

# ДОЖДУСЬ ЛИ НАКОНЕЦ НАУЧНОГО ОППОНИРОВАНИЯ?

В.И. Короткин, к.т.н.

Создается впечатление, что развернувшаяся дискуссия заходит в тупик. Мне кажется – это следствие того, что спор происходит «на разных языках». С целью облегчить взаимопонимание, я предложил бы принять во внимание некоторую условную классификацию методов сравнений зубчатых зацеплений и редукторов, которая, хотелось бы надеяться, будет положительно воспринята **всеми участниками дискуссии**.

**Научный метод** сравнений различных типов зацеплений или передач заключается, как известно, в том, что сначала создается теоретическая база, а затем осуществляется практическая проверка теории с помощью тщательно контролируемых испытаний. Так поступил в свое время и М.Л. Новиков, сопоставляя предложенное им зацепление с эвольвентным и другими. Характерным для такого типа сравнений (назовем их условно **научными сравнениями типа А**) является полная аналогия сравниваемых передач (называемых в дальнейшем **аналогами**) по геометрии, материалу, термообработке, техпроцессу изготовления и контроля, степени точности и т.д. Сравнительные испытания также должны проводиться в идентичных условиях. Получаемый в итоге результат дает в чистом виде объективную характеристику сравниваемых передач с данными параметрами, выявляет преимущества одних передач перед другими. Эта характеристика считается научно подтвержденной, а потому – **безусловной**, не зависящей от места, времени или какой-либо конъюнктуры.

Существует разновидность научного сравнения, при котором оценивается не просто зацепление, а дополнительно его конструктивные особенности, различные для каждого типа зацепления. В этом случае у сравниваемых передач совпадает все перечисленное выше, кроме геометрических параметров, к которым предъявляются лишь требования удовлетворения заданных габаритов и передаточного числа. Такое сравнение (назовем его **научным сравнением типа В**) дает возможность оценить **оптимальные** (например, по нагрузочной способности) внутренние свойства передач.

Наконец, широко используется такой тип сравнения, когда сопоставляют не передачи, а изделия (редукторы), их содержащие. В частном случае редукторы могут содержать аналоги и сами быть одинаковыми – тогда такое сравнение совпадает с **типом А (В)**. Но нередко разнообразные условия рынка диктуют необходимость сопоставления совершенно разных по параметрам редукторов и передач. Здесь уже о сравнении типов зацеплений речь не идет (рынку все равно, что у редуктора внутри, лишь бы обеспечивались заданные технико-экономические показатели), и на первый план выступают соображения выгоды. Возникает сложная многокритериальная задача, требующая, как правило,

принятия компромиссных решений, поскольку необходимо удовлетворить как потребителя (**качество**), так и производителя (**цена**). Такой тип сравнения уместно назвать условно **рыночный (тип С)**. Совершенно очевидно, что здесь результат эффективности того или иного решения (выражаемый, к примеру, удельным показателем «качество-цена») уже не носит универсального (безусловного) характера, он **локален**, привязан к определенному месту (производству) и времени (условия рынка подвижны, с течением времени они могут существенно измениться), иными словами, является **конъюнктурным**, а принятое по нему решение **не подлежит безоговорочному распространению** на другие случаи.

Разумеется, все рассмотренные типы сравнений имеют право на существование. Однако при использовании сравнений **типа С** необходимо всегда оценивать, **за счет чего конкретно** получен тот или иной эффект, делая соответствующие выводы, а не приписывать его голословно типу зацепления (как поступают некоторые оппоненты, сравнивая, например, высокотвердые и высокоточные эвольвентные передачи с передачами Новикова невысокой твердости и точности).

Может возникнуть вопрос: а надо ли при «рыночных» сравнениях **типа С** учитывать свойства передач, известные из научных сравнений **типа А (В)**? Отвечаю – не только надо, но и **крайне необходимо!** Потому что в постоянно меняющемся рынке без этого учета легко **потерять перспективу** и **упустить инициативу**, которую подхватят конкуренты. (Неспроста зарубежные фирмы на высоких ставках содержат квалифицированных экспертов, тщательно отслеживающих научные достижения и дающих рекомендации по их своевременному применению.)

Вот в нашей дискуссии и получается – одни оппоненты приводят **научные (безусловные)** результаты сравнений **по типу А (В)**, другие возражают, приводя **локальные «рыночные» (конъюнктурные)** результаты сравнений **по типу С**. (В точности как по пословице. Одни говорят: «В огороде – бузина», а другие отвечают: «Но зато в Киеве – дядька».)

А теперь изложу свои комментарии.

## 1. Общее замечание

Прежде всего обращает на себя внимание факт явно **го уклонения** уважаемых оппонентов **от обсуждения главных положений статьи** [1], по содержанию которой, собственно, и организована дискуссия.

Статья [1] может быть условно разделена на две части.

В первой части вскрываются, по мнению ее автора, **истинные научные причины** «ограниченности при-



менения зацепления Новикова», а именно – провозглашается «ошибочность физических основ» данного зацепления, утверждается о якобы неучтенных ранее «резервах» эвольвентных передач, о неправомерности устоявшихся сопоставлений разных типов зубчатых зацеплений по контактной прочности. С учетом «вскрытых» причин предлагается смешанное зацепление, которое, по мнению Г.А. Журавлева, свободно от каких-либо недостатков. Несомненно, эта часть является **стержнем** его статьи, которая **в первую очередь** подлежит оценке, иначе, учитывая сказанное выше, дискуссия просто **теряет смысл**. Для подтверждения своей позиции автор статьи [1] подверг сомнению (ни много ни мало!) **фундаментальные положения** теории зацеплений (в частности, универсальность уравнения Эйлера-Савари для полюса), а также применил ошибочный метод решения пространственной контактной задачи Герца (см. п. 3).

Вторая часть статьи, касающаяся промышленного применения передач Новикова, выступает как **иллюстрация** правильности научных доказательств, приведенных в первой части, являясь ее **следствием**. Действительно, раз «вскрыта» причина, то теперь наконец-то должно стать всем «понятно», почему передачи Новикова имеют «ограниченное применение». В этом подлинный смысл статьи [1].

Хочу быть правильно понятым. Вопрос о конструктивных особенностях передач Новикова (как, впрочем, и эвольвентных) и сферах их рационального использования является чрезвычайно важным и достойным детального обсуждения, в том числе и с «рыночных» позиций. Однако если некоторые уважаемые оппоненты полагают, что передачи Новикова имеют весьма узкую область применения (или вообще недостойны применения), то неужели им не интересны **научные причины**, подтверждающие или опровергающие их мнение? Отделавшись в начале своих откликов фразами типа «я не специалист в данной области» (зачем тогда участвовать в дискуссии?), эти оппоненты (назовем их условно «эвольвентщики») занялись обсуждением **только следствия**. Они говорят о том, что в «их» областях зацепление Новикова не встречается, проявляя при этом **полнейшую неосведомленность** о масштабах применения данного зацепления в других сферах, приводимых «новиковцами» (также условное название). Справедливо отмечая, что технологический процесс изготовления высококачественных передач Новикова в России не отработан и требует некоторого увеличения затрат, они задаются вопросом (внимание!): **«А целесообразно ли вообще заниматься передачами Новикова?»** Вопрос вполне закономерный, даже, я бы сказал, риторический, если принять **на веру** то, что говорится в статье [1] о контактной прочности передач Новикова, которая чуть ли не ниже (?!), чем у эвольвентных.

Поскольку мои представления о зацеплениях (как эвольвентном, так и Новикова) принципиально расходятся с представлениями Г.А. Журавлева, я счел пер-

вейшей необходимостью **разобраться** с выдвинутой в его статье **концепцией**, лежащей в основе «вскрытых» причин «ограниченности применения» зацепления Новикова. Анализ этой концепции привел меня к выводу о ее **ошибочности** (а следовательно, **несостоятельности**), что и было отмечено в отклике [2]. До сих пор ожидаю от оппонентов либо согласия с моими доводами, либо их **научного (!)** опровержения. Но пока (судя по материалам сайта Редакции на момент отправки данных комментариев), к сожалению, **не дождался** ни того ни другого.

## 2. О главном тезисе статьи Г.А. Журавлева

Дискуссия показала, что с главным тезисом статьи [1] об «ошибочности физических основ зацепления Новикова» **не согласился никто из оппонентов**, включая и тех, которых трудно отнести к «новиковцам» [3, 4].

Следовательно, на данный момент **пункт № 3 Заключения** в нашем отклике [2], где опровергается вышеуказанный тезис статьи [1], можно считать **не противоречащим** мнениям всех участников дискуссии.

## 3. О выдвинутой в статье Г.А. Журавлева концепции

Учитывая **принципиальную важность оценки** отстаиваемых в статье [1] положений, без которой анализ действительных причин применения-неприменения передач Новикова бессмыслен, я позволю себе еще раз на этом вопросе остановиться.

Как уже отмечалось [2], в статье [1] утверждается, что контактная прочность эвольвентных передач (в том числе в полюсе) на самом деле значительно выше получаемой по традиционной расчетной схеме [5], что позволяет им по этому критерию конкурировать с передачами Новикова. Кроме того, утверждается, что традиционной схемой неверно учитывается влияние приведенного радиуса  $r_a$  кривизны взаимодействующих эвольвентных поверхностей на контактную прочность в полюсе. В этом **суть** выдвинутой в [1] **концепции**, где первому из двух приведенных утверждений придается **особое значение**, поскольку с его учетом автором статьи [1] проводится теоретическое **сопоставление** двух систем зацепления (эвольвентного и Новикова).

Сразу возникает вопрос – разве истинная нагрузочная способность по контактной прочности эвольвентных передач (с любым углом зацепления) до сих пор не определена десятками и сотнями стендовых и промышленных испытаний? Выходит, Г.А. Журавлев пытается доказать, что ее можно повысить чисто расчетным путем? В связи с этим мне показалось весьма странным, что никто из оппонентов-«эвольвентщиков» даже **не обратил внимания** на этот казус!

В принципе, дальше можно было бы уже не продолжать. Но пойдем до конца, поскольку существует требующий объяснения уникальный эксперимент Нимана (к сожалению, подлинник его работы мне не удалось



достать), послуживший отправной точкой для «обоснования» Г.А. Журавлевым своей концепции, где он предлагает отказаться от традиционной схемы [5] и использовать пространственную контактную задачу Герца, ведя расчет по эффективным напряжениям. Допустим. Как известно, некоторые параметры в данной задаче связаны между собой через функции эллиптических интегралов, что вызывает необходимость проводить решение методом последовательных приближений, удовлетворяя всей системе уравнений с требуемой точностью. Но Г.А. Журавлев поступает иначе. В своем отклике [2] я попытался, насколько возможно в его рамках, объяснить, в чем заключается **принципиальная ошибка**, допущенная Г.А. Журавлевым. Если кого-то не удалось убедить, попробую объяснить по-другому.

Представим, что имеется система из двух уравнений с одним неизвестным. Можно решить такую систему? Как исключительный случай можно, если удастся удовлетворить обоим уравнениям. В рассматриваемой контактной задаче такое выполнить невозможно, поэтому система **несовместна**. Но Г.А. Журавлев «находит решение», попросту игнорируя существование одного из уравнений (где как раз присутствует интересующий его исходный радиус  $\rho_a$  кривизны). И тогда появляется возможность, произвольно изменяя параметры оставшегося уравнения, легко получать из него **желаемый** результат! Естественно, «доказать» на таком уровне «высокую, неизвестную ранее» контактную прочность эвольвентных передач невозможно!

Это, так сказать, качественная сторона. Не остановившись на этом, я предпринял попытку дать количественную оценку «решения» Г.А. Журавлева, выполнив нормальные расчеты пространственной контактной задачи Герца для ряда вариантов (при желании Редакции могу их ей предоставить) и сопоставляя результаты с расчетами по традиционной схеме.

Так вот, повторно информирую уважаемых оппонентов о том, что выводы получились **прямо противоположными** тем, которые провозглашены в [1], а именно:

- контактная прочность по предложенной Г.А. Журавлевым схеме получается не выше (как он утверждает), а **ниже**, чем по традиционной (разница по нагрузочной способности примерно в 1,25...1,35 раза);

- влияние величины угла зацепления и зависящего от него радиуса  $\rho_a$  на контактную прочность по обеим схемам **практически совпадает** (вопреки мнению Г.А. Журавлева), т.е. нагрузочная способность при прочих равных условиях пропорциональна синусу двойного угла зацепления (линейный контакт) или близка к этому (точечный контакт).

Таким образом, вышеуказанная **концепция не подтвердилась**, а опыт Нимана так и остался необъясненным.

Отойдя в дальнейшем от задачи Герца и предприняв уже другой подход, заимствованный из [6], Г.А. Журавлев тем не менее продолжает из работы в работу совершенно не к месту **повторять свой ошибочный тезис** о «скрытых» резервах эвольвентных передач

и невысокой «истинной» контактной прочности передач Новикова. Но и при вышеупомянутом подходе (который, к слову сказать, нуждается еще, как я уже писал [2], в существенной доработке) указанный тезис тем более **не подтверждается**. Это следует хотя бы из того, что при реальных технологических перекосах передача не может работать лучше, чем «идеализированная», какие бы связи (герцевские или негерцевские) ни использовались при расчетах. Поэтому здесь мы имеем дело просто с обычными попытками (предпринимаемыми и другими авторами) усовершенствования расчетов эвольвентных передач. Об этом я уже более подробно писал [2], добавлю только (для сведения Г.А. Журавлева), что в этом же направлении свыше 20 лет назад на достаточно высоком научном уровне уже получены результаты [7], где оценена не только контактная, но и изгибная прочность эвольвентных передач, работающих с перекосами осей (при этом, разумеется, никаких «скрытых» резервов этих передач не обнаружено).

Если мои доводы по-прежнему остаются кому-то непонятными, то пусть, при желании, организуют специальный открытый семинар по этому вопросу.

Приведенное мною **опровержение базовых положений** статьи [1] легло в основу **пункта № 2 Заключения**, содержащегося в нашем отклике [2] и констатирующего несостоятельность выдвинутой в статье [1] основной концепции.

#### 4. Еще раз о «загадочном» смешанном зацеплении IP

Не знаю, как у кого, но у меня сложилось впечатление, что все мы втянуты в какую-то странную игру. Не понимаю, как можно всерьез обсуждать то, чего никто не видел? Если Г.А. Журавлева удовлетворяет ничего по существу не проясняющее «разделение его идей» [8], тогда у меня нет вопросов. А если он хочет по-деловому обсудить смешанное зацепление, то в этом случае надо оперировать не рекламными и тому подобными «аргументами», а просто **показать специалистам** (не говоря уже о серьезной публикации) это «загадочное» зацепление, объяснив, как минимум: а) **за счет чего** ожидается «кардинальное» (по его выражению) повышение контактной прочности; б) **какие конкретно** положительные свойства разных зацеплений дают «суммарный эффект»; в) о каком доселе неизвестном **«новом кинематическом принципе»** идет речь. А пока такого объяснения нет, я не вижу никаких оснований загодя считать, как некоторые, что смешанное зацепление суммирует достоинства эвольвентного и новиковского зацеплений. Есть ведь и другое мнение [9] – что оно скорее суммирует их недостатки. Однако одно можно уже сейчас сказать определенно: технологический процесс изготовления смешанного зацепления, предполагающего наличие непрямолинейных участков профиля исходной рейки, ничуть **не проще** техпроцесса изготовления передач Новикова.



Для повторного пояснения моей позиции напомню, что в отклике [2] я ничего негативного не высказал о смешанном зацеплении (и никогда не высказывал ни в печати, ни на конференциях), а лишь указал на **отсутствие должной информации**, что ясно отражено в **пункте № 4 Заключения** нашего отклика [2], и мне совсем не хочется тратить время на пустую словесную перебранку. Должно быть либо **конкретное** деловое обсуждение этого зацепления, либо прекращение бессмысленных разговоров. Третьего не дано. Если же Г.А. Журавлев не желает ничего показывать, объяснять и доказывать – это его личное дело. Но тогда не следует идти к своей цели излюбленным путем – **через дискредитацию** зацепления Новикова (другие – параллельные – пути им вообще не рассматриваются), а для начала попытаться добиться, чтобы смешанное зацепление Г.А. Журавлева (свободно заниматься которым ему никто не мешает) хотя бы приблизилось к достаточно высокому уровню позиций, на которых во всем мире стоит сегодня в науке и в промышленности зацепление Новикова.

### 5. О передачах Новикова как «панацее»

Во многих откликах «эвольвентщиков» содержится упрек в адрес «новиковцев», что те, мол, считают передачи Новикова «панацеей», отказывая в «праве на жизнь» другим видам передач, включая эвольвентные. Я убежден, что этот несправедливый упрек порожден предложенным Редакцией (и горячо поддержанным в статье [1]) **альтернативным** характером формулировки темы дискуссии: **«О превосходстве передач Новикова над эвольвентными»**. Предвидя это, я с самого начала предложил проводить дискуссию по теме **«Рациональные сферы применения передач Новикова и эвольвентных»**. Редакция не учла этого пожелания, в результате мое предсказание, к сожалению, оправдалось, оценка различных зацеплений превратилась в ненужные споры «о превосходстве», что четко сформулировано в **пункте № 1 Заключения** нашего отклика [2].

Чтобы раз и навсегда покончить со спекуляциями по этому поводу, я ответственно заявляю, что передачи Новикова никакой **панацеей не являются**, такого утверждения вы не обнаружите ни в одном поступившем в Редакцию отклике «новиковцев». Мы отдаем дань известным, всеми признанным достоинствам эвольвентных передач и их заслуженной распространенности во многих сферах. А вот среди «эвольвентщиков», наоборот, оказались, к сожалению, ортодоксы. Даже такой уважаемый специалист, как С.А. Лагутин (что уж говорить о менее осведомленных), не удержался, назвав свой отклик «Эвольвентное зацепление вряд ли уступит свои позиции» [10]. Где-то действительно не уступит, а где-то, уважаемый коллега, не только уступит, но **уже уступило**. Таким образом, налицо вольно или невольно **спровоцированный формулировкой темы дискуссии** уход от делового обсуждения в сто-

рону безосновательных споров о «панацее», которой «больны», как видим, скорее «эвольвентщвики» по отношению к эвольвентным передачам.

### 6. О сферах рационального применения зацеплений

С целью придания большей ясности позициям оппонентов считаю необходимым проводить дискуссию с учетом **разделения передач** как по твердости поверхностей зубьев (а), так и по лимитирующему критерию их выхода из строя (б):

а) класс передач невысокой твердости ( $HV \leq 350$ ) и класс передач с высокотвердыми (например, поверхностно упрочненными) зубьями;

б) контактная прочность поверхностей и изгибная (изломная) прочность зубьев.

#### Небольшой, но крайне необходимый экскурс в историю.

После появления в 1950-е годы зацепления Новикова начался «всплеск» исследований и промышленных внедрений этих передач.

Достаточно быстрое и эффективное внедрение произошло в тех случаях, когда лимитирующим критерием являлась именно **контактная прочность**, т.е. в широкой сфере передач **невысокой твердости** при замене **эвольвентных аналогов**. Этому способствовали **сравнительные** испытания, проведенные не только в ЛМИ [11] (здесь и далее я употребляю прежнее название Балтийского технического университета), но и на многих предприятиях, где было установлено **2-3-кратное повышение** нагрузочной способности передач Новикова ДЛЗ по сравнению с применявшимися до этого эвольвентными аналогами. Поэтому даже в тех «конъюнктурных» случаях (не исключаю, что были и такие), когда внедрение происходило без предварительной тщательной подготовки, эффект все равно **автоматически проявлялся** и обеспечивался, за редким исключением, практически любым (из огромного разнообразия) исходным контуром. Бурное внедрение произошло и **за рубежом**, в частности в Китае. При этом замечен устойчивый **рост эффективности** применения передач Новикова **с ростом габарита** редуктора. Вопреки мнению, высказанному в [4], передачи Новикова хорошо проявили себя также при работе с переменными режимами, ударами, что подтверждено не только специально проведенными испытаниями [12], но и многолетней эксплуатацией на кранах, в приводах нефтяных станков-качалок и углеразмельных мельниц, в горном оборудовании [13]. Несмотря на противоречивость мнений специалистов относительно вибрационных характеристик передач Новикова (к сожалению, пока недостаточно исследований на эту тему), хорошо известны примеры успешного их внедрения в высокоскоростных приводах (например, судовые агрегаты у нас и в Китае, компрессорные и энергетические установки и т.д. [13]).



В интересах объективности не могу не отметить ту огромную роль в исследовании и промышленном внедрении передач Новикова, которую, наряду с другими, сыграли участвующие в дискуссии А.Ф. Кириченко и А.С. Яковлев. Своей деятельностью они принесли (и приносят) большую пользу редукторостроению и народному хозяйству в целом. Вместо того чтобы поставить им это в заслугу, Редакция в своем комментарии не нашла ничего более подходящего, чем высмеивать деятельность А.Ф. Кириченко, упрекнув его в «архаичности» внедренческих работ [14]. Но ведь некоторые передачи, которые он с таким трудом внедрял 20–30 лет назад, по имеющимся сведениям эксплуатируются до сих пор! Это ли не показатель их работоспособности? А разве эвольвентные передачи, работающие в настоящее время во многих машинах (например, в автомобилях), внедрены только вчера? Давайте тогда и здесь усмотрим «архаичность». Редакции не нравится, что нет или мало «свежих» внедрений. Поверьте, мне это тоже очень не нравится. Но задайте А.Ф. Кириченко вопрос, есть ли у него (да и у любого из нас) для таких работ финансовые средства? Ведь катастрофическое **отсутствие финансирования** – существеннейший фактор торможения любых исследований в области машиностроения, который почему-то никто из оппонентов даже не упоминает. (Я уж не говорю о малочисленности оставшихся в науке «зубчатников» и практическом отсутствии, по известным причинам, притока молодых исследователей.)

В статье [1] утверждается, что передачи Новикова вообще не имеют большого промышленного применения (?!), фактически ставится крест на этом зацеплении. Но разве то, что сказано выше, а также многочисленные примеры из литературы у нас и за рубежом не опровергают подобных высказываний? Учитывая подобные утверждения Г.А. Журавлева, а также замалчивание им многочисленных успешных внедрений, о которых он прекрасно осведомлен, я счел возможным сделать заключение, что своей статьей он создает **искаженное представление** у неосведомленного читателя **о действительных масштабах** применения зацепления Новикова, что и отразил в **пункте № 6 Заключения** – см. наш отклик [2].

К сожалению, подобный упрек приходится адресовать и Редакции, которая во всех своих статьях (за подписью В.И. Парубца) и многочисленных негативных комментариях (причем строго избирательных – только к неудобным ей откликам!), даже **не пытаясь разобратся в сути** основных положений статьи [1], в унисон с ее автором не оставляет зацеплению Новикова сколько-нибудь значимого места в машиностроении. И это несмотря на отечественные примеры, **включая самые свежие**, а также присланные в Редакцию материалы (пока неполные) **об использовании передач Новикова за рубежом**, о чем, похоже, ни Редакция, ни В.И. Парубцу раньше не было известно. (А с приведенной в [4] достаточно древней цитатой о целесообразности применения передач Новикова исключительно

в слаборазвитых странах можно согласиться только при условии, что такие, к примеру, страны, как США, Англия и другие будут причислены к слаборазвитым.)

Если с внедрением передач Новикова невысокой твердости все происходило более-менее благополучно, то с высокотвердыми передачами «бум» 1950–1960-х годов сыграл злую шутку. Бросившись поспешно внедрять такие передачи, стали терпеть неудачу за неудачей – зубья часто ломались. Такой поворот событий моментально «отвернул» от передач Новикова ряд предприятий, причем так основательно, что они до сих пор эти передачи на дух не переносят. Укажем на две основные причины неудач: это, во-первых, использование **не приспособленных для твердых передач**, фактически наспех скроенных исходных контуров и, во-вторых, **отсутствие** обоснованных методов расчета и проектирования [2].

Однако долго так продолжаться не могло – промышленность предъявляла все более высокие требования к приводам. Постепенно пришло понимание, что в твердых передачах Новикова изгибная прочность играет более существенную роль, чем в мягких, а иногда и решающую. И вот в конце 1960-х годов появились **нешлифованные** цементованные передачи семейства «Дон», один из наиболее удачных вариантов которых («Дон-63») успешно **заменил шлифованные** эвольвентные пары в задних мостах троллейбусов ЗИУ-5 [15]. Удаче не в последнюю очередь сопутствовало использование такого мощного конструктивного резерва передач Новикова, как увеличение модуля (который задействован, кстати, и в редукторах общего назначения [13]). Это внедрение происходило буквально на глазах автора статьи [1], однако при сопоставлении эвольвентных и передач Новикова упомянутый резерв и ряд других отличительных достоинств последних полностью проигнорированы, что отмечено в **пункте № 5 Заключения** – см. наш отклик [2].

В 1970-е годы опубликованы данные об испытаниях шлифованных цементованных передач Новикова с исходным контуром ДЛЗ-0,7-0,15, показавших по изломной прочности нагрузочную способность **в 1,6 раза выше**, чем эвольвентные аналоги [16]. Как выяснилось сравнительно недавно (в прошлые годы такая информация была практически недоступна), за рубежом (Англия, Китай, США и другие) уже в 1960-х годах высокотвердые передачи Новикова ДЛЗ **успешно использовались** в ряде ответственных изделий.

В середине 1970-х годов РГУ (г. Ростов-на-Дону) по договору с ИРЗ (г. Ижевск) начал широкомасштабные сравнительные испытания нитроцементованных передач Новикова и эвольвентных аналогов средней (8–9) степени точности (шлифование передач, выпускаемых сотнями тысяч штук в год, естественно, не предусматривалось). В процессе многолетних испытаний был испробован ряд исходных контуров, в конце концов выбран исходный контур РГУ-5, показавший превышение нагрузочной способности передач Новикова в сравнении с эвольвентными **в 1,3...1,4 раза**



**по излому** [13]. Здесь же явно обнаружилось два существенных негативных свойства эвольвентных передач. Во-первых, их чрезвычайно высокая чувствительность к технологическим погрешностям углового типа – перекосам осей и т.п. (что характерно для передач с начально-линейным касанием, имеющим ограниченное число степеней свободы зубчатого механизма), выразившаяся в значительной величине **дисперсии** предельных нагрузок, вызывающей необходимость снижать допускаемые напряжения. То же самое наблюдалось при испытаниях в ЛМИ, что наглядно отражено в совместном с ВНИИРедуктором научном отчете ([17], с. 127). Во-вторых, в ряде случаев обнаружилась невозможность достижения предельных нагрузок по излому из-за **недостаточной контактной прочности** – крупные раковины на поверхностях зубьев служили, по всей видимости, **источниками концентрации изгибных напряжений**. И здесь у нас оказалось совпадающим с ЛМИ мнение – последнее зафиксировано И.И. Арефьевым даже по отношению к мягким передачам ([11], с. 253). Следует отметить, что ничего подобного в твердых передачах Новикова не наблюдалось – ни в одном опыте мы не обнаружили каких-либо контактных повреждений поверхностей зубьев, которые неизменно были гладкими, блестящими и достаточно хорошо приработанными [13] (это было наглядно продемонстрировано на образцах на Координационном совете).

Когда в 1980-е годы был создан Координационный совет по проблеме внедрения твердых передач Новикова в редукторостроении, нами, наряду с другими исследователями, были представлены результаты, которые после всесторонних обсуждений были признаны **наиболее убедительными**. Исходный контур РГУ-5 был несколько усовершенствован, назван КС (аббревиатура словосочетания «Координационный совет»), запатентован в США, по нему был выпущен сперва **руководящий документ по стандартизации** [18], а впоследствии разработан **Межгосударственный** (в рамках СНГ) **стандарт** [19]. Затем нами были дополнительно проведены на ИРЗ контрольные сравнительные испытания нитроцементованных пар КС и эвольвентных аналогов [13], а во ВНИИРедукторе (г. Киев) аналогичные испытания независимо от нас – на цементованных аналогах, где был получен близкий к нашему сравнительный результат.

Далее события развивались следующим образом. На ИРЗ была выпущена крупная опытно-промышленная партия редукторов серии 1Ц2У-160 с нитроцементованными парами РГУ-5, успешно эксплуатирующаяся до сих пор, а также спроектирована гамма редукторов серии 6Ц с передачами КС, подготовленная к освоению. Как я уже отмечал [2], грянувшая в самый разгар работ перестройка оборвала этот процесс, и возобновить его в полной мере до сих пор не представлялось возможным в силу очевидных обстоятельств.

Учитывая широкую известность кратко описанных выше фактов, хотелось попросить уважаемых оппо-

нентов-«эвольвентщиков» показать мне **хоть один (!)** их отклик, где бы о приведенном материале хотя бы упоминалось. Апеллировать по этому поводу к Г.А. Журавлеву (который сам был членом Координационного совета), разумеется, не приходится – слишком наглядно положительный опыт по передачам Новикова **противоречит** его антиновиковской позиции. Но особенно меня удивил отклик [4], поступивший от кафедры «Детали машин» ЛМИ. Ведь кафедра хорошо знает обо всем, что я рассказал; ее представители были членами Координационного совета, подписывали все его решения, утверждали документы [18] – но в отклике [4] об этом **ни слова**. Получается, целый пласт нашей совместной с ИРЗ 30-летней работы, в процессе которой получены важные положительные результаты по твердым передачам Новикова, вообще **оставлен без внимания!** Как прикажете к этому относиться?

## 7. Об отклике [4] кафедры «Детали машин» ЛМИ

Поскольку я уже коснулся отклика [4], позволю себе высказать по нему дополнительно следующее.

Отклик назван «Хроника событий, или Какие же результаты были получены на самом деле». Здесь уже, как говорится, не пустые разговоры, а приводятся результаты испытаний. Что касается «хроники», то она по непонятным причинам обрывается в этом отклике на середине 1970-х годов, а все последующие события замалчиваются (об этом я уже выше сказал, повторяться не буду). Относительно же полученных на кафедре ЛМИ экспериментальных результатов необходимо сказать следующее. То, что написано в [4] об этих результатах, подвергать сомнению не приходится, так как это – правда. Однако **не вся правда**, а только ее часть. Вся правда заключается в том, что испытания твердых передач Новикова 30 лет назад проводились главным образом с популярным в те годы **исходным контуром «Урал-2Н»** (будущий ГОСТ 15023-76) и с немного не вполне удачным «Дон-68» [17]. Но ведь исходный контур «Урал-2Н», как известно, предназначен для передач невысокой твердости (на которых И.И. Арефьев и получил хорошие результаты по контактной прочности [11]) и **совершенно не пригоден** для твердых передач, причем не только из-за недостаточной изгибной прочности (о чем в [4] справедливо сказано), но также из-за высокой чувствительности к технологическим радиальным погрешностям (ввиду малой разности радиусов контактирующих профилей зубьев) и наличия весьма слабой в контактном отношении околополюсной эвольвентообразующей зоны с малым углом профиля. Так что отрицательный результат по изломной прочности был вполне **прогнозируем** (тем более что такой же результат по излому до этого был получен на мягких передачах [11]), и проводить длительные испытания твердых передач с данным исходным контуром, по моему мнению, не имело особого смысла. Убедившись в бесперспективности для твердых передач Новикова **испытанных исходных контуров**, кафедра перестала заниматься зацеплением

Новикова (разумеется, это ее право) и вынесла вердикт о **бесперспективности передач Новикова вообще!** Но тогда куда девать все последующие исследования по совершенствованию исходных контуров для твердых передач, положительные результаты их испытаний, подтвержденные в том числе специалистами самой кафедры (см. выше), разработанные методы расчета и т.д.? Получается, за прошедшие 30 лет никто ничего не сделал? Не считает ли кафедра, что **поторопилась с выводами** и тем самым, благодаря своему авторитету, по существу **притормозила** дальнейшее развитие передач Новикова?

Далее в [4] говорится о согласованной методике [20] расчета твердых передач Новикова чуть ли не как об истине в последней инстанции. Но данная методика (в разработке которой и я принимал участие), сыграв, безусловно, свою положительную роль, уже устарела. В ней немало пробелов, и весьма существенных, но разговор об этом выходит за рамки нашей дискуссии. Я навскидку укажу хотя бы один недостаток, и, надеюсь, кафедра со мной согласится. При определении расчетных нагрузок вспомогательные коэффициенты  $K_{H\beta}$  ( $K_{F\beta}$ ) принимаются из методики для расчета эвольвентных передач [5], чем **игнорируется специфика** работы многопарного зацепления Новикова. Мало того, эти коэффициенты берутся из графиков **проектировочного расчета**, где они даже для эвольвентных передач носят сугубо ориентировочный характер (не учитывается, например, существенное влияние степени точности передачи и т.д.). Понятно, что в тот период не было другого выхода. Но наши дальнейшие исследования привели к разработке именно «новиковских» коэффициентов [21], что значительно повысило достоверность расчета. Ну и так далее, продолжать можно долго. Скажу только, что, по моему убеждению, методика не должна быть отдельной для мягких и твердых передач, а должна быть универсальной, как это разработано применительно к эвольвентным передачам [5].

Отклик [4] завершается следующим заявлением: «Передачи с зацеплением Новикова с термоулучшенными колесами не отвечают современным требованиям по удельной материалоемкости». При этом приводится пример трехступенчатого редуктора, имеющего этот показатель на уровне  $q_m = 0,146$  кг/Н·м, и поясняется, что для достижения мирового уровня необходимо иметь  $q_m = 0,075...0,065$  кг/Н·м. Не знаю, какого года выпуска упомянутый редуктор ЦСН-55, но лично мне не приходилось до сих пор встречать редукторы с передачами Новикова, имеющие такой неудовлетворительный показатель  $q_m$ . Так, в работе [22] показаны редукторы серии ЦЗНК для нефтяных станков-качалок с термоулучшенными передачами Новикова, показатель  $q_m$  у которых колеблется от 0,082 до 0,037 кг/Н·м (чем крупнее редуктор, тем  $q_m$  меньше). А в каталоге [23] даны параметры редукторов общего назначения с термоулучшенными передачами Новикова выпуска не позднее конца 1970-х годов, где, например, для редуктора 1Ц2У-315  $q_m = 0,051$  кг/Н·м, а для редуктора

1Ц2Н-450  $q_m = 0,043$  кг/Н·м. Что же касается сравнения с редуктором, имеющим твердые эвольвентные пары, то это типичный случай сравнения по **типу С** (см. выше), из которого ясно, что эффект обеспечивается не эвольвентным зацеплением, а упрочнением зубьев до высокой твердости.

Мне искренне жаль, что кафедра ЛМИ настроена против зацепления Новикова (не исключаю, что именно под ее влиянием так же настроены другие специалисты-петербуржцы). Не знаю, удалось ли мне поколебать этот настрой, но если удалось, то мы могли бы вместе с уважаемой кафедрой подумать о возможности сотрудничества в данной области, что, не сомневаюсь, принесло бы определенную пользу общему делу редукторостроения.

## 8. Об отклике [24] молодого специалиста из ЗАО «НТЦ «Редуктор»

Отклик [24] назван вполне недвусмысленно и категорично «Современная практика – за эвольвентное зацепление» (вот где настоящая «панацея» по отношению к эвольвентным передачам!), что совершенно необоснованно, т.к. данное название является следствием чисто «рыночного» подхода к оценке зацеплений (использовано сравнение **типа С**, к тому же полностью проигнорирован учет результатов научных сравнений **типа А (В)** – см. пояснения выше).

Сознавая, что именно молодые специалисты призваны решать в будущем судьбы отечественного редукторостроения, я посчитал уместным высказать некоторые свои замечания, которые, возможно, окажутся для них полезными.

В преамбуле к отклику [24] его автор представлен Редакцией как человек со свежим взглядом, «не обремененный грузом прошлого опыта». Свежий взгляд – это замечательно, но я всегда считал, что он формируется не на основе отсутствия прошлого опыта, а, наоборот, с учетом этого опыта и его осмысления. Иначе «свежий взгляд» может оказаться неубедительным и совсем не свежим. Именно эта «необремененность», в частности, подвела автора отклика [24], который задал вопрос: «Может ли кто-нибудь сказать мне, где сегодня еще применяется редуктор МЦ2С-100Н?» На этот вопрос есть вполне конкретный ответ – этот мотор-редуктор уже в течение 7–8 лет выпускается в г. Ижевске Техноцентром «Редуктор», причем в нем успешно используются передачи Новикова с исходным контуром РГУ-5. А вопросами типа «Где та ниша, в которой с эффектом проявили себя передачи Новикова?» или «Кто мешал Координационному совету рекомендовать производить редукторы с новиковским зацеплением?» автор отклика [24] просто-напросто продемонстрировал неосведомленность и нежелание слышать доводы оппонентов.

Помещенные в [24] таблицы, доказывающие преимущества редукторов фирмы Flender с твердыми шлифованными эвольвентными передачами над отечественными редукторами с мягкими передачами Но-



викова – пример типичного сравнения по **типу С**, из которого, естественно, никакого **объективно значимого вывода** о свойствах и преимуществах того или иного зацепления сделать не представляется возможным.

Там же использован каталог ВНИИРедуктора 1987 г. [23] с пояснением, что он «не устарел». Каталог, может, и не устарел, а вот описанные в нем редукторы с передачами Новикова **безнадежно устарели!** Специально для молодого специалиста могу сообщить следующую информацию (для размышления). Если, например, в редукторе 1Ц2У-315 для передач Новикова применить исходные контуры РГУ-5 или КС (по ГОСТ 30224-96), не меняя твердости зубьев, то получим при непрерывном режиме крутящий момент на выходе не  $T_2 = 10000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , а  $T_2 = 16000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . При переходе на нитроцементованные передачи Новикова РГУ-5 или КС (нешлифованные!) получим  $T_2 = 37000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Эти цифры взяты не «с потолка», они подкреплены обработкой и анализом результатов многолетних испытаний (см. выше). Если добавить сюда качественное зубошлифование (я уже не говорю об использовании резерва повышения модуля или разработанной нами продольной модификации зубьев – см. **п. 9**), то нагрузочная способность возрастет еще больше. Это дает основания ожидать, что при незначительном увеличении цены (определяемой в основном стоимостью фрез и шлифовальных кругов, распределенной на большое количество пар, обрабатываемых ими в крупносерийном производстве) твердые и качественно шлифованные передачи Новикова, базирующиеся на прогрессивных исходных контурах и спроектированные с помощью современных методик, вполне в состоянии превзойти по нагрузочной способности эвольвентные аналоги, в том числе зарубежные.

Думаю, не очень корректно вопросы внедрения «сваливать» на ученых [24], их дело – проводить исследования (дай бог, чтобы хоть на это хватило средств), предлагать проверенные разработки, а уж непосредственное внедрение – за предприятиями (в том числе и ЗАО НТЦ «Редуктор»), имеющими для этого соответствующие возможности. Это, в частности, касается и зубошлифования (любых колес), которое в принципе давно известно и научной новизны не представляет, а требует лишь кропотливых производственных усилий грамотных специалистов.

В конце отклика [24] его автор высказался в эдаком поучающем стиле: «...критиковать какую-либо теорию – дело тонкое и опасное, и сломя голову этого делать не следует». Спасибо, конечно, за предупреждение об «опасности». Но если имеется в виду моя критика концепции Г.А. Журавлева, то это не какие-то абстрактные теоретические рассуждения («сломя голову»), как кому-то хочется представить, а вполне конкретное доказательство допущенной им ошибки, приведшей к принципиально неверным выводам относительно применения и сравнения различных типов зацеплений. Для этого мне потребовалось выполнить совсем несложные расчеты, используя институтские

курсы ТММ, «Детали машин» и некоторые достаточно известные сведения по пространственной контактной задаче теории упругости. Так что здесь все прозрачно и легко доказуемо (либо опровергаемо). Как я выше сказал, пока что мои доводы никто не опроверг. Мне казалось, что и молодого специалиста данный вопрос должен был бы заинтересовать. Однако его рассуждения по этому поводу, нося отвлеченно-назидательный характер, только затуманивают проблему. А вот этого делать действительно **не следует**.

## 9. Немного о рыночной конкурентоспособности отечественных редукторов

Многие из уважаемых оппонентов ратуют за шлифование зубьев эвольвентных передач, усматривая здесь некий «прорыв» в редукторостроении. Для осуществления такого «прорыва» предлагается (как один из вариантов) закупка дорогостоящего импортного оборудования. Следует, однако, заметить, что, с одной стороны, зубошлифование не является чем-то новым, «прорывным» – этот процесс давно у нас известен, а за рубежом вообще тщательно **отработан** как для эвольвентных, **так и для передач Новикова** (это видно даже из краткого обзора зарубежного применения передач Новикова, который я присылал в Редакцию). С другой стороны, с переходом на шлифование зубьев (любых передач) возникает целый ряд проблем (особенно в наших условиях) – прижоги и микротрещины на поверхностях, образование ступенек-концентраторов напряжений и т.д. Неспроста в нашем стандарте на расчет эвольвентных передач в ряде практически используемых случаев предельное по изгибу напряжение для шлифованных зубьев рекомендуется принимать **ниже**, чем для нешлифованных [5, с. 42–51, табл. 14–17]. Поэтому закупка оборудования – это только полдела. Нужны еще высококачественные шлифовальные круги, их заправка, контроль процесса и т.д., а главное – нужны высококвалифицированные кадры («человеческий фактор»), на обучение которых до уровня западных профессионалов уйдет немало времени. Кроме того, нельзя не учитывать дороговизну и малую производительность процесса зубошлифования и в связи с этим нерентабельность в массовом производстве (не применяют же его при изготовлении зубчатых пар коробок передач автомобилей), а также то обстоятельство, что при выходе из строя таких передач потребитель будет испытывать трудности с их заменой (может потребоваться даже организация специальных сервис-центров наподобие автомобильных, на что уйдут многие годы).

Поэтому мне не совсем ясно, как, используя зубошлифование эвольвентных пар, мы сможем «обойти» западных конкурентов, ту же фирму Flender. За счет качества? Вряд ли – пока мы будем достигать их уровня, они уйдут еще дальше. За счет цены? Но кто поручится, что у нас она окажется ниже западной? В результате может возникнуть ситуация, что выгоднее будет покупать на Западе **не оборудование, а сами редукторы**, а это





уже станет похоже на «редукторную интервенцию», красноречиво описанную в [25], которая к тому же многократно усилится при возможном вступлении нашей страны в ВТО. Так, может быть, есть смысл нам сразу настроиться на производство твердых высокоточных передач Новикова, закупив на Западе соответствующую технологию?

Учитывая сказанное, мы в свое время занялись разработкой таких передач Новикова, которые, **не будучи шлифованными**, должны, по замыслу, **обеспечить** нашим редукторам **мировой уровень**. Предполагается это сделать за счет специально рассчитанной и технологически легко осуществляемой *продольной модификации поверхностей зубьев*, о чем в своем отклике [2] я уже коротко сообщил, сославшись на одну из последних наших публикаций [26]. Это может стать действительно новым **конкурентоспособным решением**, отличным от западных технологий!

## БИБЛИОГРАФИЯ

- Журавлев Г.А. Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения // РИП. 2006. № 1 (04). С. 38–45.
- Короткин В.И. Об одной попытке пересмотра основ зацепления Новикова // РИП. 2006. № 2, 3 (05). С. 59–63.
- Верховский А.В. «Герман Александрович, доделывайте Вашу докторскую диссертацию!» // РИП. 2006. № 1 (04). С. 46–47.
- Филипенков А.Л. Хроника событий, или Какие же результаты были получены на самом деле // РИП. 2006. № 2, 3 (05). С. 51–53.
- ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчет на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1988. 125 с.
- Гришин С.А. Контактное взаимодействие упругих цилиндров при перекосе осей // Теоретическая и прикладная механика. Харьков: Изд-во ХГУ «Выща школа», 1988. Вып. 19. С. 32–39.
- Борисенков В.А. Разработка уточненного метода расчета цилиндрической эвольвентной передачи на прочность на основе решения пространственной задачи теории упругости // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1984. 22 с.
- Иванов С.Л. Зацепление Новикова не нашло широкого применения в горной промышленности // РИП. 2006. № 2, 3 (05). С. 65–67.
- Яковлев А.С. Еще раз к вопросу эффективности применения зубчатых передач с зацеплением Новикова // РИП. 2007. № 1 (08). С. 48–54.
- Лагутин С.А. Эвольвентное зацепление вряд ли уступит свои позиции // РИП. 2006. № 5 (07). С. 45.
- Арефьев И.И. Исследование нагрузочной способности передач Новикова с двумя линиями зацепления // Зубчатые и червячные передачи / Под ред. Н.И. Колчина. Л.: Машиностроение, 1968. С. 235–253.
- Веретенников В.Я. Исследование редукторов общего назначения с передачами Новикова при переменных режимах работы // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 1972. 22 с.
- Короткин В.И., Харитонов Ю.Д. Зубчатые передачи Новикова. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1991. 208 с.
- Об уровне дискутирования оппонентов Г.А. Журавлева, или Как проф. А.Ф. Кириченко доводит разговор до логического завершения // РИП. 2006. № 2, 3 (05). С. 56–58.
- Подытоживая свои комментарии, я вынужден констатировать, что пока **ни один из шести пунктов Заключения**, содержащегося в нашем отклике [2], **по существу не опровергнут** оппонентами.
- Имея в виду настойчивое вытеснение Г.А. Журавлевым зацепления Новикова с промышленной арены на малозначащую «обочину», А.Ф. Кириченко квалифицировал статью [1] как принесшую **значительный вред** отечественному редукторостроению [27]. С большим сожалением вынужден признать, что в указанном смысле подобная оценка статьи [1] не столь уж далека от объективности.
- В заключение хотелось бы призвать некоторых уважаемых оппонентов оперировать только **достоверными и проверенными фактами**, сопровождая их, где необходимо, **научным анализом**, иными словами, вести дискуссию по поставленным в дискуссионной статье [1] вопросам **на научном уровне**.
- Дергаусов А.У. Результаты внедрения передач Новикова с высокой твердостью зубьев // Вестник машиностроения. 1983. № 6. С. 30–32.
- Павленко А.В., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова. Киев: Техніка, 1978. 144 с.
- Методические рекомендации по расчету на прочность упругих цилиндрических передач с зацеплением Новикова. Научный отчет (ВНИИРедуктор-ЛМИ). Киев, 1976. 151 с.
- Передачи Новикова цилиндрические ДЛЗ с твердостью зубьев 35 HRCЭ и более. Исходный контур // Руководящий документ по стандартизации РД2Н24-11-88. М.: ВНИИТЭМР, 1988. 34 с.
- ГОСТ 30224-96. Передачи зубчатые Новикова цилиндрические с твердостью поверхности зубьев не менее 35 HRCЭ. Исходный контур // Межгосударственный стандарт. Минск: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. 5 с.
- Передачи зубчатые Новикова с твердостью поверхностей зубьев  $HV \geq 350$ . Расчет на прочность // Методические рекомендации МР 221-86. М.: ВНИИММаш, 1987. 86 с.
- Короткин В.И. Расчетные нагрузки в цилиндрических зубчатых передачах Новикова // Вестник машиностроения. 2005. № 8. С. 11–15.
- Молчанов С.М., Мишунин В.П., Скопин А.А. Поступательное движение развития Ижевского завода «Редуктор» // Редукторостроение России: состояние, проблемы, перспективы: Матер. конф. с междунар. участием. Изд. 2-е, дополн. и исправл. СПб., 2003. С. 30–33.
- Редукторы и мотор-редукторы. Каталог. Ч. 1. М.: ВНИИТЭМР, 1987. 66 с.
- Муравьев Е.В. Современная практика – за эвольвентное зацепление // РИП. 2006. № 5 (07). С. 50.
- Парубец В.И. Редукторные мифы и реальность // РИП. 2005. № 2, 3. С. 37–39.
- Короткин В.И. Повышение нагрузочной способности цилиндрических передач Новикова рациональной продольной модификацией поверхностей зубьев // Вестник машиностроения. 2003. № 5. С. 16–22.
- Кириченко А.Ф. Научная позиция Г. А. Журавлева требует опровержения! // РИП. 2006. № 2, 3 (05). С. 54–56.

