

А.А. МУХОВАТЫЙ, к.т.н., доцент каф. "ДВС и машиноведение" ВНУ им. В. Даля, Луганск;

О.А. РЕВЯКИНА, к.т.н., доцент каф. технологий производства и профессионального образования ЛНУ им. Т.Г. Шевченко, Луганск;

П.Н. ТКАЧ, к.т.н., доцент каф. "ДВС и машиноведение" ВНУ им. В. Даля

ПАМЯТИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОРА ШИШОВА ВАЛЕНТИНА ПАВЛОВИЧА

В статье рассказывается о творческом пути известного ученого-теоретика, посвятившего себя созданию новых видов передач зацеплением, доктора технических наук, профессора Шишова Валентина Павловича. Подробно освещены его основные достижения в области теории и практики исследования передач зацеплением.

Ключевые слова: зубчатая передача, зацепление Новикова, синтез.



Доктор технических наук, профессор Шишов В.П.

18 ноября 2013 года не стало известного ученого-"зубчатника" – доктора технических наук, профессора Валентина Павловича Шишова.

Он родился 19 августа 1934 года в Воронежской области. В 1952 году окончил среднюю школу и в этом же году поступил в Воронежский государственный

университет на физико-математический факультет, отделение механики. После окончания учебы в университете в 1957 году направлен на Луганский машиностроительный завод им. Пархоменко, где был принят на работу в специальное конструкторское бюро на должность инженера-конструктора в отдел отсадочных машин.

Начиная с 1958 года, Валентин Павлович активно участвует в разработке и внедрении цилиндрических передач Новикова в цилиндрические двух и трехступенчатые редукторы, выпускаемые Луганским машиностроительным заводом им. Пархоменко. В 1959 году он назначен ведущим инженером-конструктором по редукторостроению на заводе им. Пархоменко, а в 1961 году – на должность главного конструктора проектов, руководителя сектора технических расчетов и редукторов. Под его руководством в институте Гипромашуглеобогащение проводятся исследования по расчету, конструированию, технологии изготовления, лабораторным и промышленным испытаниям цилиндрических зубчатых передач.

В период с 1958 года по 1970 год были проведены работы по расчету и конструированию шести типов трехступенчатых цилиндрических редукторов с передачами Новикова с одной и двумя линиями зацепления. При этом были разработаны режущий инструмент, методика контроля зубчатых колес, разработаны и изготовлены различные по конструкции стенды с замкнутым силовым потоком для испытаний редукторов.

В течение 1965-1970 года были проведены сравнительные испытания редукторов с зацеплением Новикова и эвольвентным зацеплением. По результатам этих испытаний межведомственной комиссией было принято решение о серийном производстве на заводе им. Пархоменко цилиндрических редукторов с зацеплением Новикова (десять типоразмеров).

В 1962 году Валентин Павлович поступил в заочную аспирантуру кафедры "Детали машин и ПТМ" Ворошиловградского машиностроительного института по специальности "Машиноведение и детали машин", став первым аспирантом и учеником доктора технических наук, профессора Виталия Николаевича Севрюка.

Выпускник аспирантуры Харьковского политехнического института, В.Н. Севрюк (вначале к.т.н., доцент, затем д.т.н., проф., зав. кафедрой "Детали машин", проректор Луганского машиностроительного института) основал научное направление исследований "Повышение надежности, долговечности и нагрузочной способности зубчатых передач". В качестве объекта исследований по данному направлению были выбраны новые в то время передачи с зацеплением Новикова. Труды руководителя и учеников новой научной школы сыграли немаловажную роль в том, что разработанная М.Л. Новиковым принципиально новая система зубчатого зацепления получила дальнейшее развитие и начала активно внедряться в отечественное редукторостроение. Работа школы не только углубила и расширила теоретические основы зацепления Новикова, но и способствовала интенсивным экспериментальным исследованиям передач нового типа, как на лабораторном уровне, так и в производственных условиях.

Во многом такие результаты были достигнуты благодаря тесному сотрудничеству с учеными и производственниками в таких ведущих организациях, как МВТУ им. Н.Э. Баумана и ВВИА им. Н.Е. Жуковского в Москве, ВНИИ Редуктор в Киеве, Харьковский политехнический институт, проектный институт Гипромашуглеобогащение и завод угольного машиностроения им. Н.Я. Пархоменко в Луганске. С последним были связаны особенно активные работы по испытанию и промышленному внедрению редукторов с новыми модификациями зацепления Новикова в горнообогатительном оборудовании. В рамках этого сотрудничества была выполнена и кандидатская диссертация В.П. Шишова, в которой он исследовал

влияние параметров на изломную прочность зубьев передач Новикова. В 1967 году в Харьковском политехническом институте эта работа была успешно защищена.

Следующий этап развития научных исследований, проводимых В.П. Шишовым, связан с кафедрой "Детали машин" Луганского машиностроительного института, заведующим которой он был избран в 1974 году. Он продолжил традиции В.Н. Севрюка и развил заложенное им научное направление по исследованию зубчатых передач с зацеплением Новикова. Кроме этих исследований, ставших для школы традиционными, под руководством В.П. Шишова было создано новое научное направление, связанное с синтезом передач зацеплением по заданным критериям работоспособности.

В этом направлении в те годы работают его аспиранты, исследуя цилиндрические, конические, гиперболоидные, червячные, глобоидные, спироидные передачи, зубчатые передачи с переменным передаточным отношением. Например, глубокие исследования цилиндрических червячных передач под руководством В.П. Шишова были проведены аспирантом В.И. Подройко. Впервые был разработан метод синтеза цилиндрических червячных передач по заданным и экстремальным значениям геометро-кинематических показателей; для определения рациональной геометрии зацепления проведен анализ условий контакта рабочих поверхностей червячных передач, синтезированных по минимальной приведенной кривизне, и в результате определены параметры, обеспечивающие в рабочем зацеплении наилучшие расположения и форму линий контакта и повышенные критерии несущей способности; разработаны червячные передачи с ZT-червяком выпуклого профиля витков с геометрией, обеспечивающей отсутствие линий контакта с нулевым углом между ними и вектором относительной скорости; получены обобщенные условия для синтеза червячных передач без повторного контакта; разработаны способы локализации контакта рабочих поверхностей, а также изготовлены опытные передачи с новой геометрией и произведена оценка их несущей способности в лабораторных и промышленных условиях, чем подтверждена высокая нагрузочная способность разработанных червячных передач.

Исследования зубчатых передач Новикова продолжил В.М. Грибанов, став впоследствии основателем нового научного направления. Впервые в Советском Союзе им была выполнена работа по исследованию норм точности и допусков этих передач. При этом построена математическая модель цилиндрических зубчатых передач с учетом погрешностей их изготовления и монтажа, а также с учетом погрешностей изготовления режущего инструмента, разработана методика определения положения точек контакта рабочих поверхностей зубьев в зависимости от величин погрешностей, даны рекомендации по выбору величин допусков на изготовление передач, разработаны нормы точности передач, изготовленных инструментом, спрофилированным в соответствии с геометрией различных исходных контуров. При этом рассмотрены зубчатые передачи Новикова с одной и двумя линиями зацепления. По данной тематике В.М. Грибановым в МВТУ им. Баумана (г. Москва) в 1979 году защищена кандидатская диссертация. Исследования в этом направлении были продолжены, и в 1989 году В.М. Грибановым в МВТУ им. Баумана защищена докторская диссертация.

Границы между названными научными направлениями и темами иногда имели весьма условный характер. Примером может служить работа по синтезу высоконагруженных зубчатых передач Новикова с почти линейным контактом и разработка технологического процесса их изготовления. Работа выполнялась М.О. Морневой под руководством проф. В.П. Шишова и проф. В.И. Дорошко. При выполнении работы разработаны практические методы синтеза, математи-

ческая модель и алгоритм синтеза передач Новикова с почти линейным контактом зубьев, синтезирован исходный контур режущего инструмента, разработана технология штамповки таких зубчатых колес с достаточной прочностью.

Все исследования проводились как по госбюджетной, так и по хоздоговорной тематике. Хоздоговорные работы проводились с заводом им. Пархоменко, объединением "Луганскуглеобогашение", проектно-конструкторским институтом "Гипромашуглеобогашение", "Луганскгеология". Исследовались и внедрялись зубчатые передачи приводов вагоноопрокидывателей, толкателей вагонов, малогабаритная зубчатая трансмиссия забойного редуктора двойных бурильных колонн. В этих работах приняли активное участие все сотрудники кафедры "Детали машин".

С 1985 по 1990 гг. Валентин Павлович работал в должности профессора кафедры "Детали машин". С 1990 года по 1996 гг. проф. В.П. Шишов – снова заведующий кафедрой "Детали машин", а с 1996 по 2001 гг. – заведующий кафедрой "Машиноведение".

К 1994 году Валентин Павлович завершил работу по созданию метода синтеза передач зацеплением по заданным критериям их работоспособности, разработке теории передач зацеплением полученных на базе огибающей многопараметрического семейства поверхностей. Были созданы математические модели синтеза зацеплений гиперболоидных, червячных, глобоидных червячных передач, спироидных червячных передач, цилиндрических зубчатых передач по заданным геометро-кинематическим критериям несущей способности зацепляющейся пары. При этом получены дифференциальные уравнения для синтеза зацеплений, установлены границы изменения критериев при синтезе передач, синтезированы конкретные виды передач с повышенной нагрузочной способностью. Все эти исследования обобщены в докторской диссертации, которую Валентин Павлович защитил в Восточноукраинском государственном университете в 1995 году.

После защиты его диссертации методы синтеза рабочих поверхностей зацепляющихся зубьев по заданным критериям работоспособности получили дальнейшее развитие. Помимо синтезированных по постоянным или экстремальным показателям работоспособности исходных контуров исследуются передачи на базе исходных контуров, очерченных отрезками постоянной кривизны – дугами окружности. В работах, проведенных под руководством проф. В.П. Шишова с 1999 года, развита и углублена методика синтеза высоконагруженных цилиндрических передач с линейчатым контактом, образованных исходным контуром, очерченным отрезками дуг окружности.

Разработана обобщенная математическая модель таких зубчатых передач, определен главный критерий синтеза передач (приведенная кривизна рабочих поверхностей зубьев), синтезированы исходные контуры режущего инструмента для изготовления таких передач с высокими значениями критериев работоспособности, исследовано влияние смещения исходного контура.

Таким образом, были созданы теоретические основы создания цилиндрических конхoidalных зубчатых передач со смещением исходного контура. Определены его параметры, обеспечивающие контакт выпуклых зубьев зацепляющихся колес. При таком контакте одновременно с повышенными показателями работоспособности по полю зацепления имеет место меньшая чувствительность к погрешностям взаимного расположения зубьев.

Одновременно описанный подход был применен и для полуобкатных цилиндрических зубчатых передач, а также цевочных передач. В математических моделях таких передач учитывалось влияние на показатели работоспособности параметров профилирующей окружности и смещения исходного контура. Параллельно разрабатывалась и исследовалась новая разновидность

червячных передач с выпукло-вогнутыми витками червяков, шлифуемых шлифовальным кругом, профиль которого очерчен окружностью.

В последние годы стало развиваться новое направление для цилиндрических зубчатых передач – математическое описание связей между геометрией исходного контура инструмента для нарезания зубьев с критериями их работоспособности и разработка дифференциальных уравнений для синтеза геометрии зубьев передач по геометро-кинематическим и комплексным критериям работоспособности с применением зависимостей полиномов, которые позволяют упростить производство и понизить энергоемкость данных передач.

Результаты научных исследований проф. В.П. Шишова обобщены в шести монографиях, более 250 научных работах и 40 авторских свидетельствах и патентах на изобретения. Среди его учеников – два доктора наук, профессора и 17 кандидатов технических наук, доцентов, работающих на различных кафедрах Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля.

К сожалению, из-за внезапной смерти Валентина Павловича еще десятки работ остались незавершенными. В последние годы он совместно с учениками активно исследовал цилиндрические передачи с линейчатым контактом, зубья которых образованы несимметричными исходными контурами (т.н. передачи смешанного зацепления); передачи с колесами, имеющими прямобоочные зубья; арочные передачи с точечным контактом рабочих поверхностей. Были в сфере его интересов и приближенные цилиндрические передачи с заданной функцией передаточного отношения, исследовались цилиндрико-гиперболоидные передачи с локализованным контактом зубьев.

Светлая память о Валентине Павловиче будет вечно жить в сердцах его коллег и учеников, считающих развитие основанных им научных направлений своей приоритетной задачей в науке.

Поступила (received) 05.02.2014

УДК 621.85

С.В. АНДРИЕНКО, аспирант каф. ИКГ ХНАДУ "ХАДИ", Харьков;

А.В. УСТИНЕНКО, к.т.н., доц., старший научный сотрудник каф. ТММ и САПР НТУ "ХПИ";

Р.В. ПРОТАСОВ, ассистент каф. ТММ и САПР НТУ "ХПИ"

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ПРОФИЛЯ ЗУБА ЗВЕЗДОЧКИ ЦЕПНОЙ ВТУЛОЧНО-РОЛИКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

В статье рассмотрено построение Бобилье, которое заключается в замене зубчатого механизма эквивалентным шарнирно-рычажным. На его основе предложен способ нахождения рабочего профиля зубьев звездочки цепной передачи. Преимущество этого способа заключается в возможности управлять качественными показателями цепного зацепления на этапе синтеза. Выполнено численное решение задачи синтеза решением дифференциального уравнения, которое описывает профиль зуба звездочки, методом Рунге-Кутты.

Ключевые слова: цепная передача, звездочка, зуб, износ.

Введение. Актуальность задачи. Одной из распространенных причин выхода из строя звездочек цепных передач, характерной для сельскохозяйственного и горного машиностроения и для ведущих колес гусеничной техники [1, 2] является интенсивный абразивный износ. В настоящее время рабочей профилей

© С.В. Андриенко, А.В. Устиненко, Р.В. Протасов, 2014

зуба звездочки втулочно-роликовой цепи стандартизован по ГОСТ 591-69 [3]. По этому стандарту он описывается дугами окружностей, которые образуют выпуклый профиль на головке зуба и вогнутый во впадине, что не является оптимальным геометро-конструктивным решением с точки зрения износостойкости.

Поэтому разработка новых профилей зубьев звездочек цепных передач и ведущих колес, обеспечивающих уменьшение проскальзывания ролика (или цевки для гусеничного движителя) и, соответственно снижение интенсивности износа, является актуальной научно-практической задачей современного машиностроения.

Постановка задачи. Цепные втулочно-роликовые передачи (также как и цевочные) относятся к передачам зацеплением, особенностью которых является известная заранее форма контактирующей поверхности (круглая) элементов зацепления, принадлежащих одному из тел передачи. Для цевочной передачи это цевочное колесо, а для цепной – это цепь. Особенностью цепной передачи помимо фаз входа и выхода зуба из зацепления является наличие фазы выстоя. Для осуществления правильного зацепления в передаче должно выполняться не только основное уравнение зацепления [4], но и соблюдаться условие плавного пересопряжения зубьев.

Цель исследований – построение профиля боковой поверхности зуба звездочки цепной передачи, обладающей лучшими рабочими характеристиками по сравнению со стандартным, в частности, меньшим износом. Для решения поставленной задачи воспользуемся последними достижениями в области теории зацеплений, в частности, методом синтеза эволютного зацепления на основе построения Бобилье [5, 6].

Построение Бобилье для цепной передачи. Как известно [5, 6], построение Бобилье заключается в замене зубчатого зацепления эквивалентным четырехзвенным шарнирно-рычажным механизмом, исследование которого существенно упрощает задачу синтеза зубчатого зацепления. На рисунке 1 оно приведено в общем виде для двух зубчатых колес наружного зацепления. Центры радиусов кривизны контактирующих в точке P' поверхностей находятся в точках C_1 и C_2 ; P – полюс зацепления.

Касательная к рабочим поверхностям при контакте в полюсе, проведенная до пересечения с лучами из центров вращения O_1 и O_2 , дает положения мгновенного центра скоростей D шатуна C_1C_2 и определяет радиусы кривизны C_1C' и C_2C' контактирующих поверхностей. Для прямозубой передачи положение точки D может быть любым и в каждый момент времени иным. Один из важнейших параметров, позволяющий управлять геометрическими характеристиками синтезируемой передачи – коэффициент разновидности k , определяемый по зависимости

$$k = h \sin \alpha,$$

где h – расстояние между полюсом зацепления P и центром вращения шатуна D заменяющего механизма.

Заменим одно из зубчатых колес цевочным и придадим цевке движение, характерное ролику цепи, с учетом фазы выстоя и условия контакта ролика с дном впадины между зубьями в этой фазе.

В этом случае мы получаем построение, приведенное на рисунке 2. На нем показано текущее положение, соответствующее перемещению ролика по профилю зуба до момента начала фазы выстоя. Расстояние KC между точкой контакта K и центром кривизны боковой поверхности C состоит из суммы полюсного расстояния KP и отрезка CP ,

$$KC = KP + CP.$$