МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

Институт механики и энергетики им В.П. Горячкина
Кафедра Автомобильный транспорт

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

по направлению 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Зав. выпускающей кафедрой

_____А.М. Карев

«Допустить к защите»
«___»_____20___ г.

Руководитель к.т.н., доцент Виноградов О.В.
Консультант к.т.н., доцент Виноградов О.В.
Студент Коченов А.А.

Рецензент д.т.н., профессор Скороходов А.Н.

Москва, 2018

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

Институт механики и энергетики им В.П. Горячкина
Кафедра Автомобильный транспорт

Утверждаю: _____
Зав. выпускающей кафедрой А.М. Карев
«____»_____20 1_г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ (ВКР)

Студент ____Коченов А.А._____
Тема ВКР (утверждена приказом по университету от _____ 2018 г. № _____)
___Оптимизация параметров модульных автопоездов_____
Срок сдачи ВКР

Дата выдачи задания «___»_____20 1_ г.

Руководитель _____О.В. Виноградов

Задание принял к исполнению _____А.С. Карелина
«___»_____201_ г.

Содержание

Введение

Глава 1. Литературный обзор: использование модульных конструкций в России и за рубежом.

Глава 2. Развитие модульного производства: долгосрочная перспектива

Глава 3. Конструктивные особенности модульных автопоездов и их преимущества.

Глава 4. Оптимизация параметров модульных многозвенных магистральных автопоездов.

Глава 5. Технологический расчет оптимальных параметров модульных автопоездов

Глава 6. Оценка эффективности проектных предложений

Заключение

Библиографический список

Введение

Быстрые темпы развития мировой экономики и связанные с ними вопросы транспортировки сырья, оборудования, товаров поставили перед автодорожной отраслью многих стран задачи по строительству перспективных транспортных магистралей. Существующие автомобильные трассы уже в ближайшей перспективе не смогут справиться с непрерывно растущим грузопотоком. Евразия, являясь крупнейшим континентом мира, до конца 80-х годов прошлого столетия имела наиболее развитую автотранспортную сеть лишь на территории Европы и в Японии. Транспортное сообщение между Европой, Азией и Ближним Востоком осуществлялось, главным образом, через СССР. Е30 – единственная автотранспортная магистраль, которая связывала страны Западной Европы с Советским Союзом, доходя до Москвы. Новый и мощный толчок развитию дорожных транспортных коридоров дала стремительно развивающаяся китайская экономика. Растущий объем экспорта и импорта товаров заставил крупнейшие евроазиатские страны по новому подойти к созданию трансконтинентальных транспортных коридоров, поскольку строительство транспортных путей между регионами экономического взаимодействия сможет обеспечить повышение экономической эффективности магистрального автомобильного транспорта, а, значит, и уменьшение стоимости перевезенного груза. По этой причине в прошлом столетии появились идеи по соединению материков короткими транспортными артериями, проходящими через Россию. Проект трансконтинентальной полимагистрали ЕРАА (Европа - Россия - Азия - Америка) общей протяженностью 18 000 км все еще находится в стадии обсуждения [1]. Однако по магистралям, способным объединить Европу с Азией, уже работает ряд соглашений. Среди них вступившее в силу с 4 июля 2005 г. Межправительственное соглашение в рамках ЭСКАТО (Экономическая и социальная комиссия ООН для Азии и Тихого океана) по сети азиатских автомобильных дорог, подписанное Россией в числе 32 стран-участниц [2, 3].

Общая протяженность этой разветвленной сети автодорог составляет более 140 тыс. км. Причем по территории России и Китая пройдут наиболее протяженные и важные отрезки – почти 17 000 и более 25 500 км соответственно [4].

Большое внимание в Российской Федерации уделяется реализации предложения (мегапроекта), сделанного Государственным секретарем Союзного государства П.П. Бородиным и Президентом Фонда развития России Е.М. Гриневым по созданию интегральной транспортно - экономической сети на базе высокотехнологичной транспортной системы, основанной на принципиально новых инфраструктурных решениях [5]. Эта система предназначена для создания современных транспортных и информационных связей всех регионов страны, рассчитанных на перспективы значительного экономического роста, а также для связей со странами Восточной и Западной Европы, Ближнего и Дальнего Востока и Средней Азии. Предлагаемый мегапроект предполагает строительство 47 000 км путей всех видов транспорта, создание систем связи и управления грузовыми и пассажирскими потоками по направлению Европа - Беларусь и Россия - страны Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС), прокладку 23000 км оптоволоконного кабеля, создание высокотехнологичной, инженерной, современной, экономической и социальной инфраструктуры. Он может быть реализован за 12-15 лет и окупится за 5-7 лет после завершения [6, 5]. Планируемые социально-экономические результаты от реализации новой транспортной системы – это увеличение доли высокотехнической продукции в ВВП в 10-14 раз, сокращение сроков доставки грузов, в том числе из Азии в Европу в 2-3 раза, обработки грузов в 5-6 раз, увеличение объемов товаропотока в 60-70 раз, вложений в социальную сферу, инфраструктуру, фундаментальные и прикладные исследования в 35-40 раз [6, 5]. Только транзит грузов через Россию даст 25-30 млрд. долларов дополнительной ежегодной прибыли и, освоив транспортную сеть, Россия капитализирует свое уникальное

географическое положение – «своеобразного моста» между Европой и Азией [6, 5]. Упомянутые обсуждаемые и реализуемые проекты позволят России подключить к международным транспортным коридорам глубинные районы севера европейской части России, Сибири и Дальнего Востока, значительно увеличить интенсивность процесса создания в этих регионах промышленных мощностей по глубокой переработке природных ресурсов, простимулируют развитие инфраструктуры на огромной протяженности трасс, помогут в корне изменить социальную сферу упомянутых районов и демографическое положение регионов [7].

С учетом создания Россией Евразийского транспортного коридора следует отметить особое геополитическое положение России и Беларуси, через основные промышленные центры которых проходят международные транспортные магистрали из Европы Азию, а в перспективе - и в Америку через Берингов пролив [8].

Упомянутая ранее автомагистраль ЕРАА станет самой длинной автомобильной дорогой в мире. Дорога Париж - США будет иметь ширину земляного полотна 15 м, проезжей части 9 м, протяженность 18 000 км. Дорога пройдет через Минск, Москву, Иркутск, Владивосток, Чукотку и Аляску и далее пройдет до Нью-Йорка. Через Берингов пролив должен быть проложен мост длиной 9 км. От Владивостока автомагистраль пройдет в страны Азии. Она обеспечит транспортной связью более 3 млрд. человек. Строительство дороги начато в 1992 году.

В соответствии с межправительственным соглашением стран Азиатско-Тихоокеанского региона создана сеть Азиатских автомобильных дорог [2]. Она включает маршруты международного значения, проходящие в Азии по государствам — членам Экономической и социальной комиссии для Азии и Тихого океана Организации Объединенных Наций. Сеть азиатских автомобильных дорог охватывает 32 страны и простирается более чем на 140 000 км. Она позволит добираться из Токио в Стамбул, будет способствовать

развитию торговли и туризма, а также откроет доступ на мировые рынки товаров из стран, не имеющих выхода к морю [2, 10].

Российская Федерация 26.04.2004г. приняла постановление №224 о подписании указанного выше межправительственного соглашения [10]. Сеть Азиатских автомобильных дорог включает маршруты международного значения в Восточной и Северо-Восточной Азии, Южной и Юго-Западной Азии, Юго-Восточной Азии, Северной и Центральной Азии, а также маршруты внутри государств-членов и обеспечивающие доступ к столицам; главным промышленным и сельскохозяйственным центрам; основным воздушным, морским и речным портам; основным контейнерным терминалам и депо и основным туристическим ресурсам.

С учетом названных выше действующих и создаваемых новых транспортных коридоров была изображена перспективная карта развития Евразийской автомобильной системы. Данная структура транспортной сети позволит эффективно решать все транспортные задачи, стоящие перед экономикой стран крупнейшего континента. Протяженность только магистральных автомобильных транспортных артерий составит сотни тысяч километров. Вполне очевидно, что основная доля грузоперевозок на этих трассах должна выполняться с использованием качественно новых и более эффективных магистральных автопоездов.

Рассмотренная тенденция развития Евразийских автомобильных транспортных коридоров является общей и для развития автомобильных артерий на других континентах [11, 12, 13 и др.]. В частности, крупнейшей трансамериканской транспортной артерией является Панамериканская магистраль. Ее протяженность составляет почти 48 000 км. Она проходит через 19 стран: Канаду, США, Мексику, Гватемалу, Сальвадор, Гондурас, Никарагуа, Коста-Рику, Панаму, Колумбию, Эквадор, Перу, Чили, Аргентину, Боливию, Бразилию, Парагвай, Уругвай, Венесуэлу.

Таким образом, острая необходимость создания новых транспортных артерий большой протяженности делает очевидным потребность в создании новых

автотранспортных средств, обеспечивающих высокую эффективность грузоперевозок.

К этому следует добавить, что существующие технологии грузоперевозок, а также компоновочные конструктивные решения классических автопоездов не удовлетворяют перевозчиков, обеспокоенных мировым ростом цен на топливо и ростом заработной платы водителей и обслуживающего персонала. [14].

Уже сегодня в магистральном автомобилестроении требуются менее затратные решения, обеспечивающие опережающие темпы повышения экономической эффективности перевозки грузов и конкурентоспособность. При этом перевозчики выдвигают к магистральным автопоездам требования, касающиеся непосредственно их конструктивных параметров (повышение уровня безопасности, экологичности и комфортабельности автопоездов) и, в конечном счете, направленные на увеличение рентабельности грузоперевозок, среди которых:

- повышение объема перевозимого груза (грузовместимости)
- повышение массы перевозимого груза (грузоподъемности);
- приспособление автопоездов к видам перевозок и грузов;
- повышение средней технической скорости на маршруте;
- уменьшение расхода топлива;
- уменьшение удельной трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта

1. Литературный обзор: использование модульных конструкций в России и за рубежом.

Действующие национальные стандарты и международные правила определяют допустимые значения общей массы и габаритных размеров, а, значит, и объема перевозимого груза, что очень ограничивает развитие конструкций машин. Поэтому считается, что классические магистральные автопоезда исчерпали имеющиеся резервы повышения производительности. Таким образом, ожидать серьезных прорывов в этом направлении не приходится. Это подтверждают и материалы Всемирных автомобильных конгрессов FISITA [15-18], на которых было отмечено, что дальнейшее совершенствование классических АТС будет идти главным образом по пути оптимизации дизельных двигателей, внедрения гибридного привода, повышения активной и пассивной безопасности, развития логистики транспортных потоков.

На Ганноверской выставке коммерческого транспорта в 2004 году Renault Trucks представила концептуальную модель Renault Radiance (рисунок 1.1) [19]. Основной упор в данной концепции сделан на создании нового облика, повышении аэродинамических характеристик, применении новых сверхширокопрофильных шин, снижающих на 75% высоту разбрызгивания воды, увеличивающих грузоподъемность автомобиля на 130 кг и на 2% сокращающих расход топлива. Существенные изменения коснулись совершенствования интерьера и организации рабочего места водителя.



Рисунок 1.1 - Концепт-трак Renault Radiance [19]

Попыткой решения многих проблем, связанных с эффективностью использования АТС, стали широкомасштабные испытания длинных и тяжелых комбинаций 2-х и 3-звенных магистральных автопоездов длиной до 25,25 м и общей массой до 60 т в Голландии с 2004 г., а затем и в Германии [14, 20]. Такие автопоезда позволяют не только заметно повысить грузоподъемность и снизить расход топлива на перевозку 1 т груза, но и уменьшить количество грузового транспорта на магистралях, сократить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Для решения этих задач компания Scania совместно с немецкой фирмой по выпуску прицепного состава Kröne представила перспективный проект автопоезда (рисунок 1.2) общей массой 60 т [21]. Автопоезд габаритной длиной 28 м состоит из трехосного автомобиля-тягача общей массой 26 т и пятиосного прицепа общей массой 34 т. По сравнению с седельным 40-тонным пятиосным автопоездом длиной 16,5 м этот автопоезд имеет большую на 50% грузоподъемность, полезную вместимость, меньший удельный (на 1 т•км) расход топлива и пониженную на 25% удельную токсичность. Маневренность такого длинного автопоезда сопоставима с обычным седельным составом.



Рисунок 1.2- Автопоезд Scania общей массой 60 т [21]

Вопросом создания прототипов магистральных автопоездов компания Scania активно занималась с конца прошлого столетия. Так, в 1998 г. была представлена и новая концепция магистрального автопоезда будущего общей длиной 28 м и общей массой 60 т (рисунок 1.3). Он состоит из трехосного грузового автомобиля-тягача и полуприцепа, опирающегося на двухосную подкатную тележку. Управляемость автопоезда была высоко оценена самим производителем.

При разработке большое внимание было уделено новым дизайнерским и аэродинамическим решениям, способствующим уменьшению расхода топлива: полукруглая передняя часть автомобиля, «гладкие» боковые части, "хвост" с задними спойлерами. Пространство между кузовом автомобиля и прицепом закрыто гибкой шторкой, которая снижает аэродинамическое сопротивление. Кабина смонтирована позади небольшого капота, который является элементом безопасности. Брызговики и спойлеры на передних колесах поворачиваются вместе с самими колесами. Аэродинамические обтекатели опоясывают всю нижнюю часть автомобиля и прицепа, и также выполняют функцию защитных противоподкатных устройств. Нагрузка на ось не превышает 8 – 9 т. Такие весовые параметры и равномерно распределенная нагрузка по осям уменьшают износ как грузовика, так и дороги. Для данного автопоезда компания Michelin разработала новый тип одиночных шин, что позволило увеличить сцепление с дорогой, сократить тормозной путь и сопротивление качению.



Рисунок 1.3 - Концепт-трак Scania [1-А, 2-А, 3-А]

Вместе с тем использованные при создании данных автопоездов подходы имеют ряд принципиальных недостатков, снижающих их эффективность при трансконтинентальных грузоперевозках особенно через территорию стран Таможенного Союза: неразвитая бытовая зона в кабине; необходимость использования двигателей высокой мощности (свыше 650 л.с. / 485 кВт) 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.

Автопоезда увеличенной длины широко используются для перевозки грузов в Австралии. Они представляют собой мощные седельные тягачи или автомобили-тягачи, тянущие за собой несколько прицепов [22].

У седельного тягача Mack в исполнении CLR (рис. 1.4) (удлиненная базовая модель с усиленной конструкцией) кабина расположена за моторным отсеком. Под капотом установлен восьмицилиндровый V- образный дизельный двигатель объемом 16 л и мощностью 525 л.с. с 20-скоростной коробкой передач. Рама усилена, что позволяет машине передвигаться по любому дорожному покрытию. Для обеспечения безостановочных перевозок на дальние расстояния на тягаче установлены четыре 500-литровых топливных бака. Три «двухэтажных» прицепа общей длиной 52 метра могут везти более сотни голов животного груза со скоростью 100 км/ч. Автопоезд имеет до 18 осей.



Рисунок 1.4- Тягач Mack CLR с тремя прицепами [22]

Для дальних перевозок по внутренним маршрутам Австралии компания IVECO предлагает седельные тягачи (рис. 1.5) общей массой от 24 до 26 т для многозвенных автопоездов общей массой до 100 т [23].

На трассе «Стюарт Хайвей» в пустынных районах Австралии работают автопоезда длиной более 22 м. Причем, на Северной территории Австралии автопоездам разрешено работать с тремя полуприцепами. А южнее Элис Спрингс разрешено буксировать только по два полуприцепа при максимальной общей длине 36 м.

В Австралии разрешены следующие конфигурации автопоездов:

1) тягач + прицеп (максимальная длина до 19 м, общая масса до 42,5 т, высота до 4,3 м);

2) B-double (максимальная длина до 25 м, общая масса до 62,5 т) - этот вариант состоит из 3-осного тягача, укороченного полуприцепа с вынесенной назад тележкой, имеющей седельно-сцепное устройство (ССУ), и второго, посаженного на это ССУ, полноразмерного полуприцепа (рисунок 1.6). При таком исполнении бескапотные тягачи стали предпочтительнее, так как позволяют увеличить длину платформы и грузовместимость;

3) B-triple – два коротких полуприцепа и один длинный;

4) double train – автопоезд состоит из тягача, полуприцепа, подкатной тележки (типа «Долли») с дышлом и ССУ и еще одного полуприцепа. При таком исполнении длина автопоезда может достигать 36,5 м (рисунок 1.6);

5) triple train – автопоезд состоит из трех полуприцепов;

6) quarter – автопоезд состоит из четырех полуприцепов.



Рисунок 1.5 - Седельный тягач IVECO общей массой до 100 т [23]

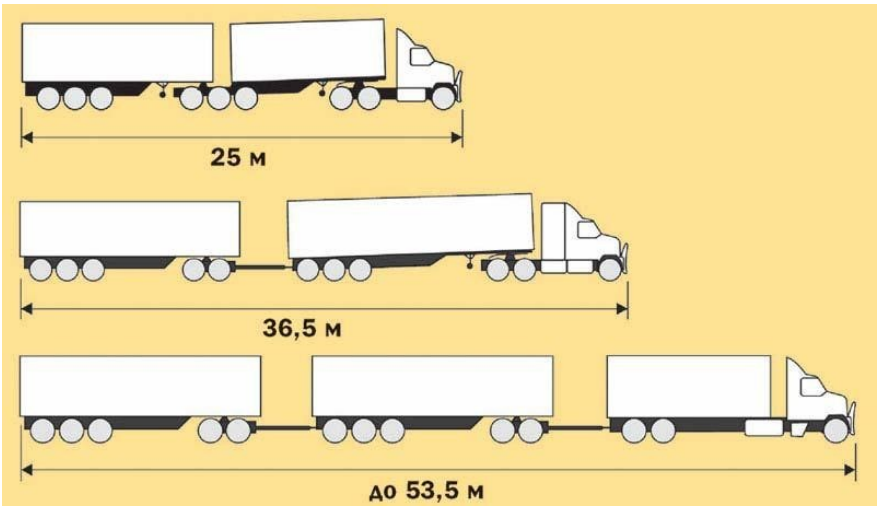


Рисунок 1.6 - Варианты австралийских автопоездов [24]

Массогабаритные ограничения для автопоездов, действующие в Австралии, приведены в таблице 1.1. При этом к тягачу с полуприцепом можно прицепить дополнительно с помощью прицепных тележек от 1 до 6 прицепных звеньев [24, 20, 25, 26].

Таблица 1.1 – Весогабаритные параметры автопоездов в Австралии

Параметр	Значение
Нагрузка, не более, т	
Управляемая ось	6,0
Ведущая ось	9,0
Двухосная тележка	16,5

Трехосная тележка	21,0
Общая масса автопоезда, не более, т	124,5
Максимальная длина автопоезда, не более, м	53,5

Нормативные ограничения по маневренности австралийских автопоездов отсутствуют, поэтому они используются в загородных пустынных условиях эксплуатации и на погрузочно-разгрузочных площадках размером 300х300 м, обеспечивающих большие радиусы поворота по отношению к европейским нормативным требованиям. Кроме того, сцепные свойства таких автопоездов не обеспечивают им показатели тягово-скоростных свойств в зимних условиях. Поэтому данные автопоезда составляют только 2% от общего числа автопоездов. Таким образом, австралийский тип многозвенных автопоездов не может быть применен в условиях автомагистралей стран Таможенного Союза без внесения существенных изменений в конструкцию.

Минским автомобильным заводом в 1988 году на Парижском Большом автосалоне был представлен, созданный под руководством академика М.С. Высоцкого, автопоезд модульной конструкции **МАЗ-2000 «Перестройка»** (рисунок 1.7). Автопоезд был призван решить главным образом задачу транспортировки грузов как по автомагистралям, так и по дорогам II и более низких категорий, а также в горной местности за счет быстрой замены тягового модуля с разным числом ведущих осей и мощностью двигателя. Он и стал практически первой попыткой в мировом автомобилестроении использовать в полной мере принципы модульности в конструкции магистрального автопоезда.

Автопоезд состоит из автомобиля-тягача колесной формулы 2х2 и 3-осного полуприцепа. Допустимая общая масса автопоезда равна 41 т. Он был укомплектованный дизельным двигателем MAN и рассчитан на перевозку 21 т груза со скоростью 120 км/ч. Снаряженная масса - 12 т. Длина одного звена

- 14,9 м и до 24 м при двух звеньях [27, 28, 3–А]. Модульная конструкция автопоезда включала в себя следующие основные части [29-37, 38, 39, 1–А]: модуль «кабина» (рабочее место и место отдыха водителя, органы управления автопоездом); тяговый модуль (силовой агрегат с системами обеспечения его работы и ведущими колесами); модуль рулевого управления (поворотный шарнир, исполнительный механизм поворота и седельно-сцепное устройство, объединенные рамой); транспортный модуль (подрамник с ведомыми колесами и дополнительным оборудованием – топливный бак, запасное колесо, инструментальный ящик и пр.); модуль «ось» (подрамник с ведомой осью); модуль «рама» (рама с унифицированными присоединительными элементами для крепления всех модулей); грузовой модуль (грузовая платформа с несущей рамой, представляющая собой сменный кузов).



Рисунок 1.7 - Автопоезд модульной конструкции МАЗ-2000 «Перестройка» [1-А]

Такой подход впервые в мировом магистральном автомобилестроении позволил получить ровный пол в кабине и улучшить условия работы водителя наряду с большой площадью остекления, обеспечивающей хороший обзор. Устранение неиспользованной «мертвой зоны» (около метра) между кабиной и полуприцепом позволило увеличить длину платформы и тем самым полезный объем кузова на 5-10 м^3. Это также способствовало

уменьшению аэродинамического сопротивления вместе с применением обтекаемой кабины. Однако такое решение потребовало жесткого соединения кабины с полуприцепом, что сказалось на ухудшении обзорности, а значит и частичной утрате контроля над автопоездом при выполнении маневров. Сочленение одноосного тягача с полуприцепом образует по существу длиннобазный автомобиль, что создает ряд недостатков в обеспечении маневренности, управляемости и устойчивости. При этом сам одноосный тягач имеет низкую поперечную устойчивость, поскольку в передней части снабжен выдвижным опорным управляемым третьим колесом, с помощью которого он может самостоятельно передвигаться для сцепки с полуприцепом.

Как показал натурный прототип модульного автопоезда, такая концепция требовала и создания соответствующих опорных пунктов во всех регионах эксплуатации с обеспечением данных пунктов большим количеством необходимых модулей для переоснащения транспортного средства в процессе движения из региона в регион. Это потребовало дальнейшего развития концепции модульных автопоездов, чтобы повысить грузоподъемность, мобильность, уровень унификации и устранить жесткую связь между кабиной и кузовом автопоезда.

На автосалоне коммерческого транспорта в Токио японская компания Isuzu Motors представила концептуальный прототип FL-4 (рисунок 1.8) [40, 41]. Главной задачей специалистов Isuzu Motors было создание принципиально нового дизайна грузового автомобиля не похожего ни на один из известных аналогов. Особое внимание было уделено форме автомобиля и технологии перевозки грузов.



Рисунок 1.8 - Isuzu Motors концепт FL-4 [40, 41]

Благодаря конической форме кабины автомобиль обладает прекрасными аэродинамическими показателями, а передний бампер и молдинг по бокам минимизируют зазор между днищем автомобиля и дорогой. Конструкция FL-4 продумана таким образом, чтобы кабина занимала минимум места на платформе, предоставляя все оставшееся пространство грузовым контейнерам. За счет такого подхода удалось увеличить вместительность автомобиля, сохранив габариты стандартного грузового автомобиля. Это позволило специалистам Isuzu предложить новую технологию грузоперевозок на основе использования универсальных передвижных контейнеров, которые могут перегружаться с автопоезда на более мелкие развозные автомобили, а далее на погрузочные площадки и рампы. Вместе с тем, время, прошедшее с момента объявления данной концепции, не подтвердило возможность ее практического применения.

Британская фирма Silvertip Design предложила транспортный прототип The Blade Runner (рис.1,9), который позволяет объединить преимущества движения по автомобильной и железной дорогам [42]. Данное транспортное средство, прибыв по рельсам на станцию назначения, может не ожидать разгрузки, как товарный вагон, а может съезжать на автомобильную дорогу и продолжать доставку получателю груза. Преимуществом для концепции Blade Runner является то, что можно создавать комбинированные маршруты,

включающие попеременно несколько участков железнодорожной колеи и автотрасс.



Рисунок 1.9 – Транспорт будущего The Blade Runner

Также предлагается грузовые и пассажирские варианты строить по образу седельных тягачей, со сменными «целевыми» модулями. Однако кабина в этих тягачах закреплена не на раме машины, а на седле. То есть, она поворачивается вместе с полуприцепом. Это решение ликвидирует промежуток между полуприцепом и кабиной, что даёт дополнительное пространство для груза при той же стандартной длине автопоезда, которая разрешена на дорогах, а также – улучшает аэродинамику. Однако это ухудшает контроль со стороны водителя за тягачом, что отрицательно сказывается на безопасности движения.

Очевидная сложность практического использования трансконтинентальных автопоездов, созданных на основе данной концепции, состоит в необходимости согласования автомобильного и железнодорожного трафика, последний из которых является наиболее жестким. Дополнительно транспортным средствам данного типа, кроме автомобильных, необходимо удовлетворять и всему комплексу требований при эксплуатации на железной дороге. Эти обстоятельства делают концепцию Blade Runner дорогой и неконкурентоспособной.

Также решается задача повышения производительности магистральных автопоездов в условиях ежегодного роста дорожного трафика в Западной Европе. Единственный путь решения проблемы – увеличение длины автопоездов. Другие параметры (высота и ширина) более консервативны для изменения. Однако в связи с тем, что увеличение длины автопоездов ограничено законодательно, предложено объединить движение автопоездов в конвой на основе использования электронной сцепки и управлять им в автоматическом режиме. Передний тягач управляется водителем, а остальные автоматически с помощью электронной системы повторяют его движение, и система также следит, чтобы не было столкновений (рисунок 1.10). Расстояние между автопоездами выдерживается равным 10 м, чтобы дать возможность легковым автомобилям вклиниться между ними при перестроении с полосы на полосу. При необходимости система может увеличить расстояние между автопоездами.

Разработчики видят ряд преимуществ от использования своей системы. Во-первых, уменьшается длина дорожного полотна, занимаемого четырьмя автопоездами, ввиду сокращения расстояния между ними. Во-вторых, не все водители заняты управлением – только в головном звене. В-третьих, при движении в составе конвоя уменьшается суммарное аэродинамическое сопротивление, что существенно повышает топливную экономичность. С созданной системой управления конвоем транспортных средств были проведены пробеговые испытания на дорогах общего пользования продолжительностью более 3000 км.



Рисунок 1.10 – Система управления движением транспортных средств в конвое [43,44,45]

Вместе с тем, авторы новой системы оставляют без ответа ряд вопросов:

1) существует проблема передачи и получения устойчивого сигнала при проезде холмов;

2) узаконивание возможности эксплуатации прицепных транспортных средств без механической связи между ними;

3) реальная величина уменьшаемого аэродинамического сопротивления,

4) проезд транспортных развязок;

5) движением конвоя управляет один водитель, но в процессе движения конвоя занято количество водителей, равное числу автопоездов (активных звеньев) и др.

2. Развитие модульного производства: долгосрочная перспектива

2.1 Этапы развития модульного производства

Еще в далеком прошлом начался процесс перехода промышленности к началам конструирования, производства и технического сервисного обслуживания товаров, основанного на модулях стандартизированного технологического блока. Для развития модульной архитектуры было характерно несколько этапов, которые и определили общий ход развития, связанного с инженерным проектированием. Данный процесс характеризовался большим количеством изменений, которые повлияли на производственную структуру в сфере промышленности. В первую очередь они были основаны на инновационно - технологической парадигме, что выражалось в выдвижении ряда существующих промышленных отраслей в положение базовых [46].

2.2. Переход от промышленной революции к массовому конвейерному производству

Можно предположить, что в основании модульных типов инженерных конструкций и применении технологических начал при выполнении производственных мероприятий, были стандартизированные заменяемые детали, которые стали применяться в процессах промышленной сборки с XIX в. Уже в 1910 году американское «Общество автомобильных инженеров» (SAE) предложило осуществить стандартизацию деталей в рамках целой отрасли. SAE стремилось сделать сборку автомобилей более эффективной, обеспечивая совместимость между деталями различных автопроизводителей. Однако совершить желаемое не удалось, в силу проявления сопротивления крупными автопроизводителями.

Исходя из этого, начиная с момента проведения первой промышленной революции, вплоть до первых лет XX-го в., происходило последовательное движение к применению конструкций модульного типа, для чего были освоены технологии модульного конструирования и применения технологических узлов стандартизированного типа [46].

2.3. Использование в конвейерном производстве крупноузловой модульной сборки

В начале XX века, промышленностью было отработано все массовое производство, которое осуществлялось в отношении конструкций, не используемых стандартизированных узлов технического характера. Преимущество отдавалось конструкциям, содержащим:

1) не менее двух альтернативных компонентов, которые могли находиться в сочетании с основным продуктом,

2) два или более компонентов могут использоваться внутри различных продуктов,

3) один или несколько стандартных компонентов, которые используются с произвольными дополнительными компонентами,

4) а также продукты, которые наделены не менее чем двумя областями контактов, за счет которых может находиться в сочетании с определенным набором компонентов.

В это время, возникновение модульных конструкций, было еще в далеком будущем. На территории США в 1958 г. впервые был смонтирован дом из двух секций. Основой такого дома стали модули, созданные в рамках одной площадки, на основе строительных правил. В этом же временном отрезке произошел переход американской автомобильной промышленности к процессу сборки авто на основании стандартизированных шасси, имеющих первоначальное название «платформ». При этом все ключевые составляющие авто были приобщены к данному определению позднее [46].

Необходимо указать, что примерно в середине XX в. был завершен период первого цикла по развитию процессов проектирования и производства, основанных на модулях. Широкое использование в данном временном периоде получило конвейерное производство, имеющее крупноузловую сборку.

Одним из значимых этапов становления модульного производства, принято считать действие экономического кризиса, произошедшего в 1920 г. Было

установлено, что те промышленные отрасли, которые использовали модульное конструирование, смогли гибко отреагировать на ту динамику, которую демонстрировал рынок. К примеру, в General Motors кризис не был столь ощутимым, как, например, в Ford.

Со стороны экспертов было отмечено, что на данном этапе был создан ряд теоретических основ, на базе которых могло осуществляться модульное производство. Такие основы были определены со стороны Г. Шлезингера и Ф. Кенигсбергера еще в 1930 г. и получили наименование «das Baukasten System». Основная задача, которая ставилась перед внедрением модульной архитектуры, была представлена в виде рационализации разработок и производств, что свидетельствовало о переходе к мерам шаблонного проектирования, не имевшему высоких затрат. Впервые модульные конструкции были применены в машиностроительной сфере. Так, к 1920 г. они использовались при создании станков для токарей и фрезеровщиков, а также транспорта [46].

Наиболее существенный шаг развития рассматриваемого направления было совершено в сфере автомобилестроения, что ярко отразилось на Америке в послевоенное время. В указанный период возникла острая потребность в новых моделях автомобилей, которые должны были быть малозатратными. Единственным выходом стало использование таких платформ, которые не требовали принципиальных конструкций, однако содержали постоянный костяк с важными составляющими. Достичь такого результата удалось благодаря монтажу ряда стандартных компонентов, базированных в рамках единых платформ.

На протяжении этого периода происходило использование модульных конструкций, которое требовалось для того, чтобы рационализировать производство. Как результат, были использованы ранее отработанные технологические решения, ускоренное проектирование и финишная сборка, а также запуск параллельных производств. В промышленности, а именно, в машиностроении, были отработаны модульные технологии, а также

систематизирован прежний опыт, что повысило показатели экономической эффективности.[46]

2.4. Переход к модульным платформам

В 60 – е годы прошлого века был очередной этап перехода к модульному производству, который выражался в создании платформ. Благодаря стремительному развитию, возникла «модульная революция». Основным ее проявлением стал переход не только к инструкциям модульного типа, а именно к платформам, на базе которых должны собираться готовые изделия. При создании таких изделий используются модули-блоки, наделенные стандартным интерфейсом и жесткой привязкой к ряду функций, не имеющим связи с индивидуальными товарами, создаваемыми на основе заданных мер. Именно потому, использование модулей допускается при производстве не конкретных товаров, а определенного круга продукции.

Только теперь производство сделало шаг к модульности, постепенно избавляясь от признаков стандартизации. На этом фоне возникло множество возможностей по массовому выпуску. На базе модульных платформ была достигнута индивидуализация выпускаемых товаров, в том числе и за счет использования уникальных составляющих. При этом основная заслуга индивидуальности связана с оригинальной компоновкой модулей, имеющих признаки стандартизации, с условием, что они соединены за счет стандартизированных интерфейсов. Данные технологические достижения позволили ускорить процессы, связанные с проектированием продукции, что существенно снизило производственные затраты и обеспечило необходимый уровень управления за качественными показателями. Положительные изменения затронули и меры сервисного обслуживания, в том числе и такие, которые выражены в модернизации поставленной продукции.[46]

Условно, первый этап, связанный с развитием модульного производства, был назван периодом «рационализации». Для второго этапа был характерен период, связанный с освоением модульного инструмента, за счет чего достигалась требуемая производственная гибкость.

Исходя из этого, период 1900-50-х гг. стал временем накопления решений модульного типа. Последующие 30 лет стали моментом по формированию платформ модульного характера, которые были основаны на проектных методиках. Выражением данных изменений стало увеличение количества модульных платформ, используемых в производственных процессах, в частности, при производстве судов, автомобилей, компьютеров и прочей техники.

Для данного периода было свойственно развитие практики по модульному производству. Вместе с ним, была углублена и концептуальная проработка. Период 1960-х годов стал временем широких дискуссий, которые происходили на предмет возможностей, существующих у модульных производств. В итоге пройденных лет, определение «модуль» вытеснило термин «блок».[46]

Первыми отраслями, в которых сформировались развитые модульные «платформы», оказались самые кастомизированные и самые информатированные отрасли, связанные с серийным производством сложной техники: электроника, связь, автомобилестроение (в частности, среди компаний, одними из первых, реализовавших стратегии перехода к модульным платформам, были IBM, Sony, Honda и др.). За ними модульный подход начал широко применяться в индустрии инженерных систем сооружений (HVAC), судо- и авиастроении (соответственно, среди компаний, реализующих модульное проектирование и производство выделились такие, как Boeing, Chrysler, Ford, Motorola, Swatch, Microsoft, Conti Tires и др.).

Для автомобилестроения была присуща ситуация, при которой одна платформа использовалась для производства нескольких серий авто. Само понятие платформы постепенно расширялось. В его качестве воспринимались не только шасси, но и основы конструкции, стандартный интерфейс, на базе которого происходит сборка модуля.

Несмотря на это, только к 80-м годам, автозаводы стали собирать ни одну, а несколько моделей. Применение аутсорсинга практически не осуществлялось.

До начала 80-х было характерно стремительное развитие японского автопрома. Связано это было с тем, что произошло внедрение «тойотизма». Фактически были созданы целые регионы сетей производства, участниками которых стали вертикально-интегрированные сети, представленные поставщиками и монтажниками. Это дало возможность использования тех преимуществ, которые характерны гибкому производству. В результате поставки осуществлялись в точно установленные сроки. Контроль за работой сборщиков был переадресован на поставщиков. Со стороны японских компаний был выполнен переход к быстрому производству разнообразных моделей авто, для чего использовались одни и те же платформы. Вместе с тем, на территории США была начата оффшорная сборка транспорта.[46]

Вызов Японии был принят американской автомобильной промышленностью, которая стала использовать вертикальную интеграцию, а позже перешла к использованию модульных платформ иерархических систем поставок. Распределение производственных мощностей было основано на развитии аутсорсинга, базированного на примере бережливого производства. Впервые реализовать такую бизнес-модель в США удалось компании Chrysler. Позже к ней перешли и иные производители американского происхождения. По данной линии начали работать концерны Кореи и Европы (с 1990 г.). Для снижения показателей сложности производственного процесса, которая показала резкий скачок, было принято решение о переходе к модульным сборкам, базированным на модульных платформах. Это стало поводом для того, чтобы и иные смежные отрасли стали использовать меры модульного конструирования и производства.

2.5. Переход от традиционных модульных платформ к унифицированным, рост значения модульного дизайна

В соответствии с многочисленными исследованиями, в 1990-х годах те компании автомобильной промышленности, которые использовали модульную платформу в качестве основы разработки и продвижения новых продуктов, отвоевывали около 5% доли рынка в год, в то время как компании, выпускавшие продукцию интегрированной архитектуры, теряли в районе 2% за тот же период. В конце 1990-х Volkswagen экономил около 1,5 млрд. долл. в год на снижении капитальных затрат (за счет гибкого использования основных фондов) при переходе к модульным платформам и сокращению числа используемых платформ с шести до трех. Считается, что Volkswagen был одним из первых OEM (original equipment manufacturer — «оригинальный производитель оборудования»), применивших модульную концепцию производства при построении глобальной технологической цепочки [46].

Необходимо отметить, что те выводы, которые были сделаны относительно эффективности модульных производств, которые были получены в процессе исследования, смогли оказать высокое влияние на мировое развитие модульного производства, которое теперь охватывало не только автомобильную промышленность.

MIT (Massachusetts Institute of Technology- «Массачусетский технологический институт»), как это нередко бывает в технологической сфере, выступил «стартером» для запуска механизма ускоренной реструктуризации всех производств, где управление сложностью представляет собой значительную проблему, задал направление перехода к модульным платформам, причем в их унифицированной модификации.

Несмотря на это, «модульный энтузиазм» к 1990 г. показал спад. Причиной тому, в первую очередь, стал переход к использованию модульных конструкций, что приняло массовый вид в каждой отдельной отрасли. В то же время, широко распространилось и веяние производственного

аутсорсинга, конструкция которого, в части производства, была сложна. В результате, в пределах рынка появились «поздние последователи». Факт эффективности использования новейших технологий производства, при наличии условий повсеместного перехода к таковым, имел относительные результаты. На этом основании были сделаны выводы о том, что за счет модульности невозможно разрешить все производственные задачи, которые могут возникнуть. В то же время, для модульного производства стала новая проблема, связанная с «перепроизводством» таких модулей и платформ.

Указанный перечень причин, а также состоявшаяся в 90-е годы замена тех версий, которые существовали в направлении бережливого производства, за счет более продвинутых его вариантов, позволили сбалансировать производство. Достижение такого баланса было связано с внедрением в управленческие процессы таких моделей модульного производства, которые были оптимизированы. В этом процессе произошла замена тех модульных платформ, которые были простыми, платформами унифицированного типа [46].

Это – еще не «открытая» модульная архитектура, но базой сборки продукции являются вовсе не уникальные, а стандартизированные модули, нередко применимые для сборки и на других платформах. Процесс постановки к производству унифицированных модульных платформ, был обеспечен за счет определенного «пакета» применяемых инструментов.

Унификация, сокращение числа модификаций модулей и платформ, иерархические системы поставок, которые были связаны с уменьшением количественных показателей лиц, выступающих поставщиками, совместно с сокращением количества применяемых платформ, в условиях повышенной гибкости и реакции, в пределах отдельных платформ, стали выступать трендами, на базе которых определились процессы развития модульных производств конца XX в.

2.6 Развитие модульного производства: долгосрочная перспектива

События, свидетельствующие о распространении модульных архитектур, указывают о том, что такие процессы базированы на зрелых технологиях. В результате использования модульных конструкций достигается требуемая гибкость производств и их экономическая эффективность. Применение модульности, выступающей средством, при помощи которого осуществляется оптимизация технологического процесса, позволяет создавать новую продукцию в то время, когда имеются базовые образцы. Несмотря на то, что со стороны модульных конструкций и концепций был пройден существенный путь, остановка данного процесса в будущие несколько десятков лет не предвидится [46]. Важнейшими трендами, демонстрирующими развитие модульных конструкций, являются:

1. Дальнейшее возрастание показателей распространения изучаемых конструкций, на базе тех отраслей, где их применение является традиционным. Данный факт фиксируется большим количеством опросов, проводимых со стороны консультационных агентств. Из этого можно сделать вывод о наступлении эпохи «платформных войн». Главное отличие такой эпохи заключается в высоком уровне конкурентоспособности компаний, занятых в различных секторах общего рынка. Наиболее ярким выражением такой войны можно назвать соперничество, возникающее между поставщиками электроники.

2. Выполнение перехода от признаков модульности производства к аналогичному признаку, используемому в ходе проектирования.

3. Увеличение показателя значимости, присущего использованию модульных конструкций, являющихся инструментами кастоматизации, создает основы для интенсификации инновационных производств. Нельзя говорить о новизне данного тренда. К 2000-м годам стало очевидным, что использование цифровых методов при проектировании, а также снижение стоимости электронной коммуникации, стали основанием для изменений в «парадигме проектирования». На этой базе были определены источники

инноваций, не связанных с производителями. Исходя из этого, потребителем мог бы стать со-проектировщик нового товара, нацеленный на внедрение систем, связанным с «открытыми инновациями» и «открытыми стандартами», «открытой архитектурой» [46].

4. Продолжение эволюции уже выведенных на рынок ведущими OEM-производителями или готовящихся к выведению модульных платформ в следующих направлениях: а) сокращение их числа (отчасти, этот процесс отражает дальнейшую консолидацию производства в секторах традиционной индустрии); б) формирование так называемых «глобальных» платформ, являющихся платформами глобальных цепочек поставок компонентов и в этом смысле настраивающихся над внутрифирменными платформами; в) рост числа стандартизированных компонентов при одновременном сокращении числа используемых модулей в пределах уже находящихся в производстве платформ (хотя данный процесс управления разнообразием носит более сложный характер); г) продолжение эволюции зрелых платформ в направлении от внутрифирменных к платформам цепочек поставок и отраслей/рынков, а также от закрытой архитектуры к открытой.

Для того, чтобы охарактеризовать данный тренд в развитии модульных конструкций и модульного производства, появился даже специальный термин – коммонализация (англ. common- общий) компонентов и платформ, т.е. превращение их в общедоступные (обмен компонентами и архитектурными решениями между платформами). При этом большинство из развиваемых сейчас платформ, базирующихся на зрелых технологиях, сохранятся, хотя это не отменяет того факта, что в рамках этих платформ будут появляться все новые и новые поколения продуктов.[46]

5) Технологически зрелые сектора экономики используются для того, чтобы управлять сложными модульными конструкциями. Процессы, связанные с консолидацией активов, нацелены на интеграцию, как самих производственных активов, так и согласования стратегий рынка. Вместе с тем, происходит и технологическая интеграция, присущая компонентной

базе, а также унификация, присущая модульным платформам. Отсутствие такого соединения между платформами слияния и поглощения, не имеет смысловой нагрузки в подобном рыночном секторе. Те пользователи, которые обладают неинтегрируемыми платформами, в ходе конкуренции, могут быть вытеснены с рынка, но не поглощены и не использованы.

В дальнейшем M&A (mergers and acquisitions- «Слияния и поглощения») в технологически сложных отраслях будут все больше и больше строиться на объединении (обменах модулями и компонентами или «коммонализации») модульных платформ.

6) Распространение модульных технологий на новые сектора промышленности. Среди наиболее перспективных секторов развертывания модульного производства и проектирования эксперты обычно называют атомную промышленность, гражданское строительство и инфраструктурное развитие. Не так давно Американское общество инженеров-механиков (ASME) провело «Глобальный саммит будущего инжиниринга в машиностроении», по итогам которого был сформирован прогноз развития данного инжиниринга. Одним из выводов этого прогноза стала констатация того факта, что методы проектирования и производства, отработанные в машиностроении в ближайшие десятилетия, будут переноситься в другие сферы. В том числе, модульная сборка начнет применяться в биотехе, фармацевтике и станет возможна на наноразмере. Возможно, что именно этот потенциал использования модульной сборки на самом мельчайшем уровне лежит в основе широкого распространения в ближайшее время конструируемых материалов, CAD в химии и фармацевтике, биотехе. Именно этот метод конструирования будет определять развитие не только машиностроения, но и данных отраслей [46].

7. Модульное производство может быть само организовано как модульная система (Module Structured Production System (MSPS)). Часть исследователей считает, что такая организация является перспективной и гибкой формой

реагирования на производственные задачи будущего. В принципе, автомобильная промышленность уже развивается по этому пути.

8. Стандартизация модулей «интеллекта» выпускаемой продукции, переход от «модульных платформ» к гибким/мобильным модульным гиперсистемам, обладающими стандартизированными интерфейсами, которые позволяют собирать и разбирать почти в произвольном режиме технологические комплексы из самостоятельных управляемых модулей. Например, электромобиль, подключенный к сети, может служить поставщиком энергии в нее в момент низких нагрузок. Следствием интеграции таких модулей «интеллекта» в разнообразные конструкции является постоянный рост доли электроники в конечной стоимости продукции, обязательное наличие систем (модулей) передачи данных и пространственно-временного позиционирования (Глонасс, GPS и т.п.). При этом «интеллектуальный» модуль, обеспечивающий контроль параметров состояния объектов или протекания процесса, а также передачу данных в системах «вещи-вещи» (M2M, «Интернет вещей» и т.п.) становится обязательной частью проектируемой архитектуры таких объектов [46].

За модульными платформами, имеющими открытую архитектуру, была закреплена роль, имеющая особое сходство с инфраструктурой. Такие платформы могли становиться техническими основами для создания инфраструктурных элементов. Основанием для этого служили следующие факты: наличие открытости для использования со стороны тех, кто обеспечивает рекомбинацию модуля, находящегося во владении различных субъектов. В большинстве случаев, такая инфраструктура собрана исходя из «сотового принципа», в основе чего лежит большое количество игроков, имеющих экономические интересы. Такие версии наиболее характерны для умных сетей, которые применяются в направлении энергетики, медицины и прочих сферах. В методологии проектирования и менеджмента на базе теории холонического проектирования и производства как управляющая подсистема разработана концепция «мультиагентских систем», способных

непрерывно приобретать новых агентов и изменять свою структуру, приспосабливаясь к новым производственным задачам и рыночным условиям. Исходя из указанного, можно утверждать, что современная инфраструктура будет построена на основе модульных платформ, имеющих открытую архитектуру и управляемых при помощи мультиагентной системы. [46]

3. Конструктивные особенности модульных автопоездов и их преимущества

3.1 Особенности концепции модульного построения изделий

Совсем недавно понятие модуля использовалось, в основном, применительно к типовым элементам замены (ТЭЗ). ТЭЗ подразделяли на уровни (приборы, блоки и т.д.), создавали из них многоканальные системы, но в любом случае они решали только одну главную задачу – замену модуля на его полный аналог. С развитием микро, а затем и нано технологий появились гибкие многофункциональные устройства, у которых имеется возможность изменения конфигурации за счет функциональных модулей для решения множества разнообразных задач. Ярким примером таких устройств являются персональные компьютеры (ПК). При этом если стратегии построения ПК есть у каждой фирмы-разработчика, то в целом для всех многофункциональных мультимодульных устройств общей концепции построения не прослеживается. Таким образом, сформировалась необходимость проанализировать и охарактеризовать модульные принципы построения многофункциональных систем как самостоятельную концепцию.

Стремление создавать более совершенные и конкурентоспособные конструкции машин непрерывно заставляет разработчиков искать новые концептуальные подходы и принципы их построения. Стандартизация способствовала появлению изделий, унифицированных по отдельным техническим признакам. Развитие техники в последние десятки лет определило комплексные подходы к созданию сложных технических объектов, которые характеризуются огромным разнообразием функциональных возможностей благодаря внедрению модульных конструкций из наборов единиц-модулей. Поэтому для создания концепции модульного построения перспективных магистральных автопоездов с активными звеньями следует определить, что необходимо понимать под терминами «модуль», «модульный принцип».

Слово «modulus» в переводе с латинского означает «мера», а одними из первых научно обоснованных являются следующие определения термина «модуль» [47]:

1. «применительно к архитектуре это – условная единица, принимаемая для координации размеров частей здания или комплекса»;
2. «применительно к электронике это – унифицированный функциональный узел, функционально законченный узел радиоэлектронной аппаратуры, оформленный конструктивно как самостоятельное изделие».

В [48] дано следующее определение модулю. «Это – в определенном смысле завершенный (самостоятельный) элемент, который может служить метрологической, конструктивной, функциональной, информационной и другой единицей (мерой) при проектировании, изготовлении, эксплуатации и сравнении технических и информационно-управляющих систем». Также понятие модуля разделено на две категории: модуль-меру и модуль-изделие. Последнее представляет наибольший интерес и под ним понимается «конструктивно и технологически законченная типовая или стандартная сборочная единица, общая для нескольких более сложных систем, имеющая автономную документацию на изготовление, полностью собранная, прошедшая функциональную проверку и готовая к монтажу».

Также на основе выполненных обобщений в [48] дается определение модульному принципу как особенности построения технических систем, заключающейся «в подчинении их размеров проектному модулю (модулям) и (или) в обеспечении возможности комплектования разнообразных сложных нестандартных технических систем с большим различием характеристик из небольшого, экономически обоснованного, количества типов и типоразмеров одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих модуль-элементов.

Под модульной системой понимается 1) совокупность проектных модулей, подчиненная какой-либо закономерности; 2) совокупность модуль-изделий,

подчиненных какой-либо закономерности; 3) сложная техническая система, скомплектованная из модуль-изделий».

В области машиностроения самое широкое распространение термин «модуль» получил при проектировании зубчатых передач. Здесь под модулем понимается отношение диаметра делительной окружности к числу зубьев зубчатого колеса.

В технической литературе различают следующие иерархические виды модульности в зависимости от степени дробления проектируемого автотранспортного средства на отдельные модули и от возможности использования модулей в производстве и эксплуатации [49]:

1. **микромодульность;**

Автомобиль имеет кузов с оптимизированной силовой схемой (каркасно-модульный), в которой отсутствующие элементы, способные лишь нести функции защиты от окружающей среды, частично или полностью заменены модулями (крыльями, стенками и пр.). Этот принцип проектирования позволяет резко ускорить разработку и выпуск новых модификаций на базе старой конструкции. Необходимость данной модернизации возникает тогда, когда автомобиль уже "морально устарел". Поэтому компания, которая производит такой автомобиль, ищет новую сферу на потребительском рынке за счет привлечения потенциальных покупателей. Каркасно-модульный кузов обеспечивает разработку конкурентной продукции с новыми потребительскими качествами без больших затрат на разработку шасси автомобиля (разработка нового автомобиля занимает около 4-5 лет, а модернизация – несколько месяцев). Для этого конструкция кузова и технология сборки изменяется. Каркас кузова формируется не за счет выштамповок листовых панелей, а формируется из трубчатых элементов, и на этот каркас навешиваются панели обшивки. Причем на одном каркасе возможна разработка большого количества различных автомобилей. Каркас кузова может долгое время не изменяться, при этом его конструкция должна обеспечивать высокую прочность, жесткость и безопасность всего

автомобиля. Затраты же, которые были вложены в разработку нового несущего каркаса, окупаются количеством модификаций. При этом стоит заметить, что такая модульность возможна лишь на стадии проектирования, так как замена каких-либо модулей может нарушить всю жесткость кузова.

2. **модульность среднего уровня;**

При таком виде модульности на базе одной платформы или рамы путем ее укорачивания или удлинения изготавливаются автомобили разного класса или назначения: тягачи Volvo-FH, DAF-85, Iveco EuroTech, Renault-Premium с разными кабинами и другие. Так, на одной платформе может быть построено до 10-12 автомобилей разного класса. Удобство состоит в том, что малыми затратами можно сделать не просто модернизированный, а совершенно новый автомобиль.

Примером средней модульности могут служить рамные автомобили ГАЗ, МАЗ, КамАЗ, Ford-F150, - F250, -F350, Chevrolet-S10, Toyota-Tundra, Nissan-Pickup, Chevrolet-Silverado и др. Часто на базе пикапов создаются внедорожные автомобили (Ford-Excursion на базе Ford-F250, Chevrolet-Blazer на базе Chevrolet-S10, Nissan- Pathfinder на базе Nissan-Pickup и другие). Нагрузку на таких автомобилях берет на себя металлическая рама. Эта концепция используется, прежде всего, на грузовых автомобилях и пикапах. Имея одно рамное шасси, производители устанавливают на него свои кузова от открытой платформы до изотермического фургона.

3. **макромодульность**

Применение укрупненных 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. Принцип создания машин на основе макромодулей был успешно реализован в боевой машине BAE Systems, электропоезде A-train компании Hitachi Rail Systems и др.

Основные преимущества от использования принципа модульного построения состоят в том, что они дают возможность получить существенные

преимущества как в процессе производства, так и при эксплуатации транспорта:

1) затраты, вложенные в разработку нового шасси, окупаются возможностью выпуска большого количества модификаций;

2) удешевляется процесс изготовления и появляется возможность увеличить число модификаций автотранспортных средств при малых затратах на их модернизацию;

3) на одном шасси может быть создано несколько моделей автомобилей, в том числе на различных предприятиях;

4) используя освоенные модули, можно при малых затратах сделать не просто модернизированный автомобиль, а изделие как совершенно нового класса, так и совершенно другого назначения;

5) освоенные модули можно использовать для постройки концептуальных автомобилей;

6) возможность в процессе эксплуатации смены кузова в зависимости от перевозимого груза и сокращения времени на погрузочно-разгрузочные операции;

7) возможность более полно учесть пожелания и требования потребителя.

3.2 Модульное построение многозвенных магистральных автопоездов с активными управляемыми звеньями

Отмеченные выше подходы к использованию принципа модульного построения сложных технических систем позволяют предложить концепцию модульных многозвенных магистральных автопоездов и сформулировать ряд базовых требований, понятий и определений применительно к перспективным автопоездам.

Основные требования к перспективному магистральному автопоезду с активными управляемыми звеньями для трансконтинентальных перевозок можно представить следующим образом:

1) **модульность** построения основного и прицепных звеньев автопоезда. Использование этого принципа позволяет комплектовать автопоезда необходимой грузоподъемности и грузовместимости на базе унифицированных модулей;

2) **многозвенность** автопоезда. Этим достигается большая длина автопоезда на базе прицепных звеньев с целью получения необходимых грузоподъемности и грузовместимости;

3) **мобильность звеньев** автопоезда. Звено автопоезда должно иметь индивидуальный привод хотя бы на одну ось и систему рулевого управления для работы в автономном режиме.

Это необходимо для следующих целей:

а) самостоятельного комплектования звеньев в многозвенный автопоезд;

б) самостоятельного подъезда каждого звена к разгрузочным площадкам при выполнении погрузочно-разгрузочных работ;

в) обеспечения необходимых характеристик автопоезда по маневренности, управляемости и устойчивости;

г) сохранения мобильности автопоезда в случае поочередного преодоления отдельными звеньями участков дорог (мостов) пониженной несущей способности;

д) возможности использования на автопоезде оптимальной суммарной мощности силовых установок для каждого конкретного случая в зависимости от условий эксплуатации;

4) формирование конфигурации автопоезда непосредственно в транспортных организациях под определенную партию груза и условия клиента (маршрут движения, время доставки и др.).

5) возможность трансформации состава автопоезда во время одного рейса:

а) уменьшением или увеличением количества звеньев для изменения грузоподъемности и грузовместимости;

б) уменьшением или увеличением количества тяговых модулей для изменения тягово-динамических характеристик.

С учетом сказанного сформулируем и общие требования к отдельным модулям модульного магистрального многозвенного автопоезда:

1) изделие в процессе разработки должно быть разделено на несколько автономных модулей с простыми и согласованными связями между ними;

2) модули должны быть настолько независимыми, чтобы обеспечить возможность разделения труда при проектировании;

3) возможные взаимозависимости между модулями за счет их высокой унификации необходимо свести к минимуму, чтобы разработка каждого из модулей не ограничивалась темпами работы над другими модулями;

4) взаимозависимости между модулями должны быть известны и определяются разработчиком на ранних стадиях проектирования, чтобы после завершения разработки изделия не только получить набор высокоунифицированных модулей, которые будут работать каждый в отдельности, но также смогут быть собраны вместе в единую систему, функционирование которой удовлетворяет общим требованиям;

5) модули должны быть совместимы, то есть позволять свободную сборку готового изделия определенного функционального назначения с заданными или новыми характеристиками;

6) каждый модуль должен разрабатываться по специфическим, характерным для него требованиям, чтобы при работе в составе изделия обеспечить те параметры последнего, для выполнения которых данный модуль предназначен [50].

Под макромодулем как под базовой единицей-модулем следует понимать полнофункциональное звено многозвенного автопоезда, способное 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 активные звенья грузовые и тяговые модули, модуль «кабина».

Микромодули представляют собой набор компонентов, входящих в состав модулей среднего уровня (моторно-трансмиссионные установки, тягово-сцепное устройство, оси и т.д.).

Таким образом, концепция модульных многозвенных магистральных автопоездов с активными управляемыми звеньями как нового вида транспортных средств для массовых трансконтинентальных перевозок состоит в следующем: звенья автопоезда формируют из набора типоразмерных рядов, унифицированных тяговых и грузовых модулей и соединяются между собой мехатронными сцепными устройствами для построения различных конфигураций и комплектаций автопоездов в зависимости от их назначения.

Тяговые модули обеспечивают мобильность транспортного средства за счет использования источников энергии в традиционном (дизельные двигатели, дизель-генераторные установки, накопители энергии) и комбинированном (гибридном) вариантах с традиционными (механическими, электромеханическими) или комбинированными (гибридными) трансмиссиями для привода ведущих колес.

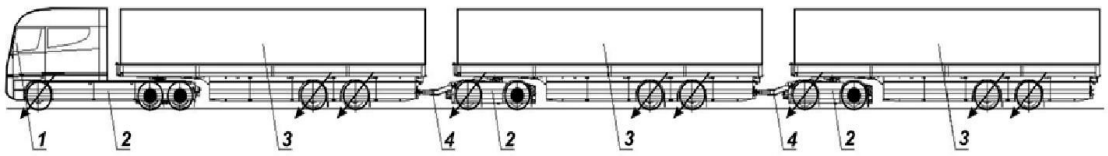
В прицепных звеньях допускается применение **пассивных модулей** вместо тяговых модулей в тех случаях, когда в автопоезде в целом обеспечивается требуемый сцепной вес.

Грузовые модули обеспечивают заданную грузоподъемность и грузовместимость звена и участвуют в улучшении параметров маневренности автопоезда при оснащении управляемыми колесами.

Сцепные устройства повышают технико-эксплуатационные характеристики автопоезда посредством регулирования расстояния между звеньями в зависимости от скорости и режима движения. Согласованное движение звеньев в составе автопоезда осуществляется на основе мехатронных систем.

Под **активным** понимается звено, включающее тяговый модуль, а под **пассивным** – не имеющее активного привода.

С учетом вышесказанного магистральный автопоезд модульной конструкции может состоять из следующих основных структурных единиц (рисунок 3.1) [1–А]: головное и прицепные звенья (макромодульность), кабина, грузовой модуль, тяговый модуль со сцепным устройством (модульность среднего уровня). При этом тяговый модуль используется в головном и прицепных звеньях и предназначен для придания автопоезду требуемых тягово-динамических свойств при выполнении 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).



1 - кабина, 2 - тяговый модуль, 3 - грузовой модуль, 4 - сцепное устройство,

⊘ - управляемая ось, ⊙ - ведущая ось

Рисунок 3.1 - Укрупненная структура модульного многозвенного автопоезда с активными звеньями

Глава 4. Оптимизация параметров модульных многозвенных магистральных автопоездов.

Параметры общей массы, длины, а также количество прицепных звеньев у многозвенных автопоездов существенно отличаются от установленных законодательно. Это ставит комплекс задач по научному обоснованию значений конструктивных параметров, чтобы многозвенные автопоезда вписывались в существующую дорожную инфраструктуру. Это позволит обеспечить их безопасную эксплуатацию с различным числом звеньев. Поэтому появилась необходимость в развитии вопросов теории, которые позволили бы осуществлять выбор основных массогеометрических параметров и компоновочных решений модульных автопоездов (включая нагрузки на оси, межколесные базы, количество управляемых осей, координаты седельно-сцепного устройства и др.) при проведении проектных и компоновочных работ. Это требуется в первую очередь для того, чтобы многозвенные транспортные средства обладали комплексом рациональных и эффективных решений, не создавали помех участникам дорожного движения и разрушений дорожных сооружений по маршрутам следования.

Для сохранения системности изложения при выборе основных параметров многозвенных магистральных автопоездов примем следующие определения[1-А].

Параметр – независимая или взаимосвязанная с другими числовая величина, характеризующая изделие в целом или его отдельные свойства.

Параметры изделия, используемые в типаже, делятся на главные и основные. Главный параметр – параметр изделия, наиболее полно выражающий или регламентирующий его технические и эксплуатационные свойства, остающийся постоянным при технических усовершенствованиях изделия. Основной параметр – параметр изделия, зависящий от главного, характеризующий или регламентирующий отдельные из наиболее важных

технических и эксплуатационных свойств изделия, способный изменяться при технических усовершенствованиях изделия.

В качестве **главного параметра** для многозвенных магистральных автопоездов должна быть принята **общая масса автопоезда** как величина, наиболее полно выражающая технические и эксплуатационные свойства АТС и остающаяся постоянной при дальнейших технических усовершенствованиях. Конкретное значение данной величины обосновывается требованиями законодательства [51 и др.]. Максимальная разрешенная общая масса транспортного средства определяется требованиями дорожного законодательства, является суммой осевых масс и соответствует установленной несущей способности дорожной одежды. На эти значения следует ориентироваться при выборе технически допустимой максимальной массы транспортного средства.

Общая масса Mt многозвенного автопоезда рассчитывается как сумма общих масс всех его звеньев Mi:

$$M_t = \sum_{i=1}^{n} M_i \qquad (4.1)$$

где i – число звеньев многозвенного автопоезда.

В силу конструктивных особенностей многозвенных автопоездов, каждое звено рассматривается как самостоятельное транспортное средство. Поэтому для каждого звена максимальная разрешенная общая масса также является главным параметром, и она также в максимальной степени выражает его технические и эксплуатационные свойства.

В качестве **основных параметров** многозвенных автопоездов в общем виде рекомендуется рассматривать **сцепную массу, осевые нагрузки, колесные формулы, габаритную длину, мощности источников энергии** и др. Алгоритм их выбора выглядит следующим образом.

1. По принятой максимальной общей массе автопоезда и заданному коэффициенту сцепного веса kсц [52] рассчитывается минимально

допустимое значение сцепного веса Gсц, приходящегося на его ведущие колеса:

$$G_{сц} > k_{сц} M_t g \qquad (4.2)$$

Для магистральных автопоездов Директивой 96/53/ЕС [52] предписывается установление сцепного веса не менее 25% от общего веса автопоезда.

2. На основании [51] выбираются максимально допустимые осевые нагрузки на ведущие оси [Gda] звеньев.

3. По полученным значениям Gсц и [Gda] рассчитывается минимально необходимое количество ведущих мостов ndt для всего многозвенного автопоезда:

$$n_{dt} = G_{сц} / [G_{da}] \qquad (4.3)$$

Полученное значение ndt округляется в сторону последующего целого числа. Реальное количество ведущих мостов может превышать найденное значение ndt. Это оценивается на этапе разработки компоновочной схемы в ходе проработки возможностей компоновочного пространства, уточнения расстояний между ведущими осями, требований заказчика по повышению проходимости и т.п.

При этом надо учитывать, что некоторые звенья по требованию заказчика могут не оборудоваться ведущими мостами. Также может возникнуть потребность в использовании звеньев с различными общими массами и соответственно допустимыми нагрузками на ведущие оси. В этих случаях после принятых решений и суммирования фактических значений осевых масс на ведущие оси необходимо всякий раз для многозвенного автопоезда в составе всех звеньев осуществлять проверку выполнения условия [52]:

$$G_{сц} / M_t g > k_{сц} \qquad (4.4)$$

4. По найденному значению Gсц определяется вес автопоезда, который должен приходиться на ведомые оси Gdn:

$$G_{dn} = M_t g - G_{сц} \qquad (4.5)$$

5. На основании [51] выбираются максимально допустимые осевые нагрузки на ведомые оси [Gdn] звеньев.

6. По полученным значениям Gdn и [Gdn] рассчитывается минимально необходимое количество ведомых осей ndn для всего многозвенного автопоезда:

$$n_{dn} = G_{dn} / \left[G_{dn} \right] \qquad (4.6)$$

Полученное значение ndn округляется в сторону последующего целого числа. Реальное количество ведомых осей может превышать найденное значение ndn. Это также происходит на этапе разработки компоновочной схемы в ходе проработки возможностей компоновочного пространства, уточнения расстояний между ведущими осями, требований стандарта [51] к количеству осей транспортных средств и т.п.

Приведенный выше подход к определению массовых параметров многозвенных автопоездов фактически позволяет определить и колесные формулы, характеризующие тяговые возможности АТС. Принимая же во внимание тот факт, что многозвенные автопоезда предназначены для эксплуатации главным образом на магистральных дорогах государственного и межгосударственного значения с высокими дорожно-сцепными характеристиками, целесообразно применительно к многозвенным автопоездам вместо колесных формул рассматривать осевые формулы, раскрывающие соотношение общего числа осей всего автопоезда nt или звена nl с числом ведущих мостов соответственно ndt и ndl. Так, осевые формулы для всего автопоезда и звена могут быть записаны следующим образом:

$$O\Phi_t = n_t \, x \, n_{dt} \qquad (4.7)$$

$$O\Phi_l = n_l \, x \, n_{dl}$$

При выборе габаритной длины звеньев и автопоезда следует принимать во внимание требования стандартов к максимальным разрешенным габаритам транспортных средств при движении по дорогам, необходимую грузовместимость, требования к маневренности и предпочтительную для заказчика компоновочную схему. Для грузовых автомобилей наиболее

распространены четыре варианта компоновочных схем, которые характеризуются взаимным расположением кабины и двигателя:

1) капотная компоновка (рис. 4.1, а) – двигатель над передним мостом, кабина за двигателем (представитель – КрАЗ–257);

2) короткокапотная компоновка (рис. 4.1, б) – двигатель над передним мостом, кабина частично надвинута на двигатель (представитель – ЗИЛ–130);

3)"кабина над двигателем" (рис. 4.1, в) – двигатель над передним мостом, кабина над двигателем (представитель – ГАЗ–66);

4)"передняя кабина" (рис. 4.1, г) – двигатель сзади переднего моста, кабина максимально сдвинута вперед (представители – КамАЗ–5320, МАЗ–6422).

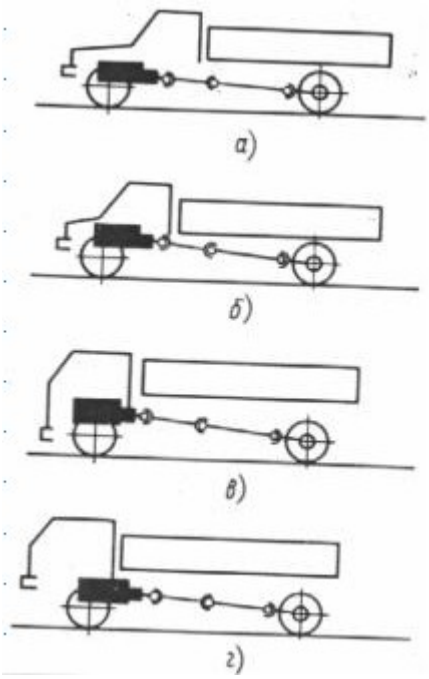


Рисунок 4.1 – Компоновочная схема грузовых автомобилей

Преимущества капотной компоновки: хорошая доступность к двигателю, удобство входа и выхода, наименьшая возможная нагрузка на передний мост;

Недостатки капотной компоновки: большая база и габаритная длина, ограниченная передняя обзорность.

Короткокапотная компоновка обеспечивает возможность уменьшения колесной базы и длины автомобиля, умеренную нагрузку на передний мост.

Недостатки: повышение высоты пола кабины, затрудненный доступ к задней части двигателя, меньшая ширина двери, повышенный уровень шума, нагрев перегородки моторного отсека.

У автомобилей, выполненных по этим схемам, в груженом состоянии на передние колеса приходится 27-30% массы, что является оптимальным для движения по плохим дорогам; в порожнем состоянии на задние колеса приходится более 50% массы, что также является положительным фактором.

Компоновочные схемы "кабина над двигателем" и "передняя кабина" относятся к бескапотным.

Преимуществами компоновочной схемы "кабина над двигателем" являются: возможность получить минимальную длину и базу и увеличить нагрузку на передние колеса для полноприводных автомобилей, хорошая обзорность. К недостаткам можно отнести: большую высоту пола кабины и неудобный вход и выход, наличие кожуха над двигателем делает невозможным размещение в кабине трех человек, затрудненный доступ к двигателю через капот, расположенный внутри кабины, который не исключает возможности попадания в кабину отработавших газов. Поэтому, вместо применения капота, кабину иногда выполняют откидывающейся вперед, что приводит к усложнению приводов управлений и коммуникаций.

Компоновочная схема "передняя кабина" позволяет получить промежуточные значения базы и габаритной длины. Преимущества: хорошая обзорность, удобство входа и выхода (подножка расположена впереди колес), умеренная высота и ровный пол кабины; недостатки: необходимость подъема кабины для доступа к двигателю, воздействие на водителя больших вертикальных ускорений.

У автомобилей, выполненных по схемам в и г, в груженом состоянии на передние колеса приходится 33 – 35 % массы, что благоприятно для движения по дорогам с твердым покрытием; в порожнем состоянии на задние колеса приходится менее 50 % массы, что совершенно недопустимо для движения по бездорожью. Такие компоновки приемлемы либо для

полноприводных автомобилей, либо для автомобилей, предназначенных для движения по хорошим дорогам. Меньшая база и габаритная длина обеспечивают меньшую массу, высокую маневренность и минимальную потребную площадь для стоянки. Увеличение массы, приходящейся на передний мост, позволяет повысить грузоподъемность, не выходя за пределы дорожных ограничений.

Максимальная габаритная длина многозвенного автопоезда Lt определяется как сумма габаритных длин звеньев Lli и длин сцепных устройств между ними lcpli:

$$L_t = \sum_{i=1}^{n} L_{li} + \sum_{i=2}^{n} l_{cp\,li} \qquad (4.8)$$

Параметры грузоподъемности, грузовместимости, колесные базы, типы источников энергии и трансмиссии, долговечность и др. являются производными от указанных основных параметров, но вместе с тем являются показателями качества конструкции машины для потребителей и целевыми функциями для конструктора при проведении компоновочных работ.

Изложенный подход позволяет осуществить выбор основных параметров и компоновочной схемы многозвенного автопоезда, фактически формируя принципиальный облик всего АТС. Однако найденные основные параметры и компоновочная схема должны быть в дальнейшем оптимизированы, включая оптимизацию компоновочной схемы с уточнением числа и расположения ведущих мостов и ведомых осей, параметров переднего и заднего свеса, колесных баз, взаимного расположения агрегатов и т.п., а также оптимизацию по критериям эксплуатационных свойств и безопасности, чтобы обеспечить максимальную эффективность автопоездов в заданных дорожных условиях.

Задачей общей компоновки модульного многозвенного автопоезда является определение взаимного расположения основных узлов и агрегатов, его кабины, грузовых модулей, обеспечивающих выполнение транспортных работ с наибольшей эффективностью в заданных условиях эксплуатации и

технологичность в производстве [1–А]. Совокупность узлов и агрегатов вместе с перевозимым грузом, топливом, водителем определяют общую массу автопоезда. Ее распределение по осям оговаривается стандартами и контролируется для неподвижного автопоезда, стоящего на горизонтальной площадке. Распределение общей массы в свою очередь определяет необходимые для проведения компоновочных работ геометрические параметры, как, например, величины баз, координату седельно-сцепного устройства и т.д. Геометрические параметры, определенные для неподвижного автопоезда, в свою очередь непосредственно определяют возможность вписываемости автопоезда в заданный коридор, т.е. его маневренность. Таким образом, для установления рациональных параметров автопоезда при проведении компоновочных работ на этапе эскизной компоновки необходимо определить наилучшее распределение массогеометрических параметров для неподвижного автопоезда.

Достижение наилучших показателей эксплуатационных и потребительских свойств автопоездов начинается с определения их рациональных массогеометрических параметров, являющихся исходными для нахождения всех остальных параметров.

Кроме указанных выше к основным параметрам автомобиля следует отнести координаты центра тяжести (масс); дорожный просвет; колея; радиусы поворота; максимальные углы поворота управляемых колес; масса снаряженного автомобиля; распределение нагрузки от снаряженной и общей масс на оси и мосты. При проектировании автопоездов, должны быть учтены габаритные (по ширине и высоте) и массовые ограничения (нагрузки на оси) национального и международного характера, предусмотренные в соответствующих законодательных документах, от которых непосредственно зависят параметры компоновки.

Распределение осевых нагрузок на дорогу зависит от принятой схемы компоновки автопоезда, колесной базы, величины переднего и заднего свеса, размещения основных агрегатов, т.е. определяется геометрическими

параметрами. Геометрические параметры магистрального автопоезда в свою очередь формируются его общей компоновкой, а также геометрией силового агрегата, карданной передачи, ведущего и управляемого мостов, рамы, подвески, колеса, кабины и платформы (кузова). Массовые параметры автопоезда формируются массами всех его узлов, агрегатов и деталей. Это позволяет говорить о том, что весовые и геометрические параметры – зависимые величины.

С учетом сказанного **целью получения** наилучших компоновочной схемы и основных массогеометрических параметров многозвенного модульного магистрального автопоезда является нахождение таких значений его геометрических параметров, при которых достигается использование максимальной грузоподъемности при обеспечении заданных нагрузок на оси, маневренности, а также сохранении мобильности при преодолении заданных уклонов. Таким образом, стоит задача нахождения рациональных и оптимальных параметров многозвенного автопоезда.

Алгоритм оптимизации основных параметров и компоновочной схемы многозвенных автопоездов заключается в следующем [1–А]:

1. В соответствии с изложенным выше алгоритмом выбора компоновочной схемы определяются общие массы многозвенного автопоезда и звеньев, количество ведущих и ведомых осей, осевые (колесные) формулы, габаритные длины автопоезда и звеньев.
2. На основании известных компоновочных решений классических автопоездов задаются возможные пределы изменения оптимизируемых геометрических параметров.
3. Назначаются управляемые оси и задаются максимальные углы поворота их колес. В общем случае можно назначить все оси управляемыми и в процессе исследований варьировать их количеством и расположением.
4. На основе принятых значений масс узлов и агрегатов и их первоначальных геометрических координат центров масс определяется распределение нагрузок по осям автопоезда.

5. Если полученное распределение нагрузок по осям не обеспечивает установленные требования, то изменяются координаты расположения узлов, агрегатов, груза, количество осей, и расчет нагрузок повторяется до достижения заданного распределения.

6. Проверяются ограничения по тяговым свойствам автопоезда (преодоление заданных подъемов).

7. На основе найденных по распределению нагрузок по осям геометрических параметров рассчитываются показатели маневренности автопоезда.

8. Если полученные результаты исследований по п. 1-7 устраивают исследователя, то решение задачи прекращается. В противном случае уточняются диапазоны искомых геометрических параметров. После этого решение задачи повторяется.

Таким образом, приведенный алгоритм позволяет осуществить последовательное обоснование и оптимизацию компоновочных геометрических параметров автопоезда, т.е. поиск наилучших значений продольных и высотных координат, определяющих положения центров тяжести звеньев, модулей, узлов и агрегатов, размещение седельно-сцепного устройства и колес по базе тягача, тяговых и грузовых модулей.

Критерии обоснования и оптимизации

Критерий 1-для обоснования параметров целесообразно принять величину отклонения нагрузки на ось автопоезда от нормируемого значения. Причем это отклонение не должно превышать некоторое пороговое значение. Полагаем допустимым принять погрешность распределения нагрузки по осям с отклонением в пределах ±2,5% от номинальной. Обеспечение этого критерия добиваются путем изменения расположения узлов и агрегатов автопоезда [1–А].

Полученные на основе отбора по критерию 1 значения массовых и геометрических параметров автопоезда должны проходить дальнейшую оценку и отбор по критерию 2 (преодоление подъема не менее 18%) и

критерию 3 (возможность старта автопоезда на уклоне не менее 12%). Благодаря введению критериев 1, 2 и 3 из рассмотрения исключается большое количество сочетаний массовых и геометрических параметров автопоезда, не удовлетворяющих этим критериям. Оставшиеся варианты проходят **дальнейшую проверку по критерию 4** – маневренность при заданных ограничениях на наружный и внешний радиусы нормируемого коридора: оптимальным будет сочетание массовых и геометрических параметров, обеспечивающее минимальную ширину занимаемого автопоездом коридора.

5. Технологический расчет оптимальных параметров модульных автопоездов

Структурное построение модульного многозвенного автопоезда с активными звеньями можно представить следующим морфологическим выражением:

$$A_{A3}=\{[(TM_1)+(ГМ_1)]+..+[(TM_m)+(ГМ_m)]+..+[(TM_n)+(ГМ_n)]\}, \qquad (5.1)$$

где $ТМ_m$ – тяговый модуль, обладающий уникальными техническими характеристиками (общая масса, мощность двигателя, тип трансмиссии и т.п.) и требуемыми (заданными) унификационными признаками; $ГМ_m$ – грузовой модуль, согласованный с тяговым модулем по заданным унификационным признакам и обладающий уникальными техническими характеристиками (общая масса, тип используемых осей и т.п.); m – количество звеньев от 1 до n.

В случае построения автопоезда на основе пассивных звеньев его структурную формулу можно представить следующим морфологическим выражением:

$$A_{A3}=\{[(ПМ_1)+(ГМ_1)]+..+[(ПМ_m)+(ГМ_m)]+..+[(ПМ_n)+(ГМ_n)]\}, \qquad (5.2)$$

где $ПМ_m$ – пассивный модуль, обладающий уникальными техническими характеристиками (общая масса, тип используемых осей и т.п.) и требуемыми (заданными) унификационными признаками.

Комбинированное построение автопоезда на основе активных и пассивных звеньев представляется следующим морфологическим выражением:

$$A_{K3}=\begin{Bmatrix} [(TM_1)+(Г M_1)+(ПM_2)+(Г M_2)]+..+[(TM_{m-1})+(ГМ_{m-1})]+ \\ +[(ПM_m)+(Г M_m)+..+[(TM_{n-1})+(Г M_{n-1})]+[(ПM_n)+(ГМ_n)] \end{Bmatrix} \qquad (5.3)$$

Структурно-функциональная матрица типовых унифицированных модулей представлена в таблице 5.1. Она отражает многообразие вариантов структурных единиц - типовых модулей разного уровня (микромодули, модули среднего уровня, макромодули), которые необходимы и с использованием которых могут формироваться многозвенные автопоезда в

соответствии с выражениями (5.1) - (5.3) для выполнения заданной транспортной задачи в заданных условиях эксплуатации.

В рамках предложенной концепции следует рассмотреть основные технико-экономические преимущества нового вида транспортных средств с различных позиций. Во-первых, это можно сделать на основе сравнительного анализа мощностного баланса многозвенного автопоезда с автопоездами классических типов:

$$N_k = N_f + N_i + N_j + N_a + N_\delta \qquad (5.4)$$

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

Баланс мощности проанализируем для модульного автопоезда в составе трех активных звеньев и трех классических автопоездов. Примем допущения, что указанные два вида транспортных средств перевозят равный по массе груз с одинаковой средней технической скоростью движения V = 90 км/ч по ровному горизонтальному участку дороги без буксования ведущих колес. В этом случае сравнение затрат мощности на перемещение автопоезда сводится главным образом к сравнению затрат на аэродинамическое сопротивление.

Сопротивление воздушной среды для одиночного транспортного средства можно рассчитать по общепринятой формуле:

$$N_a = K_в F V^3 \qquad (5.5)$$

где $K_в$- коэффициент обтекаемости, F - лобовая площадь.

На основе данных работы [53] примем, что аэродинамическое сопротивление для второго и третьего звеньев модульного автопоезда при использовании аэродинамических обтекателей для формирования безотрывного течения воздушного потока можно принять 0,2 от сопротивления головного звена. Тогда для трехзвенного автопоезда мощность, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления, равна $N_{aMod} = 1{,}4K_вFV^3$

Таблица 5.1 – Структурно-функциональная матрица типовых модулей для использования в составе многозвенных автопоездов

Отличительные признаки, характеризующие функциональные свойства многозвенных автопоездов	Виды звеньев		
	Активные звенья	Пассивные звенья	
Общая масса автопоезда	Не ограничена	Ограничена весом, приход на ведущие колеса	
Автономная мобильность	+	-	
Мощность ДВС головного тягача, л.с.	400-430	Не менее 550	
Рекуперация энергии	+	-	
Вид шасси	Обычное	Повышенной прочности	
Использование мехатронных сцепных устройств	+	-	
Прохождение нормированного коридора маневрирования	+	-	
	Виды структурных моделей		
	Тяговый	Грузовой	Пассивный
Источник энергии			
ДВС	+	-	-
Накопитель энергии	+	-	-
Комбинированный	+	-	-
Трансмиссия			
Механическая	+	-	-
Электрическая	+	-	-
Электромеханическая	+	-	-
Комбинированная	+	-	-
Рулевое управление	+	+/-	+/-
Количество осей	Не менее 2	Не менее 2	Не менее 2
Количество ведущих мостов	Не менее 1	-	-
Высота седельно-сцепного устройства, мм	950-1250	950-1250	950-1250

Сравнение показывает, что в данном случае модульный магистральный трехзвенный автопоезд затрачивает в 2,1 раза меньше мощности на

аэродинамическое сопротивление по сравнению с тремя классическими седельными автопоездами при прочих равных условиях. В следствие чего, модульный автопоезд будет иметь и существенно меньший расход топлива, а, значит, и более высокую удельную производительность, поскольку доля аэродинамического сопротивления на высоких скоростях достигает 30-40% от общих затрат.

Во-вторых, дальнейший анализ баланса мощности на асфальтобетонном шоссе показывает, что благодаря уменьшению аэродинамического сопротивления для движения автопоезду в составе трех грузовых модулей будет достаточно использовать двигатели суммарной мощностью 900-1000 л.с. (671-746 кВт). При этом трем классическим седельным автопоездам понадобятся двигатели суммарной мощностью 1200 л.с. (896 кВт). Другими словами, трехзвенному автопоезду для обеспечения требуемых тягово-скоростных свойств требуется средняя удельная мощность двигателей 7,5-8,3 л.с./т (5,6-6,2 кВт/т), в то время как классическому автопоезду – не менее 10 л.с./т (7,5 кВт/т), т.е. на 17-25% меньше.

Данная оценка подтверждается и различными зарубежными исследованиями. При перевозке 120 т груза 2-мя 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 ткм. Для выполнения той же транспортной работы с использованием обычных автопоездов грузоподъемностью 40 тонн понадобится 3 автопоезда (грузовик + прицеп с центральными осями или седельный автопоезд), а общий удельный расход топлива при этом составит около 19 л/1000 ткм, то есть почти на 16% больше [20].

В-третьих, преимущества от применения предлагаемого в диссертации нового вида транспортных средств по сравнению с традиционными видами транспорта характеризуют данные, представленные на рисунке 5.1 [1–А], полученные с учетом данных [20].

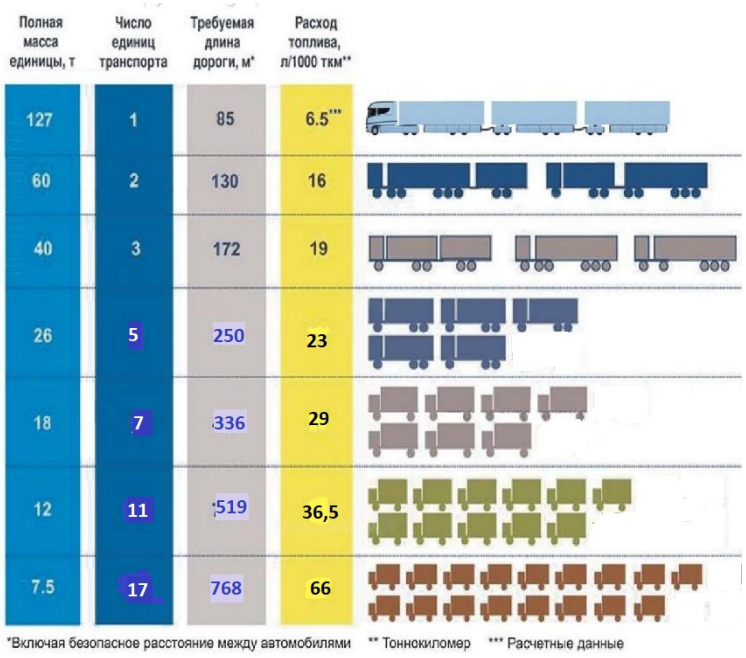


Рисунок 5.1 - Технико-экономическая эффективность перевозки одинаковой партии грузов различными АТС

Из чего следует, что перевозка одной и той же партии груза автопоездом в составе трех звеньев является наиболее эффективной. В отличие от него перевозка грузовыми автомобилями общей массой 7,5т потребует задействовать не менее 17 водителей, удельный расход топлива составит около 66 л на 1000 ткм, а протяженность занимаемого этими грузовыми автомобилями дорожного полотна составит 768 м.

Данные, представленные на рисунке 5.1, также наглядно иллюстрируют, что с ростом общей массы и длины транспортного средства повышается экономическая эффективность перевозки грузов и уменьшается занимаемая длина дорожного полотна. Как следствие, это положительно скажется на безопасности дорожного движения и уменьшении загрязнения окружающей среды.

Таким образом, технико-экономические и социальные преимущества представленной концепции нового вида транспортных средств состоят в следующем:

1) предложена новая технология автомобильных перевозок крупных партий грузов;

2) обеспечено снижение удельной себестоимости перевозки грузов за счет сокращения удельного потребления энергии для выполнения транспортной работы, поскольку многозвенному автопоезду для обеспечения требуемых тягово-скоростных свойств требуется удельная мощность двигателей 7,5-8,3 л.с./т (5,6-6,2 кВт/т), в то время как классическому автопоезду – не менее 10 л.с./т (7,5 кВт/т);

3) перевозка заданной партии груза обеспечивается меньшим количеством водителей;

4) повышается безопасность дорожного движения за счет уменьшения протяженности занимаемого дорожного полотна;

5) уменьшаются удельные затраты мощности на преодоление аэродинамического сопротивления за счет многозвенного способа формирования автопоезда, позволяющего обеспечить безотрывное течение потока обтекающего воздуха. Например, при скорости движения 90 км/ч на преодоление данного вида сопротивления три классических автопоезда седельного типа затрачивают мощности больше чем в 2 раза по сравнению с трехзвенным автопоездом при прочих равных условиях. Этим достигается существенное снижение расхода топлива, выбросов вредных веществ и повышение удельной производительности магистрального транспорта.

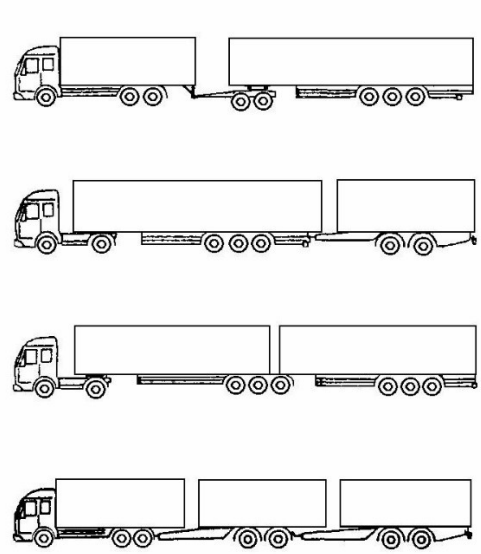
Отмеченные преимущества применения магистральных автопоездов увеличенной длины, а, следовательно, и увеличенной по сравнению с традиционной грузоподъемностью и грузовместимостью находят подтверждение и практическое применение в реальной эксплуатации. Например, для решения проблем, связанных с загруженностью дорог и снижением вредных выбросов, с августа 2004 г. по ноябрь 2006 г. в Голландии проводились большие испытания грузовых автопоездов, имеющих длину до 25,25 м и полную массу до 60 т [20]. Главным критерием было обеспечение безопасности. Испытания был подвергнут 41 автопоезд от 31 транспортного предприятия Голландии и Германии. Варианты комплектации автопоездов были следующими:

1) 25 (из 41) автопоездов в составе: грузовой автомобиль + полуприцеп с тележкой "Dolly", поскольку эта комбинация проще всего создается и является хорошо маневренной (рисунок 3.3а);

2) 6 автопоездов в составе: седельный тягач, полуприцеп и тандем-прицеп (рисунок 3.3б);

3) 7 автопоездов представляют собой известные в Австралии и США "B-Double": седельный тягач с двумя полуприцепами – укороченным, снабженным седельно-цепным устройством в задней части, и полноразмерным (рисунок 3.3в);

4) 3 автопоезда в составе: автомобиль с двумя тандем-прицепами (рисунок 3.3г).



а- автомобиль + полуприцеп с тележкой “Dolly”; б - седельный тягач + полуприцеп + тандем-прицеп; в - B-DoubLe: седельный тягач + полуприцеп + полуприцеп; г – автомобиль + тандем-прицеп + тандем-прицеп

Рисунок 5.2 - Варианты 60-тонных автопоездов, проходивших испытания в Голландии [20]

Для повышения маневренности многие из указанных автопоездов имели полуприцепы с управляемыми мостами.

В ходе испытаний были достигнуты следующие преимущества от эксплуатации удлиненных автопоездов. При эксплуатации 60-тонного автопоезда длиной 25,25 м достигалось либо увеличение прибыли от

полезной нагрузки до 60%, либо уменьшение на 30 % количества большегрузных автомобилей на магистралях при тех же объемах грузоперевозок. Кроме этого, были снижены затраты на оплату труда водителей, снижается расход топлива на транспортную единицу и на 15% уменьшается выброс вредных веществ в окружающую среду.

Полученный положительный опыт представляет собой базу для принятия законодательных решений руководящим органам не только Голландии, но и проявляющих пристальное внимание к этим испытаниям стран ЕС: Дании, Бельгии, Франции, Великобритании и Германии [54].

В настоящий момент в Европейском союзе большое внимание уделяется автопоездам с увеличенными габаритами и полной массой. Часто в литературе их называют скандинавскими сцепками. Автопоезда длинной 25,25 м и полной массой 60 т, не вписывающиеся в стандарты большинства европейских стран, активно используются в Швеции и Финляндии. Подсчитано, что при повсеместном использовании скандинавских сцепок количество рейсов на единицу объема веса груза сокращается на 10%, выбросы CO_2 грузовым транспортом уменьшается на 8%. Как уже отмечалось, сокращается количество грузовых автомобилей на дороге, уменьшаются транспортные издержки грузоперевозчика [20, 55].

Вместе с тем анализ транспортных потоков на магистральных дорогах Беларуси, России и других стран бывшего СССР также указывает на то, что в том или ином виде многозвенные схемы автопоездов имеют место в реальной эксплуатации. В частности, нередким явлением на дорогах бывает передвижение колонны магистральных автопоездов, следующих друг за другом на минимально близком расстоянии (рисунок 5.4). В ряде случаев оно столь мало, что между двумя транспортными средствами фактически отсутствует возможность «вклинивания», например, легкового автомобиля. Такой способ передвижения, применяемый водителями большегрузных транспортных средств, вполне логичен. С одной стороны, группа автопоездов движется одной колонной за опытным «головником», хорошо

знающим особенности дороги и местности. С другой – это исключает соблазн некоторых водителей по перестроению с одной полосы на другую, что повышает безопасность движения, не отвлекает и не утомляет водителя грузового автомобиля. С третьей – минимальное расстояние между двумя грузовыми автопоездами создает условия для формирования струи воздушного потока, плавно обтекающей каждое последующее транспортное средство, что обеспечивает отсутствие загрязнений на лобовом стекле и уменьшение расхода топлива. Таким образом, передвижение магистральных автопоездов в плотной колонне является, по сути, собой многозвенным способом перевозки грузов. При этом можно отметить, что данные звенья также являются транспортными макромодулями.



Рисунок 5.3 - Магистральный автотранспорт в реальных дорожных ситуациях

Преимущества от реализации магистральных модульных многозвенных автопоездов очевидны. Модульность построения звеньев позволит комплектовать автопоезда необходимой грузоподъемности и грузовместимости на базе унифицированных модулей как в процессе

производства, так и в эксплуатации. Благодаря этому осуществляется формирование конфигурации автопоезда непосредственно под потребности автоперевозчика (определенную партию 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 грузовместимости; уменьшения или увеличения тяговых модулей для изменения тягово-динамических характеристик. Уменьшается число занятых водителей для перевозки равного объема грузов и число автомобилей на дорогах. Как следствие, улучшается экологическая обстановка и снижаются расходы на поддержание технического состояния автомобильных дорог.

Мобильность звеньев за счет установки на каждом звене рулевого управления и индивидуального привода ведущих колес позволяет осуществлять самостоятельное комплектование звеньев в многозвенный автопоезд и самостоятельный подъезд каждого звена к погрузочно-разгрузочным площадкам.

Такой автопоезд будет характеризоваться повышенной длиной, а за счет компоновочных решений нагрузка на все оси может быть обеспечена в пределах от 8 до 13 т.

Таким образом, модульные многозвенные автопоезда представляют собой новый вид магистрального автотранспорта для перевозки грузов и наиболее перспективный путь совершенствования и повышения грузоподъемности, грузовместимости, экологической безопасности, уровня комфортабельности и уменьшения потоков грузового транспорта на дорогах. Задачи технико-экономической эффективности решаются за счет сокращения непроизводственных затрат мощности на преодоление аэродинамического сопротивления. Это позволяет получить неоспоримые преимущества как на стадии производства, так и в эксплуатации.

5.1 Математическая модель исследования значений преодолеваемого многозвенным автопоездом угла подъема.

Нахождение максимального угла преодолеваемого автопоездом подъема будем рассматривать с учетом того, что значение этого угла ограничено сцеплением ведущих колес с опорной поверхностью. Примем, что характеристики сцепления и сопротивления качению одинаковы для всех колес. Ввиду малой скорости при преодолении максимальных подъемов пренебрежем сопротивлением воздуха и силой инерции.

Расчетная схема автопоезда показана на рисунке 5.5. Воспользуемся рекомендациями [56] и рассмотрим способы оценки преодолеваемого подъема отдельным звеном. Сумма проекций всех сил на опорную плоскость, действующих на тяговый модуль звена:

$$F_{wd}^{ti} = F_f^{ti} + G^{ti}\, sin\alpha + R_{sadH}^{ti} \qquad 5.6$$

Где F_{wd}^{ti} – окружная сила ведущих колес; F_f^{ti}- сила сопротивления качению колес, G^{ti}- вес тягового модуля, R_{sadH}^{ti}- продольная составляющая усилия на седельно-сцепном устройстве, приводящая в движение грузовой модуль (полуприцеп), α- угол преодолеваемого подъема. Здесь и далее индексы ti обозначают, что параметр относится к тяговому модулю i-го звена. Решая совместно уравнение (3.9) с уравнениями равновесия моментов сил относительно осей, проходящих через точки контакта с опорной поверхностью колес тягового модуля и учитывая, что

$$F_{wd}^{ti} = \varphi \cdot R_{z2}^{ti} \qquad 5.7$$

и

$$R_{sadH}^{ti} = G^{sti}\ \ sin\alpha + f \cdot G^{sti} \cdot cos\alpha \qquad 5.8$$

получаем

$$tg\,\alpha_{max} = \frac{\varphi \dfrac{a_{ti}}{L^{ti}} - f\left[1 + \dfrac{m_{sti}}{m_{ti}}\left(1 - \varphi \dfrac{h_{sad}^{ti}}{L^{ti}}\right)\right]}{\left(1 - \varphi \dfrac{h_g^{ti}}{L^{ti}}\right) + \dfrac{m_{sti}}{m_{ti}}\left(1 - \varphi \dfrac{h_{sad}^{ti}}{L^{ti}}\right)} \qquad 5.9$$

где φ – коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой; a_{ti} – продольная (от передней оси) координата центра тяжести i-го тягового модуля; L^{ti} – база i-го

тягового модуля; h_{sad}^{ti}– высота седельно-сцепного устройства тягача (тягового модуля);h_g^{ti} – высота центра тяжести тягового модуля; m_{sti} - масса i-го грузового модуля; m_{ti}- масса i-го тягового модуля.

Необходимо отметить, что здесь под массой грузового модуля следует понимать ту ее часть, которая приходится на его колеса; под массой тягового модуля следует понимать сумму его снаряженной массы и той части массы грузового модуля, которая воспринимается седельно-сцепным устройством.

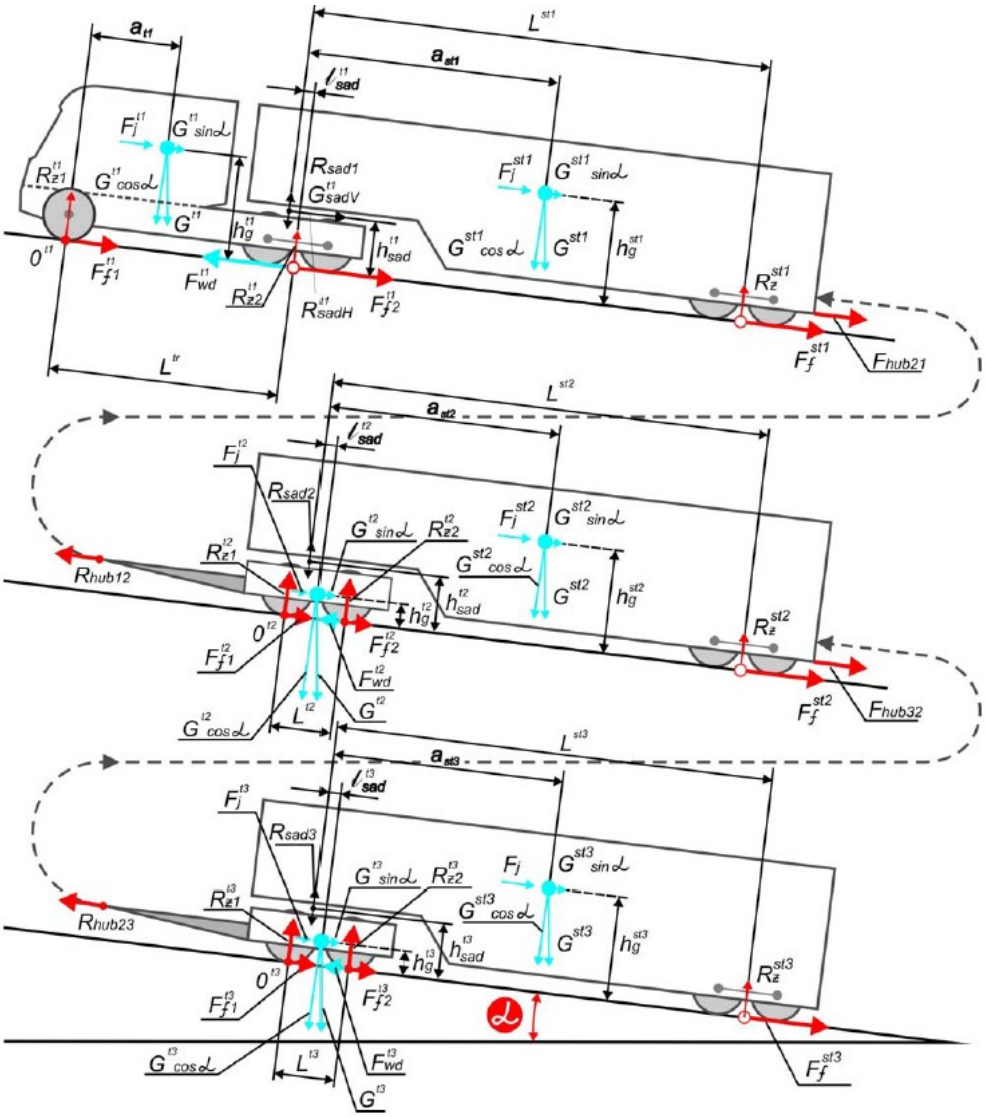


Рисунок 5.4 – Расчетная схема модульного многозвенного автопоезда с активными звеньями для определения максимального угла подъема

Вместе с тем, данный подход может сдерживать исследователя тем, что учитывает ограниченный набор конструктивных параметров. Требуется

иначе подойти к определению значения максимального угла, преодолеваемого многозвенным автопоездом подъема.

Окружная сила ведущих колес звена направлена на преодоление сил сопротивления качению и сопротивления подъему:

$$F_{wd}^{ti} = f\,G^{ti}\cos\alpha + G^{ti}\sin\alpha \qquad (5.10)$$

Сумма моментов относительно оси, проходящей через точки контакта передних колес тягача (тягового модуля) с опорной поверхностью (точки O^{ti}):

$$R_{z2}^{ti} = G^{ti} h_g^{ti} \sin\alpha + G^{ti} a_{ti} \cos\alpha + R_{sadH}^{ti} h_{sad}^{ti} + G_{sadV}^{ti}\left(\frac{L^{ti}}{2} - l_{sad}^{ti}\right) \qquad (5.11)$$

Учитывая выражение (5.10) и принимая во внимание, что

$$G_{sadV}^{ti} = \frac{G^{sti}\left(L^{sti} - a_{sti}\right)\cos\alpha - G^{sti} h_g^{sti}\sin\alpha}{L^{sti}} \qquad (5.12)$$

после проведения некоторых преобразований получаем выражение для определения угла, максимально преодолеваемого звеном автопоезда подъема:

$$tg\alpha = \frac{f\left(G^{ti} + G^{sti}\right) - \dfrac{\varphi}{L^{ti}}\left[G^{ti} a_{ti} + fG^{sti} h_{sad}^{ti} + G^{sti}\dfrac{\left(L^{sti} - a_{st}\right)\left(\dfrac{L^{ti}}{2} - l_{sad}^{ti}\right)}{L^{sti}}\right]}{\dfrac{\varphi}{L^{ti}}\left[G^{ti} h_g^{ti} + G^{sti} h_{sad}^{ti} - G^{sti}\dfrac{h_{ti}\left(\dfrac{L^{ti}}{2} - l_{sad}^{ti}\right)}{L^{sti}}\right] - \left(G^{ti} + G^{sti}\right)} \qquad (5.13)$$

где G^{sti} – вес i-го грузового модуля; a_{st} – продольная координата центра тяжести грузового модуля; L^{sti} – база грузового модуля; l_{sad}^{ti} – продольная координата седельно-сцепного устройства i-го тягового модуля.

Для оценки возможности старта автопоезда на подъеме не менее 12% в уравнения (5.9) и (5.10) вводится сила инерции Fi, действующая на автопоезд при разгоне.

Рассмотрим вопрос выбора параметров трехзвенного автопоезда для магистральных международных перевозок, общая масса каждого из звеньев которого должна составлять 40 т, а объем перевозимого груза на уровне

современных аналогов – 85-100 м3. При этом грузовые модули (полуприцепы) должны иметь возможность работать в составе классических седельных автопоездов, осуществляющих сбор и доставку грузов на магистральные транспортно-логистические центры, расположенные, в том числе, на внешних границах Таможенного союза. Общая масса автопоезда должна быть 120 т. В этом случае вес, приходящийся на ведущие колеса в соответствии с [52], должен быть не менее 30 т. В соответствии с [51] примем максимально допустимые осевые нагрузки на ведущие оси звеньев равные 11,5 т. Тогда минимально необходимое количество ведущих мостов в тяговых модулях должно быть не менее 3 шт. При полной загрузке мостов сцепной вес, приходящийся на ведущие оси автопоезда, составит 34,5 т. Масса автопоезда, приходящаяся на ведомые оси, будет равна 85,5 т. Для ведомых осей первоначально примем [51] допустимую осевую нагрузку как для одиночных осей – 10 т. Тогда минимально необходимое количество ведомых осей составит не менее 9 шт. В этом случае осевая формула для автопоезда будет иметь следующий вид 12х3, а для звена – 4х1. При выборе величины габаритной длины автопоезда в первую очередь оценивается требуемый объем платформы для перевозки груза. Параметры габаритной ширины и высоты определяются дорожной инфраструктурой и являются наиболее консервативными и при проектировании данные значения принимаются максимально возможными. Тогда с учетом сложившейся практики проектирования и технологии изготовления [57] можно принять в качестве максимальной внутренней ширины платформы значение 2,48 м, а в качестве максимальной внутренней высоты – значение 2,85 м при высоте седельно-сцепного устройства 950 мм, значение 2,65 м при высоте седельно-сцепного устройства 1150 мм, значение 2,52 м при высоте седельно-сцепного устройства 1250 мм. В этом случае внутренняя длина платформы составит соответственно 12-14,1 м; 12,9-15,2 м; 13,6-16 м.

Из сформулированных выше требований к трехзвенному автопоезду следует, что грузовые модули должны работать в составе классических седельных

автопоездов и на транспортировке грузов в сторону Европейского Союза и обратно. Общая длина таких автопоездов не должна превышать 16,5 м. Практика показывает [57], что в этом случае общая длина полуприцепов не превышает 13,9 м. Тогда скорректированные значения объемов перевозимого груза с учетом толщины стенок переднего и заднего бортов составят 96,8 м3 при высоте седельно-сцепного устройства грузового модуля 950 мм; 90 м3 при высоте 1150 мм; 85,6 м3 при высоте 1250 мм.

Приведенные данные показывают, что по сравнению с грузовым модулем высотой седла 950 мм грузовой модуль с высотой седла 1150 мм уступает в грузовместимости 7%, а с высотой седла 1250 мм – уже 11,6%. Первый вариант наиболее подходит для перевозки легковесных грузов по ровным дорогам с высоким качеством дорожного покрытия, третий – для перевозки грузов повышенной плотности. Вместе с тем, тягачи и тяговые модули с высотой седла 950 мм требуют применения специальных рам, мостов, подвесок, условий эксплуатации и поэтому не являются массовыми. При увеличении высоты седла увеличивается компоновочное пространство, что упрощает требования к характеристикам узлов и условиям эксплуатации. Поэтому тягачи с высотой седельно-сцепного устройства 1150 мм являются наиболее востребованными, поскольку имеют достаточно высокую грузовместимость, пригодную для перевозки легковесных грузов.

Тягово-сцепные устройства, как было сказано, вносят определенный вклад в формирование общей длины автопоезда и их длина выбирается из условия безударного взаимодействия звеньев при прохождении поворотов и рельефов дороги. Чтобы уменьшить расстояние между двумя звеньями, буксирное приспособление со сцепной петлей под беззазорную сцепку устанавливают по возможности ближе к задней оси впереди идущего звена. При обеспечении данных условий примем, что расстояние между звеньями равно 1,35 м.

С учетом сказанного максимальное значение длины трехзвенного автопоезда для проведения последующей оптимизации составит 16,5 + 1,35 + 13,9 +1,35 + 13,9 = 47 м.

5.3 Математическая модель исследования маневренности многозвенного автопоезда.

В соответствии с [51] маневренность любого транспортного средства и многозвенного автопоезда, в частности, определяется его способностью вписаться в коридор шириной 7,2 м, ограниченный наружной и внутренней окружностями радиусов 12,5 и 5,3 м соответственно, а также способностью совершать разворот на 360º. Это позволяет определить максимальное количество звеньев, в составе которых многозвенный автопоезд сможет удовлетворить заданным требованиям. По сути, это является количеством звеньев, которые смогут уместиться снаружи внутренней окружности радиусом 5,3 м (рисунок 5.2) и внутри наружной окружности радиусом 12,5 м (рисунок 5.3) и рассчитывается как [4–А]

$$n_{зв} = \frac{2\pi}{\alpha_{зв}^{Rmin/Rmax}} \qquad 5.14$$

где $\alpha_{зв}^{R_{min/Rmax}}$ - сектор, занимаемый звеном автопоезда на внутренней или наружной окружности.

Угол $\alpha_{зв}^{R_{min}}$ на внутренней окружности нормированного коридора для расчета минимального количества звеньев автопоезда, умещающихся на ее наружной стороне с учетом обозначений указанных на рисунке 5,3 и некоторых преобразований, определяется как [4-А]

$$\alpha_{зв}^{Rmin} = 2 \cdot arctg \frac{L_{зв}}{2R_{min}} \qquad 5.15$$

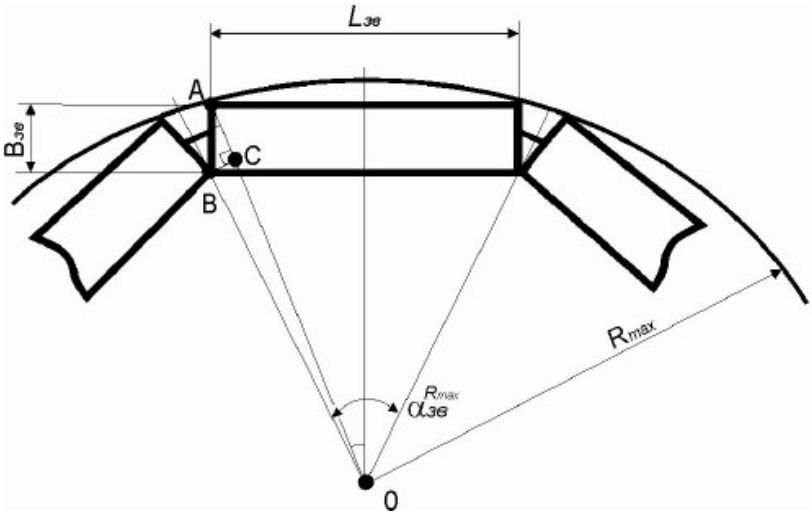


Рисунок 5.5 – Расчетная схема для оценки количества звеньев автопоезда, умещающихся вдоль наружной окружности нормированного коридора

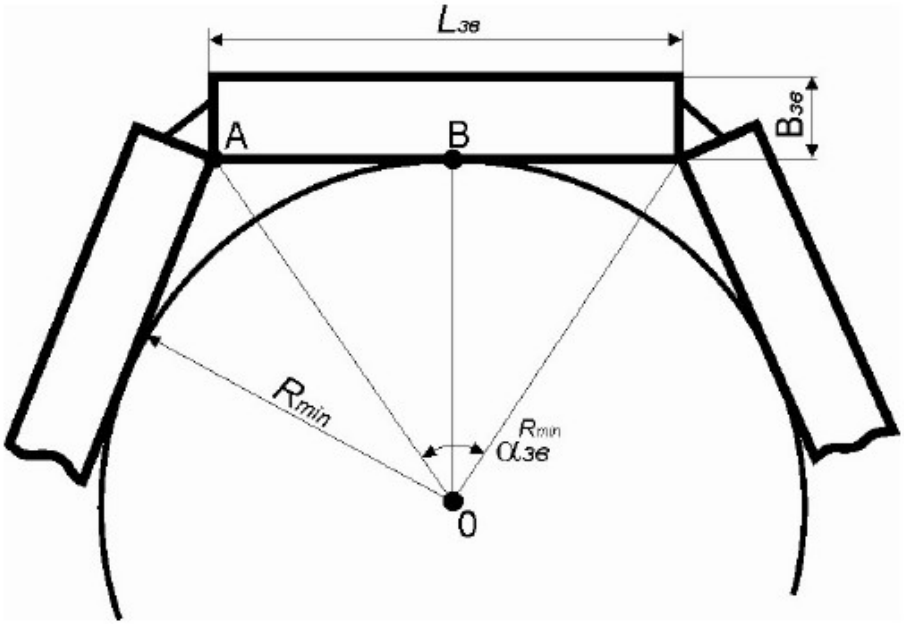


Рисунок 5.6 – Расчетная схема для оценки количества звеньев автопоезда, умещающихся вдоль внутренней окружности нормированного коридора

В соответствии с рисунком 5.3 для нахождения наибольшего количества звеньев автопоезда, умещающихся на внутренней стороне наружной окружности коридора, угол $\alpha_{зв}^{R_{min}}$ с учетом преобразований определяется как [4-А]

$$\alpha_{зв}^{Rmax} = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{L_{зв}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{B_{зв}^2 + R_{max}^2 - 2 B_{зв} R_{max} \sqrt{1 - \frac{L_{зв}^2}{4 R_{max}^2}}}} \right) \qquad 5.16$$

Исследование зависимостей (5.17-5.19) показывает (рисунок 5.4), что в регламентированный коридор как минимум могут безопасно вписаться 2 звена. При этом наружная и внутренняя окружности маневрирования ограничивают длину одного звена значением 19,455 м. В этом случае грузовместимость автопоезда может составить 255 м3 при высоте седла 1150 мм. Вдоль внутренней окружности Rmin= 5,3 м может вписаться и до 4-х звеньев, каждое из которых длиной до 10,6 м, с общей грузовместимостью 278,7 м3.

Рисунок 5.4 также показывает, что при движении автопоезда вдоль внутренней окружности, наибольшая грузовместимость достигается в случае использования 3-х звеньев и составляет 360,8 м3 при длине звена 18,3 м. Увеличение до 4-х или уменьшение до 2-х количества звеньев не дает ощутимого роста грузовместимости и при действующих ограничениях достигают соответственно до 278,7 и 255 м3.

Максимально в заданный коридор может безопасно вписаться до 3-х звеньев длиной до 19,1 м, 4-х звеньев длиной до 14,9 м, 5-ти звеньев длиной до 12,1 м, 6-ти звеньев длиной до 10,2 м, 7-ми звеньев длиной до 8,8 м. Дальнейшие исследования по увеличению количества безопасно вписываемых коридор звеньев является технически нецелесообразным, поскольку осуществляется за счет уменьшения длины каждого звена, что является нерациональным для осуществления автомобильных перевозок.

Из анализа рисунков 5.4 и 5.5 следует, что грузовместимость многозвенного автопоезда, ограниченного условиями проезда коридора маневрирования, с ростом количества звеньев более 4 (при одновременном уменьшении длины каждого звена) увеличивается незначительно. Так, по сравнению с 4-звенным автопоездом максимальная грузовместимость у 5-звенного автопоезда возрастает лишь на 1,5%; у 6-звенного – на 2,7 %; у 7-звенного – на 3,3 %.

При этом 3-звенный автопоезд проигрывает 4-звенному в максимальной грузоподъемности на 3,9%, а 7-звенному– на 7,5 %. 2-звенный автопоезд существенно проигрывает в грузоподъемности 3- и более звенным автопоездам ввиду ограничений, как было сказано выше, накладываемых на длину его звена размерами заданного маневрового коридора (коридора маневрирования).

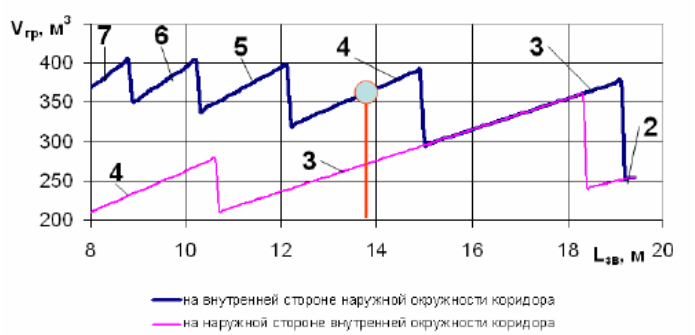


Рисунок 5.7 – Зависимость грузовместимости многозвенного автопоезда от длины грузового модуля и количества звеньев при обеспечении вписываемости в нормированный коридор

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при выборе конкретной конструктивной схемы многозвенного автопоезда необходимо руководствоваться как техническими, так и технико-экономическими критериями. Методика технико-экономической оценки использования многозвенных автопоездов для перевозки грузов разработана в главе 6. Она учитывает влияние конструктивных параметров на эксплуатационную эффективность многозвенных автопоездов и позволяет проводить их оптимизацию по критерию рентабельности.

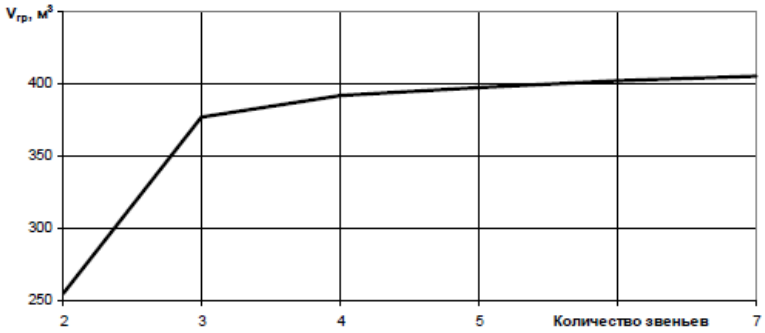


Рисунок 5.8 – Зависимость максимальной грузовместимости многозвенного автопоезда от количества звеньев при обеспечении заданного коридора маневрирования

Создание многозвенных автопоездов на базе получивших широкое распространение полуприцепов длиной 13,9 м является целесообразным с точки зрения организации процесса производства, унификации и т.п. Они способны безопасно вписываться в заданный коридор и совершать разворот на 360º максимально с 4 звеньями. Однако следует иметь в виду, что их грузовместимость на 7,2% уступает грузовместимости 4-звенных автопоездов с длиной звеньев 14,9 м (рисунке 5.4).

На практике водители существующих большегрузных и увеличенной длинны автопоездов никогда не движутся исключительно вдоль внутренней или внешней окружностей коридора маневрирования. В зависимости от длины автопоезда, накопленного опыта и собственных ощущений каждый водитель направляет автопоезд одним из двух способов: 1) контролирует движение передней наружной габаритной точки автопоезда (чаще следа переднего наружного управляемого колеса тягача) вдоль наружной окружности коридора маневрирования; 2) контролирует движение задней внутренней габаритной точки автопоезда вдоль внутренней окружности коридора маневрирования (чаще следа заднего внутреннего колеса полуприцепа). Это позволяет максимально использовать имеющуюся ширину коридора, чтобы исключить выход за его пределы и не нарушить безопасность дорожного движения.

Поэтому в ходе проектирования особую важность для разработчиков автопоездов и систем управления их движением представляет исследование маневрирования многозвенного автопоезда, когда наружное переднее колесо движется вдоль наружной окружности коридора и когда заднее внутреннее колесо движется вдоль внутренней окружности коридора. Это позволит оценить ширину занимаемого автопоездом коридора маневрирования, влияние количества звеньев и обоснованно выбирать параметры рулевого

управления автопоезда, количество управляемых осей, алгоритмы работы электронных систем автоматического безопасного управления движением автопоезда и др.

6.Оценка эффективности проектных решений

Для АТП кроме показателей расхода топлива и удельной производительности также важна экономическая оценка транспортной работы автопоезда. Ее целесообразно производить на основе общепринятых взаимосвязанных показателей рентабельности $R_{экспл}$, прибыли $П_{пер}$, полученной от использования АТС, и себестоимости транспортной работы

$$R_{экспл} = \frac{П_{пер}}{P_{пер}} 100\,\%$$

Рентабельность деятельности АТС учитывает максимальное число технических параметров, связанных с конструкцией автомобиля, приведенных к общей единице измерения. К таким параметрам относятся масса перевозимого груза (грузоподъемность); средняя техническая скорость на маршруте; расход топлива; удельная трудоемкость технического обслуживания и текущего ремонта; ресурс АТС до списания; количество ходовых шин на АТС; ресурс шины до списания; коэффициент использования парка. Себестоимость транспортной работы включает затраты на заработную плату, отчисления, страхования, топливо, смазочные материалы, шины, техническое обслуживание и ремонт, амотизационные отчисления, общехозяйственные расходы.

Результаты расчета. Рассмотрим возможности по реализации тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик, а также эффективность использования различных вариантов n-звенных автопоездов на ровном асфальтобетонном покрытии и проведем их сравнение с аналогами: автопоезд с седельным тягачом с колесной формулой 6×4 (двигатель 600 л.с., коробка передач типа ТМЗ 14,180, ведущие мосты с передаточным числом 3,45), подкатными (нетяговыми) модулями, трехосными полуприцепами (грузовыми модулями) грузоподъемностью 27600 кг; автопоезд с седельным тягачом с колесной формулой 6×4 (двигатель 800 л.с., коробкой передач типа ТМЗ 14,180, ведущие мосты с передаточным числом 3,45), подкатными (нетяговыми) модулями,

трехосными полуприцепами (грузовыми модулями) грузоподъемностью 27 600 кг; автопоезд с седельным тягачом с колесной формулой 4×2 (двигатель 435 л.с., коробка передач ZF 16S151, ведущий мост с передаточным числом 3,45), тяговыми модулями с ведущими мостами типа ZF AVE 130, двухосными полуприцепами (грузовыми модулями) грузоподъемностью 18 200 кг; автопоезд с седельным тягачом с колесной формулой 4×2 (двигатель 435 л.с., коробка передач ZF 16S151, ведущий мост с передаточным числом 3,45), тяговыми модулями, трехосными полуприцепами (грузовыми модулями) грузоподъемностью 27 600 кг. Для расчета экономических показателей исходные данные сформированы на основе информации заводов-изготовителей. Это относится к отпускной стоимости транспортных средств; моделям, нормам пробега к стоимости шин; стоимости 1 л топлива. В качестве аналогов примем следующие автопоезда с близкими параметрами общей массы и мощности двигателей тягачей МАЗ 54401908, Volvo FM, Mercedes Benz MB1844 LS ACTROS, IVECO Stralis AT440S45T/FP LT. Расчет показателей тягово-скоростных и топливно-экономических свойств выполнен для условий движения на асфальтобетонном шоссе с коэффициентом сцепления 0,8. Коэффициенты сопротивления качению шин принимались на основе данных ОАО «МАЗ» и рекомендаций изготовителей шин: передние оси тягачей —0,0038; задние мосты тягачей, тяговые и подкатные модули — 0,0042; оси полуприцепов — 0,0038.

Наибольшие значения максимальной скорости на горизонтальной дороге почти до 140 км/ч имеет автопоезд, приводимый в движение двигателем 800 л.с. в головном звене. Некоторое отставание от него у МАП с 600-сильным двигателем в головном тягаче. С увеличением количества прицепных звеньев соответственно уменьшается значение максимальной скорости. Так, автопоезд с 600-сильным двигателем в головном тягаче развивает скорость свыше 80 км/ч в составе 7 звеньев. Автопоезд с 800 сильным двигателем может двигаться по ровной дороге с указанной скоростью в составе 9 звеньев. Автопоезда, укомплектованные тяговыми модулями в звеньях, могут

развивать максимальную кинематическую скорость почти 88 км/ч. Можно считать это достаточным, поскольку при данной скорости не сдерживается транспортный поток на автомагистралях и она соответствует действующим в ряде европейских стран ограничениям. Большое влияние на тягово-скоростные свойства автопоездов оказывает повышение дорожного сопротивления. Требуемую скорость 35 км/ч набирают на 3 % подъеме только двухзвенные автопоезда без подкатных тяговых модулей, у которых тягач в головном звене оснащен 600-сильным двигателем, а также аналогичные трехзвенные автопоезда с 800-сильным двигателем в тягаче головного звена. Наиболее эффективен здесь автопоезд с тяговыми тележками и двухосными грузовыми модулями за счет того, что эти грузовые модули имеют меньшую полную массу. Автопоезд с мехатронными тяговыми тележками и трехосными грузовыми модулями набирает скорость выше 35 км/ч в составе 5 звеньев. Расход топлива на горизонтальной дороге имеет устойчивую тенденцию к росту с увеличением числа звеньев в составе автопоезда. Наибольший расход имеют автопоезда с мощными тягачами в головных звеньях и неактивными прицепными звеньями. Так, многозвенные автопоезда с 800-сильным двигателем в головном звене потребляют на 20-41 % больше топлива по сравнению с многозвенными автопоездами с тяговыми модулями и трехосными грузовыми модулями. Наименее экономичными являются двух, трех, четырех и десятизвенные сцепки. Это объясняется тем, что сверхмощным двигателям многозвенных автопоездов с неактивными прицепными звеньями приходится работать на менее экономичных режимах, с высокой тяговой нагрузкой и буксованием ведущих колес и без эффективного распределения мощности между звеньями и ведущими мостами тяговых модулей. Автопоезд с 600-сильным двигателем в головном звене способен разогнаться до 80 км/ч максимально с семью звеньями. При этом двигатель переходит в менее экономичную зону работы и, как следствие, такой семизвенный автопоезд имеет наивысшее значение расхода топлива 157 л/100 км. Наименьший расход топлива у многозвенных

автопоездов с тяговыми модулями и двухосными грузовыми модулями. В расчете на одно звено десятизвенного автопоезда средний расход топлива составит около 15,4 л/100 км. По сравнению с автопоездами с тяговыми модулями и трехосными грузовыми модулями отличия доходят до 14,6 % у 6-звенного автопоезда в связи с тем, что трехосные грузовые модули имеют большую полную массу. Вместе с тем, как показывают расчетные исследования, в многозвенных автопоездах с тяговыми модулями существуют варианты сцепок, которые наиболее интересны с технико-экономической точки зрения. В частности, двух, трех и четырехзвенные автопоезда с двухосными грузовыми модулями и двух и трехзвенные автопоезда с трехосными грузовыми модулями могут перевозить груз по ровной горизонтальной дороге без подключения двигателей в тяговых модулях последующих за головным звеном. Электронные системы управления можно настроить таким образом, чтобы эти двигатели подключались только в случае, когда автопоезд преодолевает дорожные подъемы. Для многозвенных магистральных автопоездов устанавливается общая закономерность: с ростом количества звеньев расход топлива на перевозку грузов одним звеном существенно уменьшается (рисунок 2). Для автопоезда с 600-сильным двигателем в головном звене расход уменьшается в 1,61 раза с 32,3 до 20 л/100 км в пятизвенном варианте. Для автопоезда с 800-сильным двигателем в головном звене расход уменьшается в 1,9 раза с 39,3 до 20,7 л/100 км в шести и восьмизвенном вариантах, для автопоезда с тяговыми модулями и двухосными грузовыми модулями в 2,11 раза с 30 до 14,2 л/100 км в четырехзвенном варианте. Для автопоезда с тяговыми модулями и трехосными грузовыми модулями в 1,92 раза с 30 до 15,6 л/100 км также в четырехзвенном варианте. Эти данные указывают на то, что использование многозвенных автопоездов по сравнению с классическими АТС существенным образом положительно сказывается на повышении экологической безопасности за счет почти двукратного снижения

потребления топлива и соответственно выбросов углекислого газа во время транспортировки грузов.

Показатель Пуд для автопоездов с тяговыми модулями практически прямо пропорционален количеству эксплуатируемых звеньев и интенсивно увеличивается для автопоездов с количеством звеньев равным 4 (рисунок 3).

Для четырехзвенной сцепки с трехосными грузовыми модулями он — наибольший и при скорости 80 км/ч равен 143,1 (ткм/ч)/(л/100 км). Для такой же сцепки с двухосными грузовыми модулями — 122,4 (ткм/ч)/(л/100 км).

Эти значения фактически являются экстремумами, поскольку начиная с 5 го звена эффективность автопоездов начинает уменьшаться и значения Пуд асимптотически уд приближаются соответственно к 132,1 и 113,6. Наибольшие значения удельной производительности у автопоездов с 600 и 800 сильными ДВС головных тягачей составляют соответственно 111,6 (ткм/ч)/(л/100 км) для пятизвенной сцепки и 107,7 (ткм/ч)/(л/100 км) для шести и восьмизвенных сцепок. Это на 22 % и 24,7 % меньше по сравнению с автопоездами с тяговыми модулями в звеньях и трехосными грузовыми модулями и на 8,8 % и 12 % по сравнению с автопоездами с тяговыми модулями в звеньях

и двухосными грузовыми модулями.

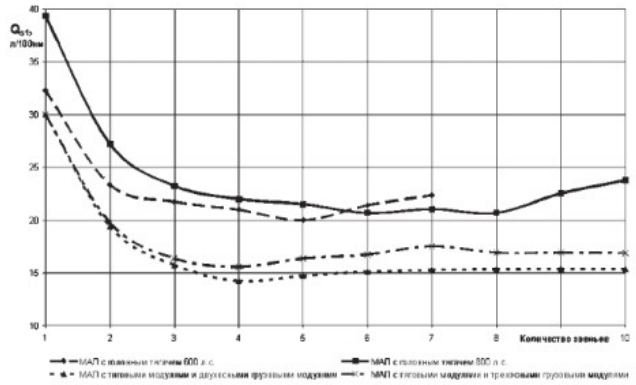


Рисунок 6.1 — Расход топлива в расчете на одно звено для различных вариантов многозвенных автопоездов при движении со скоростью 80 км/ч в зависимости от количества звеньев

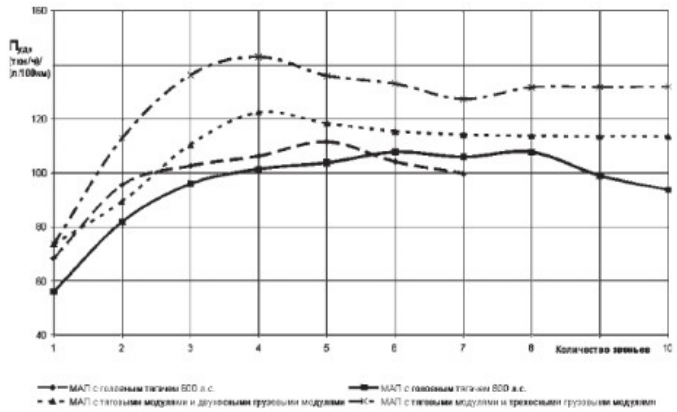


Рисунок 6.2 — Удельная производительность различных вариантов многозвенных автопоездов в зависимости от количества звеньев

При увеличении количества звеньев более 3 показатель Пуд автопоездов без тяговых модулей растет менее интенсивно, а после 5 — для 600 сильного и после 8 — для 800 сильного ДВС головного тягача автопоездов — убывает.

В целом анализ графика (рисунок 3) и данных расчета позволяет сказать, что наименьшую эффективность имеют автопоезда с 800-сильным двигателем в головном звене. Наиболее эффективны автопоезда с распределенными силовыми установками в тяговых модулях звеньев с количеством звеньев равным 4

Сравнение многозвенных автопоездов с лучшими отечественными и зарубежными аналогами показывает, что расход топлива в пересчете на одно звено у всех аналогов уступает всем типам рассмотренных

многозвенных автопоездов. Максимальные значения удельной производительности также существенно лучше, чем у всех классических вариантов однозвенных автопоездов. Наилучший показатель имеет МАП с тяговыми модулями в звеньях и трехосными полуприцепами. Его удельная производительность почти в 2 раза превышает возможности лучшего из выбранных аналогов с тягачом Mercedes Benz MB1844 LS ACTROS. Рассмотрим результаты расчета экономической эффективности эксплуатации всех указанных выше магистральных автопоездов на маршрутах протяженностью 1500 и 15 000 км. Считаем, что перед каждым автопоездом поставлена задача по перевозке 5000 тонн груза. Коэффициент

использования грузоподъемности примем равным 1, а максимальное количество рейсов в год составит 87 для расстояния доставки груза 1500 км и 13 для расстояния доставки груза 15 000 км. Линейные нормы расхода топлива приняты для умеренной климатической зоны на основе данных ОАО «МАЗ» и международных автомобильных перевозчиков, учитывают особенности климатических и дорожных условий, а также режимы эксплуатации (прогрев двигателей, холостой ход и т.п.). Для перевозки заданного объема груза классическим автопоездам аналогам (МАЗ, Volvo FM, Mercedes Benz MB1844 LS ACTROS, IVECO Stralis AT440S45T/FP LT) придется затратить не менее 2 лет на плече 1500 км и 14 лет на плече 15 000 км. С этими задачами десятизвенные автопоезда в составе тягача типа МАЗ 54401908 (435 л.с.), тяговых модулей и 3 осных полуприцепов типа МАЗ 975830 смогут справиться соответственно за 2,5 месяца и 1 год 5 месяцев. Ускорение доставки происходит практически пропорционально числу звеньев. Анализ этих данных говорит о том, что автопоезда классического типа будут наиболее эффективны при перевозках грузов на дальние расстояния. Для сверхдальних перевозок наиболее пригодны многозвенные автопоезда, поскольку сроки реализации поставленных задач на базе классических сцепок отодвигаются на бесконечное время. Использование многозвенных автопоездов позволяет значительно уменьшить себестоимость транспортных перевозок. Так, с ростом количества используемых звеньев у автопоездов с подкатными тележками себестоимость 1 ткм уменьшается до 1,85 раза, а у автопоездов с тяговыми модулями — до 1,63 раза. Уменьшение себестоимости ощутимо при использовании автопоездов в составе 4 звеньев. При использовании 5 и более звенных сцепок себестоимость асимптотически приближается к 238 руб. у автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 600 л.с., подкатных тележек и 3 осных полуприцепов; к 237 руб. у автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 800 л.с., подкатных тележек и 3 осных полуприцепов; к 210 руб. у автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых

модулей и 3 осных полуприцепов; к 257 руб. у автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей и 2 осных полуприцепов. Наиболее низкие значения себестоимости 1 ткм перевозки груза имеет автопоезд в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей и 3 осных полуприцепов за счет удачного сочетания грузовместимости с тягово скоростными возможностями каждого звена. При этом значение себестоимости у однозвенного аналога составляет 309 руб., что почти в 1,5 раза выше, чем у указанного выше многозвенного автопоезда. Практически аналогичные значения себестоимости имеют автопоезда и при выполнении перевозок на плече 15 000 км. Данные выполненного расчета указывают на то, что аналогично с ростом числа используемых звеньев уменьшаются и значения тарифов как на перевозку 1 т груза, так и на перевозку груза на 1 ткм. При этом заложенная нормативная рентабельность сохраняется одинаковой для всех рассматриваемых вариантов 20 %. Это говорит о том, что многозвенные перевозки способны существенно удешевить стоимость автотранспортных услуг, поскольку тариф на перевозку груза однозвенными автопоездами выше в 1,4 -1,9 раза, чем у многозвенных автопоездов. Размер чистой прибыли увеличивается как с ростом числа используемых звеньев, так и при увеличении расстояния по доставке грузов. Прибыль от использования многозвенных автопоездов становится еще более высокой при применении к ним одинаковых с однозвенными классическими аналогами тарифов в соответствии с законами рыночной экономики. Так, для автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей и двухосных полуприцепов она увеличивается до 2,2 раза; для автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 600 л.с., подкатных тележек и трехосных полуприцепов и автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 800 л.с., подкатных тележек итрехосных полуприцепов — до 2,8 раз; для автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей и 3 осных полуприцепов —

до 3,8 раза. Заслуживает особого внимания рассмотрение изменения величины чистой прибыли в расчете на одно звено, перевозящее груз. Наиболее высокие значения имеет многозвенный автопоезд в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей и 3 осных полуприцепов, которые приближаются к значению 154 млн. руб. Наиболее низкие значения прибыли в расчете на одно звено приходятся на автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей и двухосных полуприцепов, поскольку эти полуприцепы имеют более низкую грузоподъемность. Многозвенные автопоезда с подкатными тележками занимают промежуточное положение в образовании прибыли от перевозок. Автопоезд в составе головного тягача с двигателем мощностью 800 л.с. и 3-х осными полуприцепами лучшее значение прибыли (130,9 млн. руб.) имеет в составе 8-звенной сцепки, а с двигателем мощностью 600 л.с. и 3-осными полуприцепами (123,8 млн.руб.) — в составе 5-звенной сцепки. Чистая прибыль в расчете на одно звено прекращает увеличиваться с ростом числа эксплуатируемых в составе автопоезда звеньев. Для многозвенных автопоездов с тяговыми модулями это число звеньев составляет 4, для многозвенных автопоездов с подкатными тележками — 5 звеньев, если используется тягач с двигателем мощностью 600 л.с., и 6 звеньев, если используется тягач с двигателем мощностью 800 л.с. Следует сказать, что аналогичный характер имеют показатели чистой прибыли в расчете на одно звено для автопоездов при транспортировке грузов на расстояние 15 000 км. Сравнение данных показывает, что с увеличением плеча доставки грузов растет и величина прибыли в расчете на одно звено. Для автопоезда в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей и 3-осных полуприцепов чистая прибыль в расчете на одно звено увеличилась в 5,2 раза. При этом использование однозвенных автопоездов в составе тягача с двигателем мощностью 435 л.с. и двухосного прицепа, а также однозвенных автопоездов в составе тягача с двигателем мощностью 600 л.с. или с двигателем

мощностью 800 л.с. и трехосного полуприцепа является убыточным. К числу основных показателей оценки эффективности производства и эксплуатации новой техники относится срок окупаемости инвестиций. Результаты расчетов, проведенные для трехзвенных автопоездов, показывают, что наименьший динамический срок окупаемости инвестиций, равный 1,3 года, имеет многозвенный автопоезд в составе головного тягача с двигателем мощностью 600 л.с., подкатными (нетяговыми) модулями и трехосными полуприцепами. Наибольший срок — 5,5 лет, имеет автопоезд в составе головного тягача с двигателем мощностью 435 л.с., тяговых модулей, двухосных полуприцепов. Это объясняется наименьшей грузоподъемностью данного автопоезда, а, следовательно, небольшим объемом выполненной транспортной работы и низкими доходами от перевозок.

Выводы. Многозвенные автопоезда являются транспортными средствами, наилучшим образом приспособленными к транспортировке грузов на дальние и сверхдальние расстояния по сравнению с известными классическими аналогами. Наиболее эффективны многозвенные автопоезда в составе седельных тягачей, тяговых модулей и 3-осных полуприцепов, себестоимость перевозки 1 ткм груза у которых в 1,5 раза ниже по сравнению с классическими аналогами. Удельная производительность многозвенных автопоездов с тяговыми модулями в звеньях является наиболее высокой и на 25 % выше по сравнению с автопоездами в составе головных тягачей с двигателями высокой мощности и без использования тяговых модулей в звеньях. Так, для четырехзвенной сцепки с тяговыми модулями и трехосными грузовыми модулями этот показатель — наибольший и составляет 143,1 (ткм/ч)/(л/100 км), а для такой же сцепки с двухосными грузовыми модулями — 122,4 (ткм/ч)/(л/100 км). Поэтому формирование многозвенных автопоездов целесообразно осуществлять с использованием тяговых модулей и трехосных полуприцепов. Такие автопоезда достигают наивысших значений эффективности при числе звеньев свыше 4. При этом чистая годовая прибыль в расчете на одно звено достигает 780 млн. руб.

Заключение

1.Выполненный анализ позволил установить, что для обеспечения развития экономически активных регионов мира рядом стран быстрыми темпами создается перспективная сеть трансконтинентальных транспортных автомобильных магистралей. При этом автомобильными перевозчиками выдвигается ряд требований к новым транспортным средствам, направленным на коренное уменьшение затрат на транспортировку грузов и повышение их рентабельности. Установлены пути, по которым ведущие автомобильные компании осуществляют поиск направлений повышения экономической эффективности, безопасности (в т.ч. экологической) магистрального автомобильного транспорта. Основные перспективные конструктивные решения проходят исследования на концептуальных моделях. Среди применяемых первоочередных мер по повышению эффективности следует выделить совершенствование аэродинамических форм и уменьшение затрат мощности на аэродинамическое сопротивление. Ряд работ связан с совершенствованием двигателей внутреннего сгорания, применением новых шин, совершенствованием рабочего места водителя. Вместе с тем, выполненный анализ указывает, что классические магистральные автопоезда исчерпали свои возможности в коренном повышении показателей эффективности магистральных АТС. Анализ известных методов исследования и оптимизации схемно-структурных и компоновочных решений грузовых автомобилей и автопоездов показал, что они разработаны главным образом применительно к АТС традиционных компоновок и ограничивают исследователя в поиске новых способов построения транспорта. Поэтому существует и требует решения актуальный научный вопрос разработки концепции нового вида магистральных транспортных средств с активными управляемыми звеньями для обеспечения трансконтинентальных перевозок на базе нетрадиционных для отечественного автомобилестроения общих проектно-конструкторских решений, разрешающих существующее противоречие между потребностями

организаций-перевозчиков в более эффективных транспортных средствах для доставки грузов и теоретическим обоснованием разработки этих средств на отечественной промышленной базе с обеспечением требуемого уровня безопасности эксплуатации.

2. Еще в далеком прошлом начался процесс перехода промышленности к началам конструирования, производства и технического сервисного обслуживания товаров, основанного на модулях стандартизированного технологического блока. Для развития модульной архитектуры было характерно несколько этапов, которые и определили общий ход развития, связанного с инженерным проектированием. Можно предположить, что в основании модульных типов инженерных конструкций и применении технологических начал при выполнении производственных мероприятий, были стандартизированные заменяемые детали, которые стали применяться в процессах промышленной сборки с XIX в. Исходя из этого, начиная с момента проведения первой промышленной революции, вплоть до первых лет XX-го века, происходило последовательное движение к применению конструкций модульного типа, для чего были освоены технологии модульного конструирования и применения технологических узлов стандартизированного типа. В начале XX века, промышленностью было отработано все массовое производство, которое осуществлялось в отношении конструкций, не используемых стандартизированных узлов технического характера. В 60 – е годы прошлого века был очередной этап перехода к модульному производству, который выражался в создании платформ. Благодаря стремительному развитию, возникла «модульная революция». Основным ее проявлением стал переход не только к инструкциям модульного типа, а именно к платформам, на базе которых должны собираться готовые изделия. События, свидетельствующие о распространении модульных архитектур, указывают о том, что такие процессы базированы на зрелых технологиях. В результате использования модульных конструкций достигается требуемая гибкость производств и их

экономическая эффективность. Применение модульности, выступающей средством, при помощи которого осуществляется оптимизация технологического процесса, позволяет создавать новую продукцию в то время, когда имеются базовые образцы.

3. Принцип модульного построения автомобильных транспортных средств находит все более широкое применение в связи с тем, что он дает возможность получить существенные преимущества в процессе проектирования, производства и эксплуатации транспорта. Это создает важные предпосылки для его более широкого использования в магистральном автомобилестроении. Определено, что выделение модулей разного уровня в конструкциях изделий зависит от степени детализации и использования модулей в производстве и эксплуатации. Поэтому применительно к техническим объектам рассматриваются следующие виды модульности: микромодульность, модульность среднего уровня и макромодульность.

4. Параметры общей массы, длины, а также количество прицепных звеньев у многозвенных автопоездов существенно отличаются от установленных законодательно. Это ставит ряд задач по научному обоснованию значений конструктивных параметров, чтобы многозвенные автопоезда вписывались в существующую дорожную инфраструктуру. Это позволит обеспечить их безопасную эксплуатацию с различным числом звеньев. Поэтому появилась необходимость в развитии вопросов теории, которые позволили бы осуществлять выбор основных массогеометрических параметров и компоновочных решений модульных автопоездов при проведении проектных и компоновочных работ. Это требуется в первую очередь для того, чтобы многозвенные транспортные средства обладали комплексом рациональных и эффективных решений, не создавали помех участникам дорожного движения и разрушений дорожных сооружений по маршрутам следования. В качестве основных параметров многозвенных автопоездов в общем виде рекомендуется рассматривать сцепную массу, осевые нагрузки, колесные

формулы, габаритную длину, мощности источников энергии. При выборе габаритной длины звеньев и автопоезда следует принимать во внимание требования стандартов к максимальным разрешенным габаритам транспортных средств при движении по дорогам, необходимую грузовместимость, требования к маневренности и предпочтительную для заказчика компоновочную схему. Для грузовых автомобилей наиболее распространены четыре варианта компоновочных схем, которые характеризуются взаимным расположением кабины и двигателя: капотная компоновка - двигатель над передним мостом, кабина за двигателем, короткокапотная компоновка - двигатель над передним мостом, кабина частично надвинута на двигатель, кабина над двигателем- двигатель над передним мостом, кабина над двигателем, передняя кабина- двигатель сзади переднего моста, кабина максимально сдвинута вперед. С учетом сказанного целью получения наилучших компоновочной схемы и основных массогеометрических параметров многозвенного модульного магистрального автопоезда является нахождение таких значений его геометрических параметров, при которых достигается использование максимальной грузоподъемности при обеспечении заданных нагрузок на оси, маневренности, а также сохранении мобильности при преодолении заданных уклонов.

5. В рамках предложенной концепции следует рассмотреть основные технико-экономические преимущества нового вида транспортных средств с различных позиций. Во-первых, это можно сделать на основе сравнительного анализа мощностного баланса многозвенного автопоезда с автопоездами классических типов. Во-вторых, дальнейший анализ баланса мощности на асфальтобетонном шоссе показывает, что благодаря уменьшению аэродинамического сопротивления для движения автопоезду в составе трех грузовых модулей будет достаточно использовать двигатели суммарной мощностью 900-1000 л.с. В-третьих, преимущества от применения, предлагаемого в диссертации нового вида транспортных средств по

сравнению с традиционными видами транспорта характеризуют данные, представленные на рисунке 5.1 [1–А], полученные с учетом данных [20]. Отмеченные преимущества применения магистральных автопоездов увеличенной длины, а, следовательно, и увеличенной по сравнению с традиционной грузоподъемностью и грузовместимостью находят подтверждение и практическое применение в реальной эксплуатации. Таким образом, модульные многозвенные автопоезда представляют собой новый вид магистрального автотранспорта для перевозки грузов и наиболее перспективный путь совершенствования и повышения грузоподъемности, грузовместимости, экологической безопасности, уровня комфортабельности и уменьшения потоков грузового транспорта на дорогах. Приведенные данные свидетельствуют о том, что при выборе конкретной конструктивной схемы многозвенного автопоезда необходимо руководствоваться как техническими, так и технико-экономическими критериями. Методика технико-экономической оценки использования многозвенных автопоездов для перевозки грузов разработана в главе 6. Она учитывает влияние конструктивных параметров на эксплуатационную эффективность многозвенных автопоездов и позволяет проводить их оптимизацию по критерию рентабельности.

6. Выполненные расчеты показали, что многозвенные автопоезда являются транспортными средствами наилучшим образом приспособленными к транспортировке грузов на дальние и сверхдальние расстояния. Формирование многозвенных автопоездов целесообразно осуществлять с использованием тяговых модулей и трехосных грузовых модулей. Такие автопоезда достигают наивысших значений эффективности при числе звеньев свыше 4. При этом чистая годовая прибыль в расчете на одно звено достигает 780 млн. руб. Для автопоездов, имеющих источники энергии только в головном тягаче, эффективными являются сцепки в составе не менее 5 звеньев. Предложена номенклатура основных моделей многозвенных автопоездов, которые должны быть отражены в структуре типажа.

Типоразмерный ряд многозвенных магистральных автопоездов предусматривает создание перспективных АТС с максимальными общими массами и предельно допустимыми осевыми нагрузками, как в странах СНГ, так и в странах ЕС. Использование принципа модульного построения позволяет создавать унифицированные семейства перспективных автопоездов и сократить объем конструкторских работ и сроков проектирования, освоения и подготовки производства.

Библиографический список

1. Международное движение строителей Северной Цивилизации «ПРОДВИЖЕНИЕ», проект ЕРАА (ERAA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.headway.us/article.php?t=11.

2. Межправительственное Соглашение по сети азиатских автомобильных дорог // Центр новостей ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: //www.un.org/russian/news/fullstorynews.asp?newsID=3963#.

3. Минский автомобильный завод [Электронный ресурс] / Каталог автотехники МАЗ. Седельные тягачи. – Минск, 2011. – Режим доступа : http://maz.by/tyagachi.pdf.

4. Об утверждении методических рекомендаций по оценке эффективности научных, научно–технических и инновационных разработок: постановление Нац. акад. наук Беларуси, Гос. комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, 3 января 2008 г. № 1/1 // Белорусский правовой портал [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: http://www.pravoby.info//dokcom09/part07/art07357.html.

5. Бородин, П. Письмо Президенту Российской Федерации / П. Бородин, Е. Гринев // Фонд развития России [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: http://www.frrussia.ru/page.php/page_php.html

6. Батыгин, А. Коридор в Азию. Самый перспективный проект Союзного государства / А. Батыгин // СОЮЗ. Беларусь–Россия. – 2007. – №44. – С. 3.

7. Стоимость российско-белорусского транспортного коридора составит 4 триллиона долларов // TUT.BY:Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://news.tut.by/99706.html.

8. Волянюк, В. Важная магистраль / В. Волянюк // СБ Беларусь сегодня = Советская Белоруссия. – 2008. – 25 апр. – С. 2.

9. В 2010 году на дороги будет потрачено 274 миллиарда рублей. // Дороги [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://autorambler.ru/journal/road/12.03.2010/560958226/.

10. О подписании межправительственного соглашения по сети азиатских автомобильных дорог: постановление Совета Министров Рос. Федерации, 26 апр. 2004 г., № 224: Принят Правительством РФ 26 апр. 2004 г. // Информац. поисковая система «Закон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vcom.ru/cgi-bin/db/zakdoc?_reg_number=%D00401641.

11. Транспорт в Австралии // Компания «Австралийские каникулы» [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www.australiaholidays.ru/Avstraliya/Spravka/Transport-v-Avstralii/

12. SANRA // South African National Roads Agency [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www.nra.co.za/live/index.php.

13. Welcome to the Interstate-Guide! // AARoads. Interstate Guide [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www.interstate-guide.com.

14. Жарко, О. Вслед за Никитиным и Колумбом / О. Жарко //Автоперевозчик. – 2007. – №7. – С. 27.

15. FISITA 2004 World Automotive Congress: Book of abstracts / Barcelona (Spain), 23-27 May 2004. – Barcelona: STA, 2006. – 498 p.

16. FISITA 2006 World Automotive Congress: Book of abstracts / Yokohama (Japan), 22-27 Oct. 2006. – Yokohama: SAE of Japan, 2006. – 518 p.

17. FISITA 2008 World Automotive Congress: Book of abstracts / Munich (Germany), 14-19 Sept 2008. – Munich: VDI, 2008. – 451 p.

18. FISITA 2010 World Automotive Congress: Book of abstracts / Budapest (Hungary), 30 May-4 Jun. 2010. – Budapest: GTE, 2010. – 485 p.

19. Кузьмина, В. Мотор-шоу по-европейски / В. Кузьмина //Автоперевозчик. – 2004. – №12. – С. 18-33.

20. Лапшин, Ф. Записки машиниста / Ф.Лапшин // Авторевю. Грузовики и автобусы. [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: http://trucks.autoreview.ru/archive/2007/07/autotrain

21. Шведы предлагают способ повышения производительности автопоездов // Автомобильный транспорт. – 1997. – №7. – С. 45-46.

22. Автопоезда Австралии // Дальний бой. Грузовики и тягачи Америки и Европы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://heavytruck.narod.ru/Sborka/Austral.html

23 Автомобили IVECO: EuroStar // ТПК-Инфо – официальный дилер IVECO в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ivecorussia.com.

24. Лапшин, Ф. Австралийский дневник / Ф. Лапшин [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: http://heavytruck.narod.ru/Sborka/Australia.html

25. Moving Freight with Better Trucks // International Transport Forum [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/infrastructure/heavyveh/TrucksSum.pdf.

26. Performance based standards scheme, the vehicle standards and assessment rules // National Transport Commission, Melbourne. – Australia, 2009. – 76 p.

27. Магистральные модульные автопоезда: пояснительная записка. – Минск: МАЗ, 1980. – 31 с.

28. МАЗ-2000 [Электронный ресурс]. – 2005. Режим доступа: http://modulcar.h1.ru/maz2000.html

29. Автопоезд, два варианта: пат. на промышленный образец № 1053977 Великобритания, МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, Г.А. Исаевич, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко; заявитель Минский автомобильный завод. – № з 00017204001; заявл.3.10.88, опубл.3.10.93 // The Patents and Designs Journal (Бюллетень патентов и промышленных образцов). –1993.– №9. – С. 182-183.

30. Автопоезд, два варианта: пат. на промышленный образец № 1058143 Великобритания, МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, Г.А. Исаевич, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко; заявитель Минский автомобильный завод. – № з 00017204002; заявл. 23.03.89, опубл. 3.10.93 // The Patentsand Designs Journal (Бюллетень патентов и промышленных образцов). –1993. – №11. – С. 175-176.

31. Автопоезд, два варианта: пат. на промышленный образец № 24678 СССР,

МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.Ф. Полоневич, Г.А. Исаевич, С.И. Вантух, Ю.Н. Жутяев, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко, Т.Н. Пилосян, А.И. Овсянников, В.Л. Солнце, С.А. Хлебородова, М.Я. Элькинд; заявитель Минский автомобильный завод. – № з 48476, 48479; заявл. 25.10.88, опубл.15.09.92 // Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1992. – №3. – С. 9-10.

32. Автопоезд, два варианта: пат. на промышленный образец № 46283 Швеция, МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, Г.А. Исаевич, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко; заявитель Минский автомобильный завод. – № 1988/2170; заявл. 26.09.88,опубл. 12.08.89// Svensk Patenttidning (Шведский патентный бюллетень). – 1989. – №7. – С. 36-37.

33. Автопоезд, два варианта: пат. на промышленный образец № 885961 Франция, МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, Г.А. Исаевич, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко; заявитель Минский автомобильный завод. – № з 885961-001; заявл.27.09.88, опубл. 4.10.89 // Bulletin Officiel de la Propriete Industrielle: Dessins et Modeles. Официальный бюллетень промышленной собственности: Промышленные рисунки (Образцы и промышленные модели). – 1989. – №4. – С. 252.

34. Автопоезд, два варианта: пат. на промышленный образец № 8902370 ФРГ, МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, Г.А. Исаевич, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко; заявитель Минский автомобильный завод. – № з AKZ M8902370.6; заявл.23.03.89, опубл. 10.09.90 // Geschmacksmusterblatt (Бюллетень промышленных образцов). – 1990. – №10. – С. 265.

35. Автопоезд, два варианта: пат. на промышленный образец № 891884 Франция, МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, Г.А. Исаевич, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко; заявитель Минский автомобильный завод. – № з 891884-001; заявл.17.03.89, опубл. 27.02.90 // Bulletin Officiel de la Propriete Industrielle: Dessins et Modeles (Официальный

бюллетень промышленной собственности): Промышленные рисунки (Образцы и промышленные модели). – 1990. – №2. – С. 127.

36. Автопоезд: пат. на промышленный образец 328880 США, МКПО 12/97 /М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.Ф. Полоневич, Г.А. Исаевич, С.И. Вантух, Ю.Н. Жутяев, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко, Т.Н. Пилосян, А.И. Овсянников, В.Л. Солнце, С.А. Хлеборобова, М.И. Элькинд; заявитель Минский автомобильный завод. – № з 07/326,234; заявл. 20.03.89; опубл. 25.08.92 // Official Gazette of the United States Patent and Trademark Office Patents. – 1992. –№7. – С. 61.

37. Автопоезд: пат. на промышленный образец № 8802131 ФРГ, МКПО 12-08 / М.С. Высоцкий, В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, Г.А. Исаевич, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко; заявитель Минский автомобильный завод. – № з AKZ M8802131.9; заявл. 28.09.88, опубл. 24.05.89 // Geschmacksmusterblatt (Бюллетень промышленных образцов). – 1989. – №12. – С. 94.

38. Грузовой магистральный автопоезд: а.с. 1532416 СССР, МПК4 В 62 D 53/06 / С.А. Иванюшенко, М.С. Высоцкий, А.П. Мышко, В.Н.Сиволобов; Минский автомобильный завод. – № з 4144363; заявл. 03.11.86; опубл. 30.12.89/ Открытия. Изобретения. – 1989. – №48. – С.124.

39. Модульная конструкция транспортного средства: а.с. 1541103 СССР, МПК4 В 62 D 5 3/00 / В.Н. Сиволобов, С.И. Вантух, М.С. Высоцкий, С.А. Иванюшенко, А.П. Мышко, С.В. Селиванов; Минский автомобильный завод. –№ з. 4262667; заявл. 15.06.87; опубл. 07.02.90 // Открытия. Изобретения. – 1990.– №5. – С. 98.

40. Грузовик будущего // HiZone.info: Новости [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: http://www.hizone.info/index.html?di=200210275.

41. Isuzu представил концепт грузовика будущего // Autonews: Новости [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: http://www.autonews.ru/automarket_news/index.shtml?/2002/10/29/1111532.

42 Автопоезд Blade Runner дружит с железной дорогой [Электронный ресурс].–Режим доступа: http://www.membrana.ru/articles/inventions/2004/03/15/213700.html.
43. Lank, C. Electronically coupled trucks - a step towards future mobility / C. Lank, S. Deutschle // III International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists, 19-21 May 2010, Poznań. – Poland, 2010. – P.5.
44. The konvoi project - development and investigation of truck platoons on highways / S. Deutschle [and other] // FISITA 2010 Paper. – 2010. – F2010E055. –10 p.
45. Use of Electronically Linked Konvoi Truck Platoons on Motorways / S. Deutschle [and other] // ATZ Autotechnology. – 2010. – №4. – P. 11-14.
46. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ: учеб. пособие / под ред. М. С. Липецкой, С. А. Шмелевой. – СПб., 2013. — 80 с.
47. Большая Советская Энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – Москва: Советская энциклопедия, 1974. – Т.16. – С. 406-407
48. Васильев, А.Л. Модульный принцип формирования техники / А.Л. Васильев. – Москва: Изд-во стандартов,1989. – 240 с.
49. Виговский, А. Концепция модульного легкового автомобиля / А. Виговский // Профессиональный ресурс об автомобильном дизайне [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: http://www.cardesign.ru/ ru/articles/details2002-16.html.
50. 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/
51. Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 52389-2005. – Введ. 01.01.07. – Москва, 2005. – 36 с.
52. Директива Совета от 25 июля 1996 г., устанавливающая для некоторых дорожных транспортных средств, циркулирующих в пределах Евросоюза,

максимальные размеры и максимальный вес: 96/53/ЕС. – Введ. 17.09.96. – Official Journal of the European Union: Совет ЕС, 1996. – 22 с.

53. Евграфов, А.Н. Аэродинамика колесного транспорта / А.Н. Евграфов, М.С. Высоцкий. – Минск: НИРУП Белавтотракторостроение, 2001. – 368 с.

54. Чехута, В. Транспортное будущее Европы / В. Чехута // Мир тяжелых моторов. – 2010. – №1. – С. 13.

55. Топалиди, В.А. Модульный принцип формирования автопоездов для перевозок грузов Европа–Азия / В.А. Топалиди // Автомобильная промышленность. – 2008. – №6. – С. 38-40.

56. Грузовые автомобили / М.С. Высоцкий [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1979. – 384 с.

57 Минский автомобильный завод [Электронный ресурс] / Каталог автотехники МАЗ. Полуприцепы. – Минск, 2011. – Режим доступа: http://maz.by/Polupricepy.pdf.

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

2-А. Разработка методов исследования и проектирования модульных транспортных средств: отчет о НИР (заключ.) / ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»; науч. рук. акад. М.С. Высоцкий. – Минск,2010. – 278 с.

3-А. Модульные принципы построения автопоездов для междугородных, международных и трансконтинентальных перевозок грузов: отчет о НИР (заключ.) / ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»; науч. рук. акад. М.С. Высоцкий. – Минск, 2008. – 50 с.

4-А. Харитончик, С.В. Обоснование габаритных параметров звеньев многозвенного автопоезда / С.В. Харитончик // Приводная техника. – 2011. – №5. – С. 21–28.