

МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 629.331

М.С. ВЫСОЦКИЙ, академик,
С.И. КОЧЕТОВ, В.Н. ПОЖИТОК, С.В. ХАРИТОНЧИК, канд. техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ МОДУЛЬНОСТИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Отмечена актуальность создания автомобильных транспортных средств нового поколения для осуществления транс-континентальных перевозок грузов. С этой целью показаны перспективные пути повышения экономической эффективности магистральных автопоездов за счет использования принципов модульности в их конструкции. Реализация указанных принципов решает задачи повышения грузоподъемности, грузоподъемности, экологической безопасности.

Последнее десятилетие характеризуется значительным увеличением объемов грузоперевозок в мире. Особенно интенсивный грузооборот отмечается в направлении Европа — Азия, что подтверждает диаграмма динамики международной торговли стран Азии с 1994 по 2005 гг. (рисунок 1) согласно данным [1].

Традиционное использование морского транспорта для грузоперевозок между странами Юго-Восточной Азии и Европы через Индийский океан и Средиземное море при сравнительно небольшой стоимости приводит к значительному увеличению времени доставки, ухудшает его эффективность и заставляет искать пути повышения производительности при перевозке грузов.

По оценке Госсекретаря Союзного государства П.П. Бородина товарооборот между Европой и Азией ежегодно составляет 600 млрд. долларов, в том числе между Юго-Восточной Азией и Европой — 250 млрд. долларов [2]. С учетом этого основная ставка при перевозке грузов делается на автомобильный транспорт благодаря его высокой оперативности. Он способен осуществлять грузоперевозки на дальние и сверхдальние расстояния, например, с одной части континента на другую, при высокой экономической эффективности. И, что особенно важно, международные транспортные коридоры проходят через основные промышленные центры Республики Беларусь и Российской Федерации [11].

Вместе с тем, существующие компоновочные и конструктивные решения автопоездов и технологии грузоперевозок не удовлетворяют перевозчиков, обусловленных мировым ростом цен на топливо и ростом заработной платы водителей и обслуживающего персонала. При этом, развитие конструкций машин жестко ограничивается международными правилами и национальными стандартами, определяющими наибольшие значения полной массы и габаритных размеров, а, следовательно, и объем перевозимого груза. Поэтому можно считать, что магистральные автопоез-

да в классическом исполнении исчерпали имеющиеся резервы повышения производительности и, как следствие, ожидать серьезных прорывов в этом направлении не приходится. Это подтверждают и материалы Всемирного автомобильного конгресса FISITA, прошедшего в 2006 году в г. Йокогама (Япония). На нем было отмечено, что дальнейшее совершенствование классических автотранспортных средств (АТС) будет идти главным образом по пути оптимизации дизельных двигателей, внедрения гибридного привода, повышения активной и пассивной безопасности, развития логистики транспортных потоков [3].

Несмотря на то, что указанные направления особенно важны для развития мирового автомобилестроения, их реализация потребует вложения немалых средств. А уже сегодня в магистральном автомобилестроении требуются менее затратные решения, обеспечивающие опережающие темпы повышения экономической эффективности перевозки грузов. При этом перевозчики выдвигают к магистральным автопоездам требования, касающиеся непосредственно их конструктивных параметров и, в конечном счете, направленные на увеличение рентабельности грузоперевозок [1,9]:



Рисунок 1 — Динамика международной торговли стран Азии в 1994—2005 гг. (млрд. долл.)

повышение объема перевозимого груза (грузоёмкости);

повышение массы перевозимого груза (грузоподъёмности);

повышение средней технической скорости на маршруте;

уменьшение расхода топлива;

уменьшение удельной трудоёмкости технического обслуживания и текущего ремонта в расчёте на 1000 км пробега;

уменьшение времени простоя в ремонте;

повышение коэффициента использования парка;

обеспечение заданного ресурса АТС до списания.

Попыткой кардинального решения многих проблем, связанных с эффективностью использования АТС, стала экспериментальная эксплуатация в Германии, Голландии и странах Скандинавии 2-х и 3-звенных магистральных автопоездов увеличенной длины (25,25 м) и полной массы (60 т). Такие автопоезда позволяют не только заметно повысить грузо-подъёмность и снизить расход топлива на перевозку 1 т груза, но и уменьшить количество грузового транспорта на магистралях, сократить выбросы вредных веществ в атмосферу. Вместе с тем, использованные при проектировании данных автопоездов подходы имеют ряд принципиальных недостатков, снижающих эффективность автопоездов при трансконтинентальных грузоперевозках:

неразвитая бытовая зона в кабине;

использование высокомоментных двигателей (свыше 650 л.с.) на автомобиле-тягаче;

невозможность включения в структуру автопоезда дополнительных звеньев из-за ухудшения тягово-скоростных и маневренных свойств;

снижение уровня унификации в случае применения прицепных звеньев разной конструкции.

С учётом сказанного, при разработке магистральных автопоездов для грузоперевозок на дальние и сверхдальние расстояния выполнение требований перевозчиков может быть в наибольшей мере достигнуто за счёт использования принципов модульности, которые предполагают деление изделия в процессе разработки на ряд основных подсистем (модулей). Каждая такая подсистема должна разрабатываться по специфическим требованиям и, в то же время, с учётом необходимой совместимости с другими подсистемами. Готовое изделие при этом должно собираться из завершённых модулей определённого функционального назначения, обеспечивая заданные характеристики изделия. Такой подход позволяет создавать высокотехнологичные типы машин, которые смогут реализовывать свои функции с наибольшей эффективностью [4].

При этом в зависимости от степени дробления проектируемого АТС на отдельные модули и от возможности использования модулей в производстве и эксплуатации в технической литературе различают следующие иерархические уровни (виды) модульности [5]:

микромодульность (на каркасный кузов крепятся дополнительные части-модули, от исполнения которых зависит модификация выпускаемого автомобиля);

модульность среднего уровня (на базе одной платформы или рамы путем ее укорачивания или удлинения изготавливаются автомобили разного класса или назначения, например, тягачи Volvo-FH, DAF-85,

Iveco EuroTech, Renault-Premium с разными кабинами и другие);

макромодульность (применение укрупнённых модулей дает возможность выпускать большое число моделей изделия в производстве и позволяет с малыми затратами варьировать потребительскими свойствами машин в зависимости от заданных условий эксплуатации, например, боевая машина BAE Systems [6] и электропоезда A-train компании Hitachi Rail Systems [7]).

Отмеченные выше подходы к использованию принципов модульного построения сложных технических систем позволяют ввести ряд базовых понятий и определений применительно к перспективным магистральным автопоездам.

Под макромодулем следует понимать полнофункциональные звенья многозвенного автопоезда, способные совершать самостоятельное движение и работать совместно с другими звеньями в составе автопоезда. При этом макромодули включают модули среднего уровня. Под последними предлагается понимать входящие в звенья грузовые и тяговые модули, модуль «кабина», модуль «тележка опорных колес грузового модуля». Микромодули представляют собой набор компонентов, входящих в состав модулей среднего уровня (моторно-трансмиссионные установки, тягово-сцепное устройство, оси и т.д.).

Предлагаемый подход согласуется с понятиями модульного формирования технических систем, изложенными в [10]. Здесь под модульным принципом понимается особенность построения технических систем, заключающаяся в обеспечении возможности комплектования разнообразных сложных нестандартных технических систем с большим различием характеристик из небольшого экономически обоснованного количества типов и типоразмеров одинаковых первичных (типových или стандартных) общих модуль-элементов.

С учётом известных подходов [4, 5] сформулируем общие требования к отдельным модулям для последующего их использования при проектировании магистральных автопоездов:

1. Изделие в процессе разработки должно быть разделено на несколько автономных модулей с простыми и согласованными связями между ними. Это дает возможность осуществлять параллельную разработку каждого из модулей.

2. Модули (подсистемы) в максимальной степени должны быть независимыми друг от друга.

3. Возможные взаимозависимости между модулями (подсистемами) должны быть сведены к минимуму. Благодаря этому разработка каждого из модулей не ограничивается темпами работы над другими модулями.

4. Взаимозависимости между модулями (подсистемами) должны быть известны, чтобы после завершения разработки изделия получить набор модулей, которые будут работать не только каждый в отдельности, но и могут быть собраны вместе в конечное изделие, функционирующее в соответствии с заданными требованиями.

5. Модули должны быть совместимы, то есть позволять свободную сборку (комплектовку) готового изделия определённого функционального назначения с заданными или новыми характеристиками. Это позволяет при разработке использовать принцип восходящего проектирования.

6. Каждый модуль должен разрабатываться по специфическим, характерным для него требованиям, чтобы при функционировании в составе готового изделия обеспечить те его параметры, для обеспечения которых данный модуль предназначен. Таким образом, появляется возможность реализовать функциональное назначение модуля.

С учетом вышеперечисленных требований магистральный автопоезд модульной конструкции (МАП) может состоять из следующих основных структурных единиц (рисунок 2): головное и прицепные звенья (макромодульность), кабина, грузовой модуль, тяговый модуль, подкатная активная тележка со сцепным устройством (модульность среднего уровня). При этом тяговый модуль используется в головном звене и предназначен для придания автопоезду требуемых тягово-динамических свойств при осуществлении транспортной работы. В состав тягового модуля входит рама, силовая установка (двигатель внутреннего сгорания со вспомогательными системами), трансмиссионный блок (привод колес ведущего моста), оси (мосты), подвеска ведущего моста и оси с управляемыми колесами, рулевое управление, тормозная система и устройство быстрого присоединения грузового модуля к тяговому модулю (микромодульность). Тяговый модуль может комплектоваться силовыми установками и трансмиссиями различных типов. Например, трансмиссия может быть как механической, так и электромеханической. Подкатная активная тележка используется в прицепных звеньях и предназначена для обеспечения их мобильности. Она оснащается силовой установкой и трансмиссионным блоком.

Преимущества от реализации принципов модульности при создании магистральных автопоездов очевидны. Модульная структура звеньев позволяет комплектовать автопоезда необходимой грузоподъемности и грузоподъемности на базе унифицированных модулей как в процессе производства, так и в эксплуатации. Благодаря этому осуществляется формирование автопоезда непосредственно под потребности автотранспортной компании (заданная общая длина автопоезда, определенная партия груза, условия клиента, маршрут движения, время доставки и др.). Открывается возможность трансформации автопоезда во время одного рейса — за счет уменьшения или увеличения количества звеньев для изменения грузоподъемности и грузоподъемности; уменьшения или увеличения мощности силовых установок тяговых модулей для изменения тягово-динамических характеристик. Уменьшается число занятых водителей для перевозки определенного объема груза и число автомобилей на дорогах. Как следствие, улучшается экологическая обстановка и снижаются расходы на поддержание технического состояния автомобильных дорог.

Мобильность макромодулей (звеньев) за счет установки на каждом из них рулевого управления и инди-

видуального привода позволяет осуществлять самостоятельный подъезд каждого звена к погрузочно-разгрузочным площадкам и самостоятельное объединение звеньев в многозвенный автопоезд.

Такой автопоезд будет характеризоваться повышенной длиной, причем за счет компоновочных решений нагрузка на каждую ось может быть выдержана в пределах от 8 до 13 т.

Технико-экономическую эффективность магистрального автопоезда, созданного в соответствии с предложенными принципами модульности, можно оценить на основе сравнительного анализа его мощностного баланса по отношению к классическим седельным автопоездам:

$$N_k = N_f + N_i + N_j + N_a + N_s, \quad (1)$$

где N_k — мощность, подведенная к ведущим колесам автопоезда; мощности, затраченные соответственно на преодоление сопротивления качению N_f , на преодоление подъема N_i , на увеличение кинетической энергии поступательно движущейся массы автопоезда N_j , на преодоление аэродинамического сопротивления N_a , на буксование ведущих колес автопоезда N_s .

Сравнение балансов мощностей проведем на примере 3-звенного автопоезда и трех автопоездов классической компоновки. При этом будем полагать, что указанные два типа транспортных средств перевозят партию равного по массе груза, движутся равномерно со скоростью $V = 90$ км/ч по ровному горизонтальному участку дороги без буксования ведущих колес. В этом случае сравнение затрат мощности на перемещение партии груза автопоездами двух выбранных типов сводится, главным образом, к сравнению затрат на аэродинамическое сопротивление.

Сопротивление воздушной среды рассчитывается по общепринятой формуле [8]:

$$N_a = K_v F V^3, \quad (2)$$

где K_v — коэффициент обтекаемости, F — лобовая площадь.

На основе данных работы [8] полагаем, что величину аэродинамического сопротивления для второго и третьего звеньев модульного автопоезда при использовании аэродинамических обтекателей для формирования безотрывного течения воздушного потока можно принять 0,2 от сопротивления для головного звена. Тогда для 3-звенного автопоезда мощность, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления, равна

$$N_{aМАП} = 1,4 K_v F V^3. \quad (3)$$

Сравнение показывает, что при прочих равных условиях у магистрального модульного трехзвенного автопоезда затраты мощности на преодоление аэродинамического сопротивления составляют менее половины этой величины для трех классических седельных автопоездов. Как следствие, модульный автопоезд будет

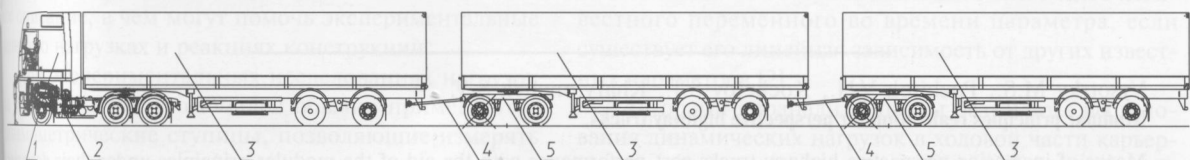


Рисунок 2 — Структура модульного многозвенного автопоезда:

1 — кабина, 2 — тяговый модуль, 3 — грузовой модуль, 4 — сцепное устройство, 5 — подкатная активная тележка

иметь и существенно меньший расход топлива, а, значит, и более высокую удельную производительность, поскольку доля аэродинамического сопротивления на высоких скоростях движения автопоезда достигает 40% от общих затрат мощности [8].

Дальнейший анализ баланса мощностей для случая перевозки партии груза по асфальтобетонному шоссе показывает, что благодаря уменьшению аэродинамического сопротивления 3-звенному автопоезду для движения будет достаточно двигателей суммарной мощностью 900 л.с. В то же время для обеспечения тех же тягово-скоростных показателей трем классическим седельным автопоездам понадобятся двигатели суммарной мощностью не менее 1200 л.с.

Проведенная выше оценка согласуется и с различными зарубежными исследованиями. При перевозке 120 т груза двумя удлиненными до 25,25 м автопоездами грузоподъемностью 60 т (седельный автопоезд + прицеп с центральными осями или грузовик + 5-осный прицеп) общий удельный расход топлива составляет 16 л/1000 т·км. Для выполнения той же транспортной работы с использованием обычных автопоездов грузоподъемностью 40 т понадобится 3 автопоезда (грузовик + прицеп с центральными осями или седельный автопоезд), а общий удельный расход топлива при этом составит около 19 л/1000 т·км, то есть почти на 19% больше [9].

Таким образом, реализация принципов модульности при проектировании магистрального автотранспорта представляет собой наиболее продуктивный путь его совершенствования (повышения грузоподъемности, грузместимости, экологической безопасности, уровня комфортабельности), а также уменьшения потоков грузового транспорта на автомагистралях. При этом задачи повышения технико-экономической эффективности решаются за счет сокращения непродуктивных затрат мощности на преодоление аэродинамического сопротивления. Реализация принципов модульности при проектировании магистрального автотранспорта позволяет получить неоспоримые преимущества как на стадии производства, так и в эксплуатации.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т06-253).

Vysotsky M.S., Pozhitok V.N., Kochetov S.I., Kharytonchyk S.V.

Modular principles realization for perspective highway trucks.

Means of increasing perspective highway trucks cost-performance with the aid of the modular principles under their designing are shown.

Поступила в редакцию 16.05.2008.

Список литературы

1. Жарко, О. Вслед за Никитиным и Колумбом / О. Жарко // Автоперевозчик. — 2007. — № 7. — С. 31.
2. Батыгин, А. Коридор в Азию. Самый перспективный проект Союзного государства / А. Батыгин // СОЮЗ. Беларусь—Россия. — 2007. — № 44. — С. III.
3. FISITA 2006 World Automotive Congress: Book of abstracts, Yokohama (Japan), 22-27 Oct. 2006 / SAE of Japan. — Yokohama, 2006. — 532 p.
4. Мейер, Б. Основы объектно-ориентированного программирования / Б. Мейер // Интернет-университет информационных технологий [Электронный ресурс]. — 2007. — Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/se/oopbases/3/>. — Дата доступа: 17.03.2008.
5. Виговский, А. Концепция модульного легкового автомобиля / А. Виговский // Профессиональный ресурс об автомобильном дизайне [Электронный ресурс]. — 2008. — Режим доступа: http://www.ccardesign.ru/ru/articles/details2002_16.html. — Дата доступа: 17.03.2008.
6. Tacticheckий Splitterskyddad перевоплощается по-военному быстро. Интернет-журнал MEMBRANA. [Электронный ресурс]. — 2006. — Режим доступа: <http://www.membrana.ru/articles/technic/2006/07/12/191700.html>. — Дата доступа: 14.11.2007.
7. Aluminum double skin Hitachi. Transportation System Website. [Электронный ресурс]. — 2007. — Режим доступа: http://www.hitachi-rail.com/products/rv/a_train/features/index.html. — Дата доступа: 17.03.2008.
8. Евграфов, А.Н. Аэродинамическое сопротивление колесного транспортного средства / А.Н. Евграфов // Аэродинамика колесного транспорта / А.Н. Евграфов, М.С. Высоцкий // — Минск: Белавтотракторостроение, 2001. — С. 37-41.
9. Лапшин, Ф. Записки машиниста. / Ф. Лапшин // Грузовики и автобусы [Электронный ресурс]. — 2008. — Режим доступа: <http://trucks.autoreview.ru/archive/2007/07/autotrain/>. — Дата доступа: 17.03.2008.
10. Васильев, А.Л. Модульный принцип формирования техники / А.Л. Васильев // М.: Изд-во стандартов, 1989. — С. 240.
11. Волянюк, В. Важная магистраль / В. Волянюк // Сов. Белоруссия. — 2008. — 25 апр. — С. 2.