

## ФАКТИЧЕСКАЯ МИНИМАЛЬНАЯ ДЛИНА ВХОДНОЙ И ВЫХОДНОЙ ЧАСТЕЙ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОСОЗУБЫХ КОЛЕС

© 2016

*В.В. Демидов*, кандидат технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»  
Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск (Россия)

**Ключевые слова:** червячно-модульная фреза; минимальные длины входной и выходной частей червячно-модульной фрезы; косозубое колесо; направление и величина осевой подачи; компьютерное имитационное моделирование.

**Аннотация:** Для рациональной эксплуатации червячно-модульных фрез (ЧМФ) необходимо знать их минимальные длины входных и выходных частей. Длины входной и выходной частей ЧМФ меньше минимально допускаемых значений недопустимы из-за возникновения брака зубчатых колес по профилю зубьев; при длинах входной и (или) выходной частей ЧМФ больше минимально допускаемых значений ресурс режущей способности фрез не будет использован полностью, т. е. не будет обеспечен возможный наибольший период их стойкости. Обзор и анализ приведенных в справочной литературе данных по рекомендуемым минимальным длинам входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес показал, что при одинаковых исходных данных значения этих длин в разных источниках информации неодинаковы. Приведенные в справочной литературе данные нуждаются в существенном уточнении и дополнении с учетом направления и величины осевой подачи, а также с учетом направлений винтовых линий зубьев фрезы и колеса. Изложена методика определения минимальных длин входной и выходной частей червячно-модульных фрез компьютерным имитационным моделированием кинематики процесса зубофрезерования цилиндрических колес ЧМФ, достоверность результатов которой подтверждена предыдущими исследованиями. Найдены восемь возможных вариантов зубофрезерования косозубых колес, и из них выявлены четыре не дублирующих друг друга варианта, для которых определены закономерности влияния модуля, числа и угла наклона зубьев колес, величины осевой подачи на минимальные длины входной и выходной частей фрез, установлено влияние направления осевой подачи на эти длины. Для не дублирующих друг друга вариантов зубофрезерования косозубых колес получены уравнения регрессии для расчета минимальных длин входной и выходной частей фрез с учетом модуля, числа и угла наклона зубьев колеса, величины осевой подачи.

### ВВЕДЕНИЕ

Передачи внешнего зацепления на основе эвольвентных цилиндрических колес, из которых более 25 % составляют косозубые колеса [1], широко используются во многих отраслях машиностроения [2; 3]. Наиболее распространенным, но трудоемким способом зубообработки колес, в частности косозубых колес, является зубофрезерование червячно-модульными фрезами (ЧМФ) [2–5]. В связи с этим повышение эффективности зубофрезерования косозубых колес ЧМФ существенно снизит трудоемкость их изготовления.

До настоящего времени повышение эффективности зубофрезерования косозубых колес ЧМФ обеспечивали путем совершенствования конструктивно-геометрических параметров ЧМФ [6–11], использования в качестве материала их режущей части твердых сплавов [12; 13], оптимизации режима зубофрезерования [4; 11; 14]. Возможность повышения эффективности зубофрезерования косозубых колес ЧМФ путем точного определения и применения рациональных минимальных длин входной и выходной частей ЧМФ не принималась.

Цель исследования – выявление основных факторов, оказывающих влияние на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ, и установление закономерности их влияния на эти длины; сравнение полученных результатов с данными, приведенными в справочной литературе; разработка на основе установленных закономерностей математических моделей для расчета минимальных длин входной и выходной частей ЧМФ с учетом всех основных факторов.

Входная и выходная части ЧМФ расположены в противоположные стороны от межосевого перпендикуляра фреза – колесо: входная часть – в сторону, противоположную направлению вращения колеса; выходная часть – в сторону по направлению вращения колеса [2; 5; 14]. Длины входной и выходной частей фрез меньше минимально допускаемых значений недопустимы из-за возникновения брака зубчатых колес по профилю зубьев. При длинах входной и (или) выходной частей фрез больше минимально допускаемых значений ресурс режущей способности фрез не будет использован полностью, т. е. не будет обеспечен возможный наибольший период их стойкости. Таким образом, знание достоверных значений минимально допускаемых длин входной и выходной частей фрез необходимо для рациональной эксплуатации ЧМФ, а при известных величине передвижки фрезы и числе планируемых передвижек – необходимо для проектирования ЧМФ с рациональной длиной рабочей части.

В настоящее время минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ либо выбирают из соответствующих таблиц [2; 5], либо определяют по номограммам [15], либо рассчитывают по формулам [14–16], либо определяют экспериментальным путем. В статье [17] определение минимальных длин входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании прямоугольных колес выполнено методом компьютерного имитационного моделирования (КИМ) кинематики процесса зубофрезерования цилиндрических колес ЧМФ, и экспериментальным путем доказана достоверность полученных этим методом результатов. Также в этой статье установлено

ранее не учитываемое влияние направления осевой подачи на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ и подтверждено учитываемое только в работе [15] влияние величины осевой подачи на минимальную длину входной части ЧМФ.

Обзор и анализ приведенных в указанной справочной литературе данных по рекомендуемым минимальным длинам входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес показал, что при одинаковых исходных данных значения этих длин в разных источниках информации неодинаковы. Поэтому, в связи с практической полезностью определения достоверных значений минимальных длин входной и выходной частей ЧМФ, приведенные в справочной литературе данные при зубофрезеровании косозубых колес требуют существенного уточнения и дополнения с учетом направления и величины осевой подачи, а также с учетом направлений винтовых линий зубьев фрезы и колеса.

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ДЛИН ВХОДНОЙ И ВЫХОДНОЙ ЧАСТЕЙ ЧМФ

В качестве основных факторов, оказывающих влияние на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ при обработке косозубых колес, выбрали модуль, число и угол наклона зубьев колеса, направление и величину осевой подачи, направления винтовых линий зубьев фрезы и колеса.

Исследования проводили методом КИМ кинематики процесса зубофрезерования колес ЧМФ с использованием разработанной автором программы “Model milling” [18–20]. Суть метода КИМ заключается в том, что при моделировании определяли число зубьев ЧМФ, участвующих в срезании материала заготовки колеса на входной и выходной частях фрезы, а минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ определяли как произведение соответствующего этой части фрезы числа зубьев на осевой шаг соседних по винтовой линии зубьев фрезы.

Для определения числа зубьев ЧМФ, участвующих в срезании материала заготовки колеса, на входной и выходной ее частях всем зубьям виртуальной ЧМФ про-

граммно присвоены порядковые номера, точнее, индексы зубьев. Зубу ЧМФ, ось профиля которого находится в плоскости вращения фрезы, проходящей через межосевую перпендикуляр фрезы и колеса, присвоен нулевой индекс (нулевой зуб). Порядковые номера (индексы) по винтовой линии зубьев ЧМФ, начиная от нулевого зуба, в сторону положительного направления оси системы координат фрезы, совмещенной с осью ее вращения, положительные, в сторону отрицательного направления – отрицательные. При моделировании зубофрезерования колес ЧМФ определяются значения крайних индексов ее зубьев, участвующих в срезании материала заготовки колеса, на входной и выходной частях и, следовательно, минимальные длины входной и выходной частей фрезы.

Возможные варианты сочетаний направлений осевой подачи, винтовой линии зубьев ЧМФ и колес, а также последовательность срезания материала впадины колеса зубьями ЧМФ и абсолютные значения крайних индексов этих зубьев, установленные моделированием, приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что в вариантах 1 и 4, 2 и 3, 5 и 8, 6 и 7 абсолютные значения крайних индексов зубьев одинаковы на входной части и одинаковы на выходной части, т. е. из восьми возможных вариантов обработки зубьев косозубых колес для установления закономерностей влияния основных факторов на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ достаточно исследовать только четыре не дублирующих друг друга варианта: 1 или 4, 2 или 3, 5 или 8, 6 или 7.

Для каждого из этих четырех вариантов методом КИМ проводили зубофрезерование косозубых колес с модулем 1, 3, 6, 9 мм, числом зубьев 20, 45, 90, 135 шт. и углом наклона зубьев 5, 15, 25° однозаходными ЧМФ с наружными диаметрами 71 мм (для модуля 1 мм), 112 мм (для модуля 3 мм), 160 мм (для модуля 6 мм), 180 мм (для модуля 9 мм) с осевой подачей, равной 1, 2, 3 мм/об.

Для проверки достоверности выявленных методом КИМ закономерностей проведены экспериментальные исследования по определению фактических значений минимальных длин входной и выходной частей

**Таблица 1.** Возможные варианты сочетаний направлений осевой подачи, винтовой линии зубьев ЧМФ и косозубых колес при их зубофрезеровании, последовательность срезания материала впадины колеса зубьями ЧМФ и абсолютные значения крайних индексов этих зубьев

Параметры фрезерования	Номера вариантов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Направление осевой подачи	встречное				попутное			
Направление винтовой линии зубьев ЧМФ	правое		левое		правое		левое	
Направление винтовой линии зубьев колес	правое	левое	правое	левое	правое	левое	правое	левое
Последовательность срезания материала впадины колеса зубьями ЧМФ: А, В, С, D, E, F, G, H – абсолютные значения крайних индексов этих зубьев	от –А по В	от –С по D	от С по –D	от А по –В	от –Е по F	от –G по H	от G по –H	от E по –F

фрезы, которые сравнивали с их значениями, полученными методом КИМ. С этой целью при одинаковых вариантах исходных данных на зубофрезерном станке *FO-6* и методом КИМ обрабатывали правозаходные косозубые колеса с модулем 3 мм, углом наклона зубьев  $30^\circ$  и числом зубьев, равным 20, 45 и 90 шт., при встречном и попутном фрезеровании с осевой подачей, равной 1,85 мм/об, однозаходной правой ЧМФ с наружным диаметром 68 мм и числом стружечных канавок, равным 10 шт. Угол подъема винтовой линии зубьев ЧМФ на делительном цилиндре в расчетном сечении равен  $2^\circ 47'$ , осевой шаг между соседними по винтовой линии зубьями фрезы равен 0,944 мм. Экспериментальное определение минимальных длин входной и выходной частей ЧМФ проводили после зубофрезерования колеса по наличию на фрезе стертого участка тонкого слоя аэрозольной алкидной высокоадгезионной эмали ПФ-133 ТУ 2388-028-18738966-11, предварительно нанесенной на поверхности зубьев фрезы и высушенной по рекомендуемой для данной эмали технологии.

Сопоставление значений минимальных длин входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес как со встречной, так и с попутной подачами, полученных экспериментально и моделированием, показало их практически полное совпадение. Таким образом, установлена достоверность результатов определения методом КИМ минимальных длин входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

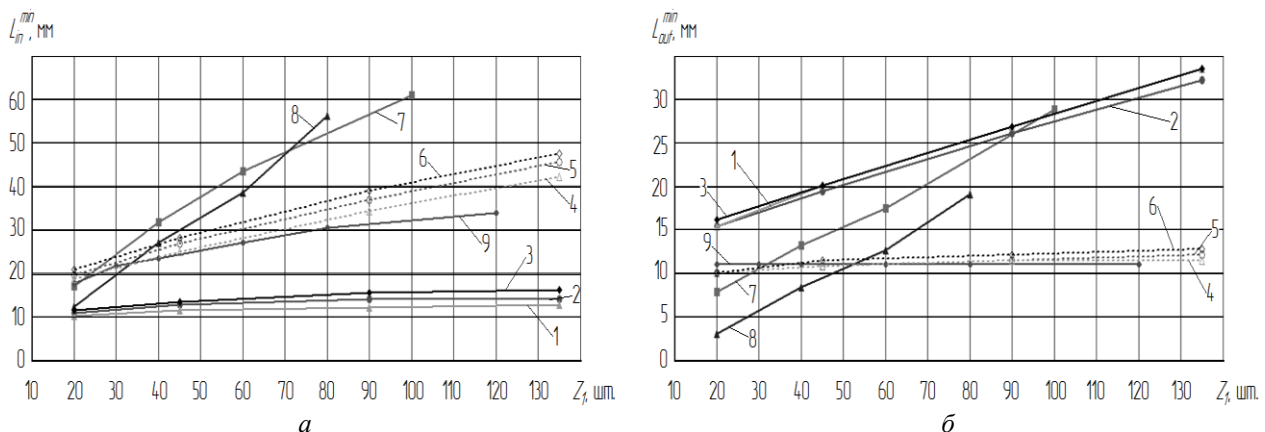
В результате проведенного исследования получен большой объем информации по влиянию модуля, числа и угла наклона зубьев косозубых колес, направления и величины осевой подачи, сочетания направлений зубьев ЧМФ и колес. Анализ полученной информации позволил установить основные закономерности влияния перечисленных факторов на минимальные длины вход-

ной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес. На рис. 1 и 2 приведены результаты исследования, полученные при зубофрезеровании косозубых колес с модулем 3 мм и углом наклона зубьев  $15^\circ$  по вариантам 1, 4 и 5, 8 (одинаковые направления зубьев ЧМФ и колес) и по вариантам 2, 3 и 6, 7 (противоположные направления зубьев ЧМФ и колес). Также на этих рисунках для сравнения приведены минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ по данным [2; 5; 14].

Как видно из приведенных на рис. 1 и 2 результатов, минимальные длины входной  $L_{in}^{min}$  и выходной  $L_{out}^{min}$  частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес существенно зависят от направления осевой подачи.

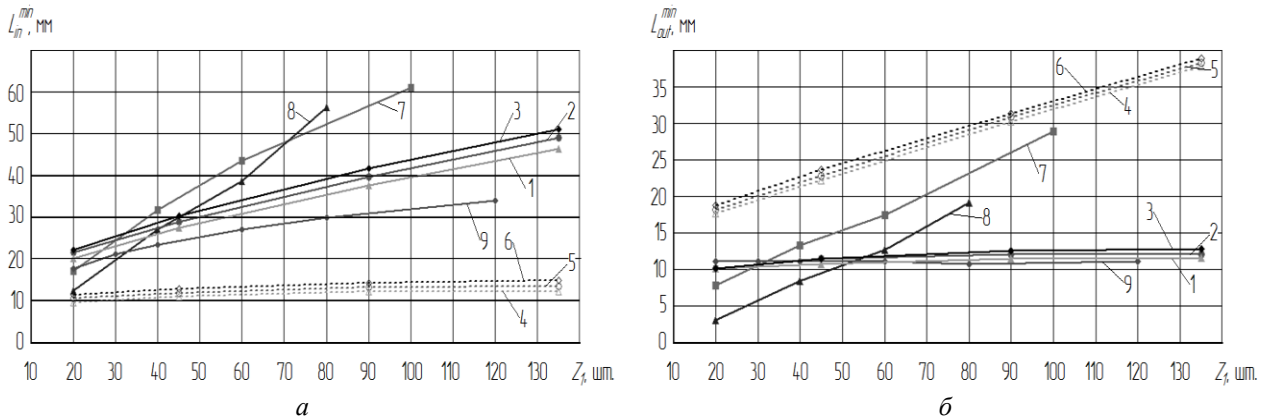
Для одинаковых направлений зубьев фрезы и колес (см. рис. 1) значения  $L_{in}^{min}$  при встречной подаче меньше их значений при попутной подаче, а значения  $L_{out}^{min}$ , наоборот, при встречной подаче больше их значений при попутной подаче. Влияние числа  $Z_1$  зубьев колес на значения  $L_{in}^{min}$  и  $L_{out}^{min}$  также зависит от направления подачи: влияние числа  $Z_1$  на значения  $L_{in}^{min}$  при попутной подаче значительнее, чем при встречной подаче, а на значения  $L_{out}^{min}$ , наоборот, влияние числа  $Z_1$  при встречной подаче значительнее, чем при попутной подаче.

Для противоположных направлений зубьев фрезы и колес (см. рис. 2) описанные выше закономерности влияния направления подачи меняются на противоположные: закономерности, установленные для одинаковых направлений зубьев фрезы и колес при встречной подаче, верны для противоположных направлений зубьев фрезы и колес при попутной подаче, а закономерности, установленные для одинаковых направлений зубьев фрезы и колес при попутной подаче, верны для противоположных направлений зубьев фрезы и колес при встречной подаче. Из изложенного следует



**Рис. 1.** Влияние числа зубьев  $Z_1$  косозубых колес с модулем 3 мм и углом наклона зубьев  $15^\circ$  на минимальную длину входной  $L_{in}^{min}$  (а) и выходной  $L_{out}^{min}$  (б) частей ЧМФ с наружным диаметром 112 мм:

- 1, 2, 3 – данные, полученные моделированием для вариантов 1, 4 по таблице 1 при подаче, равной 1, 2, 3 мм/об соответственно;
- 4, 5, 6 – данные, полученные моделированием для вариантов 5, 8 по таблице 1 при подаче, равной 1, 2, 3 мм/об соответственно;
- 7, 8, 9 – данные по [2; 14; 5] соответственно



**Рис. 2.** Влияние числа зубьев  $Z_1$  косозубых колес с модулем 3 мм и углом наклона зубьев  $15^\circ$  на минимальную длину входной  $L_{in}^{\min}$  (а) и выходной  $L_{out}^{\min}$  (б) частей ЧМФ с наружным диаметром 112 мм:

- 1, 2, 3 – данные, полученные моделированием для вариантов 2, 3 по таблице 1 при подаче, равной 1, 2, 3 мм/об соответственно;  
 4, 5, 6 – данные, полученные моделированием для вариантов 6, 7 по таблице 1 при подаче, равной 1, 2, 3 мм/об соответственно;  
 7, 8, 9 – данные по [2; 14; 5] соответственно

интересная закономерность: значения  $L_{in}^{\min}$  и  $L_{out}^{\min}$  для вариантов 1, 4 близки к их значениям для вариантов 6, 7, а для вариантов 5, 8 – к их значениям для вариантов 2, 3.

Влияние величины осевой подачи на минимальную длину входной ЧМФ следует признать существенным для всех исследованных вариантов (см. таблицу 1), но степень этого влияния неодинакова и зависит от варианта зубофрезерования, модуля, угла наклона и числа  $Z_1$  зубьев колеса. Например, для вариантов 1, 4 при угле наклона зубьев колес  $5^\circ$  ( $25^\circ$ ) значения  $L_{in}^{\min}$  увеличиваются с увеличением подачи с 1 до 3 мм/об для модулей 1 и 9 мм при  $Z_1=20$  шт. соответственно в 1,20 (1,22) и 1,07 (1,00) раза, а при  $Z_1=135$  шт. – соответственно в 1,56 (1,40) и 1,38 (1,07) раза. Для вариантов 5, 8 для тех же условий значения  $L_{in}^{\min}$  увеличиваются при  $Z_1=20$  шт. соответственно в 1,19 (1,02) и 1,21 (1,04) раза, а при  $Z_1=135$  шт. – соответственно в 1,30 (1,07) и 1,24 (1,04) раза. Для вариантов 2, 3 для тех же условий значения  $L_{in}^{\min}$  увеличиваются при  $Z_1=20$  шт. соответственно в 1,14 (1,00) и 1,05 (1,03) раза, а при  $Z_1=135$  шт. – соответственно в 1,25 (1,06) и 1,08 (1,06) раза. Для вариантов 6, 7 для тех же условий значения  $L_{in}^{\min}$  увеличиваются при  $Z_1=20$  шт. соответственно в 1,14 (1,16) и 1,25 (1,00) раза, а при  $Z_1=135$  шт. – соответственно в 1,63 (1,35) и 1,13 (1,00) раза.

Из данных по влиянию угла  $\beta_1$  на значения  $L_{in}^{\min}$  и  $L_{out}^{\min}$  следует, что увеличение угла  $\beta_1$  приводит к небольшому уменьшению значений  $L_{in}^{\min}$  для вариантов 1, 4 и 6, 7 и к существенному увеличению значений  $L_{in}^{\min}$  для вариантов 2, 3 и 5, 8. Из данных по влиянию угла  $\beta_1$  на значения  $L_{out}^{\min}$  следует, что увеличение угла  $\beta_1$  приводит к существенному увеличению значений  $L_{out}^{\min}$  для вариантов 1, 4 и 6, 7 и к незначительному увеличению значений  $L_{out}^{\min}$  для вариантов 2, 3 и 5, 8.

Зависимость значений  $L_{in}^{\min}$  и  $L_{out}^{\min}$  от модуля, полученная моделированием, является практически линейной, но в отличие от зависимости, приведенной в [2; 14], не прямо пропорциональной.

Минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ, полученные моделированием, существенно отличаются от данных, приведенных в [2; 14], причем это отличие не только в разнице их значений, но и в характере влияния на них числа зубьев колес. Данные, приведенные в [5], близки к данным, полученным моделированием, только при следующих условиях: одинаковые направления зубьев фрезы и колес при попутной подаче (варианты 5, 8); противоположные направления зубьев фрезы и колес при встречной подаче (варианты 2, 3).

На основе установленных закономерностей влияния модуля, числа и угла наклона зубьев колес, величины осевой подачи на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес для не дублирующих друг друга вариантов 1, 4; 2, 3; 5, 8; 6, 7 разработаны математические модели для расчета этих длин с учетом всех основных факторов.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Для установления закономерностей влияния основных факторов на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес из восьми возможных вариантов сочетаний направлений осевой подачи, винтовой линии зубьев ЧМФ и колес достаточно исследовать только четыре не дублирующих друг друга варианта: 1 или 4, 2 или 3, 5 или 8, 6 или 7.

2. Минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ, полученные моделированием, существенно отличаются от данных, приведенных в [2; 14]. Данные, приведенные в [5], близки к данным, полученным моделированием, только для вариантов 2, 3 и 5, 8.

3. Установлено существенное влияние направления осевой подачи на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ.

4. Влияние величины осевой подачи на минимальную длину входной части ЧМФ следует признать существенным для всех исследованных вариантов, но степень этого влияния неодинакова и зависит от варианта зубофрезерования, модуля, угла наклона и числа зубьев колеса.

5. Увеличение угла наклона зубьев колес приводит к небольшому уменьшению значений  $L_{in}^{min}$  для вариантов 1, 4 и 6, 7 и к существенному увеличению значений  $L_{in}^{min}$  для вариантов 2, 3 и 5, 8; увеличение угла наклона зубьев колес приводит к существенному увеличению значений  $L_{out}^{min}$  для вариантов 1, 4 и 6, 7 и к незначительному увеличению значений  $L_{out}^{min}$  для вариантов 2, 3 и 5, 8.

6. Зависимость значений  $L_{in}^{min}$  и  $L_{out}^{min}$  от модуля, полученная моделированием, является практически линейной, но в отличие от зависимости, приведенной в [2; 14], не прямо пропорциональной.

7. На основе установленных закономерностей влияния модуля, числа и угла наклона зубьев колес, величины осевой подачи на минимальные длины входной и выходной частей ЧМФ при зубофрезеровании косозубых колес для не дублирующих друг друга вариантов 1, 4; 2, 3; 5, 8; 6, 7 разработаны математические модели для расчета этих длин с учетом всех основных факторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов В.Д. Технологические основы повышения эффективности зубонарезания цилиндрических колес с продольной модификацией : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 2011. 40 с.
2. Производство зубчатых колес: справочник / под ред. Б.А. Тайца. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1990. 464 с.
3. Фигнер М.Л. Цилиндрические зубчатые колеса. М.: Научная книга, 2005. 368 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 ч. Ч. 1 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 4-е изд. М.: Машиностроение, 1985. 656 с.
5. Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячно-го типа. М.: Машиностроение, 2007. 240 с.
6. Иноземцев Г.Г. Червячные фрезы с рациональными геометрическими и конструктивными параметрами. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1961. 224 с.
7. Петрушин С.И. Теоретические основы оптимизации режущей части лезвийных инструментов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1998. 36 с.
8. Демидов В.В., Демидова Е.В. Пути повышения эффективности зубофрезерования червячно-модульными фрезами // Металлообработка. 2010. № 5. С. 15–17.
9. Медведицков С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. 104 с.
10. Токарев В.В., Скребнев Г.Г., Нарожных А.Т., Смольников Н.Я. Червячные зуборезные фрезы. Волгоград: ВолГТУ, 1998. 136 с.
11. Сидоренко А.К. Червячные фрезы: Опыт НКМЗ. М.: Машиностроение, 1980. 83 с.
12. Мойсеенко О.И., Павлов Л.Е., Диденко С.И. Твердосплавные зуборезные инструменты. М.: Машиностроение, 1977. 190 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 ч. Ч. 2 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 4-е изд. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
14. Режимы резания металлов: справочник / под ред. Ю.В. Барановского. М.: НИИТавтопром, 1995. 456 с.
15. Никитина З.А. Инструкции по расчету червячных фрез. М.: ВНИИ, 1966. 96 с.
16. Металлорежущие инструменты / под ред. Г.Н. Сахарова. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
17. Демидов В.В., Табаков В.П., Демидова Е.В. Определение фактической минимальной длины входной и выходной частей червячно-модульных фрез при обработке прямозубых колес с осевой подачей // Справочник. Инженерный журнал. 2010. № 3. С. 18–22.
18. Демидов В.В., Гуськова Е.В. Твердотельное моделирование процесса фрезерования червячно-модульной фрезой // Математическое моделирование физических, экономических, технических, социальных систем и процессов: труды седьмой Междунар. конф. Ульяновск: УлГТУ, 2009. С. 89–91.
19. Демидов В.В., Демидова Е.В. Имитационная модель процесса зубофрезерования цилиндрических колес и скорректированных долбяков червячно-модульными фрезами // Технология машиностроения. 2010. № 7. С. 53–57.
20. Демидов В.В., Попович А.В. Подпрограмма для моделирования процесса зубофрезерования червячной фрезой в рабочей среде пакета Unigraphics NX4.0: свидетельство № 2008612202 РФ о государственной регистрации программы на ЭВМ. Ульяновск: УлГТУ, 2008.

#### REFERENCES

1. Artamonov V.D. *Tekhnologicheskie osnovy povysheniya effektivnosti zubonarezaniya tsilindricheskikh koles s prodolnoy modifikatsiyey*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Background technology of enhancing the efficiency of gear cutting of cylindrical wheels with lengthwise ease-off]. Tula, 2011. 40 p.
2. Tayts B.A., ed. *Proizvodstvo zubchatykh koles* [Gear wheels production]. 3rd ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 464 p.
3. Figner M.L. *Tsilindricheskie zubchatye kolea* [Cylindrical wheels]. Moscow, Nauchnaya kniga Publ., 2005. 368 p.
4. Kosilova A.G., Meshcheryakova R.K., eds. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Reference book of a technologist-machine engineer]. 4th ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. Part 1, 656 p.
5. Polokhin O.V., Tarapanov A.S., Kharlamov G.A. *Narezanie zubchatykh profiley instrumentami chervyachnogo tipa* [Cutting of gear profiles using the worm-configured tool]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007. 240 p.
6. Inozemtsev G.G. *Chervyachnye frezy s ratsionalnymi geometricheskimi i konstruktivnymi parametrami* [Worm hobs with rational geometrical and structural parameters]. Saratov, Saratovskiy universitet Publ., 1961. 224 p.

7. Petrushin S.I. *Teoreticheskie osnovy optimizatsii rezhushchey chasti lezviynykh instrumentov*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Theoretical foundations of optimization of edge tool cutting part]. Moscow, 1998. 36 p.
8. Demidov V.V., Demidova E.V. Ways of increasing of the efficiency of gear cutting by worm-modular milling cutters. *Metalloobrabotka*, 2010, no. 5, pp. 15–17.
9. Medveditskov S.N. *Vysokoproizvoditelnoe zubonarezanie frezami* [High-productive gear cutting by hobs]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 104 p.
10. Tokarev V.V., Skrebnev G.G., Narozhnykh A.T., Smolnikov N.Ya. *Chervyachnye zuboreznye frezy* [Worm gear cutting hobs]. Volgograd, VolGTU Publ., 1998. 136 p.
11. Sidorenko A.K. *Chervyachnye frezy: Opyt NKMZ* [Worm hobs: the experience of NKMZ]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 83 p.
12. Moyseenko O.I., Pavlov L.E., Didenko S.I. *Tverdospлавные зуборезные инструменты* [Hard-alloy gear cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 190 p.
13. Kosilova A.G., Meshcheryakova R.K., eds. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya* [Reference book of a technologist-machine engineer]. 4th ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. Part 2, 496 p.
14. Baranovsky Yu.B., ed. *Rezhimy rezaniya metallov* [Metal cutting modes]. Moscow, NIITavtoprom Publ., 1995. 456 p.
15. Nikitina Z.A. *Instruktsii po raschety chervyachnykh frez* [The instruction on the worm hobs calculation]. Moscow, VNI Publ., 1966. 96 p.
16. Sakharov G.N. *Metallorēzhushchie instrumenty* [Metal-cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 328 p.
17. Demidov V.V., Tabakov V.P., Demidova E.V. Definition of actual minimum length of entrance and target parts of worm-modular cutters at machining of straight-toothed wheels with axial supply. *Spravochnik. Inzhenerny zhurnal*, 2010, no. 3, pp. 18–22.
18. Demidov V.V., Guskova E.V. Solid state modeling of the process of hobbing by the worm gear cutter. *Trudy sedmoy Mezhdunar. konf. "Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh, ekonomicheskikh, tekhnicheskikh, sotsialnykh sistem i protsessov"*. Ulyanovsk, UIGTU Publ., 2009, pp. 89–91.
19. Demidov V.V., Demidova E.V. E.B. Model of the cutting of cylindrical gears and corrected gear cutters by modular hobs. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2010, no. 7, pp. 53–57.
20. Demidov V.V., Popovich A.V. *Podprogramma dlya modelirovaniya protsessa zubofrezerovaniya chervyachnoy frezoy v rabochey srede paketa Unigraphics NX4.0* [Subprogram for simulating the process of gear hobbing by worm hob in the operating environment of the Unigraphics NX4.0 pack], registration of computer program no. 2008612202 RF, 2008.

#### ACTUAL MINIMAL LENGTH OF ENTRY AND EXIT PARTS OF THE WORM GEAR CUTTERS WHEN PROCESSING HELICAL WHEELS

© 2016

V.V. Demidov, PhD (Engineering), Associate Professor, professor of Chair “Metal cutting machines and tools”  
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk (Russia)

*Keywords:* worm gear cutter; minimal lengths of entry and exit parts of worm gear cutter; helical wheel; axial feed direction and size; computer simulating modeling.

*Abstract:* For the efficient operation of worm gear cutters (WGC), it is necessary to know their minimal lengths of entry and exit parts. The lengths of entry and exit parts of the WGC less than the minimum admissible values are impossible due to the creation of defects of gear wheels along the teeth profile. If the lengths of entry and (or) exit parts of the WGC are more than the minimum admissible values, the cutting power resource of hobs will not be used to a full degree, i. e. possible maximal period of their durability will not be ensured. The review and analysis of data on the recommended minimal lengths of entry and exit parts of the WGC when hobbing helical wheels presented in reference literature showed that the values of these lengths at equal initial data are different in different information resources. Data presented in reference literature need to be added and updated taking into account both the direction and size of axial feed and the directions of teeth helical curves of a hob and a wheel. The author describes the technique of determining the minimal lengths of the entry and exit parts of the worm gear cutters using the computer simulating modeling of the kinematics of the process of hobbing WGC cylindrical gearwheels, which results reliability is proved by the previous investigations. The author found eight possible options of hobbing helical wheels, specified four not mirrored variants and defined the regularities of influence of the module, number and angle of wheel teeth inclination and axial feed size on the minimal lengths of the entry and exit parts of the hobs, determined the influence of axial feed direction on these lengths. The regression equations to calculate minimal lengths of entry and exit parts of hobs taking into account the module, the number and inclination angle of wheel teeth and the axial feed size were obtained for not mirrored variants of hobbing helical wheels.