

УДК 621.331:621.833

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА РЕДУКТОРНЫХ  
УЗЛОВ ТРАНСМИССИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ  
PROBLEM OF CHOOSING METHODIQUE GEARRSETS ELECTRIC  
VEHICLES CALCULATION

П.М. Галямов, канд. техн. наук, ст. преп.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
P. Haliamaу, Ph.D. in Engineering, Senior Lecturer,  
Belarusian national technical University, Minsk, Republic of Belarus

*Аннотация. На основе параметров электродвигателей, трансмиссий и шин серийных зарубежных легковых электромобилей и предоставляемых их производителями условий гарантии в статье показана несостоятельность применения для расчетной оценки ресурса основных элементов редукторных узлов их трансмиссий существующих методик, основанных на кусочно-линейном представлении кривой усталости в виде наклонного и горизонтального участков, поскольку число циклов нагружения шестерен и подшипников редуктора только за гарантийный пробег электромобиля во много раз превышает базовое.*

*Abstract. On parameters of electric motors, transmission and tyres of serially foreign passenger electric vehicles and given by its producers warranty conditions is shown in this paper impossibility of applying for calculating electric vehicles gearset resource estimation existing methods based on linear pieced fatigue curve proposition by sloped and horizontal parts because of number of loading cycles for reductor gears and bearings only by warranted electric vehicle running way is in much more times exceeds based.*

*Ключевые слова: электромобиль, трансмиссия, расчет ресурса.*

*Key words: electric vehicle, transmission, resource calculation.*

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с предстоящим вводом Белорусской АЭС в Республике Беларусь уже сейчас на государственном уровне законодательно

*Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»*

утверждены меры по расширению использования электроэнергии собственного производства взамен импортируемых нефтегазовых энергоносителей. Одной из них является стимулирование использования легковых электромобилей с последующим освоением их разработки и производства. Однако, чтобы заинтересовать население в покупке электромобилей белорусского производства, они должны быть либо дешевле, либо не уступать зарубежным аналогам в ресурсе, первое практически невыполнимо из-за необходимости закупки редких и редкоземельных элементов для производства аккумуляторных батарей и электродвигателей, второе же требует оптимального ресурсного проектирования трансмиссий.

### ОБЗОР МЕТОДИК И РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ТРАНСМИССИЙ

В настоящее время в Республике Беларусь студенты специальности «Автомобилестроение» изучают две методики проектирования и расчета зубчатых передач редукторных узлов: общемашиностроительная – основанная на [1] и применяемая в курсовом проектировании по дисциплине «Детали машин» и методика И.С. Цитовича, изложенная в [2, 3] и применяемая в курсовых проектах, выполняемых на кафедре «Автомобили» БНТУ. Принципиальное различие этих методик состоит в том, что первая из них предполагает достаточно сложный проектный расчет зубчатых передач, хотя найденное в его результате межосевое расстояние затем округляется до стандартного значения с последующим проверочным расчетом средней сложности, а вторая методика предполагает рассчитывать межосевое расстояние по приближенной эмпирической формуле Хельдта, и затем выполнять весьма сложный проверочный расчет ресурса зубчатых колес и подшипников. Обе методики основаны на использовании наклонного участка кривой усталости, по которому можно найти ресурс, и который действует, если реальное число циклов нагружения не превосходит базовое. Но, как видно из таблицы 1, где представлены систематизированные автором технические данные зарубежных легковых электромобилей, на основе которых были найдены числа циклов нагружения зубчатых колес и подшипников входного и выходного валов их трансмиссий за гарантийный пробег, которые в несколько раз превышают базовое.

*Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»*

Таблица 1 – Технические данные легковых электромобилей и результаты расчета числа циклов нагружения деталей входного и выходного валов редукторов их трансмиссий за гарантийный пробег

Технические характеристики некоторых электромобилей	BMW i3 2019	Chevrolet Bolt EV 2018	Nissan Leaf 2015	Ford Focus Electric 2011	Tesla Model 3 Long Range 2017*	Volkswagen e-Golf 2017
Тип тягового электродвигателя	IPMSM	IPMSM	IPMSM	IPMSM	IM / IPMSM	IPMSM
Передаточное число трансмиссии	9,665	7,05	8,193	7,82	9,34 / 9,71	9,747
Типоразмер шин	155/70R19	215/50R17	215/50R17	225/50R17	235/40R19	205/55R16
Длина окружности шины, м	2,198	2,032	2,032	2,063	2,107	1,985
Число оборотов колеса на 1 метр пути	0,455	0,492	0,492	0,485	0,475	0,504
Число оборотов электродвигателя на 1 метр пути	4,398	3,469	4,031	3,793	4,437 / 4,612	4,192
Максимальная скорость, км/ч	150	145	159	136	233	150
Максимальная частота вращения электродвигателя мин <sup>-1</sup>	10995	8383	10682	8597	17230 / 17910	12280
Гарантия лет/ миль/ км	8 / 100000 / –	8 / 100000 / –	8 / – / 160000	8 / 100000 / –	8 / – / 192000	8 / – / 160000
Циклов нагружения деталей входного вала за гарантийный пробег	0,728·10 <sup>8</sup>	0,787·10 <sup>8</sup>	0,787·10 <sup>8</sup>	0,776·10 <sup>8</sup>	0,912·10 <sup>8</sup>	0,806·10 <sup>8</sup>
Циклов нагружения деталей входного вала за гарантийный пробег	7,036·10 <sup>8</sup>	5,548·10 <sup>8</sup>	6,448·10 <sup>8</sup>	6,068·10 <sup>8</sup>	8,518·10 <sup>8</sup> / 8,856·10 <sup>8</sup>	7,856·10 <sup>8</sup>

\* – для привода колес передней / задней оси.

*Секция «КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
АВТОМОБИЛЕЙ»*

Исключение составляет число циклов нагружения ведомой шестерни главной передачи, которое хотя и меньше базового по контактным напряжениям (согласно [1, 2] базовое число циклов для контактной выносливости составляет  $1,2 \cdot 10^8$ , а согласно [3] составляет  $1,4 \cdot 10^8$ ), но имеет примерно один порядок с ним, и у всех моделей электромобилей кроме Tesla Model 3 Long Range, числа циклов нагружения ведомой шестерни главной передачи различаются не более чем на 10%, что позволяет найти примерный поправочный коэффициент контактной долговечности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для элементов входного вала трансмиссии число циклов нагружения только за гарантийный пробег более чем в 3,5 раза превышает базовое для контактной выносливости. Поэтому их следует проектировать на неограниченный по контакту ресурс, так чтобы контактные напряжения от эквивалентного момента равнялись пределу выносливости материала зубчатых колес. Что касается числа циклов нагружения по изгибной выносливости зубчатых колес (соответствующее базовое число циклов составляет  $2 \cdot 10^6$  по [3] и  $4 \cdot 10^6$  по [1, 2]), то оно в 18–440 раз превышает базовое в зависимости от рассматриваемого вала и модели электромобиля.

Подшипники электромобиля за гарантийный пробег совершают в 72–885 раз больше оборотов базового числа циклов, составляющего  $1 \cdot 10^6$  оборотов, что требует привлечения для расчета их ресурса малоизученной теории гигациклового усталости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21354 – 87 Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – 128 с.
2. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости / Под ред. Н.Ф. Бочарова, И.С. Цитовича. / Н.Ф. Бочаров [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1983 – 299 с.
3. Сергеенко, В.А. Кинето-силовой анализ трехвальных соосных коробок передач / В.А. Сергеенко. – Нью-Йорк: Big Open World, 2013. – 132 с.

Представлено 10.05.2019