

ИЗМЕРЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОСОЗУБЫХ ШЕСТЕРНЕЙ И ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС НА КООРДИНАТНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

Разработана и внедрена новая методика измерений геометрических характеристик деталей сложной криволинейной формы на координатно-измерительной машине КИМ-1000 российской фирмы «Лапик». Новая методика позволяет измерить основные параметры косозубых зубчатых колес и червячных пар с высокой точностью до 2 мкм. Контроль и измерение геометрических характеристик деталей возможны не только с винтовой, но и с резьбовой и прерывистой поверхностью. Полученная экспериментальная методика измерений на координатно-измерительной машине позволяет исключить все многообразие низкопроизводительного ручного инструмента и оборудования, повысить точность и эффективность. Внедрение автоматического измерения на координатно-измерительной машине позволяет исключить ряд субъективных погрешностей оператора.

Ключевые слова: координатно-измерительные машины, зубчатые колеса, червячные колеса, ходовые винты, резьбовые детали, экспериментальная методика измерений.

Введение. Измерение и контроль деталей на производстве должны быть точными, быстрыми и, по возможности, автоматизированными. Эта одна из самых сложных задач машиностроительного инструментального производства. В настоящее время в инструментальном производстве остро стоит вопрос измерения деталей с винтовой и прерывистой поверхностью — это резьбовые калибры, метчики, ходовые винты, косозубые шестерни и колеса, а также червячные колеса и червяки.

До настоящего времени весь контроль основных параметров зубчатых колес осуществлялся большим количеством измерительных приборов, таких как шагомеры для окружного и углового шага, шагомеры для основного шага, нормалемеры, межцентромеры, биенимеры, эвольвентомеры, ходомеры, зубомеры и др. [1, 2].

Постановка задачи. Вопрос измерения основных параметров резьбовых деталей, таких как среднего диаметра, внутреннего диаметра для гаек, шага резьбы, угла подъема винтовой линии до настоящего времени полностью не решен. До сих пор все измерения осуществляются низкопроизводительными универсальными инструментами, такими как микрометр со вставками, резьбовые калибры. В лабораториях контроль проводится на инстру-

ментальных и универсальных микроскопах, а также на микрометрах методом трех, двух и одной проволочки с введением большого количества поправок и наличия поправочных коэффициентов [3].

Точность ходовых винтов зависит от точности наружного, среднего и внутреннего диаметров винтов, отклонения от цилиндричности, отклонения от круглости и от профиля продольного сечения поверхности, отклонения от соосности, угла профиля и шага контролируемой резьбы, а измерение и контроль осуществляется профильными шаблонами, скобами с отсчетным устройством, приборами для контроля погрешности шага и специальными измерительными микроскопами.

Теория. Червячное колесо отличается тем, что у него только две свободные поверхности — торцы цапф, все остальные поверхности — рабочие [4]. Основными конструкторскими базами, определяющими положение обобщенной системы координат детали, являются обе цапфы, оба торца червячного колеса и эвольвентный профиль зуба. Исполнительной поверхностью ИП является наружный диаметр зубьев шестерни. Выполнение детали своего служебного назначения зависит от правильности отсчета первичных погрешностей, представленных на геометрической модели (рис. 1), с последующим

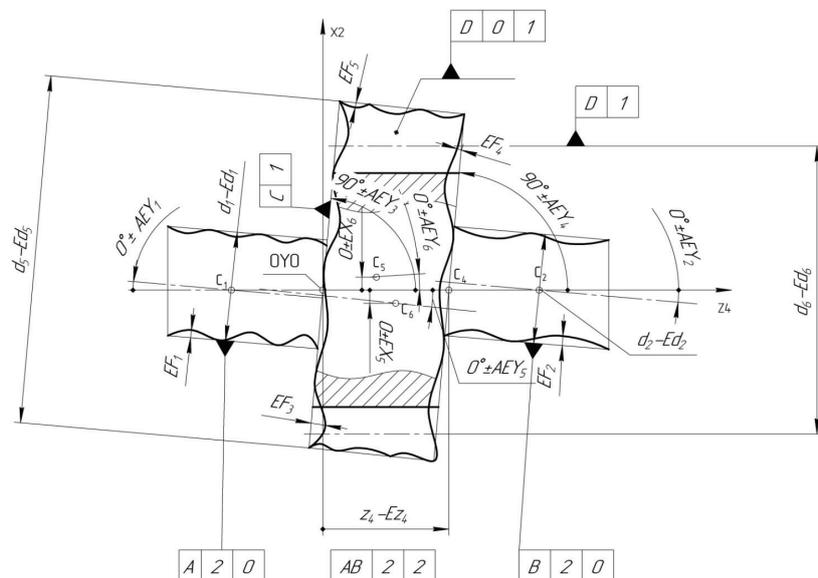


Рис. 1. Геометрическая модель червячного колеса

ограничением погрешностей допускаемыми отклонениями. Несмотря на различие с деталями другого служебного назначения, предопределяет идентичность состава их первичных погрешностей. Однако различие деталей может по-разному влиять на функциональное назначение однотипных размеров. Если у вала-шестерни размер $Z_0 \pm EZ_0$ между плоскими элементами координирует по оси Z положение присоединяемой шестерни, то у вала-шестерни аналогичный размер $X_4 - EX_4$ между плоскими элементами определяет высоту призматического элемента, который должен образовать посадку с зазором, с размером глубины колодца в корпусе насоса. Очевидно, что на характер посадки будут влиять и отклонения формы EF_4 и EF_5 и угловые перекосы EX_4 и EX_5 плоских элементов шестерни от прямых углов относительно общей оси цапф — Z .

Основной элемент шестерни — групповой зубчатый с эвольвентным профилем — имеет большое количество первичных погрешностей, однако положение элемента определяет ось делительного цилиндра d_6 . Так же как и ось цилиндрического элемента, она будет иметь эксцентриситет X_6 и угловой перекося EX_6 относительно общей оси баз Z . Следует обращать внимание, что ось наружного диаметра зубьев $d_3 - Ed_3$ не совпадает с осью делительного цилиндра и имеет свой эксцентриситет X_3 и угловой перекося EX_3 .

При построении геометрической модели без ущерба для выявления ее первичных погрешностей можно не наносить все оси собственных систем координат элементов, ограничиваясь только осями и плоскостями симметрии.

Контроль червячных передач можно разделить на три этапа: раздельный контроль колеса и червяка после их окончательной обработки, контроль комплекта (пары) колеса и червяка перед сборкой, контроль червячной передачи в собранном агрегате. У червячного колеса контролируют: погрешность шага, накопленную погрешность шага, толщину зуба, форму и расположение пятна контакта в паре с червяком. Контроль осуществляют на специальных приборах в однопрофильном зацеплении с сопряженным червяком или специальным эталоном.



Рис. 2. Координатно-измерительная машина КИМ-1000 «Лапик»



Рис. 3. Червячное колесо

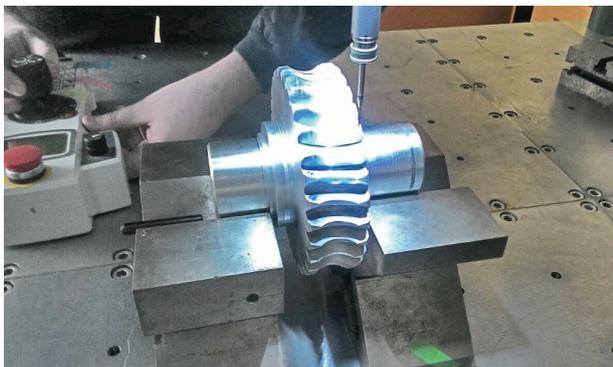


Рис. 4. Измерение эвольвенты червячного колеса на КИМ

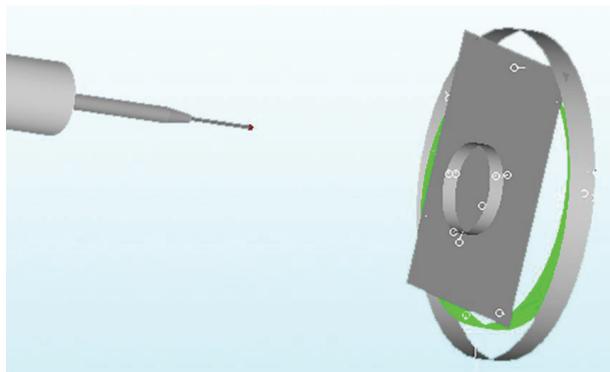


Рис. 5. Измерение базового цилиндра

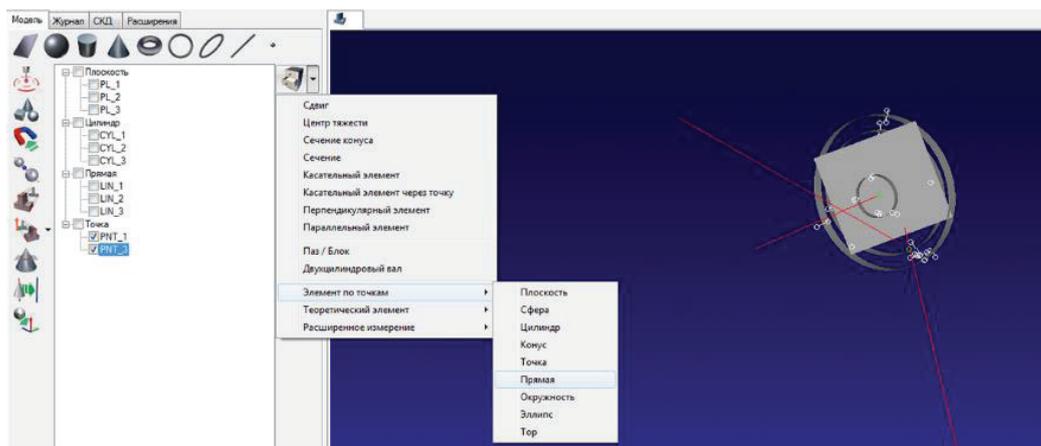


Рис. 6. Построение центра осей координат

Погрешность окружного шага червячного колеса чаще всего определяют специальным прибором непосредственно на зуборезном станке в процессе нарезания зубьев.

У червяка контролируют: форму профиля, погрешность угла подъема витка, шаг между витками, толщину зуба, радиальное биение. Измерение чаще всего проводятся на эвольвентомере и шагомере. Пятно контакта и кинематическую точность червячной передачи в однопрофильном зацеплении проверяют на специальном контрольном приборе с электронным и записывающим устройством при номинальном межосевом расстоянии [5–7].

Из перечисленного выше видно, какое большое количество приборов и методик измерений требуется в инструментальном производстве, причем погрешность измерения должна составлять (1...4) мкм.

В настоящее время самыми высокоточными (до 1 мкм) и быстрыми приборами являются координатно-измерительные машины (КИМ) [8–12] (рис. 2).

Такая машина позволяет исключить наличие всего многообразия низкопроизводительного и невысокоточного оборудования.

Правильно разработанная методика измерений на КИМ дает возможность заменить ручной труд оператора или контроллера и провести массовые измерения.

Шестиосевая КИМ способна произвести измерения деталей в «мертвых зонах», что характеризует машину как универсальную. КИМ имеет дополнительную, к возможности порталных машин, функцию шестимерного «ощупывания», позволяющую производить: измерение внутренних полостей;

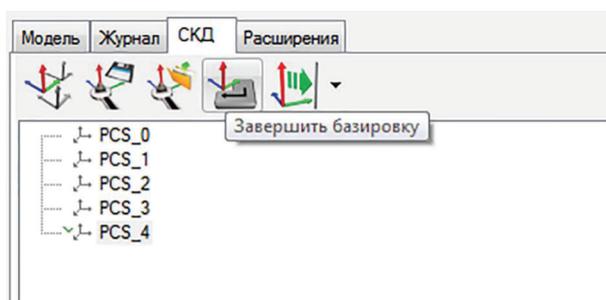


Рис. 7. Базировка машины

узких криволинейных каналов и наклонных отверстий; сканирование сложной формы с заданным углом контакта; контроль небольших изделий (или фрагментов больших) с погрешностью в 2–3 раза меньше паспортной и другие измерения, доступные только шестиосевым машинам. КИМ «Лапик» оснащена сканирующим датчиком SP25M немецкой фирмы «Renishaw». Преимуществом сканирующего алгоритма измерений является возможность сбора за короткое время большого объема информации с измеряемой поверхности, чем при использовании переключающего датчика. Это дает возможность более объективно контролировать измеряемые поверхности.

Результаты внедрения. Рассмотрим один из самых сложных вопросов измерений — это измерение эвольвенты и угла профиля архимедова червячного колеса (рис. 3), и построим алгоритм



ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ

Вал - Вал

КИМ-750	06.03.2018 15:08:01	Чертеж: Вал новый - вал	Щуп: TP200 / 0,995
Комментарий:		Проект: Вал - Вал	Температура: 20,0 °C
			Измерение №: 1

Кривая CURVE_1

очка на плоскости: 0.00000, 0.00000, 0.00000
 вектор нормали: 0.00000, -0.00000, 1.00000

№	X	Y	Z	d	№	X	Y	Z	d
1	1.54790	-5.88207	54.45799	0.00000	26	0.90909	0.19057	64.00070	0.00000
2	1.49520	-5.38893	54.54584	0.00000	27	0.85779	0.68247	63.99843	0.00000
3	1.43926	-4.85346	54.87643	0.00000	28	0.80533	1.17524	63.98871	0.00000
4	1.38959	-4.38703	55.44896	0.00000	29	0.75600	1.65639	63.54457	0.00000
5	1.36321	-4.12369	56.12137	0.00000	30	0.76523	1.57592	63.19590	0.00000
6	1.35182	-4.01701	56.74751	0.00000	31	0.75254	1.68348	62.88889	0.00000
7	1.34546	-3.95621	57.29912	0.00000	32	0.73095	1.88574	62.44311	0.00000
8	1.33790	-3.88149	57.80178	0.00000	33	0.71013	2.07918	61.99359	0.00000
9	1.32979	-3.80246	58.27287	0.00000	34	0.69160	2.26847	61.54130	0.00000
10	1.32014	-3.70177	58.75488	0.00000	35	0.67146	2.44744	61.08048	0.00000
11	1.30653	-3.58652	59.22106	0.00000	36	0.65630	2.61357	60.62212	0.00000
12	1.29068	-3.46125	59.68752	0.00000	37	0.63835	2.77323	60.16094	0.00000
13	1.27800	-3.32510	60.15699	0.00000	38	0.62225	2.92311	59.69175	0.00000
14	1.26406	-3.17622	60.62427	0.00000	39	0.60858	3.05650	59.22281	0.00000
15	1.24738	-3.01609	61.08412	0.00000	40	0.59576	3.17835	58.75431	0.00000
16	1.22770	-2.84963	61.54055	0.00000	41	0.58401	3.29140	58.27846	0.00000
17	1.21029	-2.67231	62.00017	0.00000	42	0.57387	3.38489	57.79906	0.00000
18	1.19062	-2.48641	62.45454	0.00000	43	0.56823	3.45840	57.32441	0.00000
19	1.17054	-2.29047	62.90306	0.00000	44	0.55908	3.52002	56.84659	0.00000
20	1.14875	-2.09230	63.34826	0.00000	45	0.55175	3.58338	56.36275	0.00000
21	1.12755	-1.87922	63.79639	0.00000	46	0.54046	3.70175	55.87389	0.00000
22	1.09555	-1.57547	64.18989	0.00000	47	0.51407	3.95036	55.36487	0.00000
23	1.02603	-0.91354	64.17942	0.00000	48	0.46593	4.41172	54.90705	0.00000
24	1.00892	-0.75430	63.99675	0.00000	49	0.39410	5.08813	54.64364	0.00000
25	0.96122	-0.30231	63.99919	0.00000	50	0.31989	5.80216	54.49381	0.00000

Кривая CURVE_2

Рис. 8. Протокол измерений

измерений. Измерения будем проводить в трех сечениях одного зуба червячного колеса на «шестиосевой» координатно-измерительной машине «Лапик» (г. Саратов, Россия).

Алгоритм измерения основных параметров червячного колеса на КИМ состоит в следующем:

1. Производим запуск координатно-измерительной машины «Лапик».
2. Запускаем программу SAM/ISO.
3. Проводим стартовую калибровку координатно-измерительной машины, соблюдая температурный режим.
4. Калибруем щуп.
5. Создаем проект.
6. Выбираем марку материала.
7. Устанавливаем измеряемую деталь (червячное колесо) на призмы (рис. 4), расположенные на столе координатно-измерительной машины. Измеряемая деталь устанавливается в центре рабочей зоны стола.
8. Измеряем базовый цилиндр (CYL 1) и проводим через него ось координат X (рис. 5).
9. Измеряем плоскости (PL1) и (PL2). Расстояние между плоскостями (PL1) и (PL2) делим пополам и проводим ось координат Y, перпендикулярную оси X.
10. Между плоскостями (PL1) и (PL2) проводим паз-блок (PARPLN 1).
11. Пересекаем базовый цилиндр (CYL 1) и паз-блок (PARPLN 1), получается точка (PNT 1). Точка (PNT 1) является началом осей координат измеряемой детали (рис. 6).

12. Через точку (PNT 1) и середину плоскостей (PL 1) и (PL 2) проводим линию (LIN 1) — это будет ось Z.

13. Снимаем показания с верхней окружности измеряемого колеса.

В случае, если деталь косозубая, ее необходимо повернуть на заданный угол, для этого 360 делим на количество зубьев измеряемого колеса.

14. Завершаем базировку машины (рис. 7).

15. Вводим корреляцию щупа для исключения дополнительной погрешности.

16. Поворачиваем ось X на угол подъема винтовой линии зуба и снимаем показания n-количества точек в программе Zond.

17. Выбираем вектор нормали с плоскостью сечения.

18. Выбираем шаг перемещения щупа.

Все измерения проводим относительно СКД (системы координат детали), а не СКМ (системы координат машины).

19. Определяем число сечений, направления касания и направления движения головки. Производим настройку и снимаем показания точек по осям X, Y, Z.

Таким образом, мы получаем множество точек измерений (рис. 8), имея координаты X, Y, Z.

20. Проводим корреляцию щупа. Это даст возможность исключить погрешность радиуса шарика щупа.

21. Полученные координаты точек сохраняем в EXCEL.

Из протокола измерений (рис. 8) можно увидеть температуру, при которой проводились измерения, номер щупа, количество измерений, применяемую измерительную головку, время и дату измерений.

По результатам протокола измерений, имея координаты точек, мы можем в КОМПАСЕ построить 3D модель измеряемой детали и сделать сборочный чертеж.

Разработанная методика измерений дает возможность автоматизировать весь процесс измерений, тем самым исключить множество измерений на специализированных низкопроизводительных универсальных приборах и инструментах. Определить и построить эвольвенту и угол профиля архимедова червяка с погрешностью (2...3) мкм. Разработанная методика измерений позволяет выбирать любое количество сечений измеряемой детали и проводить измерения с любым шагом измерений.

Предложенная методика измерений также позволяет провести процесс измерений не только архимедова червяка, но и косозубого зубчатого колеса. Также, по аналогии, можно провести измерения любых деталей с наружной резьбовой поверхностью, типа ходового винта или метчика. Только в случае с резьбовыми деталями необходимо правильно подобрать диаметр шарика измерительного щупа (например, равным среднему диаметру измеряемой резьбовой поверхности детали — для деталей с метрической резьбой) и развернуть измерительную головку щупа на угол подъема винтовой линии.

При измерении резьбовых деталей с мелким шагом необходимо заменить процесс измерения полуавтоматического режима и программы Zond на измерения в ручном режиме оператором.

Обязательным условием при работе с резьбовыми деталями необходима установка измерительной головки «Renishaw». В случае с зубчатыми колесами возможно измерение как измерительной головкой «Larik», так и «Renishaw».

Внедренная 3D модель и построенный рабочий чертеж измеряемой детали дает возможность разработать конструкторско-технологическую документацию на измеряемую деталь и процесс. Полученные в процессе измерения показания дают возможность рассчитать основные геометрические параметры измеряемой детали, такие как модуль, число витков, число зубьев, делительный диаметр, межосевое расстояние, степень точности и др. в соответствии с ГОСТом как на детали российского производства, так и импортного.

Выводы и заключение. Увеличение требований к качеству зубчатых и червячных колес, резьбовых деталей ведет к непрерывному совершенствованию и усложнению методов и методик их проектирования, технологий изготовления, средств и методов контроля. Представленный выше алгоритм и методика измерения основных параметров архимедова червячного колеса позволяет повысить точность и производительность. Также появляется возможность исключить многообразие специализированных универсальных низкопроизводительных приборов и производить измерения всех необходимых параметров с помощью одной измерительной машины и одного оператора. Благодаря автоматическому управлению КИМ исключается субъективная погрешность самого оператора, так как режим автоматического управления обеспечивает движение рабочего органа по траектории, заданной в управляющей программе.

Предложенный алгоритм и методика измерения позволяют проводить контроль и высокоточные измерения геометрических параметров изделий и деталей любой сложности; определять качество, степень точности, допуски формы и расположения поверхности; провести по полученной 3D модели и рабочему чертежу метрологическую экспертизу конструкторской, технической и метрологической документации.

Библиографический список

1. Сурков И. В., Мягкова М. В. Применение КИМ для контроля линейно-угловых параметров в машиностроении // Оборудование и инструмент. 2007. № 5 (93). С. 86–89.
2. Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1972. 368 с.
3. Николаева Е. В. Повышение точности и производительности резьбошлифования на основе разработанных метода и средств для измерения параметров наружных резьб: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2006. 139 с.
4. Glukhov V. I. Geometrical product specifications: Alternative standardization principles, coordinate systems, models, classification and verification // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), Nov. 11–13, 2014. Omsk, 2014. P 1–9. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005655.
5. Тимофеев Б. П., Абрамчук М. В., Смирнов Д. С. Использование международных стандартов (ИСО) для повышения точности отечественных передаточных механизмов. СПб.: НИУ ИТМО, 2012. 92 с.
6. Тайц Б. А. Производство зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1990. 464 с.
7. Веркович Г. А., Головенкин Е. Н., Голубков В. А. [и др.]. Справочник конструктора точного приборостроения / под общ. ред. К. Н. Явленского, Б. П. Тимофеева, Е. Е. Чаадаевой. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1989. 792 с. ISBN 5-217-00416-9.
8. Surkov I. V. Development of methods and means of coordinate measurements for linear and angular parameters of cutting instruments // Measurement Techniques. 2011. Vol. 54, Issue 7. P. 758–763. DOI: 10.1007/s11018-011-9800-2.
9. Пекарш А. И., Феоктистов С. И., Кольхалов Д. Г. [и др.]. Координатно-измерительные машины и комплексы // Наука и технологии в промышленности. 2011. № 3. С. 36–48.
10. Ковальчук С. Н. Контроль зубчатых колес на координатно-измерительной машине GLOBAL // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 5 (105). С. 124–126.
11. Сурков И. В., Мягкова М. В. Координатные измерения линейно-угловых параметров зубчатых колес // Оборудование и инструмент. 2007. № 6 (95). С. 2–6.
12. Taylor B. N., Kuyatt Ch. E. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. Washington, 1994. 25p.

НИКОЛАЕВА Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент секции «Метрология и приборостроение» кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология».

AuthorID (РИНЦ): 684657

ORCID: 0000-0002-7854-3262

Адрес для переписки: nikolaeva_eva@mail.ru

НИКОЛАЕВ Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 1649-8920,

AuthorID (РИНЦ): 512776

ORCID: 0000-0002-3046-2092

Адрес для переписки: munp@yandex.ru

МОЛОДЦОВ Андрей Сергеевич, ассистент секции «Метрология и приборостроение» кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология».

ORCID: 0000-0002-3562-9293

Адрес для переписки: werstalshik@yandex.ru

ПИМНЕВА Наталья Евгеньевна, магистрант гр. СМм-171 факультета элитного образования и магистратуры.

Адрес для переписки: n.pimneva@yandex.ru

КАЗАКОВ Максим Владиславович, магистрант гр. СМм-171 факультета элитного образования и магистратуры.

Адрес для переписки: moloko_2395@mail.ru

Для цитирования

Николаева Е. В., Николаев М. Ю., Молодцов А. С., Пимнева Н. Е., Казаков М. В. Измерение зубчатых косозубых шестерней и червячных колес на координатно-измерительной машине // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 140–145. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-140-145.

Статья поступила в редакцию 28.05.2018 г.

© Е. В. Николаева, М. Ю. Николаев, А. С. Молодцов, Н. Е. Пимнева, М. В. Казаков

УДК 621.396.1

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-145-151

**П. И. ПУЗЫРЁВ
С. А. ЗАВЬЯЛОВ
В. В. ЕРОХИН
В. Ю. ШЕИН**

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

НИЗКОСКОРОСТНОЙ МОДЕМ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ МАЛОГО ОБЪЕМА В СРЕДНЕВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ АРКТИКИ

В данной работе рассмотрена реализация низкоскоростного модема для передачи данных малого объема, таких как короткие текстовые сообщения, бедственные сообщения, команды, извещения, координаты и т.п. В модеме используется ортогональная 64-позиционная частотная манипуляция, характеризующаяся меньшей вероятностью битовой ошибки, возможностью некогерентной демодуляции и постоянной огибающей. Структура модема разработана для реализации в программном виде и для реализации на языках описания аппаратуры для SDR систем. Рассмотрена процедура первичной временной синхронизации, обнаружения, кадровой синхронизации и демодуляции. Использование низкоскоростного модема позволит расширить зону покрытия радиосвязью на территории Арктики, где отсутствуют сети сотовой связи.

Ключевые слова: модем, многопозиционная частотная манипуляция, обнаружитель.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 17-79-10047.

Введение. Территория Арктики характерна малой плотностью населения и большими расстояниями между населенными пунктами и, как следствие, неразвитой наземной информационной инфраструктурой. Несмотря на то что операторы связи продолжают развитие инфокоммуникационных сетей как на магистральном направлении, так и внутризонавой, охватить всю территорию РФ без мертвых зон сотовой связью в ближайшее время невозможно, т.к. это потребовало бы колоссальных вложений денежных средств при крайне малой отдаче [1].

Повышение достоверности доставки сообщений в беспроводных системах всегда была одной из важнейших научных проблем в теории передачи информации. Особенно остро стоит проблема на арктических территориях, где традиционные виды связи не могут стабильно работать либо отсутствуют телекоммуникационные сети.

Во многих случаях не требуется передача большого объема информации: короткие текстовые сообщения, охранные системы автономных объектов, системы оповещения о бедственной ситуации, метеорологические станции и т.д. [1]. В отсутствии