



МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 629.114.4

М.С. ВЫСОЦКИЙ, академик, С.В. ХАРИТОНЧИК, канд. техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЗВЕННЫХ АВТОПОЕЗДОВ

В статье рассматриваются вопросы оценки эффективности использования магистральных многозвенных автопоездов на основе показателей тягово-скоростных свойств, топливной экономичности и рентабельности. Предложенные методики позволяют выбирать оптимальный вариант комплектования автопоезда для заданных условий эксплуатации.

Ключевые слова: автопоезд, многозвенный автопоезд, тягово-скоростные свойства, топливная экономичность, электродвигатель, тяговый модуль

Введение. Одним из перспективных направлений развития грузовой автомобильной техники, которым в последние годы активно занимаются ведущие мировые производители, являются автопоезда повышенной длины и соответственно повышенной грузоподъемности. Разработчики и эксплуатирующие организации отмечают их высокую эффективность при перевозке грузов [1, 2]. Более конкурентоспособным представляется использование многозвенных автопоездов [3, 4].

Вместе с тем, можно отметить отсутствие комплексных подходов к проведению сравнительной оценки эффективности применения магистральных автопоездов нового и традиционного типов. Здесь следует учитывать как технические, так и экономические аспекты. Поэтому представляется целесообразным такую оценку проводить на основе не только сравнения показателей эксплуатационных и потребительских свойств, но и с их учетом применить удельные показатели, такие как удельная производительность и рентабельность, характеризующие экономическую сторону эффективности использования транспортных средств.

В работе [5] приведен пример согласованной оценки мобильной машины и ее трансмиссии на основе скоростных свойств, расхода топлива и ресурса. Это позволяет перейти к расчету показателя конкурентоспособности.

В работе [3] рассмотрены различные варианты формирования многозвенных автопоездов (МАП), где под одним звеном понимается единица транспортного сред-

ства в составе тягового / нетягового подкатного и грузового модулей. Наиболее простой — автопоезд, имеющий головной тягач и прицепные звенья без ведущих колес. Расчет тягово-скоростных свойств, топливной экономичности и удельной производительности такого автопоезда аналогичен расчету хорошо известных классических прицепных автопоездов [6 и др.].

Иначе следует подходить, если автопоезд состоит из звеньев, каждое из которых имеет собственный источник энергии и, например, электромеханическую трансмиссию (рисунок 1), т.е. построен на базе мехатронных модулей и систем. В данном случае расчет тягово-скоростных свойств необходимо проводить с учетом принципа общего согласованного функционирования звеньев в составе МАП. Во время движения источники энергии и трансмиссия обеспечивают заданную водителем скорость движения. Это означает, что звенья в автопоезде обеспечивают синхронное движение, а усилие в сцепном устройстве между звеньями стремится к нулю [7].

Расчет тягово-скоростных свойств и топливной экономичности многозвенного автопоезда. Водитель многозвенного автопоезда воздействует на педаль газа и задает скоростной режим движения тягачу головного звена и соответственно всему автопоезду. Электронная система управления движением автопоезда анализирует действия водителя и в соответствии с ними управляет подачей топлива в тяговых модулях 5 (см. рисунок 1). В этом случае

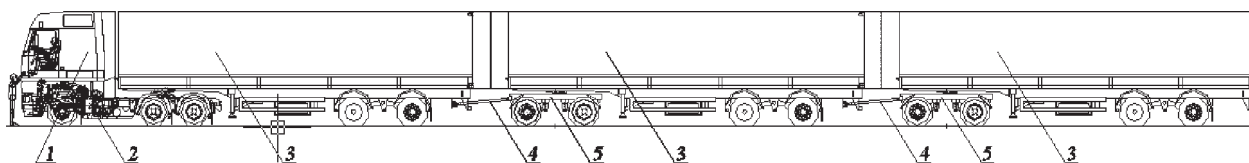


Рисунок 1 — Укрупненная структура модульного многозвенного автопоезда с активными мехатронными тяговыми модулями:
1 — кабина, 2 — тяговый модуль, 3 — грузовой модуль, 4 — сцепное устройство, 5 — подкатной тяговый модуль

скорость движения V_a и окружная сила F_k на ведущих колесах тягача равны [6]:

$$V_a = 0,377 \frac{n \cdot r_k}{i_{к.п.} \cdot i_{з.м.}}, \quad (1)$$

$$F_k = \frac{M(n) \cdot i_{к.п.} \cdot i_{з.м.} \cdot \eta_T}{r_k}, \quad (2)$$

где n — частота вращения коленчатого вала двигателя; r_k — радиус качения колес тягача; $i_{к.п.}$ — передаточное число коробки передач; $i_{з.м.}$ — передаточное число ведущего моста; $M(n)$ — значение крутящего момента на внешней скоростной характеристике двигателя при соответствующей частоте вращения n коленчатого вала; η_T — КПД трансмиссии тягача.

При применении электропривода ведущих колес в тяговых модулях 5 частота вращения вала электродвигателя $n_{эд}$ при скорости автопоезда V_a определяется по формуле:

$$n_{эд} = \frac{V_a \cdot i_{тТ}}{0,377 \cdot r_k}, \quad (3)$$

где $i_{тТ}$ — передаточное число моста тягового модуля.

На основе значений $n_{эд}$ по механической характеристике электродвигателя определяется крутящий момент, а также окружная тяговая сила на каждом ведущем колесе каждого тягового модуля аналогично выражению (2). Для определения общей окружной силы тяговых модулей $F_{к.тяг.мод}$ найденная окружная сила колеса удваивается, поскольку на одном ведущем мосту устанавливается по два электродвигателя, и умножается на количество прицепных звеньев автопоезда $N_{зв}$. В этом случае динамический фактор автопоезда D можно рассчитать как:

$$D = \frac{F_{к.гол.зв} + N_{зв} \cdot F_{к.тяг.мод} - F_{W_{гол.зв}} - N_{зв} (K_{w.кор} \cdot F_{W_{гол.зв}})}{M_a \cdot g}, \quad (4)$$

где M_a — полная масса автопоезда; $F_{к.гол.зв}$ — окружная сила на ведущих колесах головного звена; $K_{w.кор}$ — корректирующий коэффициент воздушного сопротивления для прицепных звеньев автопоезда.

Корректирующий коэффициент $K_{w.кор}$ выбирается с учетом того, что каждое последующее звено (тяговый модуль + грузовой модуль) фактически является прицепным звеном по отношению к предыдущему звену. При наличии прицепа коэффициент сопротивления (коэффициент обтекаемости при неизменной плотности воздуха) принимается на 20 ... 30 % большим для автопоезда по отношению к одиночному автомобилю [6]. Поэтому считаем возможным принять, что для каждого прицепного звена коэффициент сопротивления увеличивается на 20 % по отношению к головному звену.

С учетом сказанного общее сопротивление воздуха МАП F_W рассчитывается по выражению:

$$F_W = F_{W_{гол.зв}} + N_{зв} K_{w.кор} F_{W_{гол.зв}} = (1 + N_{зв} K_{w.кор}) K_B \frac{A_B \cdot V_a^2}{3,6^2}, \quad (5)$$

где A_B — площадь поперечного сечения автопоезда.

Тогда общий коэффициент обтекаемости многозвенного автопоезда равен $(1 + K_{w.кор} N_{зв}) K_B$.

Расход топлива автопоезда определяется суммированием расходов топлива всех звеньев, рассчитанных по методике [8] с учетом того, что для обеспечения указанного выше синхронного движения звеньев их двигатели могут работать на частичных режимах.

На основе данных о расходе топлива и скорости движения можно рассчитать показатели удельной производительности $\Pi_{уд}$ многозвенного автопоезда, перевозящего груз массой $m_{гр}$, определяется по общепринятому для автотранспортных средств (АТС) выражению [9 и др.]:

$$\Pi_{уд} = m_{гр} V_a / Q_s. \quad (6)$$

Экономическая эффективность многозвенных автопоездов. Для предприятий автотранспортной сферы помимо 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 $\Pi_{пер}$, полученной от использования АТС, и себестоимости транспортной работы $P_{пер}$:

$$R_{экспл} = \frac{\Pi_{пер}}{P_{пер}} 100 \%. \quad (7)$$

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, амортизационные отчисления, общезастойные расходы.

Результаты расчета. Рассмотрим возможность 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 заводоизготовителей на 20.08.2011. 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 MA3-54401908, 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 рекомен-

даций 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 87 км/ч.

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 суще-

ствуют 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 $\Pi_{уд}$ 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 $\Pi_{уд}$ асимптотически 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

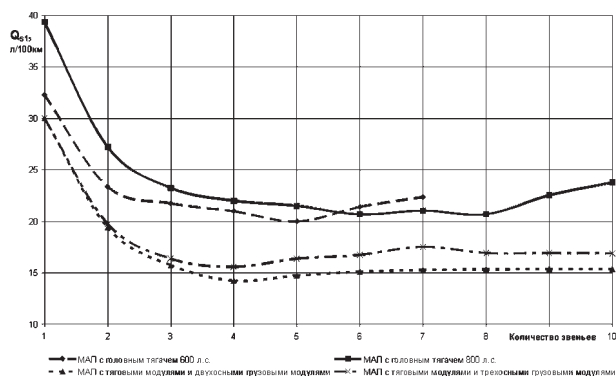


Рисунок 2 — Расход топлива в расчете на одно звено для различных вариантов многозвенных автопоездов при движении со скоростью 80 км/ч в зависимости от количества звеньев

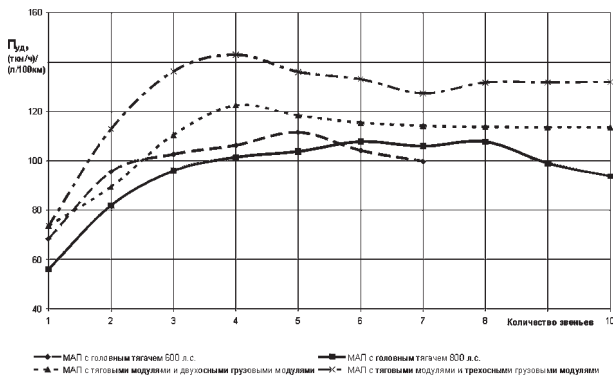


Рисунок 3 — Удельная производительность различных вариантов многозвенных автопоездов в зависимости от количества звеньев

и трехосными грузовыми модулями и на 8,8 % и 12 % по сравнению с автопоездами с тяговыми модулями в звеньях и двухосными грузовыми модулями.

При увеличении количества звеньев более 3 показатель $P_{уд}$ у 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 (рисунок 4), 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 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

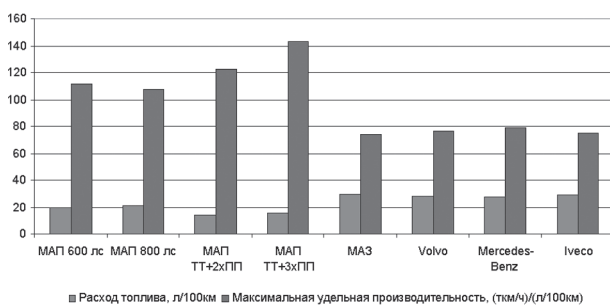


Рисунок 4 — Сравнение различных вариантов многозвенных автопоездов с отечественными и зарубежными аналогами

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 пяти- 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 грузоподъемности 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 клас-

сическими 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 и трехосных 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-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.

Список литературы

1. Лапшин, Ф. Записки машиниста / Ф. Лапшин // Авторевию. Грузовики и автобусы. — 2008. — Режим доступа: <http://ucks.autoreview.ru/archive/2007/07/autotrains/>. — Дата доступа: 17.03.2008.
2. Топалиди, В.А. Модульный принцип формирования автопоездов для перевозок грузов Европа — Азия. / В.А. Топалиди // Автомобил. пром-сть. — 2008. — № 6. — С. 38—40.
3. Высоцкий, М.С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий, С.И. Кочетов, С.В. Харитончик. — Минск: Беларус. навука, 2011. — 392 с.
4. Реализация принципов модульности для перспективных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2008. — № 3. — С. 5—8.
5. Альгин, В.Б. Комплексная оценка мобильной машины и ее трансмиссии на концептуальной стадии проектирования / В.Б. Альгин, В.М. Сорочан // Механика мобильных машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 3. — С. 5—13.
6. Гришкевич, А.И. Автомобили: Теория: учеб. для вузов / А.И. Гришкевич. — Минск: Выш. шк., 1986.
7. Preliminary optimization of general-arrangement decisions of multilink trucks for virtual design / M. Vysotski [et al.] // FISITA 2008: World Automotive Congress, Munich, Germany, Sept. 14—19, 2006. — F2008-04-29.
8. Тяговая динамика и топливная экономичность автомобиля с механической трансмиссией: учеб.-метод. пособие / О.С. Руктешель [и др.]. — Минск: БНТУ, 2000.
9. Литвинов, А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.

Vysotski M.S., Kharytonchik S.V.

Efficiency evaluation of using for multilink trucks

The efficiency evaluation of using for multilink trucks on the basis of performance the traction and speed characteristics, fuel efficiency and profitability are considered in the paper. The proposed techniques allow to choose the best option for the of truck in specified operating conditions.

Поступила в редакцию 28.10.2011.