



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

УДК 539.3

П.А. ПАРХОМЧИК

Белорусский автомобильный завод, г. Жодино

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

*Приводится информация о путях совершенствования производства зубчатых передач на Белорусском автомобильном заводе с использованием результатов исследований и разработок специалистов научно-исследовательских организаций Национальной академии наук Беларуси и Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь.*

**Ключевые слова:** зубчатые передачи, планетарный редуктор, производство, стандарт, нормы точности, базирование

**Введение.** Продукция Белорусского автомобильного завода занимает треть мирового рынка карьерных самосвалов и входит в семерку ведущих мировых концернов по производству карьерной техники — Komatsu-Dresser, Euclid-Hitachi, Caterpillar, Liebherr, Terex, Kress.

Зубчатые передачи для производимых карьерных самосвалов в полном объеме изготавливаются на БелаЗе. Их надежность в значительной степени определяет конкурентоспособность этих большегрузных машин.

С целью дальнейшего развития мощностей для производства зубчатых передач БелаЗом закуплены современные зубофрезерные и зубошлифовальные станки для цилиндрических колес фирмы Liebherr, станки для конических колес фирмы Gleason, станок для финишной обработки шлицевых отверстий фирмы Fässler, агрегаты для термической обработки фирмы Ipsen. Это позволило создать условия для повышения качества зубчатых передач карьерных самосвалов до уровня лучших конкурентов и разработки дополнительных принципиальных решений по ряду вопросов производства зубчатых передач и, в первую очередь, редукторов мотор-колес.

**Назначение норм точности** на наиболее распространенные цилиндрические и конические передачи определяется ГОСТ 1643-81 и ГОСТ 1758-81, которые были разработаны в 1956 году и, с небольшими уточнениями, действуют до настоящего времени [1, 2]. Во времена СССР назначение норм точности зубчатых передач авто- и тракторостроения регламентировалось отраслевыми стандартами, которые централизованно разрабатывались такими

крупными отраслевыми исследовательскими институтами, как НИИТавтопром и НАТИ (таблица 1) [3].

Кроме назначения норм точности зубчатых передач в авто- и тракторостроении действовали типовые технологические процессы для изготовления всех типов зубчатых колес и шлицевых валов. В настоящее время назначение норм точности зубчатых передач производит самостоятельно разработчик зубчатой передачи. Нормы точности зубчатых колес наиболее востребованных в настоящее

**Таблица 1 — Реализованная точность цилиндрических зубчатых передач авто- и тракторостроения**

Применение зубчатых передач	Разновидности зубчатых передач	Степень точности по ГОСТ 1643-81	
		в автостроении	в тракторостроении
Коробки передач	Высшие и средние передачи	8-7-7	9
	Низшие передачи и передачи заднего хода	9-8-7	9
Планетарные передачи	С внешними зубьями	8-7-6	10-9-9
	С внутренними зубьями	8-7-6	11-11-10
Бортовые редукторы	—	9	11-11-10

время планетарных передач белорусских мобильных машин приведены в таблице 2.

Краткий анализ назначенных норм точности для зубчатых колес планетарных передач белорусских мобильных машин показывает, что в настоящее время единого подхода к технической политике в области проектирования зубчатых колес планетарных передач уже практически нет.

**Назначение норм точности на базирование** зубчатых колес связано с выбором схемы базирования зубчатых колес в передаче.

Значительная часть зубчатых колес имеет шлицевые отверстия. Как правило, после термической обработки необходима финишная обработка базирующей поверхности шлицевого отверстия. В зависимости от метода центрирования и допускаемой твердости поверхности различают несколько вариантов финишной обработки шлицевого отверстия.

Для высоконагруженных передач преимущественно используются эвольвентные шлицевые соединения. В этих соединениях сегодня используются все три возможных варианта базирования: по наружному диаметру, по внутреннему диаметру и по боковой поверхности, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Однако до настоящего времени не разработаны четкие рекомендации ни к выбору схемы базирования, ни к взаимосвязанной с ней наиболее рациональной технологии изготовления. Вследствие этого, доля погрешности базирования зубчатых колес, которая

не должна превышать 30 % общей погрешности зубчатой передачи, не всегда достижима и расчетные показатели долговечности и надежности в ряде случаев отличаются от действительных.

**Стандарты на зубчатые передачи в системах DIN, AGMA и ISO** используются конкурентами БелАЗа [4] при проектировании и производстве тяжелоагрессивных зубчатых передач, в т. ч. для карьерных самосвалов [4].

В зарубежной практике создания технически сложных компонентов машиностроения, таких, как зубчатые передачи тяжелоагрессивных редукторов мобильной техники, для обеспечения требуемых параметров надежности и безопасности в систему менеджмента качества (стандарты) введено существенно большее, по сравнению с ГОСТ, число функционально ориентированных формализованных требований к их проектированию, изготовлению и приемке. Это позволяет сократить постоянно нарастающий разрыв между повышающимися требованиями к качеству и не всегда достаточной для его обеспечения квалификацией инженерно-технических специалистов среднего звена.

Так, например, сравним общее положение с назначением норм точности по существующей в настоящее время в СНГ системе ГОСТ с зарубежными изготовителями зубчатых передач, использующих европейскую систему DIN.

В системе ГОСТ действует 30 основных стандартов на цилиндрические конические и червячные

Таблица 2 — Нормы точности зубчатых колес планетарных передач белорусских мобильных машин

Предприятие	Место применения	Вид зубчатых колес	Модуль	Точность по ГОСТ 1643-81
БелАЗ	Карьерный самосвал 75132	Коронная 1 ряда	7	8 А
		Сателлит 1 ряда	7	8-7-7 А
		Солнечная 1 ряда	7	7 В
		Коронная 2 ряда	10	8 А
		Сателлит 2 ряда	10	8-8-7 В
		Солнечная 2 ряда	10	7-8-7 В
МТЗ	Трактор 2522	Коронная	5	10-9-9-Сс
		Сателлит	5	8-8-7-Ас
		Солнечная	5	8-8-7-А
	Трактор 2522-26	Коронная	5	10-9-8-С
		Сателлит	5	9-С
		Солнечная	5	9-С
МАЗ	Автомобиль 5440	Коронная	4,5	9-8-8 Cd
		Сателлит	4,5	7-6-6 Cd
		Солнечная	4,5	7-6-6 Cd

передачи, в системе DIN — 64 основных стандарта на эти же передачи. Стандартами DIN определены не только все основные термины, определения и обозначения, расчеты геометрии, модули, исходные контуры, параметры и допуски, но и действует большая группа стандартов, не имеющих аналогов в системе ГОСТ. Так, например, в системе DIN параметры контроля выбираются в соответствии с функциональными требованиями к зубчатой передаче и для каждой из функциональных групп имеют свои контрольные комплексы, например, для обеспечения равномерности передачи крутящего момента, обеспечения плавности хода и снижения динамических нагрузок. Как следствие, регламентируется большее число показателей точности зубчатых колес, что позволяет более тесно увязать эти показатели с эксплуатационными требованиями к передаче. В системе DIN имеется большое количество дополнительных стандартов по назначению модификаций, фланкирования, применению различных форм зубьев, что расширяет возможности улучшения свойств передачи без существенного изменения основных параметров. Между системами DIN и ГОСТ имеются существенные различия в определении требований к погрешностям профиля зуба и его направлению, что позволяет в системе DIN точнее оценивать качество зубчатых колес и целенаправленно выделять те показатели точности, которые необходимы для обеспечения функционирования конкретной передачи.

Приведенные выше различия между требованиями ГОСТов и DIN на зубчатые передачи в основном обусловлены тем, что во времена СССР в авто- и тракторостроении, за исключением ВАЗа и КАМАЗа в производстве зубчатых колес в основном использовалось отечественное оборудование и инструменты. ГОСТы были той основой, которая регулировала отношения между покупателями и производителями зубообрабатывающего оборудования и инструментов.

В настоящее время зарубежное станкостроение создало новые конструкции оборудования и инструмента для производства и контроля зубчатых колес. Принципиально изменилась технология изготовления зубчатых передач и условия комплектования отечественных производств оборудованием тех или иных производителей. У отечественных производителей появилась возможность использования самого современного зарубежного оборудования и инструмента для производств зубчатых передач, которые в своей основе базируются на стандартах DIN. Как следствие, возникла необходимость согласования нормированных показателей качества зубчатых передач систем ГОСТ и DIN.

Целесообразно отметить, что зарубежные поставщики зубообрабатывающего оборудования работают по стандартам DIN и никаких трудностей в заказе этого оборудования по чертежам зубчатых колес, оформленных в системе DIN, не существует.

Поэтому при заказе современного зубообрабатывающего оборудования отечественными потребителями необходима адаптация конструкторской документации на зубчатые передачи к стандартам DIN.

О необходимости и целесообразности учета требований зарубежных стандартов при производстве зубчатых передач в Республике Беларусь с использованием технологического оборудования ведущих фирм мира речь идет уже не первый год, однако решение этого вопроса, как правило, остается за самим изготовителем зубчатых передач [5], что не всегда возможно и целесообразно.

**Расчеты нагрузочной способности зубчатых передач** базируются на стандарте ГОСТ 21354 — 87 «Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность» [6], который включает расчеты изгибной и контактной прочности, контактной и изгибной выносливости, включая глубинную контактную выносливость.

Помимо официально признанной методики ГОСТ 21354 — 87 на Белорусских предприятиях используется методика расчета прочности и ресурса зубчатых передач, предложенная Цитовичем И.С. [7]. Однако в своей основе эти методики предназначались для расчетов обычных цилиндрических передач, и при выполнении с их использованием расчетов прочности и ресурса планетарных передач возникают довольно большие расхождения в результатах.

Для крупногабаритных планетарных передач, к которым относятся планетарные передачи редукторов мотор-колес карьерных самосвалов, несмотря на большой объем имеющейся информации, задачу расчета прочности и ресурса пока нельзя считать решенной в том виде, в котором ее хотели бы получить изготовители зубчатых передач.

При использовании этих методик для проектирования тяжело нагруженных планетарных передач в ряде случаев возникают довольно большие расхождения с результатами эксплуатации и, несмотря на большой объем имеющейся информации, задача расчета прочности и ресурса в условиях постоянно растущих мощностей и требований к надежности по-прежнему остается актуальной.

Разрабатываемые и предлагаемые для использования в настоящее время зарубежные методологии и программные средства для расчетов несущей способности зубчатых передач при их использовании в процессе проектирования таких уникальных изделий, как карьерные самосвалы, в ряде случаев могут приводить к серьезным ошибкам.

*Поэтому возникает необходимость дальнейшего развития используемых и разработка новых специальных методик и программ расчетов зубчатых планетарных передач карьерных самосвалов, учитывающих особенности как существующих, так и перспективных условий их эксплуатации, а также специфику конструкции их планетарных редукторов.*

Для подтверждения того, что расчетная несущая способность планетарных передач перспектив-

ных моделей самосвалов с большей грузоподъемностью соответствует действительной, целесообразно проведение стендовых испытаний с использованием современного специализированного силового стенда, имеющего мощность около 2000 кВт при нагружающем моменте до 20кНм, а также научно обоснованных методик и программ ресурсных испытаний, позволяющих обеспечить их ускоренное проведение.

**Заключение.** Вопросы расчетов прочности, методик стендовых испытаний, назначения норм точности и технологии изготовления зубчатых передач ранее входили в область деятельности отраслевых научно-исследовательских институтов, таких как НИИТАВтопром и НАТИ.

Сложившееся в Беларуси положение, когда каждое предприятие самостоятельно занимается поисками методик расчета прочности, назначением норм точности и, соответственно, технологии изготовления зубчатых передач, приводит к необоснованному разнообразию номенклатуры зубчатых передач и связанному с этим росту затрат на их производство.

Планетарные передачи имеют большие преимущества по сравнению с обычными зубчатыми передачами при реализации больших передаточных чисел и поэтому стали широко применяться в современных мобильных машинах, производимых в Беларуси. Вместе с тем, с ростом нагруженности и требований к надежности таких уникальных изделий по габаритам, конструкции и точности как планетарные передачи редукторов мотор-колес карьерных самосвалов существующий опыт их проектирования и изготовления не всегда оказывается достаточным и целесообразна разработка дополнительных методик, комплексно учитывающих вопросы назначения норм точности, расчетов на прочность и проведения силовых стендовых испы-

таний. При разработке конструкторской документации на зубчатые передачи этих редукторов целесообразно учитывать не только требования ГОСТ, но и особенности стандартов DIN, AGMA и ISO, так как для их производства в ряде случаев возможна и целесообразна закупка оборудования за рубежом. В этом случае необходима адаптация отечественной конструкторской документации к требованиям стандартов DIN, AGMA и ISO.

Специалисты научных организаций НАН Беларуси и Министерства промышленности Республики Беларусь при соответствующей поддержке и непосредственном участии Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь могли бы взять на себя решение вышеперечисленных проблем, так как они выходят за возможности отдельных предприятий.

#### Список литературы

1. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски: ГОСТ 1643-81. — М., Изд-во стандартов. — 1989. — 68 с.
2. Передачи зубчатые конические и гипоидные. Допуски: ГОСТ 1758-81. — М., Изд-во стандартов. — 1989. — 43 с.
3. Колеса зубчатые силовых передач тракторов. Общие технические условия: ОСТ 23.1-167-86. — М.: Изд-во стандартов, 1986. — 12 с.
4. Абрамчук, М.В. Сравнение табличных значений параметров точности зубчатых колес и передач в стандартах: ISO 1328 и ГОСТ 1643-81 / М.В. Абрамчук, Б.П. Тимофеев // Теория механизмов и машин. — 2007. — № 1(9), Т. 5. — С. 60–70.
5. Купреева, Л.В. О необходимости и целесообразности гармонизации стандартов, устанавливающих требования к допускам цилиндрических зубчатых колес и передач / Л.В. Купреева, И.А. Боханко // Сб. тр. V Междунар. науч.-техн. конф. «Приборостроение-2012», БНТУ. — Минск, 2012. — С. 174–175.
6. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность: ГОСТ 21354–87. — М.: Изд-во стандартов. — 1989. — 128 с.
7. Цитович, И.С. Зубчатые колеса автомобилей и тракторов / И.С. Цитович, В.А. Вавуло, Б.Н. Хваль. — Минск, 1962. — 396 с.

Parhomcik P.A.

#### Problems of manufacture of tooth gearings of career dump-body trucks

The information on ways of tooth gear production improvement at the Belarus automobile factory with using the results of the researches and developments of specialists of research institutions of National academy of sciences of Belarus and State Committee for Standardization of Belarus.

**Keywords:** *tooth gearings, planetary reduction gear, manufacture, standard, accuracy standards, location*

Поступила в редакцию 11.09.2013.