

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015157106, 30.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.12.2015Дата регистрации:  
27.12.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2015

(45) Опубликовано: 10.01.2017 Бюл. № 1

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Комшина  
А.С. (МТ-4)

(72) Автор(ы):

Кудрявцев Евгений Александрович (RU),  
Комшин Александр Сергеевич (RU),  
Киселев Михаил Иванович (RU),  
Пронякин Владимир Ильич (RU),  
Сырицкий Антони Борисович (RU),  
Потапов Константин Геннадьевич (RU),  
Тумакова Екатерина Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ  
им. Н.Э. Баумана) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: Е.А.КУДРЯВЦЕВ И ДР., СТ.  
"НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
ДИАГНОСТИКИ ШЕСТЕРЕН  
ТЯГОВЫХ РЕДУКТОРОВ", ЖУРНАЛ  
"ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ",  
12-2014. RU 2035714 С1, 20.05.1995. RU  
2392723 С1, 20.06.2010.

(54) Конструктивная схема-1 редуктора с индукционными датчиками контроля износа зубьев зубчатых колес

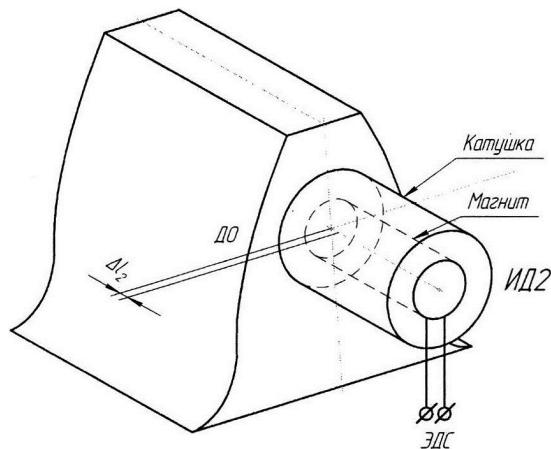
(57) Реферат:

Полезная модель относится к области машиностроения и может быть использована при проектировании, эксплуатации и диагностике редукторов, включающих зубчатые передачи и требующих получения информации о реальном износе зубьев колес (шестерен) редуктора в реальном масштабе времени. Техническим результатом предлагаемой полезной модели является конструктивная схема редуктора с индукционными датчиками контроля износа зубьев зубчатых колес с альтернативным вариантом места установки датчиков вблизи любого из контролируемых ферромагнитных зубчатых (прямозубых, косозубых, шевронных, червячных и т.п.) колес редуктора, а именно: установка датчиков сбоку этих зубьев. В

основном такая альтернативная схема нужна для случаев, когда сложно или практически невозможно установить ИД в корпусе готового редуктора сверху зубьев контролируемой шестерни, но при этом возможна установка ИД сбоку зубьев. Для достижения результата предлагается конструктивная схема редуктора с индукционными датчиками контроля износа зубьев зубчатых колес, редуктор содержит ферромагнитные зубчатые передачи одного или разных типов с индукционными датчиками, закрепленными в корпусе редуктора вблизи диагностируемых по параметрам износа зубьев колес, не менее одного индукционного датчика для контроля параметров износа зубьев, а именно: параметров естественного абразивного

износа рабочих поверхностей зубьев, их возможного выкрашивания и их возможной поломки, при этом оси магнитов и генераторные катушки индукционных датчиков расположены над любыми точками вращающихся поверхностей зубьев шестерен перпендикулярно этим поверхностям, а приемные поверхности магнитов находятся на расстоянии зазора от поверхности зубьев. При этом датчики расположены сбоку

этих зубьев, оси магнитов и генераторные катушки датчиков расположены перпендикулярно боковым поверхностям зубьев шестерен в местах их пересечения с радиусами делительных окружностей этих шестерен, а приемные поверхности магнитов на расстоянии зазора от боковых поверхностей зубьев. 1 з.п. ф-лы, 8 ил.



Фиг.2

## Область техники

Полезная модель относится к области машиностроения и может быть использована при проектировании, эксплуатации и диагностике редукторов, включающих зубчатые передачи и требующих получения информации о реальном износе зубьев колес

5 (шестерен) редуктора в реальном масштабе времени.

## Уровень техники

Известен индукционный датчик (ИД) для диагностики зубчатых передач (заявка РФ RU 2013122814 (МПК G01M 13/02, G01B 7/287, опубл. 27.11.2014) с участием ряда авторов предлагаемой полезной модели).

10 Однако в указанной публикации заявки, посвященной именно ИД и способу диагностики зубчатых передач с его использованием, практически не было информации о конструктивной схеме мест установок ИД в зубчатых редукторах.

15 Известны зубчатые редукторы с датчиками контроля и распознавания дефектов в способе диагностирования зубчатых редукторов (патент РФ RU 2035714 (МПК G01M 15/00, опубл. 20.05.1995)).

Однако, в указанном изобретении рассмотрены не ИД, а другие типы датчиков (оптические, вибродатчики) и не показана конструктивная схема, где их надо ставить в редукторе.

20 Тематика контроля износа зубьев колес (или шестерен) редукторов с помощью ИД и последующего использования оригинального фазохронометрического подхода обработки сигналов ИД в реальном масштабе времени уже в течение ряда лет исследуется и предлагается к использованию в промышленности авторами предлагаемой полезной модели - сотрудниками кафедры «Метрологии и взаимозаменяемости» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Конкретно в МГТУ им. Н.Э. Баумана при участии ряда ведущих 25 отечественных отраслевых организаций и предприятий для РЖД разработан принципиально новый способ прецизионного измерения естественного износа шестерен редукторов из ферромагнитных металлов на базе фазохронометрического подхода. При этом измерение износа зубьев осуществляют в процессе вращения шестерни с помощью специальной измерительной системы, состоящей из ИД пассивного типа и 30 портативного электронного блока обработки сигнала датчика. Датчик монтируется внутри редуктора. Результаты измерений получают в реальном масштабе времени в виде цифровых значений с точностью (разрешающей способностью) не хуже 0,001 мм. Предлагаемая разработка может реально и в кратчайшие сроки обеспечить переход 35 многих отечественных машин и механизмов от планово-предупредительных ремонтов и обслуживания к ремонтам и обслуживанию по фактическому состоянию.

С учетом этого, наиболее близкими по сути являются описания аналогичных устройств в единых по тематике журнальных статьях с участием одного из основных авторов предлагаемой полезной модели - ведущего инженера МГТУ им. Н.Э. Баумана Кудрявцева Е.А. («Новые возможности диагностики шестерен тяговых редукторов» 40 (журнал «Железнодорожный транспорт», №12, 2014, С.51-53); «Измерительный контроль износа рабочих поверхностей зубчатых колес в процессе эксплуатации» (журнал «Приборы», №6, 2014, С.52-55)).

45 В статьях (см. рис. 1 в обеих статьях) рассмотрены случаи редукторов, содержащих ферромагнитные зубчатые передачи одного или разных типов с индукционными датчиками, закрепленными в корпусе редуктора вблизи диагностируемых по параметрам износа зубьев шестерен, не менее одного индукционного датчика для контроля параметров износа зубьев, а именно: параметров естественного абразивного износа рабочих поверхностей зубьев, их возможного выкрашивания и их возможной поломки,

при этом оси магнитов и генераторные катушки индукционных датчиков расположены сверху над любыми точками вращающихся поверхностей вершин головок зубьев шестерен перпендикулярно этим поверхностям, а приемные поверхности магнитов находятся на расстоянии зазора от поверхности зубьев.

5 В этих статьях представлена только одна традиционная конструктивная схема установки ИД над зубьями колес (шестерен) и не рассмотрены альтернативные варианты других конструктивных схем установок ИД для контроля износа зубьев зубчатых колес.

#### Раскрытие полезной модели

10 Техническим результатом предлагаемой полезной модели является конструктивная схема редуктора с индукционными датчиками контроля износа зубьев зубчатых колес с альтернативным вариантом места установки датчиков вблизи любого из контролируемых ферромагнитных зубчатых (прямозубых, косозубых, шевронных, червячных и т.п.) колес редуктора, а именно: установка датчиков сбоку этих зубьев. В основном такая альтернативная схема нужна для случаев, когда сложно или практически 15 невозможно установить ИД в корпусе готового редуктора сверху зубьев контролируемого колеса, но при этом возможна установка ИД сбоку зубьев.

20 Для достижения результата предлагается конструктивная схема редуктора с индукционными датчиками контроля износа зубьев зубчатых колес, редуктор содержит ферромагнитные зубчатые передачи одного или разных типов с индукционными 25 датчиками, закрепленными в корпусе редуктора вблизи диагностируемых по параметрам износа зубьев колес, не менее одного индукционного датчика для контроля параметров износа зубьев, а именно: параметров естественного абразивного износа рабочих поверхностей зубьев, их возможного выкрашивания и их возможной поломки, при этом оси магнитов и генераторные катушки индукционных датчиков расположены над 30 любыми точками вращающихся поверхностей зубьев шестерен перпендикулярно этим поверхностям, а приемные поверхности магнитов находятся на расстоянии зазора от поверхности зубьев. При этом датчики расположены сбоку этих зубьев, оси магнитов и генераторные катушки датчиков расположены перпендикулярно боковым 35 поверхностям зубьев шестерен в местах их пересечения с радиусами делительных окружностей этих шестерен, а приемные поверхности магнитов на расстоянии зазора от боковых поверхностей зубьев.

40 Минимальный зазор датчика от поверхности зубьев определен недопустимостью касания элементами датчика (магнитом и генераторной катушкой ИД) боковой (торцевой) поверхности зубьев и максимальным осевым биением подшипников качения или скольжения вала колеса (шестерни), а максимальный зазор определен допустимым качеством сигнала генераторной катушки.

45 В случае проектирования встраивания датчиков в проектируемый редуктор привязка мест установки датчиков в корпусе редуктора возле диагностируемых колес обусловлена техническими и функциональными требованиями к проектируемому редуктору с индукционными датчиками контроля износа зубьев колес. А в случае встраивания датчиков в ранее изготовленный редуктор привязка мест установки датчиков в корпусе редуктора возле диагностируемых колес обусловлена конструктивной возможностью встраивания датчиков в корпус редуктора около колеса без необходимости внесения существенных изменений в геометрию конструкции корпуса редуктора.

#### 45 Перечень фигур

Фиг. 1 - традиционная конструктивная схема установки ИД над зубьями колеса из уровня техники;

Фиг. 2 - предлагаемая альтернативная конструктивная схема установки ИД сбоку

зубьев шестерни;

Фиг. 3 - фотография типового корпуса зубчатого редуктора с ИД;

Фиг. 4 - фотография серийно выпускаемого ИД;

Фиг. 5 - фотография варианта исполнения блока обработки сигналов ИД;

5 Фиг. 6 - фотография рабочей «картинки» табло блока обработки сигналов ИД с фиг. 5 с текущим результатом измерения толщины зуба (модуль 10) по делительной окружности (ДО): 15,193 мм, износ 8,7%;

10 Фиг. 7 - фотографии зубьев: а) новой шестерни; б) изношенной шестерни; с) скол на 15-м зубе изношенной шестерни;

10 Фиг. 8 - кругограммы по высокоточному фазохронометрическому методу измерения зубьев с фиг. 7: а) новой шестерни; б) изношенной шестерни; с) скола на 15-м зубе.

Осуществление полезной модели

На фиг. 1 и фиг. 2 для наглядного сравнения представлены схема установки ИД над зубьями колеса (из уровня техники) и предлагаемая альтернативная схема установки

15 ИД сбоку этих зубьев (прим.: аббревиатура ДО - это делительная окружность шестерни). Все элементы этих схем соответствуют условию промышленной применимости, а именно: на фиг. 3-6 представлены фотографии элементов схем: фиг. 3 - корпуса редуктора с ИД, фиг. 4 - серийно выпускаемого ИД; фиг. 5 - блока обработки сигналов ИД; фиг. 6 - рабочая «картинка» табло блока обработки сигналов ИД с фиг. 5.

20 В настоящее время существуют разные варианты промышленно и серийно выпускаемых ИД для установки в редукторы для измерения износа зубьев шестерен: одинарные, сдвоенные, со встроенной электронной платой. Одним из основных российских промышленных производителей таких ИД является ОАО «ЭЛАРА» (г. Чебоксары).

25 При этом также есть следующие усовершенствования самих ИД, чтобы упростить их использование в редукторе (например, минимум проводов и источников питания) минимизировать взаимовлияние их сигналов друг на друга (если они расположены рядом).

ИД могут быть простыми, включающими корпус (к которому предъявляются определенные и очень жесткие требования), и размещаемые в нем (прямоугольный, или цилиндрический) магнит, намотанную на него генераторную катушку (ГК) из электропроводного материала (например, медного) провода (при этом межполюсная ось магнита и ось намотки ГК совпадают), провода коммутации и штепсельный разъем.

30 ИД могут быть комплексными, включающими помимо указанных выше, дополнительные механические и электронные элементы (например, выпрямитель первичного сигнала, элементы подавления помех и т.д. размещение которых по тем или иным причинам целесообразно как можно ближе к ГК), и также размещенные в корпусе.

35 Если ИД являются пассивными, то съем первичной информации с них осуществляется постоянно с момента их установки и до изъятия по любой причине, и не требуют подачи питания. Результат измерения может индицироваться вахтовым методом с помощью автономного переносного измерительного блока или передаваться по проводам или по радио на блок измерения и индикации, встроенный в АСУ или в интеллектуальную измерительную систему. ИД могут быть составными, когда ИД выполняется в одном 45 корпусе с блоком измерения и индикации полученного результата и размещаются на корпусе редуктора. Это полностью интегрированная измерительная система, которая для измерения, преобразования, обработки получаемого первичного сигнала и вывода его на экран может требовать дополнительного питания.

В качестве реального примера контроля шестерен редуктора с помощью ИД на фиг.7 представлены типовые случаи зубьев шестерен: а) новой шестерни; б) изношенной шестерни; с) скола на 15-м зубе изношенной шестерни, а на фиг.8 - соответствующие, так называемые круглограммы по высокоточному фазохронометрическому методу

5 кафедры «Метрологии и взаимозаменяемости» МГТУ им. Н.Э. Баумана измерения зубьев в реальном времени для типовых случаев с фиг. 7: а) новой шестерни; б) изношенной шестерни; с) скола на 15-м зубе шестерни. При этом на фиг. 8 по кругу указаны номера зубьев, по вертикальной шкале - размер зуба (для фиг. 8а и б), на круглограмме фиг. 8с) по вертикальной шкале указано время в секундах. На новой

10 шестерне виден значительный разброс величин измеренных значений ширины зуба (в пределах 1%). Такой разброс возможен вследствие неравномерности исходного состояния металла (включая и его структуру), размеров и поверхности зубьев, обусловленных технологией их заводского изготовления и термообработки. Большая равномерность износа зубьев изношенной шестерни, обусловлена их «притиркой» в

15 процессе работы. Точность измерения износа зубьев на скоростях до 60 км/час лежит в пределах  $\pm 0,15\%$  (против  $\pm 0,5\%$  точности современных щтангензубомеров). При этом очевидно, что изменения величины ЭДС при естественном износе рабочей поверхности зуба будут плавными, а все объемные изменения типа выкрашивания, или поломки зуба будут давать скачкообразные изменения ЭДС датчика. Это отчетливо

20 продемонстрировано на фиг. 8с), где представлена реакция измерительной системы на скол 15-го зуба. В силу высокой чувствительности ИД к изменению объема проходящего мимо них металла, можно ожидать, что интеллектуальная система контроля с ними сможет реагировать на возникновение очень малых дефектов и осуществлять мониторинг их развития до размера, определяемого существующими нормами и

25 требующего изъятия шестерни из зацепления. Исследовательские работы в этом направлении уже ведутся. Необходимо особо отметить, что заложенные в схему измерения износа зубьев технические решения допускают увеличение на порядок и более точность измерения, что при некоторых схемных изменениях может позволить использование единой системы для высокоточного непрерывного контроля нарезки

30 зубьев шестерен с последующим контролем их же естественного износа в процессе эксплуатации. Предлагаемая система измерения отличается относительной простотой в изготовлении и эксплуатации и не содержит дефицитных компонент или материалов. Более подробно вопросы определения износа зубьев шестерен с помощью ИД рассмотрены в статье авторов предлагаемой полезной модели «К вопросу определения

35 износа зубьев шестерни с помощью индукционного датчика» (сетевое научное издание МГТУ им. Н.Э.Баумана «Наука и Образование», электронный журнал, 2015, №06, С.10-21, DOI: 10.7463/0615.0779329, <http://technomag.bmstu.ru>).

Предлагаемая полезная модель выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности №9.1265.2014/К и №2014/104 на выполнение работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части госзадания Минобрнауки России.

Для ИД, установленных сбоку зубьев колеса, оси магнитов и генераторные катушки датчиков должны быть расположены перпендикулярно боковым поверхностям зубьев шестерен в местах их пересечения с радиусами делительных окружностей этих шестерен, а приемные поверхности магнитов на расстоянии зазора от боковых поверхностей

45 зубьев. При этом минимальный зазор датчика от поверхности зубьев определен недопустимостью касания элементами датчика (магнитом и генераторной катушкой) боковой (торцевой) поверхности зубьев и максимальным осевым биением подшипников качения или скольжения вала колеса (шестерни), а максимальный зазор определен

допустимым качеством сигнала генераторной катушки. Общий тренд для установки датчиков вблизи зубьев - с увеличением зазора уменьшается мощность измеряемого сигнала генераторной катушки и снижается точность измерения.

Как правило, для измерения износа зуба используют ИД с цилиндрической или

5 прямоугольной формой магнита, размеры которых определенным образом коррелируют с размерами диагностируемых зубьев. Для определения естественного износа зубьев обычно достаточно установить один датчик на одну шестерню. Также он может быть и многосекционным, но выполненным в одном корпусе.

Предлагаемая конструктивная схема в принципе легче может быть реализована в

10 случае проектирования встраивания датчиков в проектируемый редуктор, когда все части редуктора еще могут быть легко изменяемыми в процессе проектирования (в отличие от уже изготовленного редуктора) и привязка мест установки датчиков в корпусе редуктора возле диагностируемых колес обусловлена техническими и функциональными требованиями к проектируемому редуктору с индукционными

15 датчиками контроля износа зубьев колес.

В случае же встраивания датчиков в ранее изготовленный редуктор привязка мест установки датчиков в корпусе редуктора возле диагностируемых колес может быть затруднена, так как обусловлена конструктивной возможностью встраивания датчиков в корпус редуктора около диагностируемого колеса без необходимости внесения

20 существенных изменений в геометрию конструкции корпуса редуктора. В принципе выбор одной из двух конструктивных схем редуктора с ИД (традиционной или предлагаемой альтернативной) в случае встраивания ИД в неизменяемый корпус готового рабочего редуктора обусловлен конкретной ситуацией оптимального варианта установки ИД: или сверху зубьев контролируемой шестерни, или сбоку этих зубьев.

25 Оба варианта схем технически принципиально применимы для получения интеллектуальной измерительной системой высокоточных результатов контроля и диагностики зубьев шестерни в реальном времени.

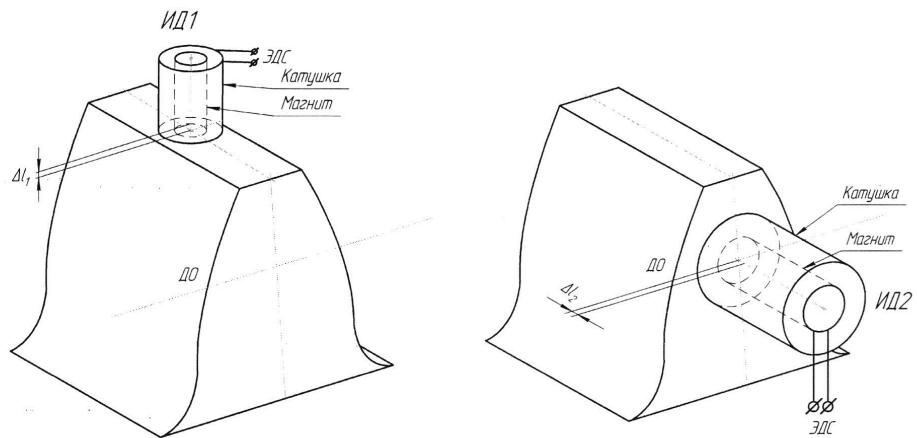
### (57) Формула полезной модели

30 1. Конструктивная схема редуктора с индукционными датчиками контроля износа зубьев зубчатых колес, в которой редуктор содержит ферромагнитные зубчатые передачи с индукционными датчиками, закрепленными в корпусе редуктора вблизи диагностируемых по параметрам износа зубьев зубчатых колес, индукционные датчики для контроля параметров износа зубьев, а именно: параметров естественного

35 абразивного износа рабочих поверхностей зубьев, их возможного выкрашивания и их возможной поломки, при этом оси магнитов и генераторные катушки индукционных датчиков расположены над вращающимися поверхностями зубьев зубчатых колес

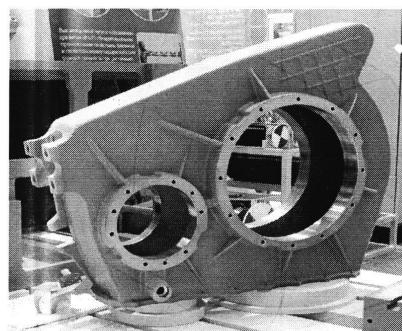
40 перпендикулярно этим поверхностям, а приемные поверхности магнитов находятся на расстоянии зазора от поверхности зубьев, отличающаяся тем, что индукционные датчики расположены сбоку этих зубьев, оси магнитов и генераторные катушки датчиков расположены перпендикулярно боковым поверхностям зубьев в местах их пересечения с радиусами делительных окружностей этих зубчатых колес, а приемные поверхности магнитов на расстоянии зазора от боковых поверхностей зубьев.

45 2. Схема по п. 1, отличающаяся тем, что минимальный зазор датчика от поверхности зубьев определен недопустимостью касания магнитом и генераторной катушкой датчика боковой поверхности зубьев и максимальным осевым биением подшипников качения или скольжения вала зубчатого колеса, а максимальный зазор определен допустимым качеством сигнала генераторной катушки.



Фиг.1

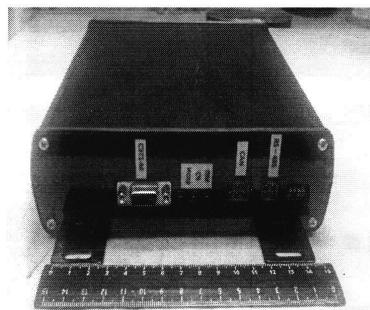
Фиг.2



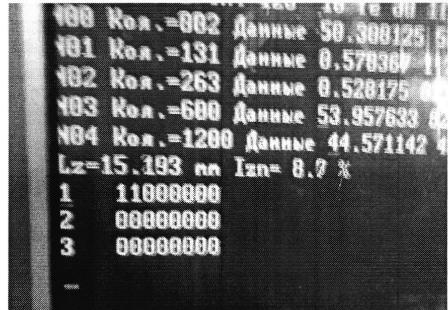
Фиг.3



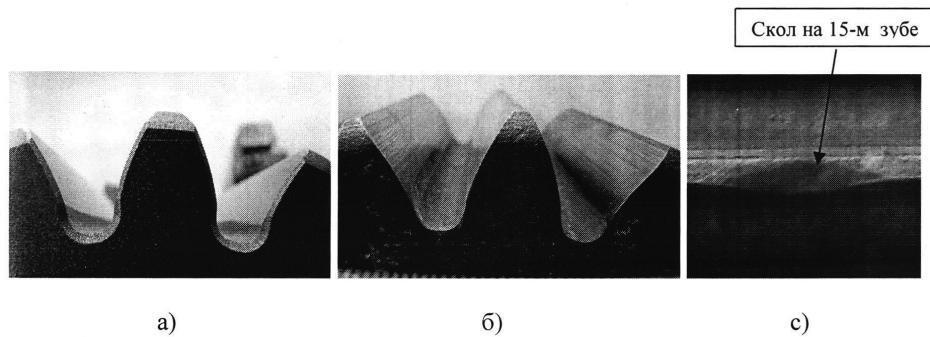
Фиг.4



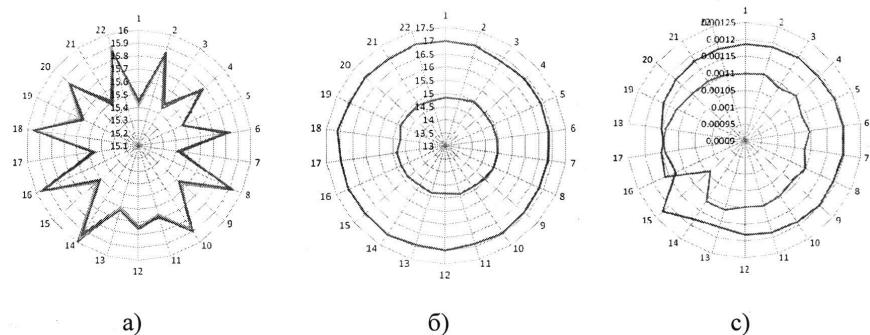
Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7



Фиг.8