подача топлива;  $n_d$  — частота вращения вала дизель-генератора;  $I_b$  — ток возбуждения;  $\sim U$  — переменное напряжение;  $U$  — напряжение;  $I_{эд}$  — ток электродвигателя;  $n_{эд}$  — частота вращения валов электродвигателя;  $v$  — скорость движения

мости от соотношения крутящего момента на колесах и момента сопротивления движению, позволяющего учесть уклон, покрытие дороги, ветровые условия и др.

Система автоматического управления (САУ) транспортным средством имеет иерархическую структуру с общим сигналом управления  $u$  от педали управления верхнего уровня САУ, который определяет настройку локальных систем регулирования элементов энергетической установки (нижний уровень САУ): дизеля, тягового генератора, тяговых электродвигателей. Таким образом, управление транспортным средством осуществляется посредством единого сигнала управления  $u$ , который передается на регуляторы дизеля, тягового генератора, тяговых электродвигателей.

При анализе возможных способов управления транспортным средством с энергетической установкой комбинированного типа следует учитывать, что в любом случае необходимо задать режим работы дизеля как источника энергии по одному из параметров: частоте вращения или мощности. Мощность дизеля задают как сочетание частоты вращения и крутящего момента. Таким образом, из САУ на регулятор дизеля должен подаваться сигнал, задающий режим работы дизеля по частоте вращения (уставка частоты вращения).

Управляющие воздействия, поступающие в электрическую трансмиссию, зависят от способа управления, а также от типов тягового генератора и тяговых электродвигателей и от вида

закладываемых в систему управления тяговых характеристик электродвигателей. Характеристики электрической части энергетической установки определяются еще и тем, что генератор и электродвигатели объединены через выпрямитель общей электрической схемой при одинаковых значениях напряжения и тока и преобразовании их формы из переменной в постоянную.

При анализе работы и определении стратегии управления энергетической установкой необходимо учитывать, что после окончания переходных процессов в дизеле и элементах электрической трансмиссии устанавливается баланс механических и электрических мощностей, но составляющие механических мощностей — крутящие моменты и частоты вращения валов — для дизель-генератора и тяговых электродвигателей могут иметь различные сочетания при одной и той же мощности.

В зависимости от того, какой элемент энергетической установки играет активную роль в задании режима движения, возможны два принципиально различных подхода к способу управления транспортным средством.

Первый подход характеризуется тем, что активную роль играет дизель. Педалью управления задается мощность дизеля как сочетание частоты вращения вала дизель-генератора и цикловой подачи топлива  $g_{ц}$  органом дозирования топлива (см. рис. 1). Регулятор дизеля стабилизирует заданную частоту вращения, а заданное дозирование топливоподачи поддерживает регулятор возбуждения генератора, изменяя момент генератора. Задача системы управления состоит в поддержании заданной мощности дизеля. Основная идея такого способа управления заключается в том, что задается режим работы дизеля как источника энергии, а электрическая трансмиссия подстраивается под источник энергии. Водитель следит за условиями движения и оперативно влияет на скорость транспортного средства, изменяя с помощью педали управления мощность дизеля.

Такой вариант управления применяют, в частности, на тепловозах. Например, в энергетической установке тепловоза 2ТЭ116 тяговым генератором является синхронный генератор с независимым возбуждением [3]. Контроллером машиниста (аналог педали управления) задается мощность дизеля (15 позиций) как сочетание частоты вращения вала дизеля и положения органа дозирования топлива (рей-

ка топливных насосов высокого давления). Регулятор дизеля стабилизирует заданную частоту вращения  $n_{д0}$ , а заданное положение органа дозирования топливоподачи позволяет поддерживать регулятор возбуждения генератора путем задания тока возбуждения  $I_{в}$  (см. рис. 1). В качестве тяговых электродвигателей используют двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением. При изменении условий движения изменяется скорость тепловоза. Устойчивость режимов движения обеспечивается тем, что скоростные характеристики крутящего момента тяговых электродвигателей с последовательным возбуждением имеют убывающий вид.

Аналогичный подход применяют для управления автомобилями в городских условиях, когда водитель с помощью педали управления задает одну из скоростных характеристик цикловой подачи топлива (так называемое трехрежимное регулирование). Практика показала, что такой способ управления наиболее динамичен, поскольку водитель воздействует непосредственно на дизель как источник энергии.

Второй подход характеризуется тем, что активная роль принадлежит трансмиссии, а именно — тяговым электродвигателям. При этом педалью управления задается желаемый режим работы тяговых электродвигателей. Регулятор дизеля обеспечивает стабилизацию одной заданной частоты вращения вала  $n_{д0}$ , что удобно при использовании электрической трансмиссии, так как упрощается поддержание на всех режимах неизменного значения напряжения генератора. В этом случае задачей регулятора тягового генератора является стабилизация напряжения, а формирование тяговых характеристик осуществляется регулятором тяговых электродвигателей через воздействие на ток  $I_{эд}$  (см. рис. 1). Основной задачей системы управления является формирование тяговых характеристик электродвигателей, которые определяются положением педали управления. Дизель-генератор как источник энергии подстраивается под потребности тяговых электродвигателей.

Работа дизеля на одной заданной частоте вращения вала (так называемое, однорежимное регулирование) применяется, например, для дизель-генераторов стационарного типа, связанных с электрической сетью, имеющей жестко регламентированную частоту переменного тока.

При сравнении рассмотренных подходов к управлению транспортным средством следует учитывать, что энергия вырабатывается дизелем, а воздействие на трансмиссию лишь определяет желаемую мощность, которая «запрашивается» элементами электрической трансмиссии у дизеля. При первом подходе воздействие на регуляторы дизеля и тягового генератора осуществляется по каналу управления. При втором подходе воздействие на регулятор дизеля имеет вид внешнего возмущения через момент генератора, что инициирует работу канала регулирования.

Поскольку при первом способе управления основное управляющее воздействие оказывается непосредственно на источник энергии, первый способ может иметь преимущество с точки зрения динамичности управления, так как регулятор дизеля позволяет быстрее изменять подачу топлива.

При втором подходе к управлению транспортным средством требуемая мощность энергетической установки достигается с некоторым замедлением, поскольку путь управляющего воздействия от педали водителя к дизелю как источнику энергии более длинный и при этом преодолевается инерционность дизель-генератора. Сигнал управления от педали водителя сначала лишь формирует на тяговых электродвигателях потребность в желаемой мощности энергетической установки. Изменение режима работы тяговых электродвигателей вызывает изменения токов и напряжений в электрической цепи, связывающей тяговые электродвигатели с тяговым генератором. Изменившаяся электрическая нагрузка на генератор приводит к изменению его момента и частоты вращения вала дизель-генератора. Регулятор дизеля, реагируя на изменение частоты вращения вследствие изменения момента сопротивления со стороны генератора, соответствующим образом изменяет подачу топлива, восстанавливая заданную уставку по частоте вращения и подстраиваясь под требуемую мощность. Таким образом, изменение управляющего воздействия воспринимается дизелем как изменение момента тягового генератора, который является для системы регулирования дизеля основным возмущающим воздействием по каналу регулирования.

На степень замедления передачи управляющего воздействия от педали водителя к дизелю при втором подходе к управлению транспорт-

ным средством влияет как механическая инерционность вала дизель-генератора, так и инерционность электрических цепей трансмиссии. Анализ показывает, что постоянная времени электрической цепи трансмиссии примерно на два порядка меньше постоянной времени механической части дизель-генератора, поэтому определяющую роль в эффекте замедления при прохождении сигнала управления играет инерционность механической части дизель-генератора. Наибольшей механической инерционностью обладает само транспортное средство. Если его инерционность значительно больше механической инерционности дизель-генератора, замедление прохождения управляющего сигнала через элементы трансмиссии может незначительно сказаться на динамичности управления всем транспортным средством. Механическую инерционность дизель-генератора следует учитывать, когда она сопоставима с инерционностью транспортного средства.

Способ управления необходимо принимать во внимание, если ставится задача оптимизации работы энергетической установки. В качестве одного из наиболее важных критериев оптимальности часто рассматривают экономичность, понимаемую как минимальный расход топлива дизеля [5–9]. Энергетические установки комбинированного типа позволяют организовать работу дизеля по характеристике минимальных удельных расходов топлива для каждого значения мощности установки. Для этого при различных скоростях транспортного средства в конкретных условиях движения дизель должен работать на режимах, соответствующих характеристике минимальных удельных расходов топлива для каждого значения мощности энергетической установки. Чтобы реализовать такую задачу, следует определить зависимость оптимальной по экономичности уставки частоты вращения вала дизель-генератора  $n_{до}$  для различных значений потребляемой мощности  $N$  [1].

В качестве примера для иллюстрации результатов проведенного общего анализа возможных способов управления дизелем в настоящей работе рассмотрен тяжелый грузовой автомобиль, энергетическая установка которого включает дизель Liebherr V8 мощностью 505 кВт [10] и электрическую трансмиссию в составе тягового генератора, выпрямителя и тяговых электродвигателей (электрические

машины вентильно-индукторного типа) [1]. На рис. 2 приведена зависимость  $n_{до}(N)$  для рассматриваемого дизеля, полученная из работы [1], путем перестроения линии минимальных удельных расходов топлива, нанесенной на поле универсальной характеристики двигателя.

Проведем анализ возможности использования различных способов управления рассматриваемым транспортным средством с точки зрения реализации работы дизеля по характеристике минимальных расходов топлива. В первую очередь необходимо определить, как воспринимается системой управления энергетической установкой положение педали водителя. Для трансмиссии комбинированного типа наиболее целесообразно, чтобы положением педали водителя задавалась либо желаемая мощность энергетической установки, либо желаемая скорость транспортного средства. Эти варианты рассмотрены ниже при анализе процессов управления.

Если при первом подходе к управлению транспортным средством положение педали водителя воспринимается системой управления как задание мощности энергетической установки, то реализация характеристики минимальных расходов топлива для различных значений мощности осуществляется посредством задания регулятору дизеля такой уставки частоты вращения его вала, которая соответствует зависимости  $n_{до}(N)$ , построенной из условия минимальных расходов топлива по описанной выше методике (см. рис. 2).

Второй из рассмотренных подходов к управлению транспортным средством может обеспечить работу дизеля с наилучшей экономичностью только в том случае, если значения минимальных удельных расходов топлива при

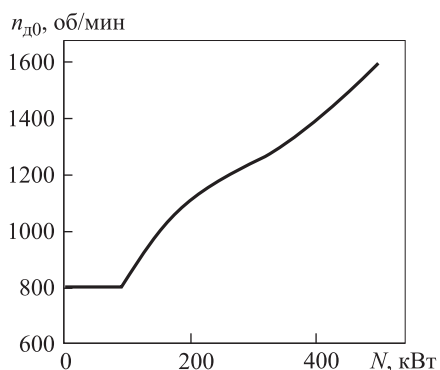


Рис. 2. Оптимальная по экономичности зависимость частоты вращения вала дизеля от мощности

различной мощности лежат на одной регуляторной характеристике. Однако для большинства дизелей ни одна регуляторная характеристика не совпадает с линией минимальных расходов топлива.

В связи с этим возникает идея формирования такого способа управления, при котором сигнал от педали водителя соответствует желаемой мощности энергетической установки и одновременно передается в системы регулирования дизеля и тяговых электродвигателей. В системе регулирования дизеля этот сигнал задает уставку частоты вращения  $n_{до}$  в зависимости от положения педали, т. е. требуемой мощности в соответствии с характеристикой минимальных расходов топлива (см. рис. 2).

В системе управления тяговыми электродвигателями этот сигнал задает параметры и форму тяговой характеристики. Тяговая характеристика электродвигателей должна иметь убывающий по частоте вращения их валов характер, чтобы обеспечить устойчивость режимов движения транспортного средства. Если исходить из условия постоянной мощности, зависимость момента от частоты вращения для тяговых электродвигателей должна иметь вид гиперболы, которая смещается в поле скоростных режимов двигателя в зависимости от управляющего сигнала педали водителя. Гиперболы ограничены максимально возможными значениями напряжения и тока в цепи электродвигателей.

Для исследования различных способов управления было проведено моделирование процессов, отражающих изменение параметров энергетической установки и движения рассматриваемого грузового автомобиля. При этом использовалась модель транспортного средства, включающая модели дизеля, тягового генератора, выпрямителя, тяговых электродвигателей и самого транспортного средства в виде инерционной массы [1, 4]. Стабилизация частоты вращения вала дизеля осуществлялась пропорционально-интегральным регулятором.

Моделирование процессов разгона было выполнено для следующих четырех способов управления, соответствующих двум рассмотренным в статье подходам.

1. Сигнал с педали управления поступает на регулятор тяговых электродвигателей, задавая их мощность, и на регулятор частоты вращения вала дизеля, задавая настройку частоты вращения в соответствии с линией минимальных

удельных эффективных расходов топлива (см. рис. 2). Положение педали управления последовательно изменялось от 0 до 0,5 и далее до 1 в относительных величинах (рис. 3).

2. Педаль управления задает мощность тяговых электродвигателей аналогично предыдущему варианту и постоянную настройку частоты вращения вала дизеля, что соответствует работе дизеля по регуляторной характеристике  $n_d = 1\,900$  об/мин. Исследовано изменение положения педали водителя от 0 до 1 в относительных величинах (рис. 4).

3. Педалью управления определяется скорость транспортного средства через задание соответствующей частоты вращения валов тяговых электродвигателей, а также настройка частоты вращения вала дизеля по характеристике минимальных расходов топлива (рис. 5).

4. Педаль управления аналогично предыдущему варианту задает скорость транспортного средства и постоянную настройку частоты вращения вала дизеля  $n_d = 1\,600$  об/мин, что

соответствует работе дизеля по одной регуляторной характеристике (рис. 6).

Темп воздействия на педаль управления выбирали из условия обеспечения такой нагрузки на дизель со стороны тягового генератора, при которой не возникает опасность заглохания дизеля.

Рассматривался разгон транспортного средства воздействием на педаль управления и одновременном изменении момента сопротивления движению на колесах от 500 до 1 000 Н·м.

На рис. 3–6 показано изменение во времени следующих параметров: момента сопротивления движению  $M$  (сплошная линия на рис. 3, а–б, а), сигнала управления  $u$  (штриховая линия на рис. 3, а–б, а), частоты вращения вала дизеля  $n_d$  (рис. 3, б–б, б), скорости движения  $v$  (рис. 3, в–б, в), массы израсходованного топлива  $m_T$  (рис. 3, г–б, г).

Из результатов моделирования ясно, что выбор способа управления энергетической установкой существенно влияет на такие важ-

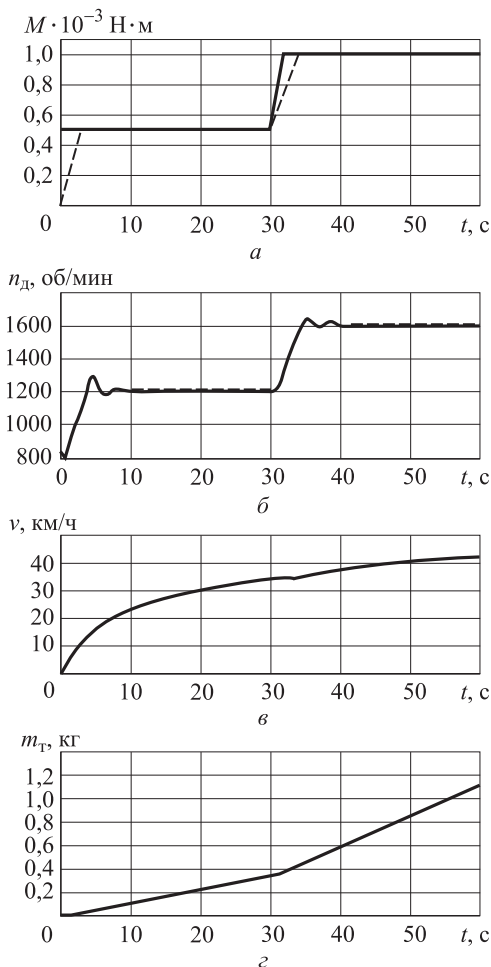


Рис. 3. Результаты моделирования процессов управления (способ 1)

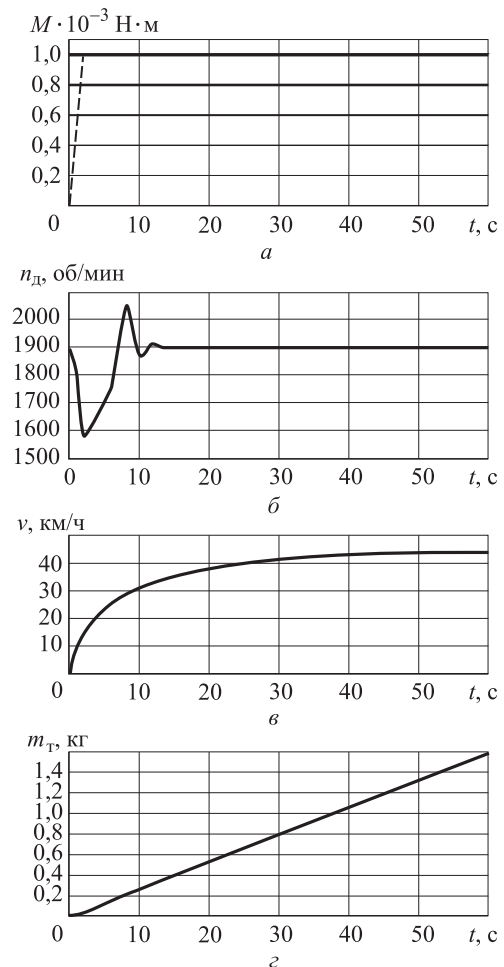


Рис. 4. Результаты моделирования процессов управления (способ 2)

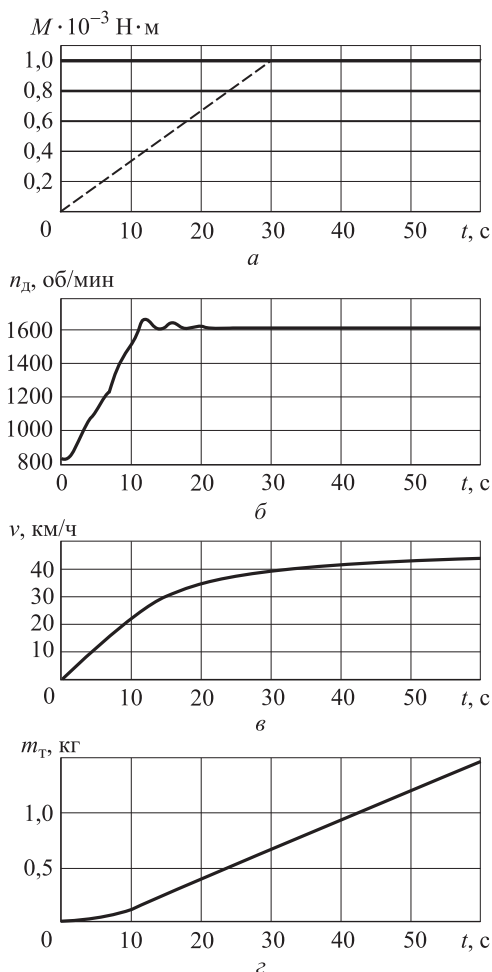


Рис. 5. Результаты моделирования процессов управления (способ 3)

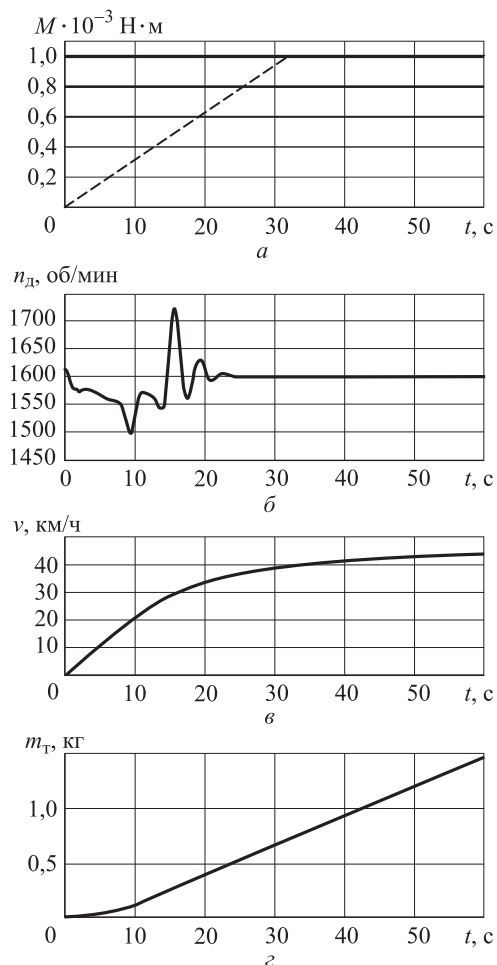


Рис. 6. Результаты моделирования процессов управления (способ 4)

ные показатели транспортного средства, как экономичность и динамика движения. Так, минимальная масса израсходованного топлива соответствует первому из рассмотренных способов управления (см. рис. 3), а максимальная динамика разгона — второму способу при работе дизеля по регуляторной характеристике  $n_d = 1900$  об/мин (см. рис. 4). Для разных способов управления переходные процессы изменения частоты вращения вала дизеля и набора скорости транспортным средством при разгоне, а также допустимый темп воздействия на педаль управления различны.

## Выводы

1. Проведенный анализ дает возможность обоснованно подойти к выбору способа управления дизелем в составе энергетической установки с электрической трансмиссией, исходя из назначения транспортного средства и поставленных при его эксплуатации задач.

2. В современных системах управления с программируемыми электронными блоками есть также возможность переходить от одного способа управления к другому в зависимости от условий движения транспортного средства.

## Литература

- [1] Иващенко Н.А., Кузнецов А.Г., Харитонов С.В., Кузнецов С.А. Моделирование процессов управления транспортным средством с дизелем и электрической трансмиссией. *Вестник Волгоград. гос. университета. Сер. 10. Инновационная деятельность*, 2014, № 5(14), с. 68–77.
- [2] Это дизель-электрическая трансмиссия. URL: <http://www.liebherr.com/CP/ru-RU/132422.wfw> (дата обращения 12.05.2015).

- [3] Кузнецов А.Г. Динамическая модель энергетической установки тепловоза. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2009, № 3, с. 49–56.
- [4] Кузнецов А.Г., Харитонов С.В., Латошкин А.А. Математическая модель дизеля как источника энергии транспортной установки с электрической трансмиссией. *Грузовик*, 2014, № 7, с. 11–14.
- [5] Кузнецов А.Г., Марков В.А., Шатров В.И., Фурман В.В., Афанасьев В.Н. Методика оценки расхода топлива и выбросов токсичных компонентов отработавших газов транспортного дизеля на неустановившихся режимах. *Международ. симп. «Образование через науку», посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, с. 94.
- [6] Леонов Д.И., Леонов И.В. Методы улучшения экономичности машин с двигателями внутреннего сгорания при проектировании. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2008, № 2, с. 39–51.
- [7] Барбашов Н.Н., Леонов И.В. Выбор оптимальной мощности двигателя внутреннего сгорания гибридной силовой установки. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2010, № 4, с. 47–54.
- [8] Grisso R., Perumpral J.V., Roberson G.T., Pitman R. *Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption*. 2014, pp. 1–11. URL: [https://pubs.ext.vt.edu/442/442-073/442-073\\_pdf.pdf](https://pubs.ext.vt.edu/442/442-073/442-073_pdf.pdf) (дата обращения 12 мая 2015).
- [9] Дарьенков А.Б., Хватов О.С. Система управления автономным дизель-генератором переменной частоты вращения. *Труды Нижегородского государственного технического университета им. П.Е. Алексеева*, 2013, № 5(102), с. 303–308.
- [10] *Diesel Engines by Liebherr*. URL: [https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-serp%3A%2F%2Fwww.liebherr.com%2FCP%2Fen-GB%2Fdefault\\_cp.wfw%2Ftab-131726%3Ffile%3D~%2FCMS%2Fdownloads%2FBP\\_Dieselmotoren\\_28S\\_en\\_web.pdf&lang=en&c=5559cddf3525](https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-serp%3A%2F%2Fwww.liebherr.com%2FCP%2Fen-GB%2Fdefault_cp.wfw%2Ftab-131726%3Ffile%3D~%2FCMS%2Fdownloads%2FBP_Dieselmotoren_28S_en_web.pdf&lang=en&c=5559cddf3525) (дата обращения 12 мая 2015).

## References

- [1] Ivashchenko N.A., Kuznetsov A.G., Kharitonov S.V., Kuznetsov S.A. Modelirovanie protsessov upravleniia transportnym sredstvom s dizelem i elektricheskoi transmissiei [Simulation of the processes of driving transport vehicle with diesel and electric drivetrain]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10. Innovatsionnaia deiatel'nost'* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and innovations]. 2014, no. 5(14), pp. 68–77.
- [2] *Eto dizel'-elektricheskaiia transmissiia* [This diesel-electric powertrain]. Available at: <http://www.liebherr.com/CP/ru-RU/132422.wfw> (accessed 12 May 2015).
- [3] Kuznetsov A.G. Dinamicheskaiia model' energeticheskoi ustanovki teplovoza [Dynamic Model of Power Generating Unit for Diesel Locomotive]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Mechanical Engineering]. 2009, no. 3, pp. 49–56.
- [4] Kuznetsov A.G., Kharitonov S.V., Latochkin A.A. Matematicheskaiia model' dizelia kak istochnika energii transportnoi ustanovki s elektricheskoi transmissiei [Mathematical model of diesel engine as energy generator for vehicle with electrical transmission]. *Gruzovik* [Truck]. 2014, no. 7, pp. 11–14.
- [5] Kuznetsov A.G., Markov V.A., Shatrov V.I., Furman V.V., Afanas'ev V.N. Metodika otsenki raskhoda topliva i vybrosov toksichnykh komponentov otrabotavshikh gazov transportnogo dizelia na neustanovivshikh rezhimakh [Methodology to evaluate fuel consumption and emissions of toxic components of exhaust gases of diesel vehicle in the transient regime]. *Mezhdunarodnyi simpozium «Obrazovanie cherez nauku», posviashchennyi 175-letiiu MGTU im. N.E. Bauman* [International Symposium «Education through Science», dedicated to the 175<sup>th</sup> anniversary of the BMSTU]. Moscow, Bauman Press, 2005, p. 94.
- [6] Leonov D.I., Leonov I.V. Metody uluchsheniia ekonomichnosti mashin s dvigateliami vnutrennego sgoraniia pri proektirovanii [Methods to Improve Efficiency of Machines with Internal Combustion Engines in Designing]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroenie*, 2008, № 2, с. 39–51.



- nstroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Mechanical Engineering]. 2008, no. 2, pp. 39–51.
- [7] Barbashov N.N., Leonov I.V. *Vybor optimal'noi moshchnosti dvigatelya vnutrennego sgoraniia gibridnoi silovoi ustanovki* [Selection of Optimal Power of Internal Combustion Engine of Hybrid Power Plant]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Mechanical Engineering]. 2010, no. 4, pp. 47–54.
- [8] Grisso R., Perumpral J.V., Roberson G.T., Pitman R. *Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption*. 2014, pp. 1–11. URL: [https://pubs.ext.vt.edu/442/442-073/442-073\\_pdf.pdf](https://pubs.ext.vt.edu/442/442-073/442-073_pdf.pdf) (дата обращения 12 мая 2015).
- [9] Dar'enkov A.B., Khvatov O.S. *Sistema upravleniia avtonomnym dizel'-generatorom peremennoi chastoty vrashcheniia* [Control system of autonomous diesel generator characterized by alternating frequency rotation of shaft]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseev* [Proceedings of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev]. 2013, no. 5(102), pp. 303–308.
- [10] *Diesel Engines by Liebherr*. Available at: [https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-serp%3A%2F%2Fwww.liebherr.com%2FCP%2Fen-GB%2Fdefault\\_cp.wfw%2Ftab-131726%3Ffile%3D~%2FCMS%2Fdownloads%2FBP\\_Dieselmotoren\\_28S\\_en\\_web.pdf&lang=en&c=5559cddf3525](https://docviewer.yandex.ru/?url=ya-serp%3A%2F%2Fwww.liebherr.com%2FCP%2Fen-GB%2Fdefault_cp.wfw%2Ftab-131726%3Ffile%3D~%2FCMS%2Fdownloads%2FBP_Dieselmotoren_28S_en_web.pdf&lang=en&c=5559cddf3525) (accessed 12 May 2015).

Статья поступила в редакцию 11.06.2015

## Информация об авторе

**КУЗНЕЦОВ Александр Гаврилович** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Теплофизика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: kuzag441@mail.ru).

## Information about the author

**KUZNETSOV Aleksandr Gavriilovich** (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Thermal Physics. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: kuzag441@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышло в свет учебное пособие

**А.Б. Красовского**

**«Основы электропривода»**

Кратко изложены основы теории современного автоматизированного электропривода. Рассмотрены принципы построения и составные части электроприводов, их характеристики в статических и динамических режимах работы с двигателями постоянного и переменного тока, а также основные принципы управления и проектирования.

Учебное пособие ориентировано прежде всего на студентов вузов неэлектротехнических специальностей, поэтому в отличие от большинства книг по основам электропривода, содержит дополнительные разделы по общим вопросам электромеханического преобразования энергии, принципам работы и особенностям конструкции основных типов электрических машин, силовой электронике.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru