

УДК.629.1

**С.Е. ТОКАРЬ, В.В. ДУДКО, В.А. КУЗЬМИНСКИЙ, А.Н. КАТОРГИН, А.А. СЕРГИЕНКО****АНАЛИЗ ЗАТРАТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРА ПРИ ПУСКАХ ДВИГАТЕЛЯ ЗТД-3А**

Определено распределение механической мощности электростартера при пуске между двигателем, входным редуктором с АКП и редуктором приводов с подключенными к нему штатными агрегатами.

**Ключевые слова:** электростартер, боевая бронированная машина, двигатель ЗТД-3А.

**Введение.** При проектировании новых боевых бронированных машин (ББМ) или модернизации существующих необходимо правильно подобрать силовую установку, обеспечивающую высокую мобильность и подвижность ББМ.

В современной ББМ мощность силовой установки расходуется не только на приведение ее в движение, а также на работу вспомогательных агрегатов и узлов моторно-трансмиссионного отделения. Эти вспомогательные механизмы (насосы, компрессоры, редукторы и т.п.), установленные на двигателе, увеличивают момент сопротивления вращению коленвала двигателя, тем самым затрудняя его пуск. Поэтому на начальных этапах проектирования необходимо знать и учитывать механические потери приводных механизмов и узлов, участвующих при пуске двигателя.

В данной статье рассмотрены пусковые свойства электростартера двигателя ЗТД-3А в составе моторно-трансмиссионной установки бронетранспортера БТР-4Е, приведена методика испытаний и расчет затрат мощности при прокрутках стартером 2501.3708-21 (ТУ 37.003.1059-81).

**Цель и постановка задачи.** Определение потребляемой электрической и механической мощности, затрачиваемых при прокрутках двигателя ЗТД-3А стартером 2501.3708-21 на вращение коленвалов двигателя с присоединенным к нему входным редуктором с автоматической коробкой передач (АКП) и редуктором приводов, а также без них.

**Основная часть.** Определение электрической и механической мощностей при прокрутках электростартером двигателя ЗТД-3А осуществлялось при следующих вариантах подключения агрегатов моторно-трансмиссионной установки (МТУ):

- штатный вариант МТУ;
- МТУ с отсоединенным от двигателя входным редуктором с АКП;
- МТУ с отсоединенным от двигателя входным редуктором с АКП и редуктором приводов;
- МТУ с отсоединенным от двигателя редуктором приводов.

Перед проведением прокруток электростартером проводилось включение МЗН прокачки и в системе смазки двигателя создавалось давление не менее  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ . Прокрутки осуществлялись без подачи топлива. Среднее время прокрутки стартером составляло 10 секунд.

Питание электростартера двигателя ЗТД-3А при прокрутках осуществлялось:

- от двух аккумуляторных батарей (АБ) 12СТ-85;
- от двух аккумуляторных батарей (АБ) 12СТ-85 с подключенным зарядным устройством;

Для определения потребляемой электрической и механической мощности измерялись следующие параметры:

$n_{об}$  - частота вращения коленвалов двигателя, ( $\text{мин}^{-1}$ );

$U_{AB}$  - напряжение аккумулятора, ( $B$ );

$U_{CT}$  - напряжение на клеммах стартера, ( $B$ );

$I_{CT}$  - ток в цепи стартера, ( $A$ );

$P_{CT}$  - потребляемая электрическая мощность на клеммах стартера определялась по формуле:

$$P_{CT} = \frac{U_{CT} \cdot I_{CT}}{1000}, \text{ (кВт)}; \quad (1)$$

$P_{MEX}$  - механическая мощность определялась по формуле:

$$P_{MEX} = \frac{M_n \cdot n}{973,76}, \text{ (кВт)}; \quad (2)$$

где  $M_n$  – крутящий момент на валу стартера, который определялся из графика, приведенного на рисунке, кг·м;

$n$  – частота вращения вала электростартера,  $\text{мин}^{-1}$ .

Измерения осуществлялись с помощью модульной системы сбора данных LTR-EU-2, обработка результатов измерений проводилась программным комплексом автоматизации экспериментальных и технологических установок «ACTest».

Результаты измерений при проведенных прокрутках электростартером представлены в таблице 1.

Для оценки распределения подводимой к стартеру электрической мощности по силовым агрегатам МТУ было проведено усреднение полученных значений электрической мощности  $P_{ct}$  в сериях опытов при разных условиях, а также по полученным результатам, используя номинальную характеристику электростартера (рис. 1), произведен расчет реализуемой мощности на валу электростартера  $P_{MEX}$ , результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 1 – Результаты измерений при прокрутках двигателя электростартером

№ опыта	Условия проведения	$n_{об}$ мин <sup>-1</sup>	$U_{AB}$ В	$U_{CT}$ В	$I_{CT}$ А	$P_{CT}$ кВт
1	С подзарядкой штатный вариант МТУ	165	22,5	19,6	661	13,0
2		162	22,6	19,6	677	13,3
3		161	22,6	19,6	678	13,3
4	Без подзарядки штатный вариант МТУ	150	21,2	18,2	655	11,9
5		150	21,1	18,2	656	11,9
6		150	21,1	18,2	655	11,9
7	С подзарядкой без входного редуктора	178	22,6	20,0	617	12,3
8		179	22,7	20,0	622	12,4
9		176	22,7	20,0	632	12,6
10	Без подзарядки без входного редуктора	167	21,3	18,5	597	11,0
11		166	21,2	18,4	596	11,0
12		162	21,1	18,3	592	10,8
13	С подзарядкой без входного редуктора, без редуктора приводов	182	23,0	20,3	613	12,4
14		181	23,0	20,3	613	12,4
15		183	23,0	20,3	611	12,4
16	Без подзарядки, без входного редуктора, без редуктора приводов	171	21,9	19,1	583	11,1
17		174	21,8	19,1	585	11,2
18		175	21,8	19,0	580	11,0
19	С подзарядкой с входным редуктором, без редукторов приводов	171	22,8	20,1	647	13,0
20		172	22,7	20,0	655	13,1
21		172	22,7	20,1	655	13,2
22	Без подзарядки с входным редуктором, без редукторов приводов	165	21,6	18,8	617	11,6
23		166	21,7	18,9	620	11,7
24		165	21,6	18,8	617	11,6

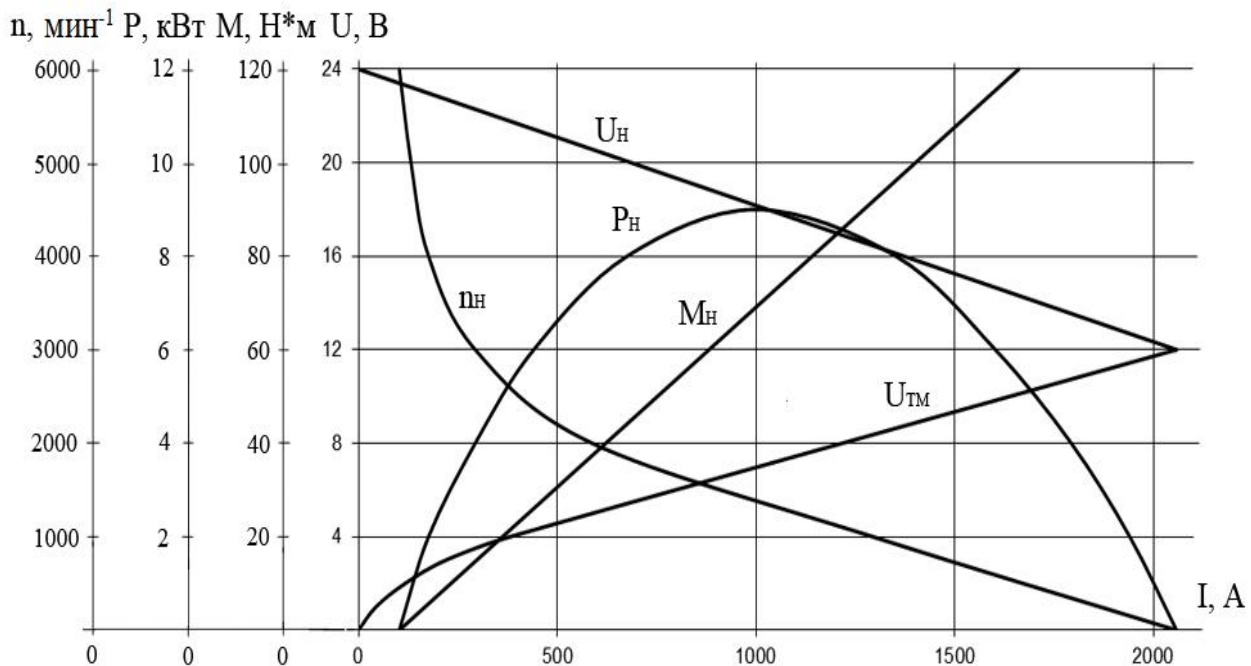


Рис. 1 – Номинальная характеристика стартера 2501.3708-21 с аккумуляторными батареями 2x6СТ-190ТР (емкость 190 А·ч)

Таблица 2 – Результаты расчета реализуемых электрической и механической мощностей на валу электростартера при разных условиях проведения испытаний.

Состав МТУ БТР-4Е	Мощность $P_{СТ}$ , кВт		Мощность $P_{МЕХ}$ , кВт			
	с подзарядкой	без подзарядки	с подзарядкой	$n$ , мин <sup>-1</sup>	без подзарядки	$n$ , мин <sup>-1</sup>
Штатный вариант	13,4	11,9	8,98	169	7,51	150
Без входного редуктора с АКП	12,4	11,0	8,74	178	7,73	165
Без входного редуктора с АКП, без редуктора приводов	12,6	11,1	8,94	185	8,97	173
Без редуктора приводов	13,1	11,6	8,91	173	8,06	165

Из данной таблицы видно, что механическая мощность практически одинакова при всех вариантах пуска двигателя: с подзарядкой - 8,7...9,0 кВт, без подзарядки – 7,5...8,1 кВт. Это объясняется тем, что механическая мощность прямо пропорциональна моменту сопротивления вращению и частоте вращения коленвала двигателя при пуске (2). Отсоединя входной редуктор с АКП и редуктор

приводов, уменьшается момент сопротивления вращению и повышается частота вращения коленвала двигателя, при этом механическая мощность остается постоянной. Поэтому оценку распределения механической мощности, затрачиваемой при каждом варианте пуска двигателя, проводили при одних и тех же частотах вращения коленвала двигателя. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета механической мощности на валу электростартера, приведенной к одной частоте вращения двигателя, при разных условиях проведения испытаний

Состав МТУ БТР-4Е	Механическая мощность, приведенная к средним частотам вращения коленвалов двигателя $P_{МЕХ}$ , кВт	
	с подзарядкой $n_{ср} = 173$ мин <sup>-1</sup>	без подзарядки $n_{ср} = 162$ мин <sup>-1</sup>
Штатный вариант	9,17	8,48
Без входного редуктора с АКП	8,51	8,13
Без входного редуктора с АКП, без редуктора приводов	8,32	7,95
Без редуктора приводов	8,91	8,44

Входной редуктор с АКП при прокрутках потребляет 0,49..0,57 кВт механической мощности, редуктор приводов - 0,18...0,19 кВт.

Для проверки полученных результатов входной редуктор с АКП и редуктор приводов поочередно подключались к динамометрической машине, на которой измерялись их моменты сопротивления вращению при пусковых частотах коленвала

двигателя. Подключение входного редуктора с АКП и редуктора приводов на стенде проводилось согласно со штатной схемой установки на изделие, с подключением всех вспомогательных систем и агрегатов. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты измерений моментов сопротивлений вращению входного редуктора с АКП и редуктора приводов на динамометрической машине

$n_{дв}$ , мин <sup>-1</sup>	Входной редуктор с АКП		Редуктор приводов	
	$M_{сопр}$ , Н·м	$P$ , кВт	$M_{сопр}$ , Н·м	$P$ , кВт
150	28	0,44	10	0,16
180	33	0,62	11	0,21
200	36	0,75	12	0,25
250	44	1,15	13	0,35
300	52	1,63	14	0,44

Входной редуктор с АКП при прокрутках на динамометрической машине потребляет 0,44..0,62 кВт механической мощности, редуктор приводов - 0,16...0,21 кВт.

Таким образом, рассчитанная механическая мощность входного редуктора с АКП и редуктора приводов с использованием пусковой характеристики

электростартера совпадает с измеренной механической мощностью этих узлов на динамометрической машине.

В таблице 5 приведены механические потери силовой установки, входного редуктора с АКП и редуктора приводов в процентном отношении.

Таблица 5 – Процентное отношение механических потерь силовой установки, входного редуктора с АКП и редуктора приводов при пуске.

	Процентное отношение механических потерь, %	
	с подзарядкой	без подзарядки
Силовая установка	91,4	92,3
Входной редуктор с АКП	6,5	5,7
Редуктора приводов	2,1	2,0

По методике расчета механической мощности с использованием номинальной характеристики электростартера можно определить механические потери других элементов и узлов в трансмиссии. Применение данной методики позволяет снизить трудоемкость и себестоимость выполнения работ, кроме того не нужно использовать специальные динамометрические машины для определения механических потерь, а также демонтировать узлы и агрегаты с изделия.

#### Выводы.

Механические потери входного редуктора с АКП и редуктора

приводов, измеренные двумя методами при пусковых оборотах двигателя составили:

- используя пусковую характеристику электростартера - 0,49..0,59 кВт и 0,18...0,19 кВт соответственно;

- на динамометрической машине - 0,44...0,62 кВт и 0,16...0,21 кВт соответственно.

2. Затраты мощности электростартера на прокрутку двигателя, входного редуктора с АКП и

редуктора приводов составляют 92%, 6% и 2% соответственно.

3. Предложенная методика определения механической мощности с

использованием номинальной характеристики электростартера позволяет определять механические потери агрегатов и узлов, участвующих при пуске силовой установки, а также других элементов трансмиссии, без снятия их с изделия и проверки на специальных динамометрических машинах.

**Список литературы:** 1. Н.К. Рязанцев. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин. – Харьков:ХДПУ,1996.-388с. 2. Технические характеристики стартера 2501.3708-21 (ТУ 37.003.1059-81)

**Bibliography (transliterated):** 1. N.K. Ryazanzcev. Konstrukciya forsirovanyh dvigatelei nazemnyh transportnyh machin. – Kharkov: KhDPU,1996.-388p. 2. Tehnicheskie harakteristiki startera 2501.3708-21 (TU 37.003.1059-81).

Поступила (received) 25.08.2015