

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ

И. И. Швецов, А.К. Кобозев

ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

НА :

**«РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЯ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ
УСТАНОВКОЙ»**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Современная концепция создания
силовых агрегатов транспортных и транспортно-
технологических машин»**

по направлению подготовки

23.04.03-Эксплуатация транспортно-технологических

машин и комплексов

**(программы «Надежность и эффективность технических средств» и «Цифровая
экспертиза технического состояния сельскохозяйственной техники»)**

(для студентов всех форм обучения)

Методические указания

Ставрополь

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Ведение..... | 3 |
| 1. Методика расчета автомобиля с гибридной силовой установкой..... | 5 |
| 1.1 Методика тягово-динамического расчета для автомобилей с ГСУ..... | 5 |
| 1.2 Методика топливно-экономического расчета для автомобилей с ГСУ..... | 7 |
| 2. Расчет тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобилей..... | 11 |
| 2.1 Определение полной массы автомобиля..... | 11 |
| 2.2 Подбор колеса и шин..... | 11 |
| 2.3 Выбор максимальной мощности силовой установки..... | 12 |
| 3. Расчет тягово-динамических и топливно-экономических показателей автомобилей..... | 14 |
| 3.1 Выбор ДВС и построение его внешней скоростной характеристики..... | 14 |
| 3.2 Выбор ЭМ и построение его скоростной характеристики..... | 17 |
| 3.3 Топливо-экономический расчет..... | 17 |
| Заключение..... | 21 |
| Список литературы..... | 22 |
| Приложение..... | 23 |

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания предназначены для студентов института механики и энергетики по направлению подготовки 23.04.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов всех форм обучения при выполнении курсовой работы по дисциплине «Современная концепция создания и испытания силовых агрегатов транспортных и транспортно-технологических машин».

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины курсовая работа выполняется **по теме: «Расчет автомобиля с гибридной силовой установкой»**. Вариант задания студенту выдается преподавателем.

Цель курсовой работы

1. Закрепление, углубление и совершенствование знаний и профессиональных умений.
2. Формирование навыков самостоятельной учебной и научно-исследовательской работы.
3. Развитие навыков работы с литературой (подбор, описание, анализ литературных источников).
4. Сформировать умение применять методы исследования при выполнении работы.

Задачи курсовой работы

Задача тягово-динамического расчета автомобиля с последовательной схемой ГСУ сводится к методике тягово-динамического расчета электромобиля. Она включает в себя такие расчеты как определение внешней скоростной характеристики ЭМ, передаточного числа главной передачи, мощностного и тягово-динамического баланса автомобиля, ускорения, время пути и разгона.

Алгоритм расчета автомобиля с ГСУ последовательной схемы имеет вид:

- Определение полной массы автомобиля;
- Подбор колеса и шин;
- Выбор ЭМ и построение ее внешней скоростной характеристики;
- Определение передаточных чисел;
- Расчет тягово-динамических показателей;
- Расчет ускорения;
- Определение времени пути и разгона.

Выбор электрической машины производится аналогично выбору двигателя внутреннего сгорания.

Структура курсовой работы: титульный лист (приложение А); задание на курсовую работу; оглавление; введение; основная часть с расчетами; заключение; список источников литературы; приложения.

Основная часть с расчетами включает в себя: определение полной массы автомобиля, выбор двигателя внутреннего сгорания и построение его внешней скоростной характеристики, определение передаточных чисел, расчет тягово-динамических показателей, определение ускорения, времени пути разгона.

Общий объем курсовой работы составляет не менее 25 страниц машинописного текста. Курсовая работа оформляется на листах формата А4 с установленным титульным листом (приложение А) и брошюруется в скоросшиватель. Рекомендуемая гарнитура шрифта Times New Roman-14, межстрочный интервал – полуторный, двухстороннее выравнивание текста – по ширине. Размеры полей: левое – 30 мм, правое – 1,5 мм, верхнее и нижнее – 20 мм. Допускается оформление курсовой работы с использованием Microsoft Office Excel.

Требования к защите работы

Курсовая работа (проект) допускается к защите при выполнении следующих условиях: - степень оригинальности текста курсовой работы) не ниже установленной кафедрой в соответствии со спецификой дисциплины (рекомендуемые значения: не ниже 25%); - наличия рецензии преподавателя, принимающего курсовую работу. Защита работы проходит в форме публичного выступления (5-7 мин.) с представлением результатов работы в виде презентации (5-7 слайдов) и ответов на вопросы преподавателя/комиссии (5 мин).

Критерии оценки работы

В соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки знаний студентов, обучающихся по образовательным программам высшего образования курсовую работу необходимо оценить по следующим критериям с учетом установленных максимальных баллов:

| Критерий | Максимальное значение в баллах |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Оформление курсовой работы | 10 |
| Содержание курсовой работы | 60 |
| Защита курсовой работы | 30 |
| ИТОГО | 100 |

1 МЕТОДИКА РАСЧЕТА АВТОМОБИЛЯ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

1.1 Методика тягово-динамического расчета для автомобилей с ГСУ

Методика традиционного тягово-динамического расчета включает в себя определение полной массы автомобиля, выбор двигателя внутреннего сгорания и построение его внешней скоростной характеристики, определение передаточных чисел, расчет тягово-динамических показателей, определение ускорения, времени пути разгона.

В применении к автомобилям с ГСУ методика тягово-динамического расчета требует доработки и должна учитывать взаимосвязь двигателя внутреннего сгорания и электрической машины, их взаимное расположение и вытекающие из этого особенности трансмиссии.

В зависимости от принципиальной схемы гибридной силовой установки различают последовательную и параллельную связь ДВС и ЭМ.

Методика тягово-динамического расчета автомобиля с последовательной схемой ГСУ сводится к методике тягово-динамического расчета электромобиля. Она включает в себя такие расчеты как определение внешней скоростной характеристики ЭМ, передаточного числа главной передачи, мощностного и тягово-динамического баланса автомобиля, ускорения, время пути и разгона.

Алгоритм расчета автомобиля с ГСУ последовательной схемы имеет вид:

- Определение полной массы автомобиля;
- Подбор колеса и шин;
- Выбор ЭМ и построение ее внешней скоростной характеристики;
- Определение передаточных чисел;
- Расчет тягово-динамических показателей;
- Расчет ускорения;
- Определение времени пути и разгона.

Выбор электрической машины производится аналогично выбору двигателя внутреннего сгорания. Для этого нужно найти необходимую мощность электрической машины для достижения максимальной скорости, воспользовавшись формулой:

$$N_{V_{max}} = \frac{\Psi_{V_{max}} G_a V_{max} + k F V_{max}^3}{1000 \eta_{mp.V_{max}}}, \quad (1)$$

где $\Psi_{V_{max}}$ – коэффициент сопротивления дороги;

$\eta_{mp.V_{max}}$ – КПД трансмиссии при V_{max} ;

kF – аэродинамический коэффициент.

В зависимости от типа ТС и условий эксплуатации устанавливают коэффициент запаса мощности электродвигателя, который определяют его максимальную мощность.

Выбрав подходящий двигатель, необходимо построить его внешнюю скоростную характеристику. Зачастую внешняя скоростная характеристика данной машины известна.

Если внешняя скоростная характеристика не приведена, а известны лишь частные значения мощности и момента, то необходимо рассчитать и построить внешнюю скоростную характеристику. В зависимости от типа электрической машины вид внешней скоростной характеристики может различаться.

На автомобилях и других транспортных средствах применяются тяговые электродвигатели с «мягкой» механической характеристикой, показанной на рисунке 1.

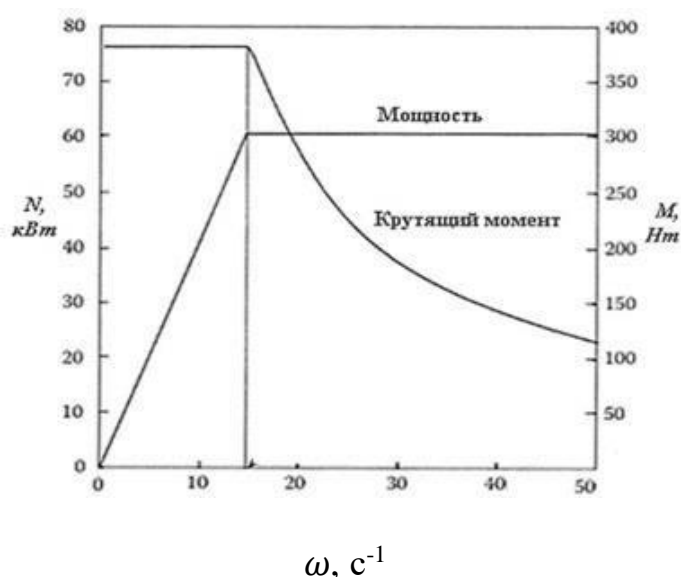


Рисунок 1 – Внешняя скоростная характеристика электрической машины

Такая характеристика описывается системой уравнений:

$$M_{кр} = M_{max} \text{ при } 0 \leq \omega \leq \omega_x, \quad (2)$$

$$M = \frac{M_{max} \omega_{max}}{\omega} \text{ при } \omega_x \leq \omega \leq \omega_{max} \quad (3)$$

$$\text{или } N = \frac{M_{max} \omega}{\omega_x} \text{ при } 0 \leq \omega \leq \omega_x$$

$$N_{кр} = N_{max} \text{ при } \omega_x \leq \omega \leq \omega_{max}, \quad (4)$$

где M_{max} – максимальный крутящий момент ЭМ, Нм;

N_{max} – максимальная мощность ЭМ, кВт;

ω_{max} – максимальная частота вращения вала ЭМ, 1/с;

x – отношение максимальной частоты вращения к номинальной, характеризующей тип ЭМ.

$$x = \frac{\omega_{max}}{\omega_x} \quad (5)$$

1.2 Методика топливно-экономического расчета для автомобилей с ГСУ
Топливо-экономический расчет автомобиля с ГСУ сводится к определению показателей топливной экономичности, регламентированных нормативными документами, отечественным ГОСТ 20306-90 и международным Правилom ЕЭК ООН №015. К данным показателям относятся контрольный расход топлива, расход топлива в магистральном и городском цикле, топливная характеристика установившегося движения.

Наибольшую актуальность представляют оценочные показатели топливной экономичности в городском и магистральном цикле, в наибольшей степени характеризующие реальные условия эксплуатации автомобиля.

Городской и магистральные циклы представлены в нормативных документах соответствующими ездовыми циклами. В нашей стране в настоящее время применяется на основании ГОСТ 20306-90 NEDC (New European Driving Cycle) описанный в Правилах ЕЭК ООН №015.

Так же в его описании приведены значения величин ускорения при разгоне и замедлении, что позволяет построить график зависимости ускорения автомобиля от времени за весь цикл.

Зная зависимость ускорений от времени и значение скорости в ездовом цикле можно из уравнения движения автомобиля найти силу на ведущих колесах выбранного автомобиля.

$$P_u = P_k - P_d - P_v \quad (6)$$

$$P_k = \frac{M i_{тр} \eta_{тр}}{r_k} \quad (7)$$

$$P_d = \Psi mg \quad (8)$$

$$P_v = kFV^2 \quad (9)$$

$$P_u = m\delta a \quad (10)$$

$$\frac{M i_{тр} \eta_{тр}}{r_k} = \Psi mg + kFV^2 + m\delta a, \quad (11)$$

где:

P_k – сила на колесе, Н;

P_d – сила сопротивления дороги, Н;

P_v – сила сопротивления воздуху, Н;

P_u – приведенная сила инерции автомобиля, Н;

M – крутящий момент силовой установки, Нм;

$i_{тр}$ – передаточное отношение трансмиссии;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

r_k – радиус колеса, м;

m – масса автомобиля, кг;

kF – фактор обтекаемости, Н*с²/м²;

δ – коэффициент учета вращающихся масс;

V – скорость автомобиля, м/с;

a – ускорение, м/с².

$$M = \frac{(\psi mg + kFV^2 + m\delta a)r_k}{i_{тр}\eta_{тр}} \quad (13)$$

Приняв допущение, что буксование отсутствует, частота вращения и мощность будут соответствовать следующим равенствам:

$$v = \frac{vi_{тр}}{6,28r_k} \quad (14)$$

$$N = 6,28 M\omega \quad (15)$$

В случае с традиционными автомобилями с ДВС это позволило определить режим работы ДВС в каждый момент времени. И по топливно-экономической характеристике рассчитать мгновенный расход топлива в каждый момент времени ездового цикла.

Следовательно, часовой расход топлива в каждый промежуток времени определяется по формуле:

$$G = g_e N, \quad (16)$$

где:

g_e – удельный расход топлива двигателя, г/(кВт*ч).

Путевой расход топлива за цикл в литрах на 100 км равен:

$$Q = \frac{\int G dt}{3,6 \rho_T \int S dt} * 10^5, \quad (17)$$

где:

ρ_T – плотность топлива, кг/м³;

S – путь, пройденный за цикл, км.

Для автомобиля с последовательной ГСУ аналогично автомобилю с ДВС, расчет топливно-экономических показателей за ездовой цикл определяется по режимам работы тяговой ЭМ в каждый момент времени. И по характеристике эффективности ЭМ рассчитать мощность, потребляемую электродвигателем.

$$N_{ТЭМ} = \frac{Mv}{\eta_{ЭМ}}, \quad (18)$$

где: $\eta_{эм}$ – КПД ЭМ.

А также расход энергии за весь ездовой цикл:

$$E_{эм} = \int N dt, (19)$$

Такое же количество энергии должна вырабатывать генераторная установка на основе ДВС.

$$E_{эм} = E_{гэм}, (20)$$

ДВС, равна: приняв допущение, что режим работы генератора проходит в зоне максимальной эффективности, тогда энергия, выработанная

$$E_{двс} = E_{г} \eta_{гmax} (21)$$

где: $\eta_{гmax}$ – максимальный КПД генератора.

ДВС также работает в зоне максимальной эффективности, при минимальном удельном расходе, с часовым расходом:

$$G_{min} = g_{min} N, (22)$$

где: g_{min} – минимальный удельный расход топлива, г/(кВт*ч).

Тогда путевой расход топлива автомобиля с последовательной ГСУ равен:

$$Q = \frac{G_{min} E_{двс}}{3,6 \rho_{т} N g_{min} \int S dt} 10^5, (23)$$

где: N_{gmin} – мощность ДВС при минимальном удельном расходе топлива, Вт.

Для автомобиля с параллельной ГСУ необходимо учитывать совместную работу ДВС и ЭМ. А именно алгоритм их совместной работы, характеристики согласующего устройства и отношение мощностей двигателей. Зная значение крутящего момента силовой установки необходимого для движения в ездовом цикле, можно найти недостающее значение момента электрической машины в тяговом или генераторном режиме.

$$M_c = M_{двс} + M_{эм}. (24)$$

В случае, если крутящий момент электрической машины в генераторном режиме превышает свое максимально значение, значение крутящего момента ДВС вычисляется по формуле:

$$M_{\text{двс}} = M_c - M_{\text{эм max}}. \quad (25)$$

Также если крутящий момент силовой установки меньше максимального крутящего момента ЭМ:

$$M_c \leq M_{\text{эм max}} \quad (26)$$

Тогда транспортное средство приводится в движение только ЭМ:

$$M_{\text{двс}} = 0.$$

Также необходимо обеспечить поддержание заряда накопителя энергии за весь ездовой цикл, расход энергии не должен быть больше выработанной энергии.

$$E_{\text{эм}} \leq 0. \quad (27)$$

$$E_{\text{эм}} = \int N dt \quad (28)$$

Мощность электрической машины в тяговом и генераторном режиме:

$$N_{\text{тэм}} = \frac{M v}{\eta_{\text{эм}}} \quad (29)$$

$$N_{\text{гэм}} = \frac{M v}{\eta_{\text{эм}}} \quad (30)$$

Разработанная методика тягово-динамического расчета автомобиля с ГСУ применима для основных схем ГСУ, учитывает основные конструктивные особенности ГСУ и позволяет определить необходимые динамические характеристики.

Разработанная методика топливно-экономического расчета позволяет определить показатель расхода топлива за ездовой цикл, используемый на территории РФ. Данная методика применима к основным схемам ГСУ.

2. РАСЧЕТ ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИХ И ТОПЛИВНО ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

По предложенным методикам тягово-динамического и топливно-экономического расчетов предлагается произвести расчеты автомобилей с различными силовыми установками, мощность которых рассчитана на достижение идентичной максимальной скорости. Автомобиль с ДВС, электромобиль или автомобиля с ГСУ последовательной схемы, автомобиля с ГСУ параллельной схемы с соотношением мощностей ДВС и ЭМ 1 к 15. Для оценки использования данного соотношения мощностей, используемого в преобладающем большинстве ГСУ.

2.1 Определение полной массы автомобиля

Полную массу автомобиля рассчитывают по формуле:

$$m_a = m_0 + (m_{\text{ч}} + m_{\text{б}})n, \quad (31)$$

где m_0 – масса снаряженного автомобиля с заправкой и снаряжением, но без

пассажира и водителя. Для нашего проекта $m_0 = 1080$ кг;

$m_{\text{ч}} = 70 \dots 80$ кг – масса водителя или пассажира, $m_{\text{ч}} = 75$ кг; n – число мест для сидения пассажиров, $n = 5$;

$m_{\text{б}}$ – масса багажа, $m_{\text{б}} = 10$ кг на одного человека в легковых автомобилях.

Таким образом, $m_{\text{двс}} = 1080 + (75 + 10) * 5 = 1505$ кг.

2.2 Подбор колеса и шин

Для определения нагрузки на переднюю ось воспользуемся развесовкой автомобиля-прототипа при полной нагрузке, то есть 59/41.

$$m_1 = m_a * 0,59 \quad (32)$$

где m_1 – масса, приходящаяся на переднюю ось; m_a – полная масса автомобиля.

Для расчетов в работе $m_1 = 1530 * 0,59 = 902,7$ кг.

Выбор шин осуществляется по максимальной скорости и нагрузке на колесо. Максимальная скорость автомобиля равна 167 км/ч, тогда индекс категории скорости T , индекс нагрузки на шину – 82. Диаметр обода колеса выберем

как у про- тотипа – 14 дюймов.

Пусть шина будет иметь следующий размер: 175/65R14 82T. где 175 – ширина профиля шин, мм;

65 – отношение высоты профиля к ширине в процентах; R – радиальная шина;

14 – внутренний диаметр шины, соответствующий диаметру обода колеса в дюймах;

82 – индекс грузоподъемности; T – индекс скорости.

Рассчитываем радиус качения колеса с выбранной шиной:

$$r_k = (0,9 \dots 0,95)r_c, \quad (33)$$

где r_c – статический радиус, определяемый по формуле:

$$r_c = 0,5d + \lambda_{ш} H, \quad (34)$$

где :

d – диаметр обода колеса, м;

$\lambda_{ш}$ – коэффициент, учитывающий вертикальную деформацию шины (для стан- дартных шин $\lambda_{ш} = 0,88 \dots 0,9$);

H – высота профиля шины, м.

Рассчитываем данные для нашего проекта:

$$d = 14 * 2,54 = 0,355 \text{ м};$$

$$\lambda_{ш} = 0,9$$

$$H = 0,102 \text{ м}.$$

Тогда:

$$r_c = 0,5 * 0,355 + 0,9 * 0,102 = 0,28 \text{ м}, \quad r_k = 0,95 * 0,28 = 0,266 \text{ м}.$$

2.3 Выбор максимальной мощности силовой установки

Максимальная мощность силовой установки определяется из условия достижения максимальной скорости:

$$N_{V_{max}} = \frac{\Psi_{V_{max}} G_a V_{max} + k F V_{max}^3}{1000 \eta_{mp.V_{max}}}, \quad (35)$$

где $\Psi_{V_{max}}$ – коэффициент сопротивления дороги;

$\eta_{mp.V_{max}}$ – КПД трансмиссии при максимальной скорости.

$$\Psi_V = f = f_0 (1 + k_1 (0,36V)^2_{max}), \quad (36)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению, относящийся к малым скоростям; для асфальтобетона $f_0 = 0,012 \dots 0,015$;

$$k_1 = (4 \dots 5) 10^{-5}$$

$$G_a = m_a * g = 1505 * 9,81 = 14749,3 \text{ Н} - \text{вес автомобиля};$$

$$V_{max} = 47,25 \text{ м/с};$$

$$kF = 0,353 \text{ Н с}^2/\text{м}^2;$$

$$\eta_{mp.V_{max}} = 0,9.$$

Тогда коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости

$$\Psi_V = f = 0,013 (1 + 4,5 * 10^{-5} * 175^2) = 0,03.$$

А мощность двигателя при выбранной максимальной скорости равняется:

$$0,3 * 14749,3 * 47,25 + 0,353 * 47,25^3$$

$$N_{V_{max}} = 1000 * 0,9 = 65,3 \text{ кВт}$$

3. РАСЧЕТ ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИХ ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

3.1 Выбор ДВС и построение его внешней скоростной характеристики

В случае расчета автомобиля с ДВС и ГСУ параллельной схемы производится выбор ДВС из числа производимых с максимальной мощностью 65 кВт и 56 кВт соответственно. Под данные характеристики подходят двигатели ВАЗ-21124 и ВАЗ-2111.

Для дальнейших расчетов необходимо построить их внешние скоростные характеристики, воспользовавшись эмпирической зависимостью:

$$N_m = N_{max} \left[a \left(\frac{n_m}{n_N} \right) + b \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^3 \right], \quad (37)$$

где N_{max} определено по формуле;

N_m – текущее значение мощности, кВт;

Для ДВС ВАЗ-21124: $v_{min} = 800$ 1/с; $v_{max} = 5600$ 1/с; Для ДВС ВАЗ-2111: $v_{min} = 800$ 1/с; $v_{max} = 5400$ 1/с;

Зададим в интервале от v_{min} до v_{max} еще ряд значений v_m , найдём соответствующие значения N_m и построим кривую зависимости $N_m = f(v_m)$, а затем и $M_m = f(v_m)$, имея ввиду, что

$$M_m = \frac{1000 N_m}{v_m} N, \quad (38)$$

где N_m – мощность двигателя, кВт;

n_m – число оборотов вала двигателя, об/мин;

Расчеты сведены в таблицу 1, 2 и отображены в графиках (рисунок 2, 3).

Таблица 1 – Данные внешней скоростной характеристики ДВС ВА3-21124

| v , 1/с | N, кВт | M, Нм |
|-----------|--------|--------|
| 13,33 | 6,14 | 73,34 |
| 20 | 10,61 | 84,48 |
| 26,67 | 15,74 | 93,93 |
| 33,33 | 21,29 | 101,71 |
| 40 | 27,09 | 107,79 |
| 46,67 | 32,89 | 112,19 |
| 53,33 | 38,50 | 114,91 |
| 60 | 43,70 | 115,94 |
| 66,67 | 48,29 | 115,29 |
| 73,33 | 52,04 | 112,95 |
| 80 | 54,75 | 108,93 |
| 86,67 | 56,21 | 103,23 |
| 90 | 56,40 | 95,75 |

Таблица 2 – Данные внешней скоростной характеристики ДВС ВА3-2111

| v , 1/с | N, кВт | M, Нм |
|-----------|--------|--------|
| 13,33 | 7,31 | 87,23 |
| 20 | 12,38 | 98,49 |
| 26,67 | 18,11 | 108,08 |
| 33,33 | 24,29 | 115,99 |
| 40 | 30,72 | 122,23 |
| 46,67 | 37,17 | 126,79 |
| 53,33 | 43,45 | 129,68 |
| 60 | 49,34 | 130,90 |

| | | |
|-------|-------|--------|
| 66,67 | 54,64 | 130,44 |
| 73,33 | 59,12 | 128,31 |
| 80 | 62,58 | 124,51 |
| 86,67 | 64,81 | 119,02 |
| 93,33 | 65,60 | 111,87 |

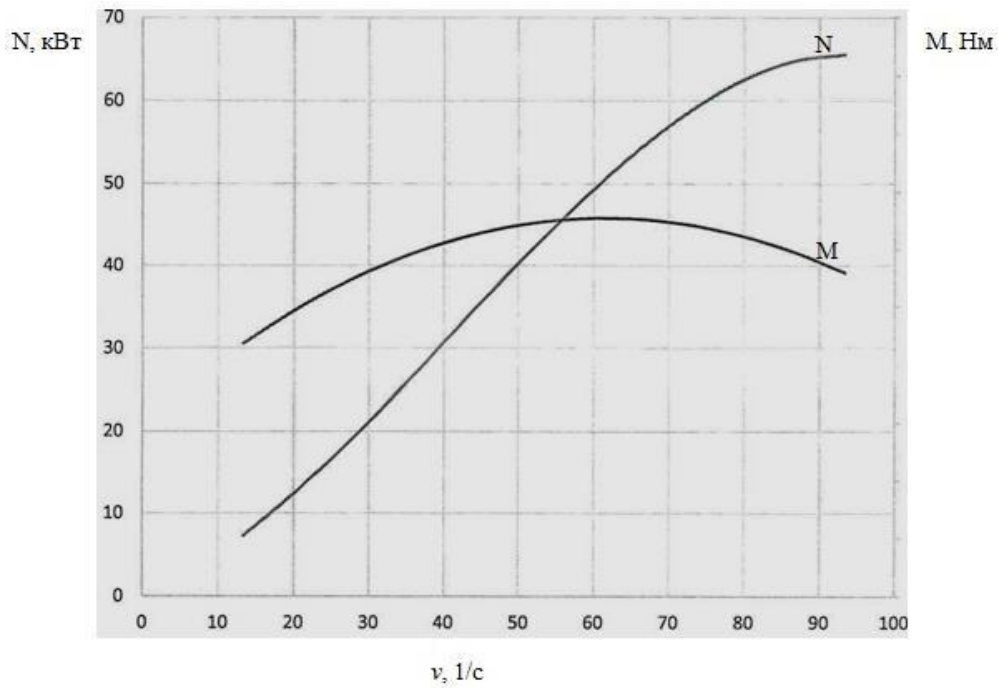


Рисунок 2 – Внешняя скоростная характеристика ДВС ВАЗ-21124

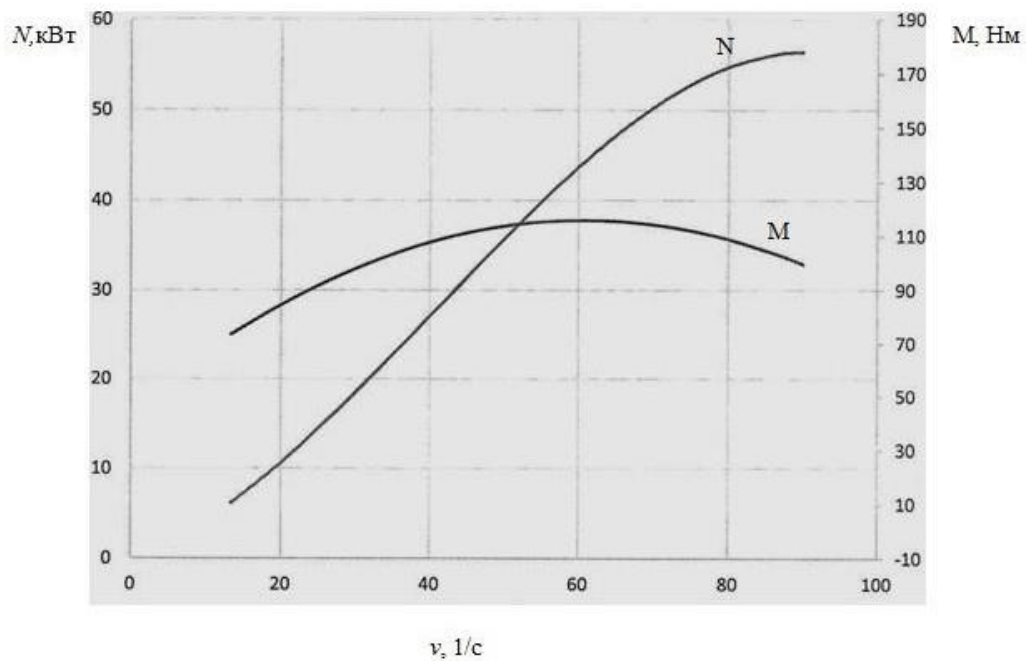


Рисунок 3 – Внешняя скоростная характеристика ДВС ВАЗ-2111

3.2 Выбор ЭМ и построение его скоростной характеристики

ЭМ для электромобиля (последовательной ГСУ) определяется из условия до-стижения максимальной мощности. А в случае ГСУ параллельной схемы из вы-бранного соотношения мощностей ДВС и ЭМ. ЭМ мощностью 65 и 9 кВт соответственно. Внешняя скоростная характеристика описывается системой уравнений:

$$M_{кр} = M_{max} \text{ при } 0 \leq v \leq v_x \quad (39)$$

$$M_{кр} = \frac{M_{max} v_{max}}{v} \text{ при } n_x \leq v \leq v_{max}, \quad (40)$$

где M_{max} – максимальный крутящий момент ЭМ, Нм;

v_{max} – максимальная частота вращения вала ЭМ, 1/с;

x – отношение максимальной частоты вращения к номинальной, характеризующее тип ЭМ.

Значение x зависит от типа электрической машины, для данной электрической машины $x = 3$.

3.3 Топливо-экономический расчет

Топливо-экономический расчет автомобиля с ГСУ сводится к определению расход топлива, расход топлива в магистральном и городском цикле NEDC (New European Driving Cycle).

Из уравнения движения автомобиля находим силу на ведущих колесах автомобиля:

$$P_u = P_k - P_d - P_b, \quad (41)$$

где P_k – сила на колесе;

P_d – сила сопротивления дороги, Н; P_b – сила сопротивления воздуху, Н;

P_u – приведенная сила инерции автомобиля.

$$P_k = \frac{M i_{тр} \eta_{тр}}{r_k} \quad (42)$$

$$P_d = \Psi mg \quad (43)$$

$$P_b = kFV^2 \quad (44)$$

$$P_u = m\delta a \quad (45)$$

$$\frac{Mi_{\text{тр}}\eta_{\text{тр}}}{r_k} = \Psi mg + kFV^2 + m\delta a \quad (46)$$

где M – крутящий момент силовой установки, Нм;

$i_{\text{тр}}$ – передаточное отношение трансмиссии, для ДВС на каждой передаче

$i_{\text{мп}1} = 13,34; i_{\text{мп}2} = 8,7; i_{\text{тр}3} = 6; i_{\text{мп}4} = 4,57; i_{\text{мп}5} = 3,07;$ для ЭМ $i_{\text{мп}} = 2,57$.

$\eta_{\text{тр}} = 0,9$ – КПД трансмиссии; $r_k = 0,266$ – радиус колеса, м;

$m = 1000$ – масса автомобиля, кг;

$kF = 0,45$ – фактор обтекаемости, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{М}^2$;

$\delta = 1,29$ – коэффициент учета вращающихся масс;

Таким образом, зная передаточные числа трансмиссии, крутящий момент силовой установки в любой момент времени:

$$M(t) = \frac{(\Psi mg + kFV^2 + m\delta a)r_k}{i_{\text{тр}}\eta_{\text{тр}}} \quad (47)$$

$$v(t) = \frac{Vi_{\text{тр}}}{6.28r_k} \quad (48)$$

$$N(t) = 6.28 Mv. \quad (49)$$

В случае с традиционными автомобилями с ДВС это позволило определить режим работы ДВС в каждый момент времени. И по топливно-экономической характеристике рассчитать мгновенный расход топлива в каждый момент времени ездового цикла. Приняв допущение, что при отрицательных значениях крутящего момента и включенной муфте сцепления расход топлива равняется нулю, так как двигатель работает в тормозном режиме.

Следовательно, часовой расход топлива в каждый промежуток времени:

$$G = g_e N, \quad (50)$$

где g_e – удельный расход топлива двигателя, г/кВтч.

И путевой расход топлива за цикл в литрах на 1000 км:

$$Q = \frac{\int G dt}{3,6 \rho_T \int S dv} 10^5, \quad (51)$$

где $\rho_T = 730$ – плотность топлива, кг/м³. S – путь, пройденный за цикл, км. $Q = 9,69$ л/100км

Для автомобиля с последовательной ГСУ аналогично автомобилю с ДВС, расчет топливно-экономических показателей за ездовой цикл определяется по режимам работы тяговой ЭМ в каждый момент времени. И по характеристике эффективности ЭМ рассчитать мощность потребляемую электродвигателем.

Расход энергии за весь ездовой цикл:

$$E_{ЭМ} = \int N dt \quad (52)$$

$$E_{ЭМ} = 0,135 \text{ кВтч.}$$

Такое же количество энергии должна выработать генераторная установка на основе ДВС:

$$E_{ТЭМ} = E_{ГЭМ} \quad (53)$$

Приняв допущение, что режим работы генератора проходит в зоне максимальной эффективности, тогда энергия, выработанная ДВС, равна:
 $E_{ДВС} = E_T \eta_{T \max} \quad (54)$

где $\eta_{T \max} = 0,9$ максимальный КПД генератора.

$$E_{ДВС} = 0,15 \text{ кВтч.}$$

ДВС работает также в зоне максимальной эффективности, при минимальном удельном расходе с часовым расходом:

$$G_{\min} = g_{\min} N, \quad (55)$$

где $g_{\min} = 250$ – минимальный удельный расход топлива, г/кВтч.

$$G_{\min} = 7,5 \text{ кг/ч}$$

Тогда путевой расход топлива автомобиля с последовательной ГСУ равен:

$$Q = \frac{G_{\min} E_{ДВС}}{3,6 \rho_T N g_{\min} \int S dv} 10^5, \quad (56)$$

где $N_{g_{\min}} = 30$ Нт – мощность ДВС при минимальном удельном расходе топлива. $Q = 5,06$ л/100км.

Для автомобиля с параллельной ГСУ необходимо учитывать совместную работу ДВС и ЭМ. А именно алгоритм их совместной работы, характеристики согласующего устройства и отношение мощностей двигателей.

Основополагающим фактором для большинства алгоритмов работы ГС является работа ДВС по характеристике минимальных удельных расходов

$$M = f(n, g). \quad (57)$$

Зная значение крутящего момента силовой установки, необходимого для движения в ездовом цикле, можно найти недостающее значение момента электрической машины в тяговом или генераторном режиме:

$$M_c = M_{двс} + M_{эм} \quad (58)$$

В случае если крутящий момент электрической машины в генераторном режиме превышает свое максимальное значение, значение крутящего момента ДВС вычисляется по формуле:

$$M_{двс} = M_c - M_{эмmax} \quad (59)$$

Так же если крутящий момент силовой установки меньше максимального крутящего момента ЭМ:

$$M_c \leq M_{эмmax}$$

Тогда транспортное средство приводится в движение только ЭМ и $M_{двс} = 0$.

Также необходимо обеспечить поддержание заряда накопителя энергии за весь ездовой цикл, расход энергии не должен быть больше выработанной энергии:

$$E_{эм} = \int N dt. \quad (60)$$

Выводы

Рассчитываемые автомобили с силовыми установками с ДВС, ГСУ и ЭМ одной максимальной мощности имеют схожие динамические характеристики, время и путь разгона. Но их топливно-экономические характеристики в городском цикле кардинально отличаются друг от друга, что позволяет сделать вывод об эффективности использования той или иной силовой установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика тягово-динамического расчета автомобиля с ГСУ применима для основных схем ГСУ, учитывает особенности используемых электромашин и согласующих устройств. Позволяет определить необходимые динамические свойства.

Методика топливно-экономического расчета позволяет определить показатель расхода топлива за ездовой цикл установленный ГОСТ 20306–90, используемый также и для экспериментальных исследований, применима к основным схемам ГСУ.

Расчетом установлено, что автомобили с силовыми установками с ДВС, последовательной ГСУ и параллельной ГСУ равной максимальной мощности 65 кВт имеют отличия динамических характеристиках, времени и пути разгона не превышающие 5%.

Но их топливно-экономические характеристики в городском цикле кардинально отличаются друг от друга. Расход топлива в ездовом цикле автомобиля с ДВС, последовательной ГСУ и параллельной ГСУ составил 9,6, 5,1 и 4,6 литра на 100 км соответственно, что позволяет сделать вывод об эффективности использования ГСУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов, С.И. Современные испытательные ездовые циклы и их актуальность при создании алгоритма работы системы управления автомобиля с КЭУ / С.И. Антипов, Ю.В. Дементьев // Известия ВолгГТУ. – 2023. – №10(113). – С. 8–11.
2. Арав, Б.Л. Анализ концепций гибридных моторно-трансмиссионных установок транспортных средств / Б.Л. Арав, В.И. Бондарь, А.В. Келлер, С.Н. Беседин // Журнал автомобильных инженеров. – 2021. – №5(70). – С. 35–39.
3. Бахмутов, С.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками / С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов и др. – М.: Изд-во МАМИ, 2019. – 72 с.
4. Богданов, К.Л. Тяговый электропривод автомобиля / К.Л. Богданов. – М.: Изд-во МАДИ, 2019. – 57 с.
5. Вахламов, В.К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей / В.К. Вахламов. – М.: Изд-во «Академия», 2021. 465 с.
6. Галимзянов, Р.К. Теория автомобиля: Учебное пособие / Р. К. Галимзянов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2023. – 220 с.
7. Галимзянов, Р.К. Тяговый расчет автомобиля с механической трансмиссией: учебное пособие / Р. К. Галимзянов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2022. – 41 с.
8. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний – М.: Изд-во стандартов, 2023. – 42с.
9. Златин, П.А. Электромобили и гибридные автомобили / П.А. Златин, В.А. Кеменов, И.П. Ксенович. – М.: Агроконсалт, 2024. –478 с.
11. Лазарева, А.Н. Разработка методики расчета базовых параметров и характеристик гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы для легкового автомобиля: канд. техн. наук / А.Н. Лазарева. – Ижевск, 2024. – 164 с.
10. Маняшин, С.А. Моделирование расхода топлива автомобиля на базе ездового цикла в низкотемпературных условиях эксплуатации: канд. техн. наук / С.А. Маняшин. – Оренбург, 2023. – 172 с.
11. Правила ЕЭК ООН №83. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих выхлопных газов в зависимости от топлив, необходимого для двигателей – Минск: Госстандарт, 2025. – 338 с.
12. Правила ЕЭК ООН №84 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива – Минск: Госстандарт, 1999. – 64 с.
13. Филькин, Н.М. Гибридный автомобиль: основы проектирования, конструирования и расчета: монография / Н.М. Филькин, В.А. Умняшкин, Р.С. Музафаров. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2024. – 240с.
14. Методика расчета ГСУ. Режим доступа: [Гибридной силовой установкой Методика \(topuch.com\)](http://topuch.com)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт механики и энергетики

Базовая кафедра машин и технологий АПК

Курсовая работа

по дисциплине «Современная концепция создания и испытания
силовых агрегатов транспортных и транспортно-
технологический машин»

Тема: Расчет автомобиля с гибридной силовой установкой.

Выполнил:

Студент __ курса __ группы

Иванов Иван Иванович

Направление подготовки:

23.04.03-Эксплуатация

ТТМиК

Форма обучения: очная

Проверил:

к.т.н., доцент

Зарегистрирована

« _____ » _____ 20__ г.

| Критерий | Максимальное значение в баллах | Набранных баллов |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Оформление курсовой работы | 10 | |
| Содержание курсовой работы | 60 | |
| Защита курсовой работы | 30 | |
| ИТОГО | 100 | |

Оценка « _____ »

Дата _____

Подпись _____

Ставрополь, 20__

Кафедра:

РЕЦЕНЗИЯ
на курсовую работу

Тема _____

Обучающийся (Ф.И.О.) _____

Курс _____ Группа _____

Преподаватель (Ф.И.О.) _____

Выполнение общих требований к курсовой работе (проекту)

| | | |
|---|--|-----------------------|
| 1 | Объем работы соответствует установленным требованиям | Да/нет |
| 2 | Степень оригинальности курсовой работы (проекта) соответствует установленным требованиям | Да/нет (указать %) |

Критерии оценивания курсовой работы (проекта)

| Критерии | Количество баллов | Содержание критерия оценки | Итоговый балл |
|---|-------------------|---|---------------|
| Оформление курсовой работы (проекта) | 10 | Курсовая работа соответствует всем требованиям к ее оформлению. При оформлении курсовой работы использовались современные средства визуализации информации. | |
| | 5 | Курсовая работа частично соответствует требованиям к ее оформлению, представленный материал проиллюстрирован не качественно. При оформлении курсовой работы (проекта) современные средства визуализации информации не использовались. | |
| Содержание курсовой работы (проекта) | 60 | В курсовой работе подобраны необходимые информационные источники, информация использована корректно, все вопросы и разделы освещены полностью, | |

| | | | |
|---|-----------|---|--|
| | | для выводов приведены достаточные обоснования. | |
| | 40 | В курсовой работе подобраны не все необходимые информационные источники, информация использована не везде корректно, не все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов не приведены достаточные обоснования. | |
| | 20 | В курсовой работе отсутствуют некоторые разделы, или их название не отвечает содержанию. | |
| | | | |
| Защита курсовой работы (проекта) | 30 | Студент продемонстрировал полное понимание всех положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на все вопросы, заданные преподавателем. | |
| | 20 | Студент продемонстрировал понимание основных положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на большую часть вопросов, заданных преподавателем. | |
| | 10 | Студент дал недостаточно полные ответы на вопросы, на некоторые из них дал ошибочные ответы или не ответил. | |
| ИТОГО: | | | <i>Указывается итоговый балл по всем критериям</i> |

Рекомендации:

Ведущий преподаватель _____ / _____
 (ФИО) (подпись)