

Ю.Л. ТАРСИС, канд. техн. наук, профессор, НТУ «ХПИ»

О ПРИМЕНЕНИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТИЛЬНОЙ ПОДАТЛИВОСТИ КОЛЕНА КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Наведено порівняльний аналіз впливу основних конструкційних параметрів на крутильну податливість коліна колінчастого вала при використанні традиційних емпіричних формул та метода скінчених елементів.

The comparative analysis of influence of the basic constructional parameters on Torsions flexibility of crankshaft is executed at use of traditional empirical formulas and of finite elements method.

Приведен сравнительный анализ влияния основных конструкционных параметров на крутильную податливость колена коленчатого вала при использовании традиционных эмпирических формул и метода конечных элементов.

В статье [1] приведены результаты определения податливости на кручение колен двух коленчатых валов: дизеля промышленного трактора (MTU) и стационарного дизеля Д80. Результаты расчетов, проведенных методом конечных элементов (МКЭ) в трехмерной постановке и с помощью эмпирических формул [1], приведены в табл. 1 и, для наглядности на рис. 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты расчетов крутильной податливости

Формула (метод)	MTU: $\epsilon/10^{-9}$ рад/Нм	Д-80: $\epsilon/10^{-10}$ рад/Нм
1 Тимошенко ($m = 0$)	2,296	3,723
2 Тимошенко ($m = 1$)	1,991	3,323
3 Зиманенко	2,414	4,077
4 Картер	2,084	3,317
5 Урванцев	2,646	5,050
6 В.І.С.Е.Р.А.	2,262	3,424
МКЭ	2.220	3,673

По номинальным значениям конструкционных параметров лучшими по отношению к МКЭ оказались результаты следующих расчетов: для вала MTU – по формулам 6 и 1 (менее 4 %); для вала Д-80 – по формуле 1 (менее 2 %). Худшими оказались: для вала MTU – по формулам 5 и 2 (более 10 %); для вала Д-80 – по формулам 5 и 3 (более 10 %).

Однако, для решения вопроса о применимости эмпирических формул в каждом конкретном случае, такое сравнение результатов, полученных при номинальных значениях конструкционных параметров, нельзя считать достаточным. В основе всех эмпирических формул лежит экспертная оценка вклада каждого конструкционного параметра в конечный результат, а сами эти

оценки получены на основании опыта разработчиков эмпирических формул. Отметим, что упомянутые эмпирические формулы разрабатывались в первой половине и в середине прошлого века и опирались на конструкции, существовавшие в то время. Не случайно авторы справочника [2] утверждают: «Выбор наиболее целесообразной формулы для каждого типа двигателя устанавливается на основании опыта расчетчика. Для существующих двигателей наиболее надежным является экспериментальное определение податливости по данным торсиографирования». Очевидно, что вклад каждого конструкционного параметра в конечный результат зависит не только от его конкретного значения, но и от значений остальных параметров.

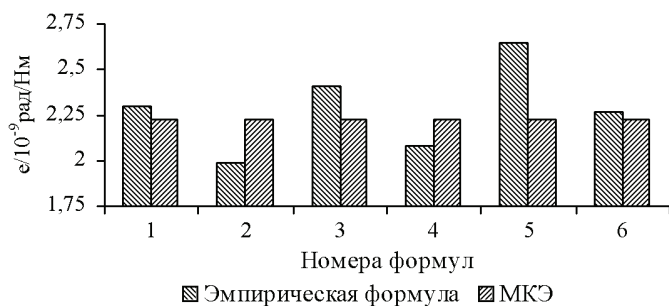


Рисунок 1 – Результаты сравнения для MTU

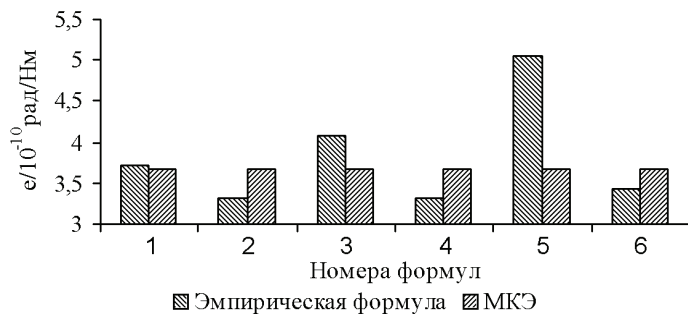


Рисунок 2 – Результаты сравнения для Д-80

В данной работе исследовался вклад основных конструкционных параметров в крутильную податливость рассматриваемых моделей при варьировании их в пределах $\pm 10\%$ от номинальных значений. Предварительные расчетные исследования показали, что некоторые из параметров не оказывают сколько-нибудь значительного влияния на окончательные результаты. К ним относятся радиусы галтелей и диаметры внутренних отверстий в коренной и шатунной шейках.

Приведем результаты варьирования следующих параметров, которые вно-

сят в той или иной мере существенный вклад в окончательный результат: l_1 – длина коренной шейки; l_2 – длина шатунной шейки; d_1 – наружный диаметр коренной шейки; d_2 – наружный диаметр шатунной шейки; h – толщина щеки; b – ширина щеки; R – радиус кривошипа (варьировался только в эмпирических формулах). Номинальные, минимальные и максимальные значения варьируемых параметров приведены в табл. 1, а результаты исследований на рис. 2-9.

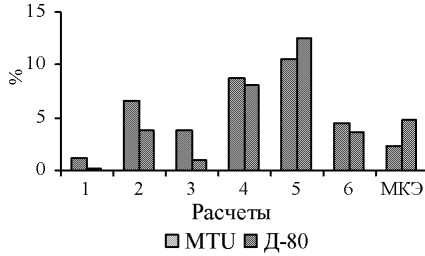


Рисунок 3 – Варьирование h

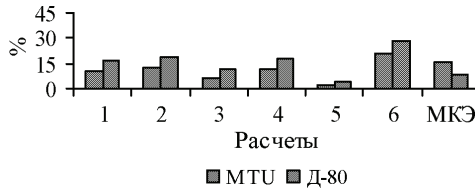


Рисунок 4 – Варьирование d_1

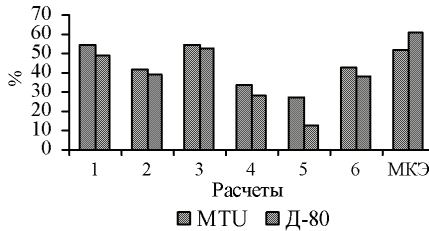


Рисунок 5 – Варьирование d_2

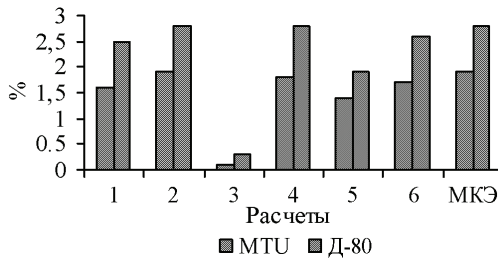


Рисунок 6 – Варьирование l_1

Таблица 1 – Значения конструкционных параметров

Двигатель		Значение параметра, м						
		h	d_1	d_2	l_1	l_2	b	R
MTU	ном.	0,0358	0,141	0,105	0,057	0,099	0,171	0,0925
	min	0,0322	0,127	0,095	0,051	0,089	0,154	0,0833
	max	0,0394	0,155	0,116	0,063	0,109	0,188	0,1020
Д-80	ном.	0,070	0,250	0,20	0,110	0,140	0,3135	0,1350
	min	0,063	0,225	0,18	0,099	0,126	0,2822	0,1215
	max	0,077	0,275	0,22	0,121	0,154	0,3449	0,1485

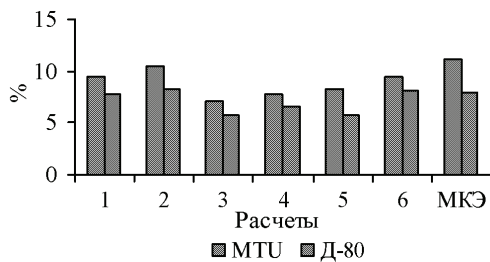


Рисунок 7 – Варьирование l_2

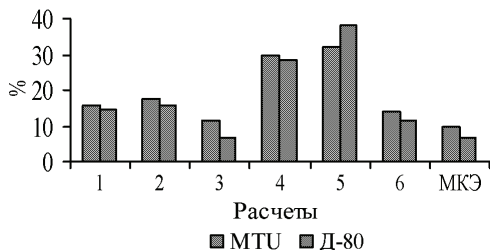


Рисунок 8 – Варьирование b

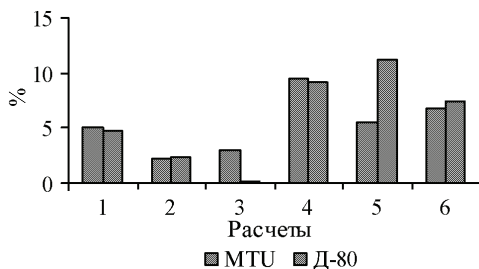


Рисунок 9 – Варьирование R

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Наиболее чувствительными эмпирические формулы и МКЭ оказались к варьирова-

нию диаметра и длины шатунной шейки и ширины щеки, а наименее – длины коренной шейки. Однако степень влияния существенно различается. Очевидно, что она зависит от соотношения значений всех параметров модели – конкретной конструкции вала. Собственно говоря, именно это соотношение и является основополагающим в разработке эмпирических формул, поскольку вклад каждого параметра в общий результат определяется эмпирическими коэффициентами. Несомненным достоинством эмпирических формул является то, что они опираются на опыт разработчиков, основанный на большом теоретическом и экспериментальном материале, однако, если рассматриваемые современные конструкции существенно отличаются от тех, для которых были получены эмпирические формулы, то нет уверенности в точности применяемой формулы. Об этом красноречиво свидетельствуют различия во вкладе варьируемых параметров в конечный результат для двух конструкций современных коленчатых валов (см. табл. 2).

Таблица 2 – Вклад варьируемых параметров в конечный результат

Параметр	% max		% min		% МКЭ	
	MTU	Д-80	MTU	Д-80	MTU	Д-80
h	10,6	12,5	1,1	0,2	2,3	4,7
d_1	20,7	28,6	2	4	15,4	8,7
d_2	54,5	61,1	27,5	13	52,1	61,1
l_1	1,9	2,8	0,1	0,3	1,9	2,8
l_2	11,2	8,1	7,1	5,7	11,2	8
b	32,3	38,4	11,3	6,8	9,6	6,8
R	9,54	11,24	2,15	0,15	–	–

В настоящее время при исследовании связанных колебаний коленчатого вала как пространственной системы построение адекватной стержневой модели с помощью эмпирических формул практически вряд ли возможно и нецелесообразно. Для решения этой задачи успешно используется МКЭ [3].

Список литературы: 1. *Соболь В.Н., Тарсис Ю.Л.* Определение крутильной податливости колена коленчатого вала методом конечных элементов // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Динамика и прочность машин». – 2009. – №42. – С. 151-156. 2. *Байков Б.П., Ваншейдт В.А., Воронов И.П. и др.* Дизели. Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1977, 479 с. 3. *Тарсис Ю.Л., Тарсис Е.Ю.* Идентификация параметров дискретной модели коленчатого вала при динамических расчетах / Материалы 11-й международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии». – Харьков, 2005. – С. 279-284.

Поступила в редколлегию 13.10.2011