

УДК 629.113

## УЛУЧШЕНИЕ ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ЗА СЧЁТ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА ПЕРЕДНИХ КОЛЁС

М.А. Малкин, к.т.н. / И.А. Куликов  
ФГУП «НАМИ»

Автомобильный транспорт занимает важнейшее положение в экономике России. По данным Министерства транспорта РФ, в 2012 году объём перевозок грузовым автотранспортом составил почти половину (49 %) от общего объёма грузоперевозок, что соответствует 5,8 миллиарда тонн различных грузов.

Дорожно-климатические условия России вызывают необходимость широкого применения полноприводных автомобилей для перевозок различных грузов, в том числе и на дальние расстояния. Такая эксплуатационная практика распространена в районах Крайнего Севера. Однако наиболее значительная доля автотранспортных перевозок (около 45 %) приходится на магистральные междугородние перевозки, осуществляемые по усовершенствованным дорогам. Этот вид грузоперевозок выполняется большегрузными автомобилями, как правило, в составе автопоездов полной массой до 60 тонн.

В области междугородних автомобильных перевозок существует ряд актуальных проблем. Так, известно, что в зимний период магистральные автопоезда нередко становятся причиной крупных заторов на автотрассах, так как на заснеженном и скользком дорожном покрытии резко снижается скорость дви-

жения, а небольшие продольные уклоны дороги в таких условиях оказываются непреодолимым препятствием для тяжёлых автопоездов. Помимо прямого влияния на безопасность движения, это обстоятельство влечёт за собой и значительные экономические потери.

Один из путей решения указанной проблемы заключается в улучшении тягово-динамических свойств магистральных автопоездов. Применение в качестве магистральных тягачей полноприводных автомобилей повышенной проходимости даже в зимний период нельзя рассматривать в качестве выхода из положения. Кроме того, ряд конструктивных особенностей таких транспортных средств (например, увеличенная высота расположения седельно-сцепного устройства вследствие увеличенного дорожного просвета) не позволяют их эксплуатировать со стандартными дорожными полуприцепами. Эксплуатация дорожного тягача, оснащённого полным приводом (при условии наличия таких машин), — более тяжёлого, дорогого, отличающегося повышенным расходом топлива — экономически нецелесообразна, так как его потенциальные тяговые возможности будут реализовываться лишь в редких случаях, не оправдывая существенного утяжеления и удорожания конструкции.

С этой точки зрения альтернативой традиционной конструкции полного привода может быть компактная система привода передних колёс, рассчитанная на кратковременное использование при ухудшении сцепных свойств.

Примером такого вспомогательного привода является система HydroDrive, предложенная фирмой MAN (ФРГ). Система HydroDrive представляет собой компактный гидрообъёмный привод, в состав которого входят насос с приводом от коробки передач автомобиля, радиально-поршневые гидромоторы, встроенные в ступицы передних колёс, гидробак и блок электроклапанов (рис. 1). При необходимости (например, при съезде на грунтовую дорогу или при преодолении подъёма со скользким покрытием) во-

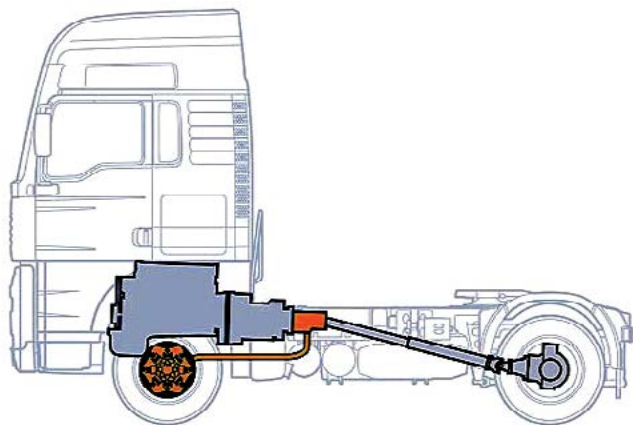


Рисунок 1. Схема системы привода передних колёс HydroDrive фирмы MAN

датель включает гидропривод колёс включателем на панели приборов. При достижении автомобилем скорости 30 км/ч привод передних колёс автоматически отключается. Помимо принудительного включения, в том числе под нагрузкой, система HydroDrive может включаться автоматически при снижении скорости автомобиля до 22 км/ч.

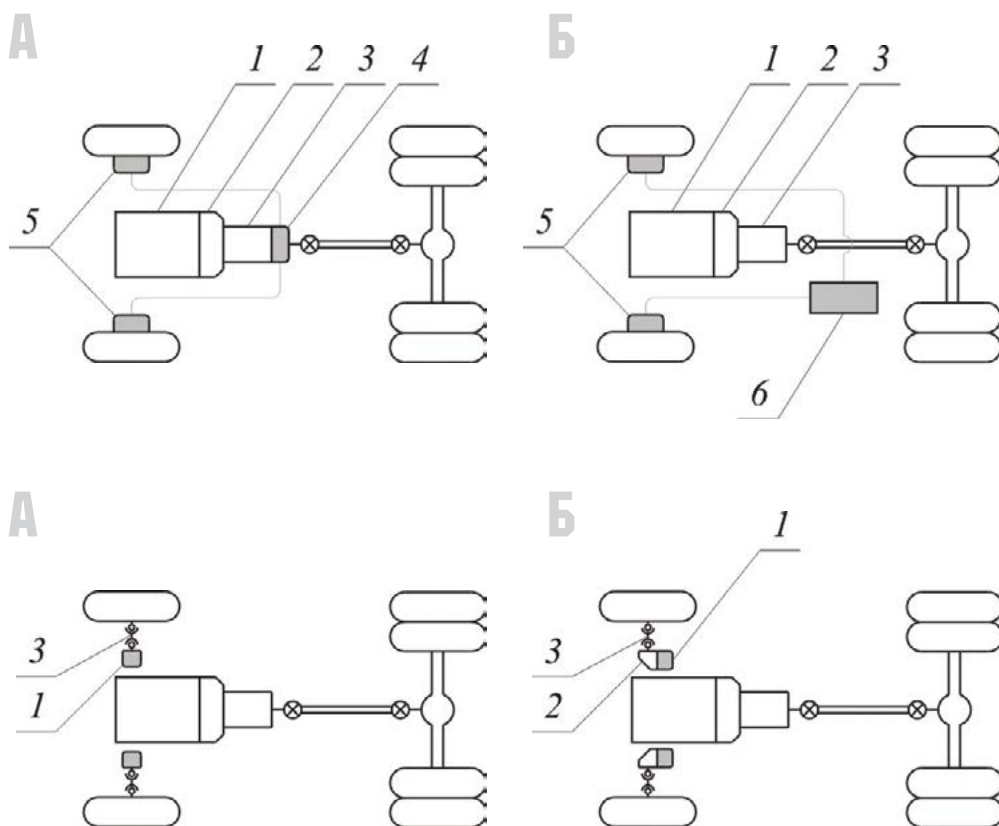
Фирма MAN с 2005 года предлагает систему HydroDrive в качестве опционального оснащения для двух-, трёх- и четырёхосных грузовых автомобилей серий TGA, TGS и TGX. Автомобиль, оснащённый гидроприводом передних колёс HydroDrive, почти на 400 кг легче аналогичного автомобиля с полноприводной трансмиссией традиционной конструкции. Существенным преимуществом гидрообъёмного привода является высокая удельная мощность. По данным австрийской строительной компании Koller Transporte-Kies-Erdbau GmbH, эксплуатирующей самосвальные автопоезда с тягачами MAN TGS, оборудованными системой HydroDrive, наличие вспомогательного гидропривода позволяет применять тягачи с менее мощными двигателями (400 л. с. против 440 л. с.) без снижения эффективности даже с учётом отбора мощности от двигателя для привода насоса [1]. Кроме того, в ходе эксплуатации таких автопоездов на маршруте Вена — Кремс протяжённостью 75 км специалистами той же фирмы отмечено снижение

расхода топлива в сравнении с аналогичными автомобилями с колёсной формулой 6×4 [1].

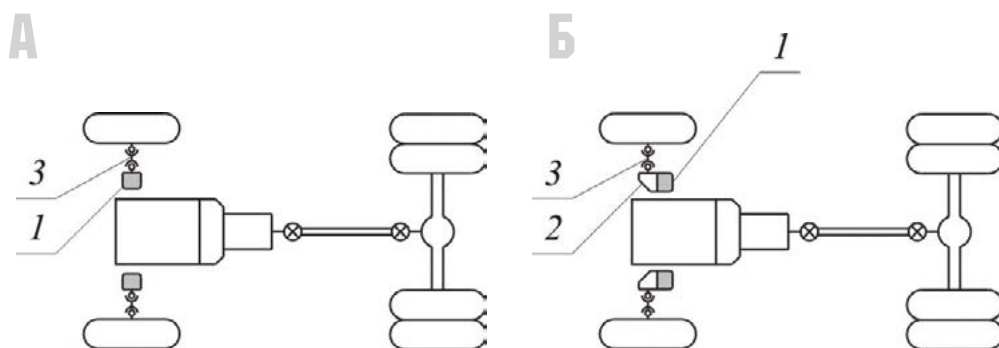
Если фирма MAN применяет систему HydroDrive в основном на самосвалах и самосвальных автопоездах, то компания Volvo Trucks впервые использовала аналогичное решение на магистральном тягаче FH16, предназначенном для работы в составе автопоезда полной массой до 74 тонн.

Наряду с гидрообъёмным приводом целесообразно рассмотреть также в качестве вспомогательной системы полного привода электропривод передних колёс. В принципе, такая система может строиться по двум основным схемам: с питанием тяговых электродвигателей от генератора, установленного на выходном валу двигателя или коробки передач (рис. 2, а), или от накопителя энергии (рис. 2, б). В последнем случае тяговые электродвигатели должны быть обратимыми и обеспечивать зарядку накопителя энергии при работе в режиме генератора.

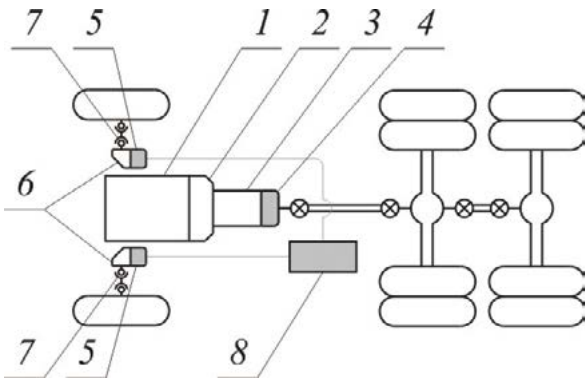
Для построения вспомогательного электропривода передних колёс, к которому предъявляются прежде всего требования компактности и малого веса, наиболее целесообразно применять встроенные в ступицы колёс электродвигатели с планетарными редукторами (электрическими мотор-колёсами). Однако при необходимости электродвигатели могут быть размещены на раме автомобиля и соединены с колесом кар-



*Рисунок 2.* Принципиальные схемы вспомогательного электропривода передних колёс: а) с питанием тяговых электродвигателей от электрогенератора; б) с питанием тяговых электродвигателей от накопителя энергии; 1 — двигатель; 2 — сцепление или гидротрансформатор; 3 — коробка передач; 4 — электрогенератор; 5 — тяговые электродвигатели; 6 — накопитель энергии



*Рисунок 3.* Конструктивные варианты вспомогательного электропривода передних колёс с размещением тяговых электродвигателей на раме автомобиля: а) с прямым приводом колёс от электродвигателя; б) с приводом колёс через угловые редукторы: 1 — тяговый электродвигатель; 2 — угловой редуктор; 3 — карданный вал



*Рисунок 4.* Схема трансмиссии исследуемого автомобиля с КЭУ (вариант IV): 1 — двигатель; 2 — сцепление; 3 — коробка передач; 4 — электромотор-генератор; 5 — тяговые электродвигатели привода передних колёс; 6 — угловые редукторы; 7 — карданные валы привода передних колёс; 8 — накопитель энергии

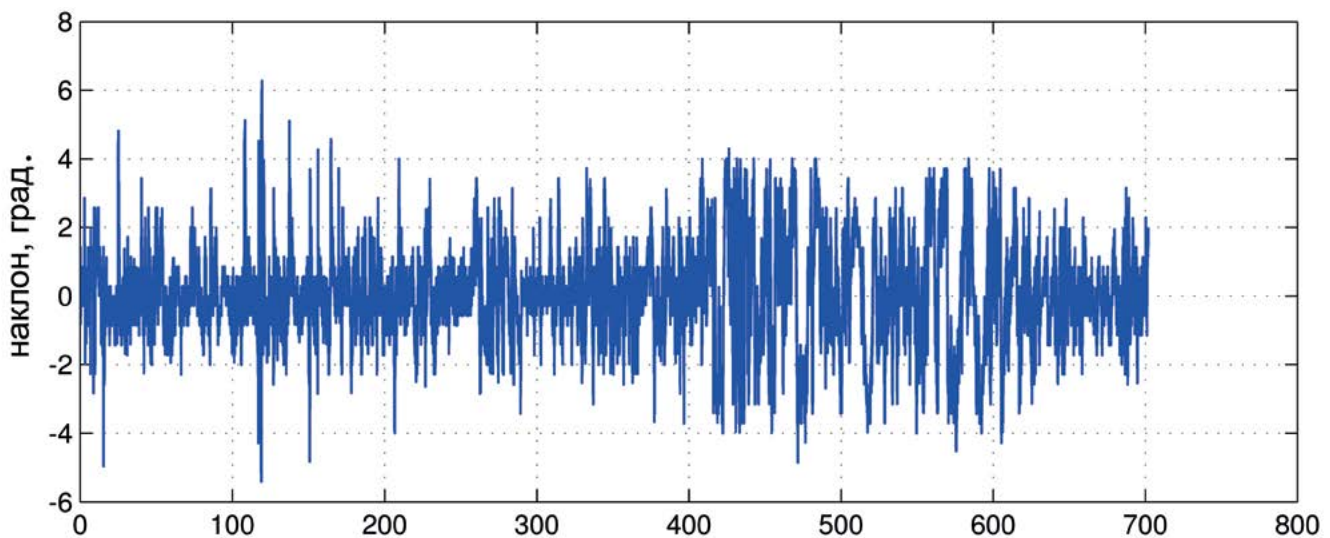
данном валом либо напрямую (рис. 3, а), либо через угловой редуктор (рис. 3, б). Такое решение позволит уменьшить величину неподрессоренных масс, но при этом увеличится масса собственно электропривода.

Наличие накопителя энергии, представляющего собой, как правило, блок аккумуляторных батарей, также увеличивает собственный вес электропривода. В связи с этим следует признать, что применение электропривода передних колёс в качестве вспомогательной системы целесообразно на электрических транспортных средствах, в частности на получающих в последнее время распространение автомобилях с комбинированной (гибридной) энергоустановкой (КЭУ). В состав КЭУ в обязательном порядке

входят накопитель энергии, преобразователь напряжения, система охлаждения агрегатов электропривода и ряд других функциональных компонентов. В этом случае имеется возможность интегрировать вспомогательный электропривод передних колёс в электросистему КЭУ, благодаря чему увеличение снаряжённой массы автомобиля в результате введения привода передних колёс будет незначительным.

В связи с вышеизложенным представляют интерес некоторые результаты расчётных исследований, проведённых применительно к случаю движения автопоезда полной массой 46 000 кг с различными конструктивными вариантами тягачей — как оснащённых вспомогательным приводом передних колёс, так и не оснащённых им. Исследования проводились методом математического моделирования с использованием программных продуктов MATLAB/Simulink и AVL Cruise. В данной статье приводятся результаты расчётов, выполненных в среде MATLAB/Simulink.

В качестве базового тягача (вариант I) рассматривался серийный седельный тягач КамАЗ-65206 с колёсной формулой 6×4, оснащённый двигателем мощностью 283 кВт (380 л. с.) и 12-ступенчатой коробкой передач. Второй объект исследований (II) представлял собой автомобиль с КЭУ на базе предыдущего варианта, оснащённый вспомогательным электроприводом передних колёс, который выполнен по схеме рис. 3, б (суммарная мощность электропривода 120 кВт). Третий объект исследований (III) с колёсной формулой 6×4 отличался от базового автомобиля наличием КЭУ параллельного типа, которая представляет собой встроенный в ту же коробку передач электромотор-генератор мощностью 120 кВт.



*Рисунок 5.* Характеристики продольного профиля маршрута Набережные Челны — Челябинск

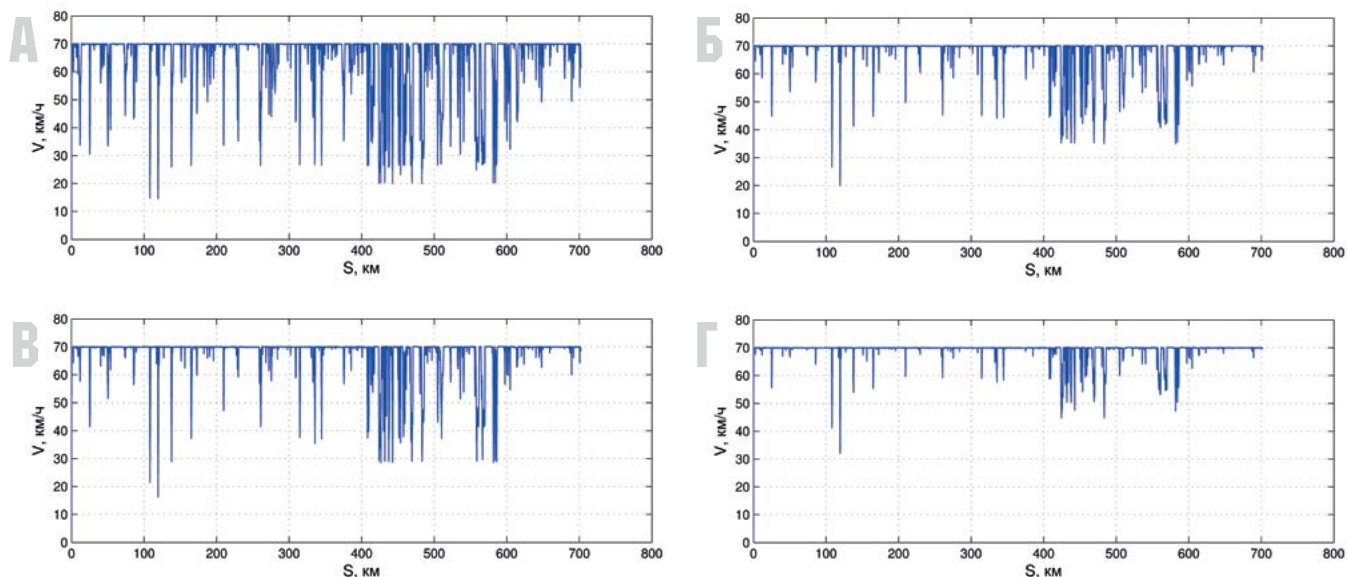


Рисунок 6. Изменение скорости движения автопоезда по пути при движении по маршруту Набережные Челны — Челябинск с заданной скоростью 70 км/ч для различных конструктивных вариантов тягача: а) вариант I; б) вариант II; в) вариант III; г) вариант IV

Четвёртый вариант тягача (IV) совмещал особенности двух предыдущих и оснащался КЭУ привода задней тележки и вспомогательным электроприводом передних колёс (колёсная формула 6×6). Принципиальная схема трансмиссии четвертого варианта автомобиля показана на рис. 4.

Данные конструктивные варианты, выбранные для исследования, позволяют наиболее полно оценить преимущества вспомогательного электропривода передних колёс при оснащении им как базового автомобиля (6×4), так и разработанного на его базе автомобиля с КЭУ с той же колёсной формулой.

Расчётные исследования предусматривали математическое моделирование движения автопоезда по представительному маршруту [2]. Для исследований был выбран маршрут Набережные Челны — Челябинск протяжённостью 702 км. Как видно из характеристики продольного профиля дороги по пути (рис. 5), этот маршрут характеризуется наличием подъёмов величиной до  $6^\circ$  (10,5 %) и спусков величиной до  $5,5^\circ$  (9,6 %). Таким образом, условием преодоления указанного представительного маршрута является условие преодоления подъёма величиной 10,5 %.

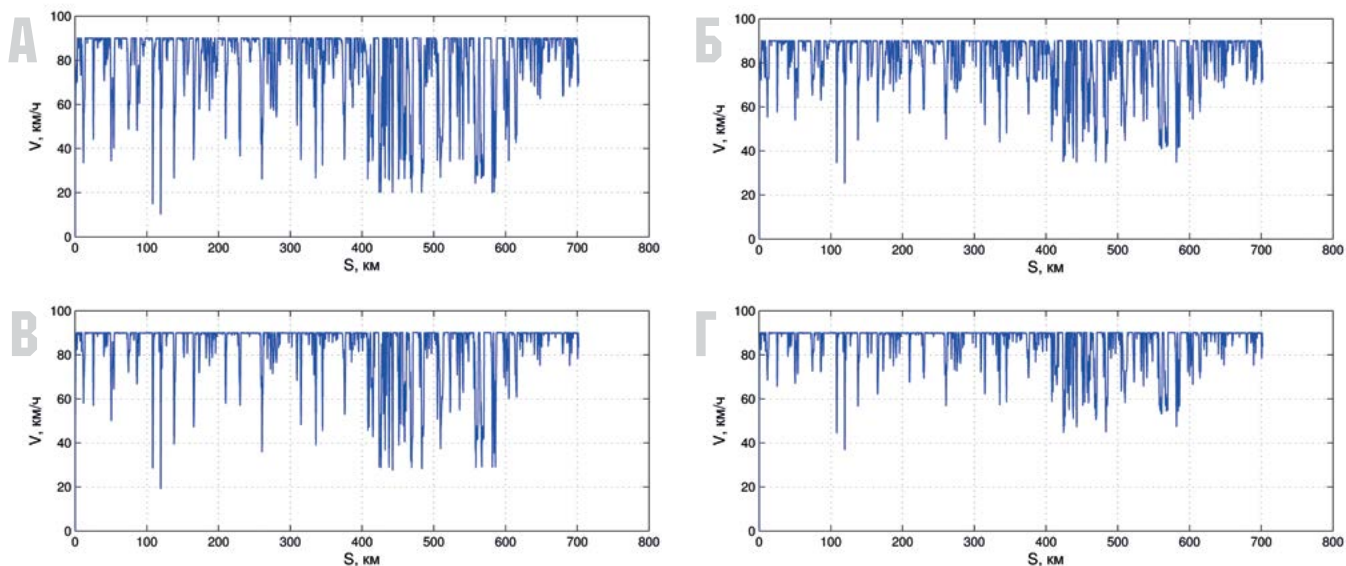


Рисунок 7. Изменение скорости движения автопоезда по пути при движении по маршруту Набережные Челны — Челябинск с заданной скоростью 90 км/ч для различных конструктивных вариантов тягача: а) вариант I; б) вариант II; в) вариант III; г) вариант IV

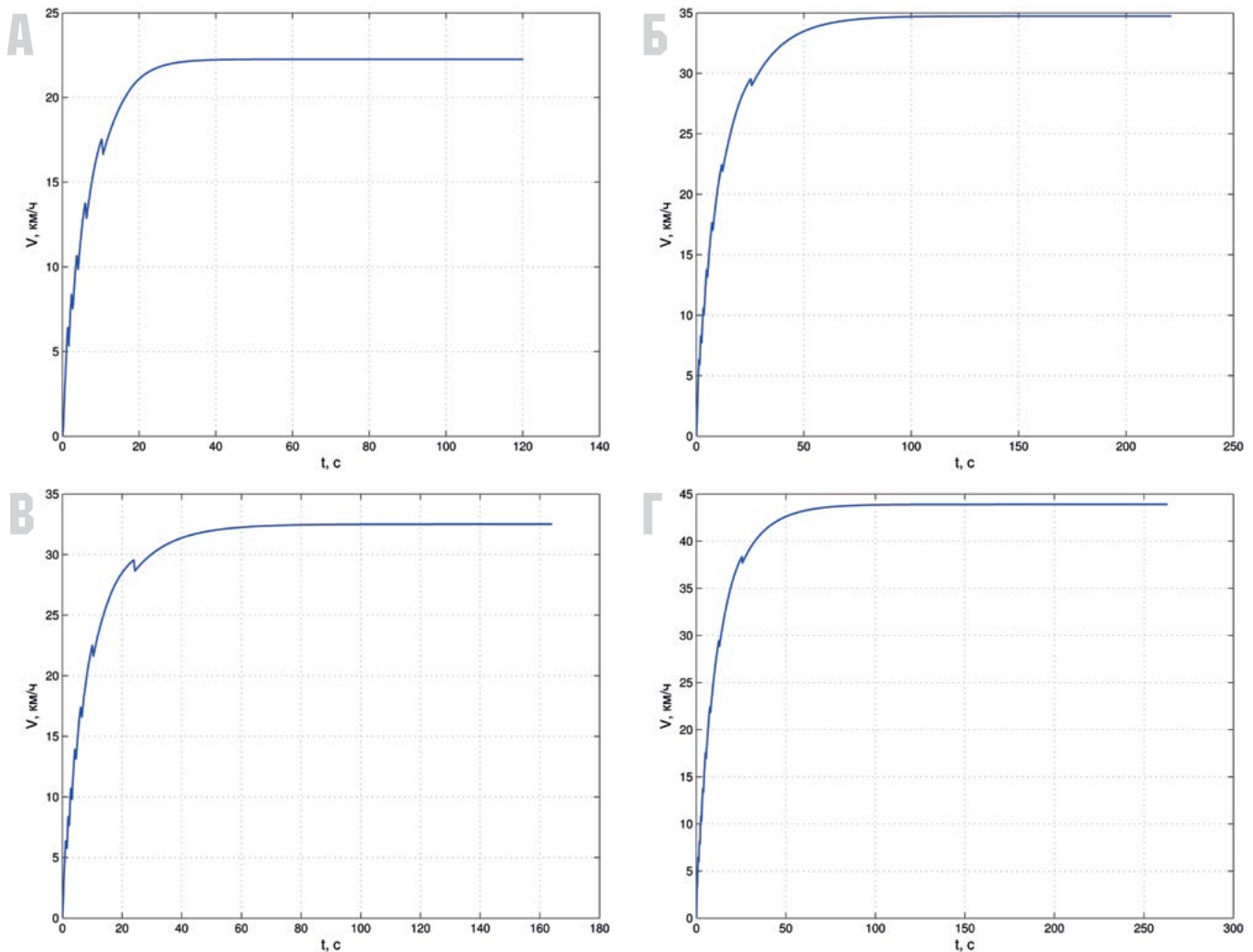


Рисунок 8. Изменение скорости движения автопоезда на подъеме величиной 7% при сухом состоянии дорожного покрытия для различных конструктивных вариантов тягача: а) вариант I; б) вариант II; в) вариант III; г) вариант IV

Движение автопоезда на маршруте моделировалось с двумя заданными значениями скорости — 70 и 90 км/ч, что соответствует регламентированным Правилами дорожного движения максимальным скоростям грузовых автомобилей вне населённых пунктов и на автомагистралях соответственно.

Полученные по результатам математического моделирования зависимости скорости движения автопоезда от пройденного пути на всём маршруте приведены на рис. 6 и 7.

Как видно из рис. 6 и 7, маршрут преодолевается автопоездом со всеми конструктивными вариантами тягачей. Однако следует обратить внимание, что движение автопоездов с тягачами, оснащёнными вспомогательным приводом передних колёс (варианты II и IV), является более равномерным, так как автопоезд уверенно преодолевает подъёмы, при этом скорость движения снижается незначительно. Наибольшую среднюю скорость на маршруте обе-

спечивает конструктивный вариант IV за счёт более высоких мощностных показателей КЭУ, которая, помимо двигателя внутреннего сгорания, включает электродвигатель гибридного модуля коробки передач мощностью 120 кВт.

Помимо случая движения по представительному маршруту, исследовались также частные случаи, в том числе преодоление подъёмов различной крутизны (от 4 до 20 %), которые, как видно из представленных выше результатов, являются наиболее сложными участками маршрута. Согласно полученным данным (рис. 8 и 9), применение вспомогательного привода передних колёс не только улучшает возможности автопоезда по преодолению подъёмов как на сухой, так и на покрытой льдом опорной поверхности, но и повышает среднюю скорость движения автопоезда на подъёме в среднем на 40 %.

Таким образом, результаты исследований показывают, что применение вспомогательного привода

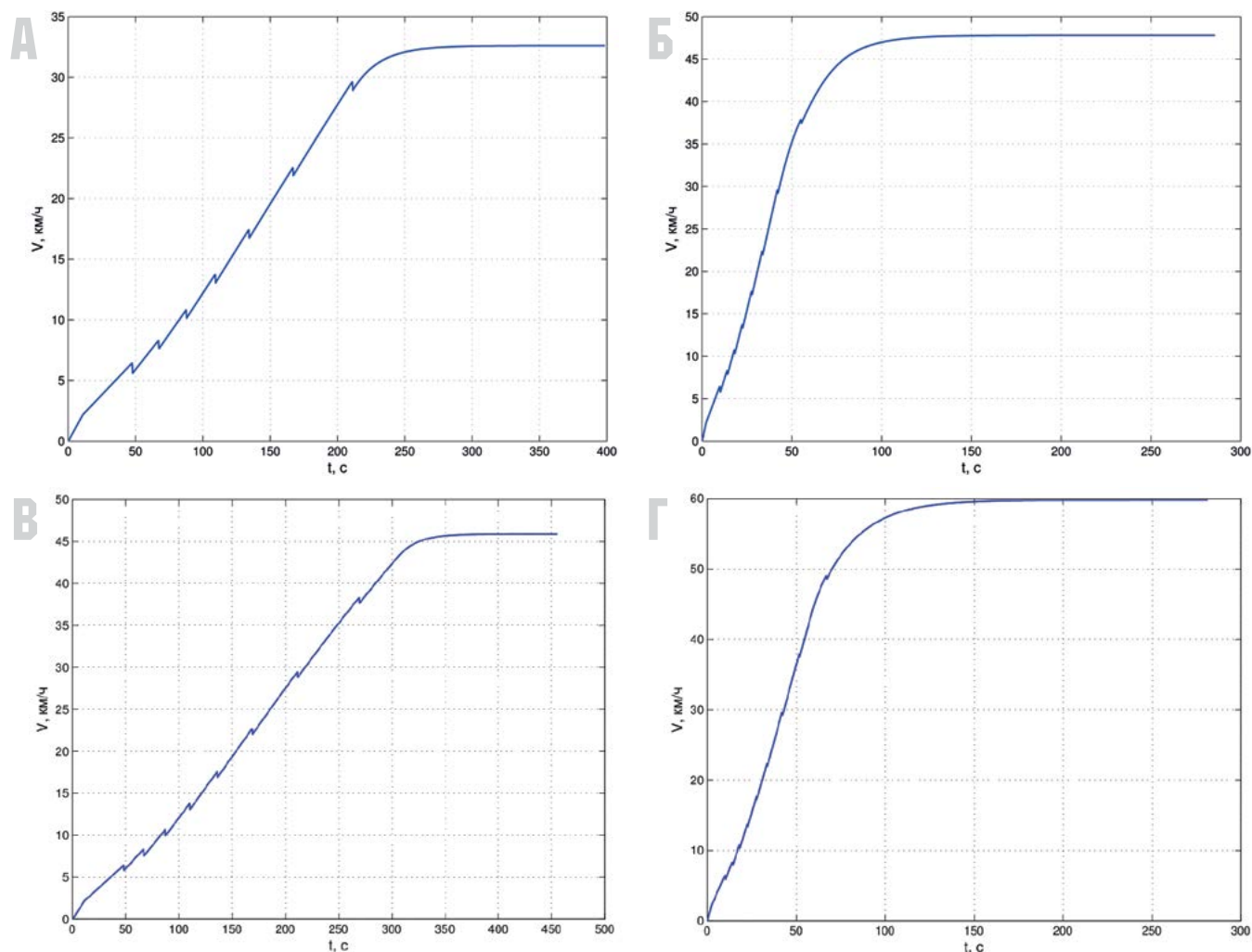


Рисунок 9. Изменение скорости движения автопоезда на подъёме величиной 4 % в условиях гололёда для различных конструктивных вариантов тягача: а) вариант I; б) вариант II; в) вариант III; г) вариант IV

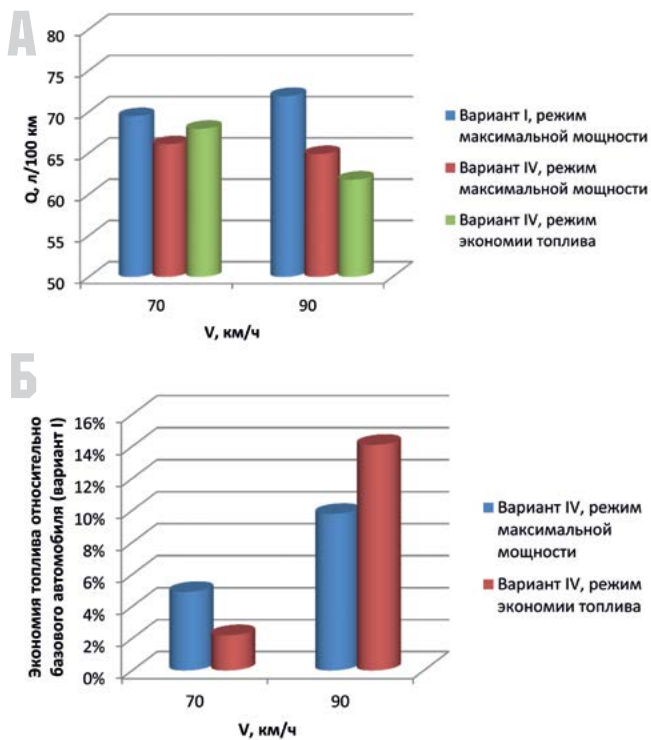
передних колёс позволяет существенно повысить среднюю скорость движения магистрального автопоезда, являющуюся одним из основных показателей его эффективности.

Представленные выше расчётные данные были получены при использовании алгоритма управления КЭУ, который предоставляет в распоряжение водителя всю доступную мощность энергоустановки. Помимо него был разработан также другой алгоритм, который ограничивает доступную мощность, обеспечивая работу двигателя по характеристике минимальных удельных расходов топлива (режим экономии топлива). Вычислительные эксперименты, проведённые с учётом управления КЭУ согласно каждому алгоритму, позволили оценить выбранные для исследований конструктивные варианты автомобилей с точки зрения потенциальной экономии топлива.

В связи с тем, что реализация работы двигателя по характеристике минимальных удельных расхо-

дов топлива для базового автомобиля, оснащённого механической ступенчатой трансмиссией, невозможна, движение в режиме экономии топлива рассматривалось только применительно к автомобилю с КЭУ (вариант IV). Поэтому сравнение абсолютных показателей топливной экономичности автомобилей (по путевому расходу топлива, рассчитанному по результатам математического моделирования) проводилось только для режима максимальной мощности (рис. 10, а). Для варианта IV осуществлялась сравнительная оценка топливной экономичности в абсолютных и относительных величинах при движении в обоих рассмотренных режимах — режиме максимальной мощности и режиме экономии топлива (рис. 10, б).

Результаты вычислительного эксперимента продемонстрировали возможность экономии топлива за счёт КЭУ с подключаемым электроприводом передних колёс до 14 %. Как показывают результаты ис-



*Рисунок 10.* Сравнение показателей топливной экономичности автопоезда при движении по маршруту Набережные Челны — Челябинск для различных конструктивных вариантов тягача: а) варианта I и варианта IV по абсолютным значениям среднего расхода топлива при различных значениях заданной скорости движения; б) варианта IV относительно варианта I при движении последнего в режиме максимальной мощности при различных значениях заданной скорости движения

следований, наиболее благоприятный с точки зрения топливной экономичности скоростной режим автомобиля — движение с заданной скоростью 90 км/ч. В данном случае использование экономичной стратегии управления КЭУ обеспечивает экономию топлива около 5 % по сравнению с движением в режиме максимальной мощности.

В целом по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Тягово-динамические свойства автомобиля, оснащенного вспомогательным приводом передних колес, существенно выше в сравнении с неполноприводным аналогом. Результаты проведенных исследований показывают, что привод передних колес всегда задействован при разгоне автомобиля на скользком опорном основании, что позволяет транспортному средству уверенно преодолевать подъемы, в том числе в условиях гололеда. Базовый автомобиль КамАЗ-65206 с колесной формулой 6×4 в данных условиях маршрут не преодолевает.

2. При преодолении сложных участков маршрута вспомогательный привод передних колес обеспечивает автомобилю более высокую скорость движения.

Например, как показывают результаты расчетов, при преодолении подъемов крутизной от 4 до 20 % средняя скорость движения автомобиля, оснащенного электроприводом передних колес, на 40 % выше, чем скорость движения базового автомобиля. Таким образом, средняя скорость движения автопоезда в составе тягача со вспомогательным приводом передних колес на трассе с затяжными подъемами снижается меньше, чем у других вариантов транспортных средств.

3. Применение на магистральном тягаче КЭУ с подключаемым передним приводом позволяет при движении по автомагистрали достичь экономии топлива до 14 %.

4. Результаты проведенного исследования хорошо согласуются с результатами моделирования, проводившегося параллельно в среде AVL Cruise.

5. Наиболее целесообразной выглядит разработка вспомогательного привода передних колес как опциональной системы, предназначенной для комплектации серийных автомобилей. Гидрообъемный вспомогательный привод колес в настоящее время получил определенное распространение и положительно зарекомендовал себя в эксплуатации. Ввиду распространения автомобилей с комбинированными силовыми установками для таких транспортных средств целесообразна разработка подобной системы на основе электропривода, что позволяет интегрировать электропривод передних колес в состав КЭУ.

Эксплуатация магистрального тягача, оснащенного вспомогательным приводом передних колес, позволяет повысить эффективность грузоперевозок и безопасность движения, а также уменьшить вероятность возникновения заторов на трассах, вызванных резким снижением скорости или невозможности движения большегрузных автопоездов при неблагоприятных погодных условиях. Следует еще раз отметить, что автомобили с такими системами — это дорожные автомобили, приспособленные к периодической работе в сложных дорожных условиях (грунтовые, заснеженные дороги, легкое бездорожье), где эксплуатация полноприводных машин традиционной конструкции экономически нецелесообразна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Эльбригманн Т. Больше тяги всегда // In motion. — 2010. — № 1. — Р. 10–14.
2. Куликов И.А., Селифонов В.В. Математическое моделирование движения автомобиля с гибридной силовой установкой параллельного типа // Труды НАМИ. — Вып. 242. — 2009.