Максимов Н.М., Киселева А.А., Корнякова О.Ю.

Расчет номинальных характеристик электрического стартера для дизельных двигателей в условиях крайнего севера

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»
(Россия, Челябинск)

doi: 10.18411/lj-11-2020-75

idsp: ljjournal-11-2020-75

Аннотация

В работе рассмотрен расчет номинальных характеристик стартера для дизельного двигателя ЯМЗ-236 в условиях крайнего севера, рассчитан динамический момент ДВС и момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала. Рассчитан среднеквадратичный момент и номинальная мощность электрического стартера. Сделаны выводы по эксплуатации промышленного транспорта в условиях крайнего севера.

Ключевые слова: электрический стартер, двигатель внутреннего сгорания, ДВС, динамический момент, сопротивления проворачиванию коленчатого вала, вязкость масла, мощность

Abstract

The paper considers the calculation of the nominal characteristics of the starter for the YaMZ-236 diesel engine in the Far North conditions, the dynamic moment of the internal combustion engine and the moment of resistance to cranking the crankshaft are calculated. The rms torque and rated power of the electric starter have been calculated. Conclusions on the operation of industrial transport in the Far North are drawn.

Keywords: electric starter, internal combustion engine, internal combustion engine, dynamic torque, cranking resistance, oil viscosity, power

Главной проблемой работы промышленного транспорта в условиях крайнего севера является запуск двигателя внутреннего сгорания после длительного простоя. Для пуска двигателя необходимо, чтобы минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала обеспечивала условия возникновения и нормальное протекание рабочих циклов в цилиндре. При низких температурах большое влияние оказывает вязкость моторного масла: чем ниже температура окружающей среды, тем гуще масло, как следствие пуск двигателя затруднен. [1-3]

Математический расчет

В качестве опытного двигателя принят отечественный дизельный двигатель ЯМЗ-236, устанавливающийся на большинство промышленных автомобилей. Технические данные представлены в таблице 1:

Таблица 1.

Технические данные двигателя ЯМЗ-236

Наименование параметра	Значение
Мощность, кВт (л.с.)	132(180)
Номинальная частота вращения, об/мин.	2100
Количество цилиндров	6
Объем, л	11,15
Вес двигателя, кг	980

В общем случае момент сопротивлений вращению ДВС в процессе его запуска можно представить в виде следующей формулы:

$$M_c = M_d + M_{c.c.p}, \quad (1)$$

где, M_d – динамический момент ДВС; $M_{c.c.p}$ – момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала;

Динамический момент находится по следующей формуле:

$$M_d = J_{\text{ДВС}} \cdot \frac{\pi \cdot \omega_H}{30 \cdot t}, \quad (2)$$

t – время, за которое стартер раскрутит коленчатый вал ДВС до пусковой частоты вращения, с; ω_H – частота вращения коленчатого вала ДВС при пуске, об/мин; $J_{\text{ДВС}}$ – момент инерции движущихся частей двигателя, кг·м².

$$J_{\text{ДВС}} = \frac{L}{\delta \cdot n_{\text{к.в.}}^2}, \quad (3)$$

L – наибольшая избыточная работа суммарного крутящего момента, Н·м; δ – коэффициент неравномерности хода, для тракторных двигателей $\delta = 0,003 \pm 0,1$; $n_{\text{к.в.}}$ – номинальная частота вращения коленчатого вала, рад/с.

Для определения наибольшей избыточной работы суммарного крутящего момента L строят график изменения суммарного крутящего момента от угла поворота коленчатого вала (Рис. 1). Рассматриваемый нами двигатель ЯМЗ-236 имеет 6 цилиндров, расположенных V-образно. [1,4-6]

Рисунок 1 – График изменения суммарного крутящего момента 6-цилиндрового V-образного двигателя от угла поворота коленчатого вала

Далее производится расчет момента сопротивления проворачиванию коленчатого вала $M_{\text{ср}}$. Он рассчитывается от температуры окружающей среды, степени сжатия, частоты вращения, вязкости масла, числа и расположения цилиндров. Мощность пускового устройства определяется моментом $M_{\text{ср}}$ и пусковой частотой конкретного двигателя. [1,7,8]

Расчёт системы пуска двигателя выполняется в следующей последовательности:

1. Первым этапом принимается марка масла. В рекомендации по эксплуатации дизельного двигателя ЯМЗ-236 при работе в зимней период (температуре воздуха ниже 5°C) применяется моторное масло М-8-Г2(к) [3]

Рисунок 2 – Вязкостно-температурные характеристики смазочных масел: 1-М-10Г2; 2-М-8В; 3-М-8ДМ; 4- М-8-Г2(к); 5-М-6ГФС; 6-М-43/8В2.

2. Выбирают пусковую частоту вращения коленчатого вала двигателя Для двигателя ЯМЗ-236 $n_{\Pi} = 100$ об/мин

3. Определяют расчётный средний момент сопротивлению проворачиванию коленчатого вала двигателя $M_{с.ср}$, Н·м, по формуле [4]:

$$M_{с.ср} = \frac{p_T \cdot V_h}{\tau \cdot \pi}, \quad (4)$$

где, p_T – среднее давление трения, Па; τ – количество тактов рабочего цикла двигателя; V_h – рабочий объём двигателя, л ;

Для дизелей при $n_{\Pi} = 50 \dots 200$ мин⁻¹ и числом цилиндров $i \geq 6$

$$p_T = (10 + 0,032 \cdot n_{\Pi}) \cdot v^{0,41}$$

По результатам расчетов с учетом времени пуска, установившегося режима строится нагрузочную диаграмму моментов для каждого режима работы.

На основе построенной нагрузочной диаграммы момента рабочей машины можно рассчитать среднеквадратичное значение момента, в котором учтены статические нагрузки и часть динамических нагрузок:

$$M_{срКВ} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (5)$$

где, МК – момент на k-том участке: $k = 1, 2, \dots, m$, где под участком понимается промежуток времени, в течение которого происходит разгон, торможение, работа с постоянной скоростью; t_k – длительность k-того участка.

Требуемая мощность пусковой системы находится по следующей формуле:

$$P_{\Pi} = \frac{M_{с.ср} \cdot n_{\Pi} \cdot k}{716,2 \cdot \eta_{пер}}, \quad (6)$$

где, k – коэффициент, учитывающий возможное снижение мощности пускового устройства в процессе эксплуатации: $k = 1,1 \dots 1,5$; $\eta_{пер}$ = КПД зубчатой передачи в приводе пускового устройства, зависящий от числа зубчатых пар. Для передачи с одной парой шестерён $\eta_{пер} = 0,85$ [6]

Выбор электрического стартера

После проведения расчетов необходимо грамотно подойти к выбору стартера, по его номинальному моменту, напряжению питающей сети и его мощности. Из полученных данных выберем стартер типа 2501.3708.000-21 для двигателей ЯМЗ 236, 238, 240. Характеристики стартера приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика стартера 2501.3708.000-21

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	24
Номинальная скорость вращения, об/мин	1127
Мощность номинальная, кВт	9,5
Массогабаритные показатели, мм	230x180x550
Масса, кг	27

Результат исследований

В результате данных расчетов можно узнать требуемую мощность электрического стартера в зависимости от температурных условий эксплуатации транспортного средства. Данный опыт оптимально подходит для любого вида двигателя внутреннего сгорания, марки моторного масла и условий эксплуатации. Полученные знания необходимо использовать при проектировании стартер-генератора для промышленного транспорта.

1. Взоров Б.А. Тракторные дизели: справочник / Взоров Б.А., Адамович А.В., Арабян А.Г. и др. М.: Машиностроение, 1981. – 535 с.

2. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник / Ю.П. Чижков. М.: Машиностроение, 2007. – 656 с.
3. Belousov, E.V. Differential twin-engine automobile electric drive/ Belousov, E.V., Savosteenko, N.V., Funk, T.A., Denisova, T.V., Rumyantseva, E.A. //, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 537, Issue 6.
4. Квайт С.М. Пусковые качества и система пуска автотракторных двигателей / Квайт С.М., Менделевич Я.А., Чижков Ю.П. М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
5. Savosteenko, N.V. Starter-Generator Differential Electric Drive of the Medium-Powered Industrial Vehicles / Savosteenko, N.V., Shishkov, A.N., Bychkov, A.E. // 2019 IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research and Practice, PEAMI 2019.
6. Морозов В.В. Электрооборудование тракторов и автомобилей: учебное пособие/ сост. Морозов В.В., Гуляев Д.В., Павлов А.Н. – Великие Луки: редакционно-издательский центр ВГСХА, 2011. – 226 с.
7. Волков В.Е. Системы и способы пуска автотракторных двигателей/ В.Е. Волков // Актуальные вопросы совершенствования военной и специальной техники «Прогрессивные технологии в транспортных системах». 2019.–С. 88-96
8. A.N. Shishkov Features of frequency analysis of torque control loop in AC electric drives / A.N. Shishkov, D.A. Sychev, N.V. Savosteenko, M.N. Krupnova, A.A. Zemlyansky // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2017, vol. 17, no. 2, pp. 75–81.

Максимов Н.М., Киселева А.А., Корнякова О.Ю.

Моделирование математической модели дифференциального планетарного редуктора в программе ANSYS

*ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»
(Россия, Челябинск)*

doi: 10.18411/lj-11-2020-76

idsp: ljjournal-11-2020-76

Аннотация

В работе рассмотрен дифференциальный планетарный редуктор, его преимущество в использовании в проектировании стартер-генератора на базе дифференциального электропривода. С помощью расчетов смоделирована математическая модель планетарного редуктора, сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: планетарный редуктор, Виллис, стартер-генератор, математическая модель, ANSYS

Abstract

The paper considers a differential planetary gearbox, its advantage in the design of a starter-generator based on a merging of a differential electric drive. With the help of calculations, a mathematical model of the planetary gearbox was modeled, the corresponding conclusions were drawn.

Keywords: planetary gear, Willys, starter-generator, mathematical model, ANSYS

Благодаря своей простоте исполнения и функционалу планетарный редуктор нашел свое широкое применение в промышленном машиностроении. Главной особенностью является способность редуктора менять передаточные числа для одной и той же планетарной передачи. Также необходимо отметить улучшение массогабаритных показателей механической передачи, ввиду отсутствия радиальных нагрузок, а так как шестерни всегда находятся в механическом контакте между собой, увеличивается срок службы конструкции. Приведенные данные подтверждены успешным внедрением планетарной передачи в отечественную промышленность (гусеничная техника).[1, 2]

Принцип работы дифференциального планетарного редуктора

Планетарный редуктор (см. рисунок 1) включает в себя эпицикл Э, сателлиты Ст, солнечную шестерню С и водило, которое соединено с валами сателлитов