

ОБ ОДНОЙ ПОПЫТКЕ ПЕРЕСМОТРА ОСНОВ ЗАЦЕПЛЕНИЯ НОВИКОВА

В.И. Короткин, к.т.н., доцент



Виктор Ильич Короткин – зав. лабораторией специальных зубчатых передач НИИ механики и прикладной математики им. И.И. Воровича Ростовского госуниверситета, кандидат технических наук, доцент. В течение 35 лет занимается комплексными исследованиями передач Новикова, автор 2 монографий, многочисленных публикаций, авторских свидетельств, патента США. Является разработчиком исходного контура для передач Новикова с высокотвердыми зубьями, положенного в основу Межгосударственного Стандарта, участником промышленных внедрений передач Новикова. Контактные телефоны: 8-(863)2975254, 2227152. (См. также сайт www.math.rsu.ru/niimp/cm/korotkin.htm)

Прежде всего, хочу выразить благодарность редакции журнала РИП за организацию дискуссионного клуба. Несколько смущает, правда, сформулированное еще **до начала дискуссии** (!) мнение редакции: «...публикация откликов на страницах РИП **станет лучшим подтверждением** научной новизны и огромной практической значимости творческих усилий Г.А. Журавлева». А если не станет? Надеюсь, что результат нашей дискуссии определится все же **после ее завершения**.

Позволю себе высказать одно соображение. В статье В.И. Парубца [1] предлагаемые темы (включая и обсуждаемую) сформулированы в **альтернативном** ключе: «**О превосходстве** таких-то передач над такими-то». Считаю, что подобная постановка не способствует деловому характеру обсуждений. Думаю, формулировки в виде: «**Рациональные области применения** таких-то и таких-то передач» для будущих дискуссионных тем предпочтительнее.

Перейдем к обсуждению дискуссионной статьи.

1. Об общем подходе к сопоставлению различных типов передач и систем зацепления

«Черно-белый» альтернативный подход к передачам по принципу «или-или» (о котором упомянуто выше), способный лишь нанести вред общему делу и **разъединить усилия** специалистов, буквально **пронизывает** обсуждаемую статью: «...зацепление Новикова так и не стало альтернативой эвольвентному...» (с. 40). Но почему оно должно стать чему-то альтернативой? Разве оно не имеет **своей «ниши»**, в которой давно и прочно себя зарекомендовало? В то же время, рекламируя смешанное зацепление, автор статьи заявляет (не приводя, впрочем, никаких доказательств!), что в нем «...подтверждено отсутствие ограничений конс-

труктивной гибкости» (с. 42). Снова «альтернативный подход», но уже с противоположным знаком. Думаю, к подобным заявлениям следует относиться весьма осторожно.

2. Об основном тезисе, содержащемся в заголовке

Автор статьи провозгласил тезис об «ошибочности физических основ зацепления Новикова», вынесенный в заголовок статьи. Его аргумент – «истинные достоинства» зацепления Новикова, якобы, не соответствуют «изначально декларируемым» (с. 40).

В обсуждаемой статье **смешаны** два разных понятия – «**система зацепления**» и «**передача**».

В своей выдающейся работе [2] М.Л. Новиков убедительно показал **неоспоримые преимущества** созданной им новой **системы зацепления** в сравнении с прежней, на которой основаны, в частности, и эвольвентные передачи. А уже **на базе** новой системы зацепления им предложены **конкретные передачи**, получившие заслуженное название «**Передачи Новикова**». Дальнейшие всесторонние исследования этих передач никак **не затронули** систему зацепления, в рамках которой они совершенствуются. Сама же система **осталась в том же неизменном** виде, в каком и была первоначально создана. (Мы ведь не говорим, что, изменяя, к примеру, угол зацепления или совершенствуя методы расчета, затрагиваем при этом систему зацепления эвольвентных передач). Но если **нет** «ошибочности физических основ зацепления Новикова», то как она может стать «**причиной** ограниченности его применения»?

Таким образом, **смешав** основные понятия, автор статьи выдвинул **принципиально ошибочный** тезис, вынеся его в заголовок.

Но коль скоро передачи Новикова появились, следу-

ет знать их реальную контактную прочность (именно этот критерий обсуждается). Здесь на помощь приходит **практика**. Для этого достаточно упомянуть о большом количестве многолетних испытаний передач **с любой твердостью зубьев**, показавших **2-3-кратное превосходство** передач Новикова над эвольвентными (испытания в ЛМИ под руководством проф. В.Н. Кудрявцева, на Ижевском заводе «Редуктор» [3] и многие другие, в том числе зарубежные). Автор статьи не может об этом не знать, однако умалчивает, так как это противоречит его концепции. Ясно, что если бы передачи Новикова показывали низкую работоспособность, никто бы их не стал широко применять в промышленности взамен эвольвентных.

Отрицая (или умаляя) основные достоинства передач Новикова, автор статьи предложил взамен смешанное зацепление.

3. О смешанном зацеплении и «новом кинематическом принципе»

Смешанное зацепление в обсуждаемой статье представлено в виде небольшого эскиза с кратким текстовым сопровождением, анализ которых **невозможен** из-за отсутствия должной **информативности**. Необходимую для анализа информацию не найти и в публикациях автора статьи, если не считать отрывочных сведений **рекламного характера**, разбросанных по множеству патентов, часть которых к тому же недоступна. Так что здесь, по сути, **отсутствует база для дискуссий**.

Непонятны претензии автора статьи на создание неких «новых кинематических принципов», отличных от трех (?) известных (с. 42). Напомним, что для цилиндрических передач используются лишь два – принцип Оливье (взаимоогibaющих поверхностей) и более общий принцип Новикова. Смешанное зацепление – это, на мой взгляд, то или иное сочетание известных принципов, варианты которого предлагались и ранее, но никем не представлялись как «новый кинематический принцип».

Предлагаемое автором статьи смешанное зацепление включает, по-видимому, эвольвентные участки профилей зубьев, в связи с чем ему потребовались доказательства высокой контактной прочности эвольвентного зацепления, в том числе **в полюсе**. С этой целью он выдвигает некую **концепцию**, которой придает особое значение, делая на ее базе далеко идущие выводы о неучтенных, по его мнению, резервах эвольвентных передач, заниженной расчетной оценке их нагрузочной способности в сравнении с передачами Новикова, и т.д. Для уяснения сути этой концепции нам потребовалось привлечь некоторые публикации [4–7] автора статьи.

4. О выдвинутой автором статьи концепции оценки контактной прочности эвольвентных передач

Выдвинутая концепция зиждется, по существу, на двух

основных постулатах.

ПОСТУЛАТ 1. Традиционная (стандартная) схема [8] расчета эвольвентных передач, основанная на плоской задаче Герца и использующая для учета перекосов в зацеплении поправочный коэффициент $K_{\text{H}\beta}$ концентрации нагрузки, приводит к **неоправданно заниженной** нагрузочной способности и поэтому **не позволяет** выявить дополнительные («скрытые») резервы, в частности, проявляющиеся при увеличении угла α зацепления и, соответственно, приведенного радиуса ρ_α кривизны.

ПОСТУЛАТ 2. Традиционная схема, основанная на линейных герцевских связях, **неадекватно учитывает** влияние радиуса ρ_α на нагрузочную способность эвольвентных передач в условиях их работы при перекосах.

Попробуем проанализировать данные постулаты и концепцию автора статьи.

Пытаясь объяснить необычные результаты опытов Нимана (G. Niemann), автор статьи предложил отказаться от стандартной расчетной схемы [8] и перейти к пространственной задаче Герца, а расчет вести, как и принято в таких случаях, по эффективным напряжениям, полагая, что эллиптическая площадка контакта при перекосах занимает некоторую часть длины зуба [4].

Оставив в стороне явное **несоответствие** выбранного для анализа объекта поставленным целям (передачи Нимана – высокоточные, узкоконцевые, перекосы в них весьма малы, $K_{\text{H}\beta} \rightarrow 1$), рассмотрим непосредственно предложенный подход.

Сама по себе схема, использующая пространственную задачу Герца, не вызывает возражений, однако в работе [4] при ее применении автором статьи допущена **принципиальная ошибка** – им принято, что полуоси a, b контактного эллипса **заданы заранее, независимо от геометрии** (т.е. вне связи, в частности, с радиусом ρ_α , значение которого известно из базовой плоской задачи Герца), а сжимающая сила F_n (нагрузочная способность контакта) определяется при **фиксированном** (как и положено) значении эффективного напряжения, равного допустимому σ_{Hpe} . Однако при таких условиях контактная задача **не имеет решения**, поскольку подстановкой F_n и ρ_α в известные уравнения для определения полуосей a, b **невозможно получить** совпадения с заранее заданными значениями. Идея путем автора статьи, силу F_n можно только **искусственно подогнать** под желаемый результат!

Корректное решение пространственной задачи Герца требует освобождения от связи одного из параметров (например, a или b). Выполнив соответствующие вычисления при $\sigma_{\text{Hpe}} = \text{const}$, различных значениях a (и $K_{\text{H}\beta}$) для прямоугольных передач, мы получили результаты, свидетельствующие о том, что стандартная схема дает нагрузочную способность не ниже, а **выше**, чем схема [4], т.е. «скрывает» на самом деле **не резервы**, а, наоборот, не учитываемую ею **повышенную напряженность** эвольвентных передач. Кроме того, количественный учет влияния радиуса ρ_α на нагрузочную способность по обеим схемам практически (с разницей



не более 3–4%) **совпадает**.

Эти результаты находятся в **полном противоречии с обоими постулатами и концепцией** автора статьи.

Таким образом, допустив серьезный **просчет**, автор статьи неминуемо пришел **к ошибочным выводам**, на основе которых выстроил свою концепцию.

Предпринятая автором статьи впоследствии [5] попытка использования формул, полученных в [9] для контакта перекошенного ролика с внутренним кольцом подшипника и включающих оценку с помощью нормальных (?) напряжений так называемого «краевого эффекта» вблизи торца, **не опровергает ошибочности** его концепции, поскольку при одной и той же силе F_n напряжения вблизи торца всегда **выше**, чем вдали от него (схема [4]). Что же касается оценки влияния радиуса r_w , то об этом объективно судить можно будет только перейдя **от нормальных напряжений к эффективным** (задача-то пространственная!), но последние автором статьи **численно не определены**. (В [5] отсутствует сопоставление со стандартной схемой даже по реальным нормальным напряжениям). При этом переходе необходимо будет учесть также существенное влияние [10] углового (а не ортогонального, как у роликов) расположения торца косозубого колеса по отношению к линии зуба.

Таким образом, работа [5], на мой взгляд, не более чем попытка усовершенствовать расчет эвольвентных передач, и судить о ее результатах можно будет только **после существенной доработки** (см. выше).

Несмотря на сказанное, автор статьи, тем не менее, продолжает и в дальнейших работах [6, 7] **настойчиво декларировать** свою ошибочную концепцию.

5. Коротко о конструктивной гибкости разных зацеплений

В обсуждаемой статье много раз упоминается о «негибкости» передач Новикова и, в противовес этому, «гибкости» эвольвентных. Придется восполнить очевидный «пробел» и напомнить о некоторых «незамеченных» автором статьи конструктивных достоинствах передач Новикова, отсутствующих в эвольвентных передачах:

- а) возможность **свободного управления кривизнами** профиля зуба [2];
- б) **малая чувствительность** (в силу начально точечного, а не линейного характера контакта) к технологическим погрешностям углового типа (перекосам осей, отклонениям линии зуба и т.п.), о чем весьма наглядно свидетельствуют многочисленные испытания;
- в) возможность повышения контактной прочности в заданных габаритах **за счет увеличения модуля**; этот **мощный резерв** уже успешно использовался в передачах заднего моста троллейбусов ЗИУ-5 [11], а в настоящее время используется в редукторах общего назначения [3].

Разумеется, у передач Новикова, как у любых других, есть свои недостатки (хорошо известные специалистам), но нельзя же «выпячивать» только их, а достоинств

та истолковывать как «удачное сочетание недостатков» (?) (с. 43).

6. О промышленном применении передач Новикова и их перспективах

В обсуждаемой статье (с. 44) и в работах ее автора передачам Новикова отводится место исключительно среди малоответственных и даже утверждается, что они вообще «не имеют большого промышленного значения» (?), «повсеместно не внедрены», сокращается их производство и т.д. в том же духе.

О теоретическом «подтверждении» подобных заявлений говорилось выше.

Что же касается практической стороны дела, то нет необходимости здесь перечислять огромное количество (в том числе весьма ответственных) объектов внедрения передач Новикова, известных специалистам (автор обсуждаемой статьи об этом почему-то «забыл»). Здесь и редукторы нефтяных станков-качалок, и редукторы общего назначения, и многое другое (об этом говорится и в [12]). Достаточно сказать, что по распространенности передачи Новикова уступают только эвольвентным, которые «старше» на 200 лет. Интересующиеся данным вопросом легко могут почерпнуть сведения из многочисленных литературных источников, в том числе самые свежие из Интернета (краткие сведения на период до 1990 г. имеются в [3]).

Некоторые же утверждения автора статьи трудно оставить без внимания.

Так, на с. 40 утверждается: «К началу 21-го века применение зацепления Новикова совершенно прекращено в таких отраслях, как авиастроение, автомобилестроение, тракторостроение, судостроение...»

Может, автор статьи объяснит, как можно прекратить то, что и не начиналось? В автомобилях, например, передачи Новикова никогда не применялись, они там просто не нужны в силу не востребоваемости их основных достоинств, там вполне «справляются» технологически отработанные эвольвентные пары. В тракторах применяются, в основном, прямозубые передачи, а вот в судах передачи Новикова успешно используются, в том числе за рубежом (например, в Китае [3]). В отечественном вертолете К-126 эксплуатируется главный редуктор ВР-126М с передачами Новикова. Поэтому утверждения автора **вводят в заблуждение** читателя. Если же где-то и сокращается производство изделий в целом, то при чем здесь передачи Новикова? Ни для кого не секрет, что в России **сократился весь машиностроительный комплекс**, попав в число «неприоритетных» (?), а внедрить сегодня что-нибудь практически невозможно. Некоторый оптимизм внушают лишь титанические усилия энтузиастов, умудряющихся в невероятно трудных условиях организовать новые производства (например, крупных редукторов с передачами Новикова для металлургического оборудования – фирма «СПИН», г. Орел).

Немного о зарубежной практике.

Утверждения [12] о неприменении передач Новикова за рубежом не имеют оснований. Выше упоминалось



о китайских передачах для судов. Добавлю некоторые известные мне сведения, полученные в 90-е годы от проф. Ф.Л. Литвина (США) по запросу проф. М.Л. Ерихова (при желании их можно уточнить в Интернете): широко выпускаемые с 1958 г. в Китае (компания «DARCO») редукторы для нефтяных насосов, которые экспортируются во многие страны, в том числе в США; вертолетные редукторы английской компании «WESTLAND HELICOPTER» (с 1962 г.); разработки редукторов в Индии (с 1970 г.) и в Германии (с 1960 г.); непрерывные интенсивные исследования и испытания, проводимые, кроме перечисленных стран, в Бельгии и Японии, показавшие **удвоенную** (по сравнению с эвольвентными аналогами) нагрузочную способность и **увеличенную в 3–4 раза** толщину масляной пленки в контакте, а также отличные результаты **при окружных скоростях до 120 м/с**.

Разумеется, таких высоких показателей можно достичь только при соответствующем **качестве изготовления и контроля** передач Новикова, на чем и **нам следует сосредоточить усилия**.

О «потрепанном» примере с вертолетом Lynx-13 (с. 40). Автору обсуждаемой статьи не может не быть известно, что в нем используется передача ОЛЗ. Если же она перестала удовлетворять (после многолетней эксплуатации!) требованиям по шуму, то кто мешаёт заменить «ветхую старушку» ОЛЗ на современную передачу ДЛЗ, которая по шумовым характеристикам отличается от ОЛЗ примерно так же, как косозубая передача отличается от прямозубой? (Автор статьи, если пожелает, может задать этот вопрос своему американскому коллеге, написавшему ему письмо об этом случае).

Резюмируя сказанное, отметим, что для реального повышения конкурентоспособности российских редукторов с передачами Новикова необходимо, как минимум:

- а). использовать вместо исходных контуров сорокалетней давности **современные исходные контуры** [3, 13];
- б). проектировать передачи на базе **современных методик** (например, [3, 10, 14–21]);
- в). довести технологию **по всем деталям редуктора до уровня зарубежной**.

Только после выполнения перечисленного можно сравнивать наши редукторы с зарубежными, в частности, по удельной массе.

Кстати, о расчетных методиках. Разработанные нами методики [3, 10, 14–20], базирующиеся на основополагающих работах М.Л. Новикова, Б.С. Ковальского, Е.Г. Росливера, А.Ф. Кириченко, А.С. Яковлева и др., внедрены на ряде заводов, показав хорошую корреляцию расчетных данных с экспериментальными. Госстандартом России предложено положить их в основу проектов Государственных Стандартов на расчет геометрии и прочности цилиндрических передач Новикова (имеется соответствующее официальное письмо). Этим вопросом мы занимаемся, но остро нуждаемся в финансовой поддержке.

Пользуясь случаем, выскажу некоторые соображения **о перспективах применения передач Новикова с высокотвердыми зубьями**.

Я уже говорил о внедрении таких передач в китайских судах, российских и английских вертолетах, в троллейбусах. Могу добавить также об эксплуатации главной конической пары в трамвае КТМ-5, о внедрении высокоскоростной пары с исходным контуром по [13] в воздуходувках французского производства (разработка нашей лаборатории), о передаче горношахтного оборудования (Украина). Уверен, что по многим объектам сведения до нас просто не доходят.

В 80-е годы по решению Координационного Совета при Минстанкопроме СССР во ВНИИРедукторе (г. Киев) и на заводе «Редуктор» (г. Ижевск) были проведены успешные сравнительные испытания на излом нитроцементованных пар Новикова с тремя разными исходными контурами (в том числе – одного из вариантов смешанного зацепления автора обсуждаемой статьи) и эвольвентных аналогов. По результатам испытаний было отдано предпочтение передачам Новикова, при этом принят разработанный нами исходный контур [3], который затем получил статус **Межгосударственного Стандарта** [13]. На его базе была изготовлена опытная партия редукторов, эксплуатирующаяся до сих пор, и выполнено проектирование гаммы редукторов серии 6Ц с нитроцементованными парами Новикова, предназначенных для промышленного освоения. К сожалению, известные события 1991 г. не дали возможности завершить эту работу вместе с украинскими коллегами, но мы не теряем надежд на ее продолжение.

Учитывая неосвоенность (в России) технологии зубошлифования передач Новикова, мы разработали альтернативную передачу с продольной модификацией поверхностей зубьев, в которой параметры модификации назначаются в соответствии с исследованным нами **характером распределения нагрузки и напряжений** по площадкам контакта в многопарном зацеплении. Теоретические предпосылки [22] обнадеживают, о практической реализации ведутся переговоры. При наличии финансирования мы эту работу намерены выполнить. В случае успеха можно будет говорить о **достойной конкуренции** (по нагрузочной способности) получаемых с помощью недорогой технологии модифицированных передач Новикова шлифованным эвольвентным парам.

Успешное выполнение работ по высокотвердым передачам Новикова с одновременным совершенствованием качества их изготовления позволит раскрыть новые возможности этих прогрессивных передач, повысить их конкурентоспособность и еще больше расширить область промышленного применения.

7. Заключение по обсуждаемой статье

1. Пронизывающий статью «альтернативный» под-



ход при сопоставлении различных типов зубчатых передач и зацеплений **не дает возможности** объективно определить рациональные сферы их использования.

2. Выдвинутая автором статьи **концепция** оценки контактной прочности эвольвентных передач в сопоставлении с передачами Новикова основана на **ошибочных выводах** и потому **несостоятельна**.

3. В статье **полностью отсутствуют доказательства** ошибочности основ зацепления Новикова, ее содержание **не соответствует** названию, а словесные заявления автора только **дискредитируют** зацепление Новикова.

4. Приведенные сведения о смешанном зацеплении, как «альтернативе» зацеплению Новикова, носят чисто **рекламный характер**, не подтверждены публикациями, позволяющими дать им сколь-нибудь значимую оценку.

5. Сопоставление конструктивной гибкости передач Новикова и эвольвентных выполнено **некорректно**, без учета широко известных достоинств первых.

6. Сведения, приведенные в статье автора о промышленном применении передач Новикова, по большей части **недостоверны, тенденциозны и вводят в за-**

блуждение неосведомленного читателя

В целом обсуждаемая статья изобилует амбициозными утверждениями и полна противоречий. «Взрыва и опрокидывания устоявшихся научных представлений» (пользуясь терминологией из [12]), автор статьи не осуществил. Фундаментальные принципы зацеплений как были, так и остаются **незыблемыми, блестяще дополненными и обобщенными незаурядным талантом Михаила Леонтьевича Новикова**.

Здесь можно и закончить, если бы не одно образное высказывание о том, что автор обсуждаемой статьи, «...посвятив исследованиям зацепления Новикова всю свою научную жизнь...», теперь, дескать, нашел в себе «смелость первым отказаться от прежних научных взглядов», по сути, «наступил на горло собственной песне» [12]. Высказывание эффектное, но ничего общего не имеющее с действительностью! Должен внести ясность. Дело в том, что автор статьи давно (примерно лет 20) ничего не публикует собственно по зацеплению Новикова, то есть фактически не занимается этой проблематикой, поэтому передачи Новикова – это уже не его «песня». Пожалуй, он действительно «наступил на горло», но только не своей «песней», а чужой, что, согласитесь, большой смелости не требует.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Парубец В.И. Редукторные мифы и реальность // РИП. 2005. № 2, 3 (02). С. 37–39.
2. Новиков М.Л. Зубчатые передачи с новым зацеплением. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1958. 186 с.
3. Короткин В.И., Харитонов Ю.Д. Зубчатые передачи Новикова. Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 1991. 208 с.
4. Журавлев Г.А. О концепции оценки формы профиля зубьев в цилиндрических передачах // Вестник машиностроения. 1990. № 8. С. 23–25.
5. Журавлев Г.А. Оценка применимости решения Герца в задачах о контакте зубьев колес // Техника машиностроения. 2001. № 2. С. 82–90.
6. Журавлев Г.А. Эффект влияния кривизны упругих тел на изменение вида их контактного разрушения // Современные проблемы механики сплошной среды. Труды VIII Междунар. конф. Т. 1. Ростов-на-Дону: «Новая книга», 2003. С. 63–68.
7. Журавлев Г.А. Эффекты кривизны упругих тел с близким к начально-линейному касанием // Труды III Всеросс. конф. по теории упругости. Ростов-на-Дону: «Новая книга», 2004. С. 163–165.
8. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчет на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1988. 125 с.
9. Гришин С.А. Контактное взаимодействие упругих цилиндров при перекосе осей // Респ. сб. «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 19. Харьков: Изд-во ХГУ «Выща школа», 1988. С. 32–39.
10. Короткин В.И. Об учете краевых эффектов при расчете передач Новикова на контактную выносливость // Вестник машиностроения. 1997. № 6. С. 8–11.
11. Дергаусов А.У. Результаты внедрения передач Новикова с высокой твердостью зубьев // Вестник машиностроения. 1983. № 6. С. 30–32.
12. Парубец В.И. О значимости статьи Г.А. Журавлева // РИП. 2006. № 1 (04). С. 47.
13. ГОСТ 30224-96. Передачи зубчатые Новикова цилиндрические с твердостью поверхности зубьев не менее 35 HRC₂, Исходный контур. Межгосударственный стандарт. Минск: Межгосударств. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. 5 с.
14. Короткин В.И. Адаптационная способность цилиндрических зубчатых передач Новикова и контроль зубонарезания их колес // Вестник машиностроения. 2005. № 6. С. 22–26.
15. Короткин В.И. Геометрический аспект цилиндрических зубчатых передач Новикова // Вестник машиностроения. 2004. № 10. С. 11–14.
16. Короткин В.И. О выборе коэффициента запаса прочности при расчете цилиндрических зубчатых передач Новикова // Вестник машиностроения. 2002. № 6. С. 13–16.
17. Короткин В.И., Онишков Н.П. О глубинной контактной прочности поверхностно-упрочненных зубчатых передач Новикова // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2002. № 1. С. 42–46.
18. Короткин В.И. О параметрах качества зацепления цилиндрических зубчатых передач Новикова // Вестник машиностроения. 2004. № 11. С. 3–6.
19. Короткин В.И. Расчет контактной прочности поверхностей зубьев цилиндрических зубчатых передач Новикова // Вестник машиностроения. 2006. № 4. С. 12–16.
20. Короткин В.И. Расчетные нагрузки в цилиндрических зубчатых передачах Новикова // Вестник машиностроения. 2005. № 8. С. 11–15.
21. Яковлев А.С. Определение напряжения изгиба в зубьях цилиндрических передач Новикова // Вестник машиностроения. 1984. № 6. С. 18–20.
22. Короткин В.И. Повышение нагрузочной способности цилиндрических передач Новикова рациональной продольной модификацией поверхностей зубьев // Вестник машиностроения. 2003. № 5. С. 16–22.

