



М. С. Высоцкий
С. И. Кочетов
С. В. Харитончик

Основы проектирования модульных магистральных автопоездов



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Объединенный институт машиностроения

М. С. Высоцкий
С. И. Кочетов
С. В. Харитончик

Основы проектирования модульных магистральных автопоездов



Минск
«Беларуская навука»
2011

УДК [629.35+629.332].01

Высоцкий, М. С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М. С. Высоцкий, С. И. Кочетов, С. В. Харитончик. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 392 с. ISBN 978-985-08-1268-1.

Комплексно рассматриваются вопросы выбора основных параметров, виртуальных испытаний, дизайна, разработки типажа, методических основ построения систем автоматического управления работой узлов и агрегатов многозвенной магистральной автомобильной техники. Представлены как теоретические исследования с использованием пакетов программ MSC.ADAMS, ANSYS, LS-DYNA, Matlab, так и результаты натурных полигонных испытаний многозвенного автопоезда.

Адресуется специалистам, занимающимся вопросами проектирования и исследования высокоскоростных грузовых автомобильных транспортных средств.

Р е ц е н з е н т ы:

доктор технических наук П. Л. Мариев,
доктор технических наук, профессор А. Т. Скойбеда

ISBN 978-985-08-1268-1

© Высоцкий М. С., Кочетов С. И.,
Харитончик С. В., 2011
© Оформление. РУП «Издательский
дом «Беларуская навука», 2011

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня актуальными становятся вопросы создания новых поколений большегрузных магистральных автопоездов для транспортировки грузов на дальние и сверхдальние расстояния. Это обусловлено необходимостью повышения экономической эффективности автомобильных перевозок, уровня безопасности водителя, груза, а также других участников движения. Одним из ключевых оценочных показателей эффективности автомобильного транспорта нового поколения выступает сокращение выбросов вредных веществ в окружающую среду. Одновременно должны решаться проблемы уменьшения количества транспорта на дорогах и числа водителей, занятых в грузоперевозках.

Транспортные компании заинтересованы в повышении экономической эффективности автомобильных перевозок, прежде всего чтобы обеспечить конкуренцию перевозчикам, использующим железнодорожный, морской, речной и авиационный транспорт. Достижению обозначенных целей способствуют многозвенные автопоезда с количеством грузовых звеньев три и более. Применение принципов модульности и многозвенности позволит существенно повысить грузоместимость и грузоподъемность магистрального автопоезда, значительно сократить вредные выбросы в атмосферу.

Основными препятствиями при эксплуатации многозвенных транспортных средств сегодня выступают установленные ограничения по общей длине и массе автотранспортных средств, оговоренные в действующих национальных стандартах, Прави-

лах ЕЭК ООН и Директивах ЕС. Однако экономические и экологические выгоды, которые дает применение указанных автопоездов, заставляют конструкторов и исследователей искать пути решения технических проблем, приведших к законодательным ограничениям по эксплуатации на прежнем этапе развития техники. Это в первую очередь относится к выполнению требований маневренности и проезду мостов и путепроводов.

Большой опыт эксплуатации многозвенных автопоездов накоплен в Австралии и Америке. Европейские автопроизводители при поддержке транспортных компаний с 2005 г. осуществляют опытную эксплуатацию автопоездов, состоящих из двух грузовых звеньев, общей длиной 25,25 м при полной массе 65 т и выше. Определенную долю рынка в Российской Федерации завоевали бывшие в употреблении автопоезда капотной компоновки из США. Они пользуются спросом у перевозчиков ввиду наличия комфортных бытовых условий для водителей и повышенного уровня их пассивной безопасности.

Важно отметить, что страны Евразийского континента показывают высокую готовность дорожной инфраструктуры для эксплуатации длиннобазных большой грузоподъемности автопоездов и осуществляют непрерывное ее совершенствование и развитие. Наиболее масштабный проект по созданию транспортной магистрали из Европы на Дальний Восток ведет Российская Федерация. Ввиду высокой экономической значимости строительство межгосударственных транспортных артерий осуществляется также странами Юго-Восточной Азии и Ближнего Востока.

Принимая во внимание, что последнее десятилетие характеризовалось бурным экономическим развитием стран Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии, ростом объемов грузоперевозок, в Союзном государстве для автомобильных производителей особый интерес представляет создание в ближайшее время конкурентоспособных магистральных транспортных средств для осуществления перевозки грузов в направлении Европа – Азия. Причина складывающейся ситуации в том, что мировыми лидерами по темпам роста экономики стали и будут долгое время оставаться Китай и Индия. Эти две страны, в которых сосредоточено

почти 40 % населения планеты, свыше 6,5 млрд человек, производят более 40 % мирового валового внутреннего продукта. Именно поэтому центр тяжести мировой экономики в настоящее время непрерывно смещается в Азиатско-Тихоокеанский регион [59].

Еще одним крупным центром мировой экономики за последнее десятилетие стала Россия. Наличие больших сырьевых ресурсов, огромная территория, удобное географическое положение, развитая промышленность сделали ее стратегическим евразийским транспортным коридором. В целом с учетом дорожной сети Беларуси протяженность маршрута от Бреста до регионов Дальнего Востока составляет не менее 10 тыс. км. Это предъявляет особые требования к автомобильному транспорту, осуществляющему скоростные перевозки грузов. В центре внимания прежде всего должны быть безопасность водителей и грузов, поскольку создание развитой дорожной инфраструктуры и пунктов сервиса на маршруте указанной протяженности невозможно осуществить в краткие сроки.

Таким образом, в сфере автоперевозок наблюдается значительный рост объемов перевозимых грузов, что в свою очередь ведет к постоянному повышению требований как к техническому уровню транспорта, так и к показателям его экономической эффективности. В связи с этим актуальной становится выработка новых подходов к проектированию грузовых автомобильных транспортных средств – автопоездов для междугородных, международных и трансконтинентальных грузоперевозок, а решение новых задач с использованием автопоездов классической компоновки становится менее конкурентоспособным.

Многосвязные автопоезда являются новым видом техники для отечественной автомобильной промышленности, и по этой причине существует необходимость создания концепции их построения, новых методов проектирования в цикле виртуальной разработки.

Авторы предлагают развитие магистрального автомобильного транспорта на основе модульных принципов его построения для повышения эффективности и конкурентоспособности трансконтинентальных перевозок грузов. Представлен ряд ме-

тодов для определения основных конструктивных параметров и оценки эксплуатационных и потребительских свойств.

На начальном этапе (предварительная оптимизация) обосновывается и оптимизируется компоновочная схема с нахождением таких массо-геометрических параметров многозвенных автопоездов, при которых нормальные нагрузки от колес на дорожное полотно не превышают допустимых значений, определяемых действующими нормативными документами, но обеспечивают реализацию тяговых свойств автопоезда, а габаритные размеры обеспечивают требования по маневренности.

Найденные значения массо-геометрических параметров окончательно определяются путем оптимизации на основе оценочных параметров эксплуатационных свойств с использованием динамических моделей и проведения виртуальных испытаний в ходе осуществления полного цикла виртуального проектирования.

Разработанные методики для расчета эксплуатационных и потребительских свойств базируются на использовании современных компьютерных технологий для оценки эргономики, тягово-скоростных и топливно-экономических свойств, маневренности, устойчивости, управляемости, плавности хода, экономической эффективности.

С учетом выполненных исследований предложены подходы к определению перспектив развития многозвенных модульных транспортных средств.

Авторы выражают благодарность коллегам из Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, Министерства промышленности Республики Беларусь, Минского автомобильного завода, Объединенного института машиностроения Национальной академии наук Беларуси, Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана за ценные замечания, предложения и помощь в подготовке материалов настоящего издания: доктору физико-математических наук В. А. Бабенко, С. С. Баулину, доктору технических наук Б. Н. Белоусову, И. В. Гайсенку, В. И. Довнару, кандидату технических наук А. М. Захарикю, А. Н. Колесниковичу, В. С. Короткому, В. В. Корсакову, кандидату технических наук В. А. Куцего-

лову, И. Н. Лыгачу, А. А. Мажею, Г. В. Мартыненко, кандидату экономических наук А. Д. Молоковичу, кандидату технических наук В. Я. Павловскому, В. Н. Пожитку, С. В. Романову, С. А. Савицкому, А. А. Светличному, С. А. Суше, А. В. Талалуеву, В. М. Фишману, кандидату физико-математических наук А. Д. Чорному, Б. Н. Широкову. Авторы особо признательны министру транспорта и коммуникаций Республики Беларусь И. И. Щербо и заместителю начальника Управления государственной автомобильной инспекции Министерства внутренних дел Республики Беларусь В. В. Бульбенкову за помощь в организации пробеговых испытаний многозвенного автопоезда.

РАЗВИТИЕ МАГИСТРАЛЬНОГО АВТОТРАНСПОРТА В БЕЛАРУСИ

Ускоренные темпы развития народного хозяйства СССР в послевоенный период и рост грузооборота обусловили необходимость расширения типажа, совершенствования конструкций и увеличения выпуска автомобилей и автопоездов большой грузоподъемности. Основные работы по созданию автопоездов большой грузоподъемности, предназначенных для междугородных и международных перевозок, имеющих максимально возможные для данного вида транспорта грузоподъемность, скорость движения, обладающих повышенной производительностью и экономичностью перевозок, были сосредоточены на Минском автомобильном заводе.

С момента основания завода в массовом производстве было освоено шесть поколений грузовых автомобилей. Под маркой «МАЗ» с конвейера сегодня сходят седельные тягачи, бортовые автомобили, шасси под установку различного спецоборудования, городские, междугородные, туристические и специальные автобусы, воплотившие наиболее современные конструкторские решения.

В результате широкого использования прогрессивных методов проектирования при разработке конструкций транспортных машин на базе унифицированных узлов созданы семейства высокоунифицированных автомобилей, прицепов и полуприцепов, что позволило Минскому автомобильному заводу стать единственным в стране и крупнейшим в мире предприятием, выпускавшим комплексно автомобили и прицепы к ним.

По мере развития Минского автомобильного завода увеличивалось количество выпускаемых грузовых автомобилей, повышались их технико-экономические показатели: грузоподъемность, скорость, топливная экономичность, надежность и долговечность. Улучшались такие удельные параметры, как мощность, приходящаяся на тонну полного веса автомобиля, отношение грузоподъемности к собственному весу, снижалась себестоимость перевозок. В табл. 1.1–1.4 показана эволюция развития основных поколений автомобилей МАЗ, начиная с 1960 г.

Таблица 1.1. Основные параметры автомобилей семейства МАЗ-500

Модель	Колесная формула	Колесная база, мм	Грузоподъемность автомобиля, т (номиналь./допустим.)	Грузоподъемность шасси, т (номиналь./допустим.)	Вес автомобиля в снаряженном состоянии, т	Полный вес автомобиля, т	Коэффициент снаряженного веса автомобиля	Грузоподъемность автопоезда, т (номиналь./допустим.)	Полный вес автопоезда, т	Максимальная мощность, л. с.	Удельная мощность, л. с./т	Максимальная скорость, км/ч
МАЗ-500	4×2	3850	$\frac{7,5}{8,5}$	$\frac{8,5}{9,5}$	6,5	$\frac{14,2}{15,2}$	$\frac{0,87}{0,76}$	$\frac{14,3}{16,3}$	$\frac{26,2}{28,2}$	180	$\frac{6,9}{6,4}$	75
МАЗ-503Б	4×2	3200	$\frac{7,0}{8,0}$	$\frac{8,5}{9,5}$	6,8	$\frac{13,95}{14,95}$	$\frac{0,97}{0,85}$	–	–	180	$\frac{12,9}{12,0}$	70
МАЗ-504	4×2	3200	$\frac{7,45}{8,45}$ на седло	$\frac{9,15}{10,15}$	6,35	$\frac{14,0}{15,0}$	$\frac{0,85}{0,75}$	$\frac{13,5}{15,5}$	$\frac{24,0}{26,0}$	180	$\frac{7,5}{6,9}$	75
МАЗ-509П	4×4	3850	5,0 на коник	6,2	8,2	13,35	1,64	15	26,6	180	6,8	60

Теоретические и экспериментальные исследования конструкции и технико-эксплуатационных свойств указанных автомобилей и их основных узлов, включая новое семейство автомобилей МАЗ-5336, намеченных к производству с 1975 г., а также перспективное семейство автомобилей и автопоездов МАЗ-5430 для массового производства их после 1980 г., показали, что они направлены на обеспечение наиболее высокой производительности при минимальных трудоемкости изготовления и себестоимости перевозок за счет решения следующих проблем:

увеличение массы и объема одновременно перевозимого груза с применением многоосных автомобильных транспортных средств как можно большей грузоподъемности при оптимальном использовании их веса;

развитие и совершенствование рациональной совокупности конструктивных элементов и особенностей компоновки автомобилей, автопоездов, определяющих их участие в движении и обеспечении эффективности транспортной работы;

оптимизация прочностных параметров автомобилей и автопоездов, трудоемкости технического обслуживания и ремонта в зависимости от назначения и дорожных условий при создании унифицированных семейств автотранспортных средств;

выполнение требований социального характера, связанных с производством нового вида транспорта – скоростных автопоездов для дальних перевозок, создания максимального комфорта, безопасности и отдыха для водителей автопоездов дальнего следования.

Интенсивное развитие народного хозяйства требовало значительного увеличения грузооборота автомобильного транспорта. По расчетам научно-исследовательских институтов – Институт комплексных транспортных проблем (ИКТП), Научно-исследовательский институт автомобильной техники (НИИАТ) и Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (НАМИ) – грузооборот автомобильного транспорта должен был возрасти до 556 млрд ткм в 1980 г., до 800 млрд ткм в 1985 г. и до 1150 млрд ткм в 1990 г., по сравнению с 220,8 млрд ткм в 1970 г. Такое увеличение грузооборота особенно остро поста-

вило вопрос о необходимости значительного повышения производительности и эффективности транспортного процесса. Как следствие – это было отражено в Директивах к IX пятилетнему плану: «...повысить удельный вес автомобилей большой грузоподъемности и автомобильных поездов».

Предварительные расчеты показали, что если при перевозке одних и тех же грузов заменить грузовой автомобиль средней грузоподъемности (например, 2,5 т) на автопоезд грузоподъемностью 25 т, то себестоимость перевозки каждой тонны будет в три раза меньше, а водителей потребуется в десять раз меньше. Также при дальнейшем росте объема перевозок и соответствующем росте автомобильного парка для неизменной структуры выпуска автомобилей в 1980 г. пришлось бы вовлечь в сферу обслуживания автомобильного транспорта каждого третьего трудоспособного члена общества, что было бы совершенно недопустимым.

В развитых странах в 1970-е годы широко стали применяться автопоезда для дальних перевозок – на расстояния 300–400 км и более, в том числе международных – до 1000 км и более [34]. Согласно статистическим данным по ряду капиталистических стран мира, автомобильным транспортом перевозилось около 87 % от общего количества груза (в тоннах), подлежащего транспортировке, и выполнялось примерно 24 % грузооборота (в тонна-километрах).

Это объясняется рядом преимуществ, которыми обладает автомобильный транспорт по сравнению с другими видами транспорта. К важнейшим из них относятся:

доставка груза от изготовителя до потребителя независимо от расстояния без перегрузки;

повышение технико-экономических показателей транспортного процесса за счет сокращения сроков доставки и лучшей сохранности груза;

возможности организации централизованных перевозок, обеспечения гибкости по выбору типа автомобилей и автопоездов в зависимости от партионности грузов.

Исходя из указанных задач, имеющих большое народнохозяйственное значение, Минский автомобильный завод был ориен-

тирован на создание и дальнейшее развитие единого унифицированного типового ряда автомобилей и автопоездов большой грузоподъемности с осевым весом 10 т, в том числе предназначенных специально для междугородных перевозок. Автомобили и автопоезда большой грузоподъемности наиболее полно смогли удовлетворить требования междугородных перевозок, так как они созданы специально для эксплуатации на автомобильных дорогах I, II, III технических категорий общей сети СССР с усовершенствованными капитальными типами покрытий, что обеспечивает им наиболее высокую производительность. Они имеют максимально-возможную для данного класса автомобилей грузоподъемность, достаточно высокую максимальную скорость и динамические свойства, обеспечивающие высокие среднетехнические скорости и удовлетворительную топливную экономичность на автомобильных магистралях.

Особенно эффективно применение автомобилей МАЗ-516Б с колесной формулой 6×2 с дополнительной поддерживающей осью. Такой тип дорожного автомобиля выпускался Минским автозаводом впервые в СССР.

Наличие у автомобиля МАЗ-516Б устройства для вывешивания дополнительной оси позволило снизить расход топлива и износ шин, а также увеличить проходимость на заснеженных дорогах при движении без груза. Автомобиль обладал хорошей устойчивостью на заснеженных и покрытых грязью дорогах.

Освоение выпуска всей гаммы автопоездов МАЗ большой грузоподъемности позволило в значительной мере изменить состав автомобильного парка страны, тем более что уже в начале 70-х годов автомобильные перевозки, которые экономически целесообразно выполнять крупными партиями, стали массовыми и составляли не менее 75 % от общего грузооборота автомобильного транспорта. Поэтому при разработке новых успешных конструкций автомобилей и автопоездов особое внимание уделялось поиску оптимальной компоновки.

Задача общей компоновки как одного из основных этапов процесса создания автомобиля заключается в определении наибо-

вибронегруженности рабочего места водителя, конструктивного исполнения ряда узлов, агрегатов, систем и приводов при опрокidyвающейся кабине.

Для автомобилей с компоновкой «кабина над двигателем» на задний мост чаще всего приходится меньше половины снаряженного веса автомобиля, что значительно ухудшает его проходимость по плохим дорогам, особенно самосвалов.

До 1970-х годов считалось, что исходя из условий проходимости и устойчивости движения передний осевой вес автомобиля класса МАЗ не должен превышать 4,0–4,2 т, а развесовка автомобиля в снаряженном состоянии должна составлять не более 50 % на переднюю ось. С соблюдением этих требований и был спроектирован автомобиль МАЗ-500.

Однако дорожным законодательством на ось с одинарными шинами допускается нагрузка 6 т и выше. В то же время требование снижения себестоимости перевозок неизбежно приводит к максимальному использованию допустимых осевых масс. Это стало возможным практически только при отказе от капотной компоновки и переходе на компоновку по схеме «кабина над двигателем» (рис. 1.2).

Одним из показателей оценки внешних форм автомобиля с точки зрения средних скоростей движения и уменьшения расхода топлива является величина коэффициента сопротивления воздуха. Из теории автомобиля известно, что в уравнении мощностного баланса автомобиля все входящие в него слагаемые, кроме мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления воздуха, пропорциональны второй степени скорости движения, в то время как мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, пропорциональна третьей степени скорости движения. Отсюда следует, что мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, с увеличением скорости движения быстро растет и при больших скоростях на преодоление сопротивления воздуха затрачивается значительная часть мощности двигателя.

На рис. 1.3 показано распределение затрат тягового усилия на ведущих колесах автопоезда МАЗ-504В-5205 на преодоле-

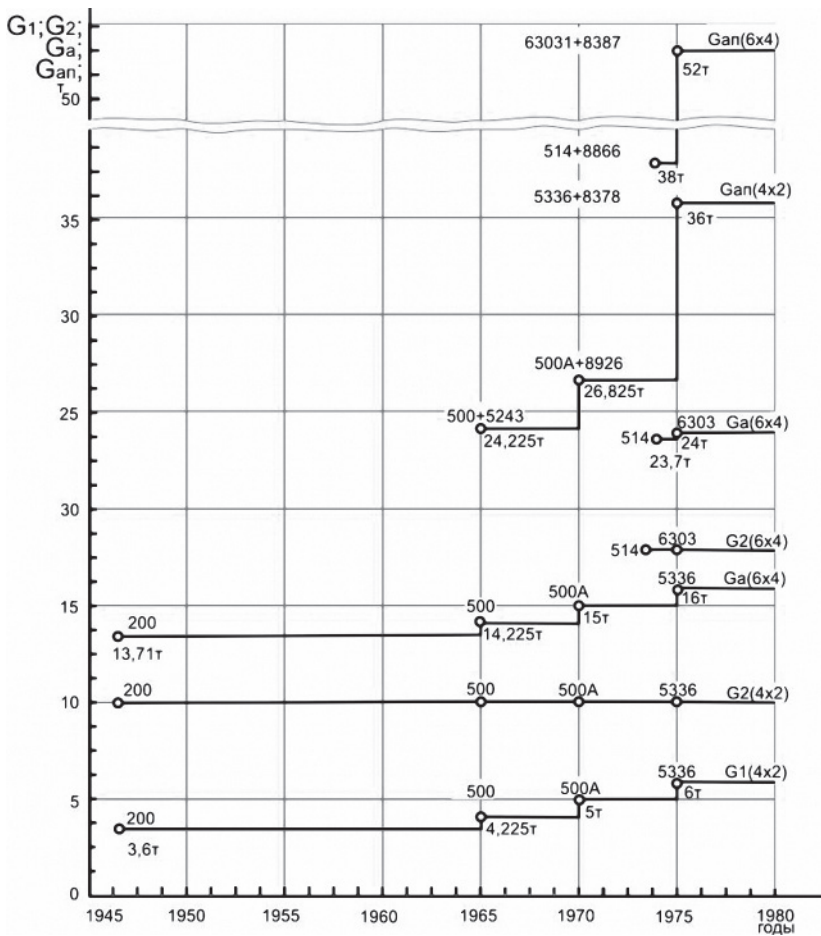


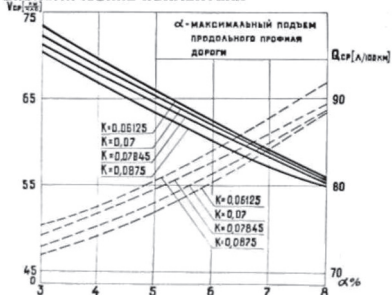
Рис. 1.2. Динамика развития полных и осевых масс автомобилей и автопоездов МАЗ

ние сопротивления в шинах, трансмиссии, трения от крутящего момента и на сопротивление воздуха в зависимости от скорости движения. Как видно из рисунка, уже при скорости 60 км/ч на преодоление сопротивления воздуха затрачивается 30 % тягового усилия, а при скорости 90 км/ч – 50 %.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ АВТОПОЕЗДА



ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОБТЕКАЕМОСТИ НА ТЯГОВО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ



ЭПЮРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

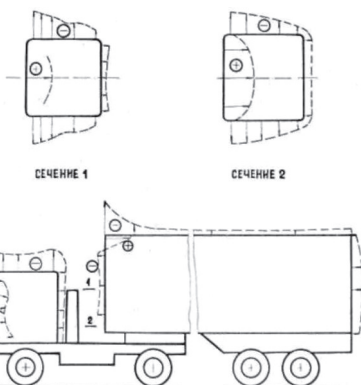


Рис. 1.3. Аэродинамика автопоездов МАЗ

Это обстоятельство имеет особое значение для автомобилей, работающих на международных и междугородных маршрутах, в связи с непрерывным ростом скоростей движения, достигающих в настоящее время 90–100 км/ч, а также в связи с распространением перевозок в контейнерах, фургонах, под тентом и т. п. с увеличенной лобовой площадью автомобиля.

Испытаниям подвергались модели автомобилей МАЗ (масштаб 1:10) в аэродинамической трубе [81] – бортовые автомобили и седельные тягачи с колесной формулой 4×2 и 6×4, с бортовой платформой и с фургоном. Испытания имели своей целью определение коэффициента обтекаемости для различных модификаций автомобилей и автопоездов. Результаты испытаний для моделей автомобилей с кабиной МАЗ-5336 приведены в табл. 1.5.

**Таблица 1.5. Аэродинамические характеристики
автомобилей МАЗ**

Тип автомобиля	Коэффициент обтекаемости К	Фактор обтекаемости KF
Автомобиль 4×2 с фургоном	0,0376	0,316
Автомобиль 4×2 с бортовой платформой	0,0619	0,34
Автомобиль 4×2 с фургоном и двухосным прицепом-фургоном	0,047	0,396
Автомобиль 4×2 с бортовой платформой и двухосным бортовым прицепом	0,0793	0,436
Седельный тягач 4×2 с двухосным полуприцепом-фургоном	0,0412	0,347
Седельный тягач 6×4 с двухосным полуприцепом-фургоном	0,051	0,432

Развитие основных параметров автомобилей МАЗ после создания и освоения автомобилей семейства МАЗ-500 было проведено в четыре этапа, условно называемых [2, 4, 38, 64]:

- 1) семейство автомобилей МАЗ-500А;
- 2) семейство автомобилей и автопоездов МАЗ-5335;
- 3) семейство автомобилей и автопоездов МАЗ-5336;
- 4) перспективное семейство автомобилей и автопоездов МАЗ-5340.

Семейство автомобилей МАЗ-500А. Первый этап развития основных параметров, выполненный в 1967–1968 гг., позволил за счет смещения платформы автомобиля вперед и незначительного изменения базы, с сохранением существующей компоновки автомобиля, модернизации ряда узлов (шкворневой группы передней оси, передней подвески, карданных валов и платформы), с сохранением высокого процента унификации их со своим предшественником, увеличить передний осевой вес до 5,0–5,6 т и за счет этого повысить грузоподъемность базового автомобиля и его модификаций до 8,0–8,5 т. Компоновка автомобиля МАЗ-500, в отличие от компоновки автомобиля МАЗ-200, позволила осуществлять такие изменения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Развитие магистрального автотранспорта в Беларуси	8
Глава 2. Автотранспортные артерии мира	43
2.1. Автотранспортные магистрали Евразийского континента.....	44
2.2. Автотранспортные магистрали американских континентов	51
2.3. Автотранспортные магистрали Австралийского континента	52
2.4. Автотранспортные магистрали Южной Африки.....	54
Глава 3. Тенденции развития магистрального автотранспорта	57
3.1. Развитие конструкций современного и будущего магистрального автотранспорта.....	57
3.2. Массо-габаритные ограничения для автопоездов	69
3.3. Полная масса автопоездов, их тягово-динамические характеристики	72
3.4. Маневренность автопоездов.....	74
3.5. Особенности автопоездов в Австралии.....	78
3.6. Перспективные требования к магистральному автотранспорту .	79
3.7. Особенности магистральных автомобильных перевозок грузов .	82
Глава 4. Модульность в конструкциях мобильных машин	85
4.1. Понятие модульности	85
4.2. Уровни модульности	88
4.3. Модульные конструкции мобильных машин	94
4.4. Маз-2000 «Перестройка» – первый магистральный автопоезд модульной конструкции.....	106
4.5. Развитие принципов модульности для магистрального автотранспорта.....	110

<i>Глава 5. Многозвенные магистральные автопоезда</i>	113
<i>Глава 6. Оптимизация схемно-структурных решений модульных многозвенных магистральных автопоездов</i>	122
6.1. Математические модели для оптимизации схемно-структурных компоновочных решений автомобилей и автопоездов	122
6.2. Выбор основных параметров и компоновочной схемы магистральных многозвенных модульных автопоездов	162
<i>Глава 7. Моделирование эксплуатационных и потребительских свойств многозвенных модульных магистральных автопоездов с использованием современных компьютерных технологий</i>	175
7.1. Модели дорожных условий	175
7.2. Особенности расчета тягово-скоростных свойств многозвенных автопоездов	187
7.3. Особенности криволинейного движения многозвенного автопоезда	187
7.4. Обобщенная математическая модель криволинейного движения многозвенного автопоезда	194
7.5. Математическая модель многозвенного автопоезда в MSC.ADAMS ..	197
7.6. Виртуальные испытания маневренности, управляемости и устойчивости многозвенного автопоезда	208
7.7. Виртуальные испытания плавности хода	217
<i>Глава 8. Дизайн многозвенного автопоезда и эргономика рабочего места водителя</i>	225
8.1. Алгоритм проектирования кабины автотранспортного средства	225
8.2. Разработка внешнего строения и интерьера АТС с учетом критериев эстетики (дизайна), эргономики и аэродинамики	227
8.3. Расчетная оценка прочности кабины	229
8.3.1. Виртуальные испытания кабины на прочность	229
8.3.2. Виртуальные испытания кабины на удар спереди	233
8.3.3. Виртуальные испытания статического нагружения угла крыши кабины	241
8.4. Моделирование аэродинамики автопоезда	244
8.5. Эргономика рабочего места водителя	255
<i>Глава 9. Основы управления движением модульных многозвенных магистральных автопоездов</i>	269
9.1. Состав и назначение основных электронных систем многозвенного автопоезда	269
9.2. Критерии функционирования электронных систем управления многозвенным автопоездом	272

9.3. Структура систем автоматического управления движением многозвенного автопоезда.....	273
9.4. Алгоритмы работы электронных систем управления многозвенным автопоездом.....	274
Глава 10. Экспериментальный образец многозвенного модульного магистрального автопоезда.....	278
Глава 11. Перспективы развития модульных автотранспортных средств.....	284
11.1. Элементы построения, основные критерии и требования для формирования типажа магистральной автомобильной техники на основе модульных принципов.....	284
11.2. Анализ массо-геометрических параметров магистральных автопоездов.....	287
11.3. Принципы развития и изменения законодательных ограничений на массо-геометрические параметры автомобилей.....	289
11.4. Оптимизация многозвенных автопоездов на основе технико-экономических решений.....	297
11.5. Концепция типажа автомобильной техники на основе модульного построения.....	310
Заключение.....	320
Литература.....	323
Приложение 1.....	333
Приложение 2.....	338
Приложение 3.....	365

Научное издание

Высоцкий Михаил Степанович
Кочетов Сергей Иванович
Харитончик Сергей Васильевич

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МОДУЛЬНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОПОЕЗДОВ**

Редактор *Н. Н. Герасимович*
Художественный редактор *Т. Д. Царева*
Технический редактор *М. В. Савицкая*
Компьютерный верстка *О. А. Толстая*

Подписано в печать 28.03.2011. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 22,9+0,81 вкл. Уч.-изд. л. 18,6. Тираж 150 экз. Заказ 80.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом
«Беларуская навука». ЛИ № 02330/0494405 от 27.03.2009.
Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск