

СЕКЦИЯ 1
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 629.113.075

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ
И УЗЛОВ ТРАНСМИССИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

А.А. Дюжев¹, к.т.н., ген. директор, С.В. Харитончик¹, д.т.н., доцент,
А.Г. Выгонный¹, к.т.н., Р.Э. Шейбак¹, М.М. Дечко², к.т.н.

¹ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», ²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

Уровень развития автотранспортной системы государства - один из важнейших признаков технологического прогресса. Автопарк для грузовых перевозок является одной из главных экономических подсистем народного хозяйства страны и его совершенствование является актуальной задачей для дальнейшего экономического роста организаций и субъектов хозяйствования Республики Беларусь.

В данной работе решается задача повышения эксплуатационной эффективности автопоезда увеличенной длины типа EuroCombi (таблица 1) методом многокритериальной оптимизации параметров двигателя и узлов трансмиссии.

В качестве критериев эксплуатационной эффективности выбраны показатели, влияющие на производительность автотранспортного средства (АТС): тягово-скоростные свойства и топливная экономичность по ГОСТ 21398-89, ГОСТ 22576-90 и ГОСТ 20306-90 (таблица 2). В качестве ограничений введены нормируемые показатели, численное значение которых оговорено стандартами, а также - отсутствие буксования ведущих колес на 3-й передаче. Практика показывает, что первые передачи магистральные автопоезда используют при неполной загрузке двигателя, когда требуется движение с небольшими скоростями, а не для обеспечения требуемого тягового усилия. Поэтому вводим дополнительное ограничение в виде бинарной переменной Slip, нулевое значение которой говорит об отсутствии буксования на 3-ей передаче. В таблице 3 приведены варьируемые параметры двигателя и трансмиссии и допустимые диапазоны их изменения при определении наилучшего варианта.

Математическая модель двигателя, используемая для определения тягово-скоростных свойств и топливной экономичности, построена на основе анализа внешней скоростной характеристики (ВСХ) и многопараметровых характеристик (МПХ) с последующим использованием множества вариантов ВСХ и МПХ реально существующих двигателей. Для расчета части

критериев использовалась программа моделирования движения АТС с учетом дорожной обстановки и работы двигателя на частичных нагрузках РМД [1], разработанная Минским автозаводом совместно с Институтом математики НАН РБ. Остальные критерии рассчитывались с помощью программы VDaPMD, написанной в процессе выполнения данной работы в среде MATLAB.

Таблица 1 – Комплектация автопоезда

Параметры, единицы измерения	Значения
Колесная формула тягача	6x4
Полная масса автопоезда, кг	62600
Масса, приходящаяся на колеса передней оси, кг	7100
Масса, приходящаяся на ведущие колеса, кг	19000
Грузоподъемность, кг	40500
Коэффициент обтекаемости, $H \cdot c^2 / m^4$	0,42
Лобовая площадь, m^2	9,70
Момент инерции вращающихся масс ДВС, $кг \cdot m^2$	3,29
Количество ступеней коробки передач	16
Шины:	
- тягача	315/60R22,5
- полуприцепа и подкатной тележки	385/55R22,5
Фирма-производитель	Continental
Рисунок протектора:	
- шины передней оси тягача	Дорожный
- шины ведущего моста тягача	Универсальный
- шины полуприцепа подкатной тележки	Дорожный
Радиус качения ведущих колес 315/60R22,5, м	0,4584
Коэффициент сопротивления качению:	
- дорожный рисунок протектора	0,0038
- универсальный рисунок протектора	0,0042
Суммарный момент инерции колес, $кг \cdot m^2$:	
- тягача	180,90
- полуприцепа	259,97
Коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой	0,80

Решающее влияние на показатели тягово-скоростных свойств, топливную экономичность и производительность АТС оказывают дорожные условия эксплуатации: тип рельефа местности, продольный профиль дороги, покрытие проезжей части и интенсивность движения. Для моделирования дорожных условий движения автопоезда была создана имитационная модель единого комплексного типового маршрута, содержащего 9 участков различного типа общей протяженностью 668 км.

**Секция 1: Проектирование и использование
автотракторной техники в сельском хозяйстве**

Таблица 2 – Критерии и ограничения

№ п/п	Наименование критериев и ограничений	Требования к оптимизации
1.	Максимальный преодолеваемый подъем на высшей передаче КП, α_{16} , %	$\alpha_{16} \rightarrow \max$
2.	Время разгона на пути 400 м, t_{400} , с	$t_{400} \rightarrow \min$
3.	Время разгона на пути 1000 м, t_{1000} , с	$t_{1000} \rightarrow \min$
4.	Время разгона до скорости 60 км/ч, t_{60} , с	$t_{60} \rightarrow \min$
5.	Время разгона до скорости 80 км/ч, t_{80} , с	$t_{80} \rightarrow \min$
6.	Условная максимальная скорость, $V_{v\max}$, км/ч	$V_{v\max} \rightarrow \max$
7.	Средняя скорость движения на маршруте, V_m , км/ч	$V_m \rightarrow \max$
8.	Расход топлива на установившейся скорости 80 км/ч, Q_{80} , л/100 км	$Q_{80} \rightarrow \min$
9.	Средний расход топлива на маршруте, Q_m , л/100 км	$Q_m \rightarrow \min$
10.	Количество переключений передач на маршруте, k	$k \rightarrow \min$
11.	Максимальная скорость на горизонтальной дороге, V_{\max} , км/ч	$V_{\max} \geq 100$ км/ч
12.	Максимальная скорость на 3% подъеме, V_3 , км/ч	$V_3 \geq 35$ км/ч
13.	Отсутствие буксования на 3-ей передаче, $Slip$	$Slip = 0$

Таблица 3 – Варьируемые параметры и допустимые диапазоны их изменения

№ п/п	Наименование фактора	Диапазон допустимых значений
1.	Максимальный крутящий момент двигателя, Н·м	$2000 \leq M_{\max} \leq 3200$
2.	Частота вращения коленчатого вала, соответствующая началу падения крутящего момента, мин ⁻¹	$1300 \leq n_m \leq 1600$
3.	Передаточное число первой передачи	$13 \leq u_{кн1} \leq 19$
4.	Передаточное число ведущего моста	$2 \leq u_0 \leq 4$

Для решения задачи многокритериальной оптимизации параметров автопоезда была выбрана программа IOSO, разработанная российской компанией «Сигма технология» и широко используемая в аэрокосмической отрасли. Наличие большого количества критериев значительно усложняет процесс оптимизации, поэтому в качестве первого этапа исследования выполнена оптимизация по двум критериям V_3 и Q_{80} при ограничениях $V_{\max} \geq 100$ км/ч и $Slip = 0$. Критерий V_3 выбран по следующим соображениям. Магистральные дороги имеют уклоны 3-4% и, чтобы автопоезда не сдерживали поток движения, рекомендуется увеличивать их скорость на этих подъемах [2].

Полученные значения показателей в 30 вариантах Парето-решений были обработаны методом корреляционного анализа, что выявило тесную взаимосвязь нескольких групп исследуемых показателей. В каждой группе было

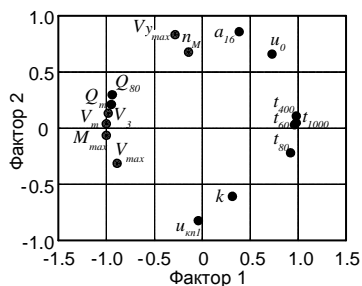


Рис. 1 – Проекция оптимизируемых параметров и показателей автопоезда на оси главных факторов

выбрано по одному представительному параметру и число критериев оптимизации сведено к 4-м: V_m , Q_m , V_3 и k , для которых рассчитано 100 Парето-решений. Полученная матрица значений показателей 16×100 была проанализирована с помощью факторного анализа по методу главных компонент [3]. Анализ показал, что объединение всех коррелированных значений показателей и параметров может быть сведено к 2-м главным факторам (рисунок 1), на долю которых приходится более 86% дисперсии исходных значений.

Выводы

Разработанная и реализованная на компьютере математическая модель автопоезда позволяет решать задачу оценки эксплуатационной эффективности автопоезда увеличенной длины и выполнить оптимизацию характеристик двигателя и трансмиссии.

Предварительные исследования множества Парето-оптимальных решений позволили выделить с помощью метода главных компонент обобщенные факторы. Обобщенные факторы будут использованы в дальнейших исследованиях в качестве критериев оптимизации.

Литература

1. Моделирование движения автомобиля с учетом «стационарной» дорожной обстановки и работы двигателя на частичных нагрузках: отчет о НИР/ Академический отдел проблемных исследований грузовых автомобилей БелавтоМАЗ (ОГрА); Институт математики АН БССР; рук. темы Ю.Ю. Бельский.- Минск, 1980.- 90 с.-№ регистрации НИР-2.36-80(МАЗ).
2. Корсаков, В.В. Выбор мощности двигателя магистрального автопоезда / В.В. Корсаков, А.Г. Выгонный // Механика машин и механизмов. - 2009. - № 3. - с. 15-17.
3. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; Под ред. И.С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989.— 215 с.