

Мне жаль Лунина, но причем здесь зацепление IP и его автор? Это же чистое браконьерство!

Г.А. Журавлев, к.т.н., зав. отделом конструктивной прочности НИИ Механики и Прикладной Математики им. Воровича И.И., Южный Федеральный Университет

Сообщение Лунина полно неожиданностей: «На МИ-28 (В-28 или Изделие 280) IP никогда не применялось. Наверное потому, что не нашли преимуществ».

На самом деле передача IP для МИ-28 никогда не разрабатывалась и не испытывалась. Для МИ-28 была разработана (на базе эффектов кривизны контакта) передача в эвольвентном варианте, поскольку одной из задач, поставленных Заказчиком, было снижение угла наклона линии зубьев.

Причем же здесь передача IP? Она была изготовлена для МВЗ им. М.Л. Миля на другом предприятии в перспективных целях (не связанных с редуктором ВР-28 вертолета МИ-28) и с другими параметрами ($z_1 = 23$; $z_2 = 58$; $a_w = 260,99$ мм; $b_w = 68$ мм). Колеса IP имели технологические дефекты изготовления из-за недоработки измененного механизма правки зубошлифовального станка 5М841. Позже МВЗ им. М.Л. Миля заказал и получил специальный станок для шлифования зубьев цилиндрических колес IP (на базе [1]), но продолжить работу не удалось из-за кризиса 90-х годов.

Интерес вызывает стиль сравнения зацепления Новикова и смешанного зацепления IP: «Сравнить – значит поставить рядом, в какой-то степени ассоциировать – примазать одно к другому». И опять-таки две крайности: у одних я – против зацепления Новикова; у других – примазываюсь к зацеплению Новикова. Примазываться не собираюсь. Основными моими направлениями являются эффекты кривизны контакта и основанные на их использовании физические основы развития зубчатых передач, в том числе – передачи IP с зацеплением Новикова и передачи IP совершенно без зацепления Новикова, а также усовершенствованные эвольвентные передачи. Не знаю, кто примазывается к зацеплению Новикова, но у меня в этом нет нужды, а помочь росту его значимости я, действительно, могу и хочу. Оно заслуживает лучшей доли, чем существование в рамках ДЛЗ. Суть в том, что каждый по своему борется за зацепление Новикова. Эпигонство – легкий, но не лучший, на мой взгляд, путь.

Далее из Лунина: «Интересно заметить, что чем дальше удалялись от (классического) смешанного зацепления и приближались к дозаполосному зацеплению Новикова, тем результаты получались лучше». На самом деле зацепление IP (еще находясь в своем начальном состоянии в виде варианта IP–В [2] – с наибольшей долей зацепления Новикова) показало в «твердых» колесах лучшие результаты во всех сравнительных (с передачами ДЛЗ) испытаниях – в Ленинградском Военно-Механическом институте и во ВНИИРедукторе. Такие сравнительные испытания проводились исключительно в рамках границ конструктивной гибкости передач ДЛЗ: при активной ширине зубчатого венца $b_w \geq 1,2 p_x$ (p_x – осевой шаг зубьев). А что было бы, если бы передача должна была иметь параметры $b_w \leq 0,5 p_x$ или $\beta = 0$?

Именно желание сохранить как можно больше зацепления Новикова в передачах на базе эффектов кривизны контакта довлекло надо мной с начала работ над IP. Даже называл я их изначально «передачи Новикова». Вот почему тогда упор был сделан на передачи типа IP31-33В [2]. Но отсюда и некоторые неудачи (относительно эвольвентных передач), которые укрепили необходимость возвращения (в пространственных передачах IP с использованием зацепления Новикова) к внеполосному варианту IPвaf [2]. Более того, чем меньше зацепления Новикова – тем лучше передача IP с твердыми зубьями. Еще лучше часто оказывается (в том числе – по конструктивной гибкости) чистое (без зацепления Новикова) смешанное зацепление IP-S, особенно в конических и гипоидных

передачах. В конической передаче IP, разработанной нами для Volvo-Penta, вообще нет зацепления Новикова и в этом ее преимущество.

И еще Лунин: «Небольшой положительный эффект показала модификация эвольвенты, предложенная Г.А., но не IP. Г.А. предложил модификацию по принципу Капелевича – Direct Gear Design. Понятно, что были преимущества. МИ-28 недавно пошел в производство, но без IP».

Во-первых, эффект значительный: кардинальное решение проблемы заедания позволило сделать передачу работоспособной. Во-вторых, принцип Капелевича здесь ни причем: эвольвентная передача была создана совершенно оригинально – на базе эффектов кривизны контакта с $\alpha = 30^\circ$. Это была цилиндрическая передача с параметрами $m = 6$ мм; $\alpha = 30^\circ$; $\alpha_{tw} = 31,016^\circ$; $\beta_1 = 7,92^\circ$; $\beta_2 = 8^\circ$; $z_1 = 18$; $z_2 = 181$; $x_1 = 0,45$; $x_2 = 0,365$; $b_1 = 105$ мм; $b_2 = 96$ мм; $\varepsilon_\alpha = 1,2358$; $\varepsilon_\beta = 0,7088$; $\varepsilon_\gamma = 1,9446$. Здесь: α – угол исходного контура зубьев; α_{tw} – угол зацепления зубьев; m – модуль зубьев; $b_{1,2}$ – ширина зубчатого венца; ε_α , ε_β , ε_γ – коэффициенты торцового, осевого и суммарного перекрытия зубьев; $x_{1,2}$ – коэффициент смещения исходного контура зубьев; индексами 1 и 2 параметры передачи отнесены к ведущему и ведомому колесам, соответственно.

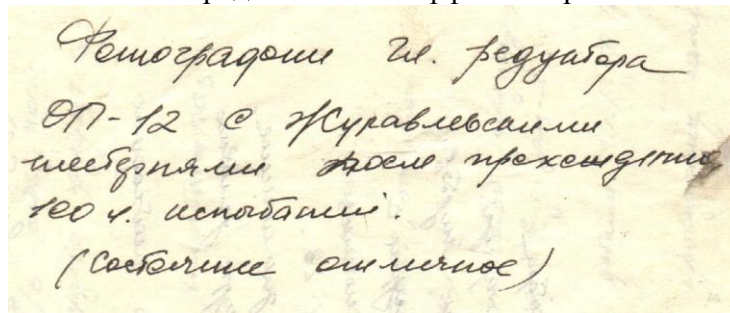
В чем же отличие от существующей в мире эмпирической тенденции применения эвольвентных передач с увеличенными углами α и α_{tw} ? В том, что учет эффектов кривизны контакта позволяет выбрать рациональные значения α и α_{tw} , а эмпирический подход ненадежен и коварен – он может привести и к отрицательному результату. Проблема традиционного (эмпирического) подхода в его неуниверсальности. Стендовые испытания силовых эвольвентных передач с разными значениями угла зацепления α_{tw} и угла исходного контура зубьев α ($\alpha \geq 25^\circ$) в специальных корпусах повышенной жесткости и в «облегченных» (типичных, например, для транспортных машин) корпусах показывают разные результаты по выбору рационального значения α : меньшие значения для корпусов повышенной жесткости и большие значения для «облегченных» корпусов. Это положение возникло в связи с ошибочностью традиционных «физических основ» (не учитывающих нелинейные взаимосвязи [2]) и ставит под сомнение целесообразность использования универсальных стендов для отработки параметров различных зубчатых передач.

Так, экспериментальный выбор в МВЗ им. М.Л. Миля угла исходного контура зубьев α ($\alpha \geq 25^\circ$) до нашей работы проводился в специальном корпусе повышенной жесткости и показал лучший результат при $\alpha = 25^\circ$, что не решало проблемы. Наш теоретический (без экспериментальной отработки) выбор (на базе эффектов кривизны контакта) дал выявление (а последующие испытания передачи в «боевом» корпусе подтвердили это) значительного резерва прочности при $\alpha = 30^\circ$.

Из письма генерального конструктора МВЗ им. М.Л.Миля М.В. Вайнберга (29.04.1993) в адрес директора НИИ М и ПМ и автора этой статьи: «Уровень вставшей перед нами проблемы увеличения ресурса главного редуктора вертолета МИ-28 может быть достаточно точно охарактеризован тем, что в связи с повышенной деформативностью деталей корпуса и крепления зубчатого колеса произошло резкое снижение несущей способности цилиндрической передачи по сравнению с расчетной, полученной по стандартным методикам расчета. В течение восьми лет были испытаны различные пути решения данной проблемы – увеличение жесткости корпусов и деталей крепления колеса, изменение параметров зубчатого зацепления (введение фланкирования и упреждения угла спирали) и т.д. Результаты были недостаточны для обеспечения необходимого ресурса. Работами Вашего института впервые была дана количественная оценка и намечены пути решения данной проблемы. В процессе реализации этих разработок на нашем заводе при активном участии Ваших специалистов уже освоены оригинальные решения, найденные в рамках данной работы в области технологии

изготовления и контроля зубчатых колес. Наше предприятие заинтересовано в развитии и углублении работ с вами в области зубчатых передач»

Копия письменной реплики руководителя испытаний к фотографиям зубьев шестерни и колеса эвольвентной передачи на базе эффектов кривизны контакта:



И вот Лунин, который, как следует из его сообщения, негативно оценивал зацепление IP (и, мягко говоря, без энтузиазма относился к эвольвентной передаче на базе эффектов кривизны контакта), вдруг, предлагает (именно Журавлеву!) решение серьезной проблемы (применением именно зацепления IP!): «Но денег с ВОЛВО на проект IP я все-таки выбил – ДВА МИЛЛИОНА ДОЛЛАРОВ!» Простите, какие деньги? Заплатить – на каком основании? Ведь наш контракт не предусматривал никаких оплат сверх стоимости самого изготовления партии колес, а правовой защиты (патентом) в США у меня не было.

Но далее совсем интересно: «Смешанное зацепление не заработало. Я руководил этим проектом ВОЛВО с 1999 до 2004 и потратил примерно 700 тысяч долларов. Колеса нарезали в Чикаго на Reliance Gear Co. Испытывали в Швеции, в Копинге. Сделали несколько модификаций. Разработали уникальное программное обеспечение для моделирования пятна контакта. Применяли передовую технологию шлифовки профилированным алмазным кругом. В результате ВОЛВО вложило в зацепление Г.А. и денег, и теории столько, сколько ни Г.А., ни его коллеги не наработали за все предыдущие 20 лет».

Какое смешанное зацепление не заработало? Какие модификации? Слышу об этом впервые. На самом деле сначала мне была предложена разработка трех конических (с круговым зубом) передач, но фактически был дан только простой заказ (Purchase Order - PO) на изготовление 6 различных типов опытных колес – по 10 штук каждого типоразмера стоимостью 35,000.0 USD. К сожалению, мы напрасно выполнили большой объем работы: разработку передач и инструмента, ожидая обещанный нормальный контракт. Мы не получили ни контракт, ни даже предоплату по заказу. Как объяснил Лунин, в США так принято. В результате мы были вынуждены приостановить изготовление специальных резцовых головок.

Все замыкалось на Лунине. Он настойчиво предложил вместо контракта согласиться на оформление счета-фактуры (Invoice) Purchase Order № 607-0140-680 REVI от 30.07.1999 на поставку нами фирме «Volvo Penta of the Americas» 60 конических колес с круговыми зубьями – 6 типоразмеров по 10 шт. каждого типоразмера. Цена поставки – 35,000.0 USD.

Мы наивно довольствовались только устным обещанием Лунина стабильных заказов на поставку зубчатых колес в больших объемах. Разработку мы выполнили, практически закончили изготовление резцовых головок и передали Заказчику чертежи заготовок колес. Подтвердили гарантию увеличения несущей способности передачи в 1,5 раза.

Но кроме заказа на 60 конических колес мы не получили ничего – ни аванса, ни гарантий оформления нормального контракта по результатам испытаний. Мы не получили даже обязательство предоставить нам протокол сравнительных испытаний.

Лунин на все имел ответы: «Предоплата здесь не практикуется... контракты здесь тоже не практикуются. Вам пришлют заказ и это будет гарантией оплаты... лучше работать с американцами так, как они привыкли, иначе будут проблемы». Стало понятным, что оплачиваться будет не сама работа, а действия разных людей (в США и в

РФ) вокруг нее. Заинтересованность Лунина именно в таком одностороннем характере гарантий наталкивала и на другие мысли, подтверждением которым стали его неожиданные откровения (в его сообщении) по поводу работы с IP.

Естественно, я отказался продолжать работу без аванса и без гарантий соблюдения элементарных условий сотрудничества. Никакие материалы работы (кроме чертежей заготовок колес) я не посылал в США. Заготовки были изготовлены в США, но, как теперь становится ясным, они были использованы для самостоятельной работы Лунина. Эту работу Лунину пришлось выполнять не имея моих расчетов, чертежей колес и инструмента, исходного контура зубьев, образцов колес и моего согласия на такую его деятельность...

Можно предположить, что Лунин испытывал конические передачи на базе исходного контура зубьев IP31-33B [2], параметры которого он знал. Но в конической передаче IP, разработанной нами для Volvo-Penta, вообще нет зацепления Новикова и в этом ее преимущество. Чем меньше в конической передаче IP с твердыми зубьями зацепления Новикова, тем лучше показатели этой передачи.

Лунин сетует: «Меня уволили с ВОЛВО в день последнего неудачного испытания смешанного зацепления... Испытания на ВОЛВО не показали преимуществ смешанного зацепления по сравнению с эвольвентным. Г.А. обещал минимум 1,5 увеличение нагрузочной способности, но проработала испытываемая пара всего 10 часов на 1500 об/мин, 23/24 зуба.»

На самом деле я не передавал Лунину документацию, а сам он не смог выполнить эту разработку. Очевидно, что оппонент самостоятельно использовал идею зацепления IP (без согласования с автором) в работе со шведами, несмотря на отрицательный, как он пишет, результат использования IP в работе с МИ-28. Беда Лунина в том, что он видел в КБ им. М.Л. Миля мою работу лишь с цилиндрической косозубой передачей IP, лишь с одним вариантом зацепления IP и лишь частично – с технологической (в части контрольно-измерительных работ с готовыми колесами IP) стороны, а в работе с Volvo-Penta были объекты с конической передачей с круговыми зубьями и нужны были не только другие параметры исходного контура зубьев, но и совсем другой вариант IP, надо было выполнить большой комплекс работ.

Тем более, что Лунин не имел никакой информации о конических передачах IP, которые мы успешно выполняли с совершенно другими вариантами IP. Мой оппонент не знал принципиальных особенностей конических передач IP и заслуженно попал впросак.

Делать подпольно разработку передачи IP, не понимая сути, а потом обвинять автора зацепления в отрицательном результате. Это же чистое браконьерство! Нетрудно догадаться, какова была бы ситуация при положительном результате испытаний. Вот если бы Лунин вдруг угадал с параметрами, то вспоминать автора и нужды бы не было...

Ради чего он мог пойти на колоссальный риск? Ради чего он мог пойти на значительные затраты средств? И кто же «съел» эти деньги? Почему он отказался от честного сотрудничества с Заказчиком и автором? И последний, тоже риторический, вопрос – что же его заставило написать такое сообщение?

Мне жаль Лунина, но причем здесь зацепление IP и его автор?

Литература

1. Журавлев Г.А. Ермолаев В.К., Осетров Е.В., Фрадкин Е.И. Способ правки конического шлифовального круга// А.с. СССР № 1673416, В24 В53/075, 10.03.1988г. Б.И. №32, 1991 г.
2. Журавлев Г.А. Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения// Редукторы и приводы. Санкт-Петербург. – 2006. – №1. – С. 38-45 (сайт <http://www.reduktorntc.ru>)