

УДК 621.833

С. Н. Хатетовский, П. Н. Громыко, Р. А. Калентионок, А. В. Капитонов, И. В. Котов

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗВЕНЬЕВ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ПОГРЕШНОСТЬ

UDC 621.833

S. N. Khatetovsky, P. N. Gromyko, R. A. Kalentionok, A. V. Kapitonov, I. V. Kotov

EFFECTS OF ERRORS IN PRECESSIONAL TRANSMISSION LINKS ON CONJUGATE DEVIATION

Аннотация

Рассмотрено влияние погрешностей формообразования зубьев сателлита, диаметра роликов, их межцентрового расстояния и угла нутации на кинематическую погрешность прецессионной передачи.

Ключевые слова:

прецессионная передача, формообразование зубьев, кинематическая погрешность.

Abstract

The article considers errors in the teeth shape of satellite gears, the diameter of rollers, their center-to-center distance and the nutation angle in precessional transmission and their the effects on its conjugate deviation.

Key words:

precessional transmission, shaping of satellite teeth, conjugate deviation.

В настоящее время трудно найти какую-либо область техники, где не применялись бы механизмы. Весомая часть таких механизмов требует надежного притока кинетической энергии вращательного движения, осуществляемого с малой угловой скоростью под действием значительного крутящего момента, что может быть реализовано при помощи приводов с большим передаточным отношением. Эти приводы используются в сельском хозяйстве, подъемно-транспортной и строительной технике, пищевом производстве и других областях деятельности человека.

Вместе с тем типы компоновок таких приводов не отличаются разнообразием. Можно выделить три основных типа приводов с большим передаточным отношением:

– последовательное соединение различных редукторов с использованием ремennых и цепных передач;

– последовательное соединение определенных планетарных передач в виде отдельных модулей в единую структуру редуктора;

– многоступенчатые редукторы с цилиндрическими и червячными передачами в одном корпусе.

Недостатки данных приводов заключаются, как правило, в больших габаритах и массе, высоких удельной массе и себестоимости, принципиально неудачных компоновочных решениях, что создает значительные проблемы при проектировании технических объектов с приводами с большим передаточным отношением.

© Хатетовский С. Н., Громыко П. Н., Калентионок Р. А., Капитонов А. В., Котов И. В., 2017



Весьма привлекательными компоновочными решениями, позволяющими снизить габариты и массу привода, его удельную массу, себестоимость и со-

здать выгодное соосное решение, являются эксцентриковые передачи типа К-Н-V (рис. 1).

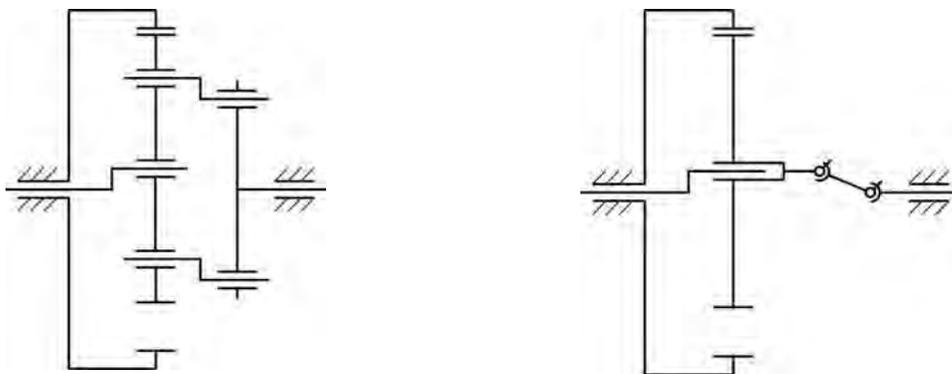


Рис. 1. Кинематические схемы эксцентриковой передачи типа К-Н-V

Один из недостатков эксцентриковой передачи типа К-Н-V, которая реализуется в основном при помощи плоского цевочного зацепления, – высокая чувствительность к погрешностям изготовления и монтажа [1]. То есть при наличии указанных погрешностей кинематическая погрешность резко возрастает. Более того, из-за значительных упругих деформаций звеньев, которые всегда сопутствуют малым габаритам редуктора, кинематическая погрешность увеличивается еще больше. Другой недостаток эксцентриковой передачи типа К-Н-V – проблема передачи мощности с сателлита, совершающего плоскопараллельное движение, на выходной вал. Данная проблема в основном решается при помощи механизма параллелограмма или сдвоенного шарнира Гука. Использование механизма параллелограмма, согласно [2], снижает КПД эксцентриковой передачи типа К-Н-V на 15...20 %, а применение сдвоенного шарнира Гука резко увеличивает осевые габариты.

Снижение чувствительности к погрешностям изготовления и монтажа эксцентриковой передачи типа К-Н-V,

а также упрощение ее кинематической схемы может быть достигнуто путем использования цилиндрического или конического зацепления. При этом эксцентриковая передача трансформируется в прецессионную передачу того же типа (рис. 2).

Центральное колесо прецессионной передачи, как и эксцентриковой передачи с цевочным зацеплением, имеет зубья внутреннего зацепления, выполненные в виде роликов.

Одним из способов формообразования зубьев сателлита прецессионной передачи, обеспечивающим наибольшую точность обработки, является фрезерование червячной фрезой с использованием специального станочного приспособления (рис. 3).

Приспособление содержит оправку 1, на которой базируется и крепится обрабатываемая деталь 2 с помощью втулок 3, 4, 5 и гайки 6. Продольная ось оправки составляет с осью стола станка 13 угол α , который фиксируется благодаря применению универсальных шарниров 7 и 8, верхний из которых (шарнир 7) устанавливается на станке таким образом, что его центр совпадает

с центром прецессии оправки. Вращение на оправку передается при помощи нижнего универсального шарнира 8, который устанавливается с эксцентриситетом относительно оси стола 13 в подшипниках 9 водила 10 планетар-

ной передачи. На шарнире 8 крепится сателлит 11, который сопрягается с центральным зубчатым колесом 12, жестко закрепленным на станке. Водило 10 прикреплено к столу станка 13 винтами.

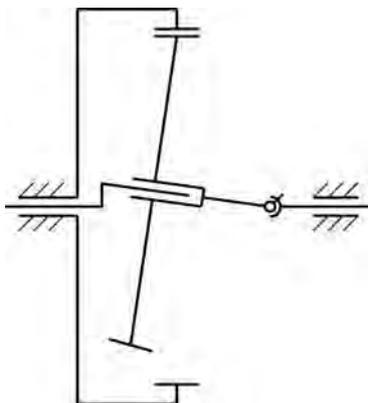


Рис. 2. Кинематическая схема прецессионной передачи типа К-Н-V

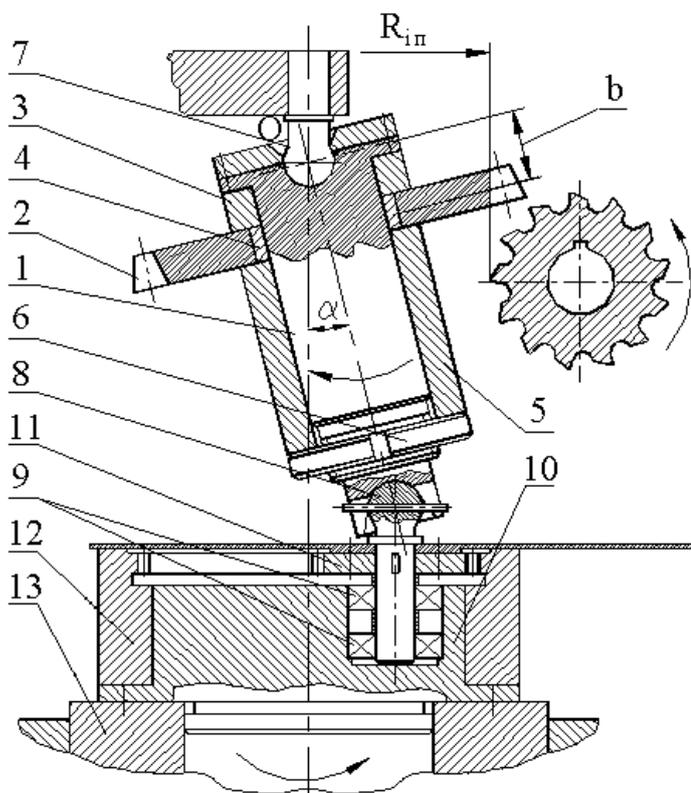


Рис. 3. Приспособление для обработки зубьев сателлита прецессионной передачи



Приспособление работает следующим образом. Вращение стола станка 13 передается водилу 10, которое, вращаясь, перемещает ось шарнира 8 по круговой траектории с центром на оси стола станка 13. При этом сателлит 11, входящий в зацепление с центральным зубчатым колесом 12, вращается относительно собственной оси в подшипниках 9 в сторону, противоположную вращению стола станка 13. Вращение шарнира 8 передается на оправку 1 под углом нутации α . В результате оправка 1 совершает следующие движения: вращение относительно собственной оси благодаря вращению сателлита 11; качание по конической траектории (прецессионное движение) благодаря вращению центра шарнира 8 по окружности с центром на оси стола станка 13. Червячная фреза должна быть установлена по настроечному размеру R_{in} .

Недостатками вышеописанного способа формообразования зубьев сателлита прецессионной передачи являются сложность конструкции приспособления, необходимость в специальном режущем инструменте (если зуб центрального колеса, сопряженного с сателлитом, имеет форму, отличную от формы эвольвентных зубьев), а также возможность формообразования только определенного числа зубьев.

В настоящее время формообразование зубьев сателлита, как будет показано далее, не представляет проблемы и может быть эффективно осуществлено на станке с ЧПУ стандартным инструментом без использования специальных станочных приспособлений.

Для исследования влияния погрешности формообразования зубьев сателлита на кинематическую погрешность прецессионной передачи типа К-Н-V в среде САПР NX было выполнено компьютерное моделирование указанного процесса формообразования. Суть метода моделирования основывалась на технологии булевых операций с твердыми телами: инструмент – ролик, т. е. зуб центрального колеса вычитался при разных относительных положениях как твердое тело из заготовки сателлита, представляющей собой также твердое тело (рис. 4).

При заданном относительном положении ролика и заготовки сателлита удаляется определенная часть материала из указанной заготовки (рис. 5).

Для автоматизации процесса моделирования была разработана программа на языке C++, способная работать в среде САПР NX.

Совокупность осей роликов относительно сателлита расположена так, как показано на рис. 6.

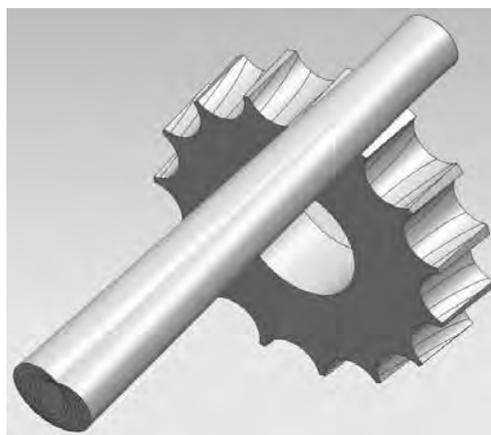


Рис. 4. Моделирование процесса формообразования зубьев сателлита прецессионной передачи типа К-Н-V



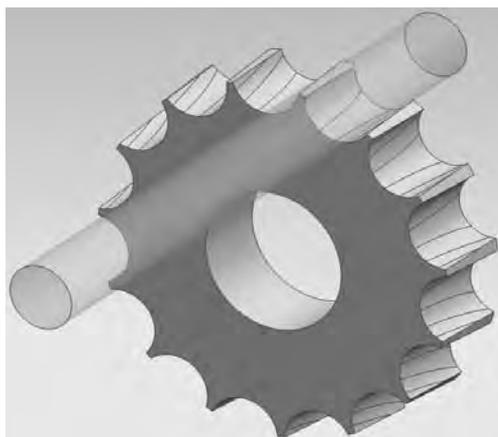


Рис. 5. Схема вычитания твердого тела ролика из твердого тела заготовки сателлита

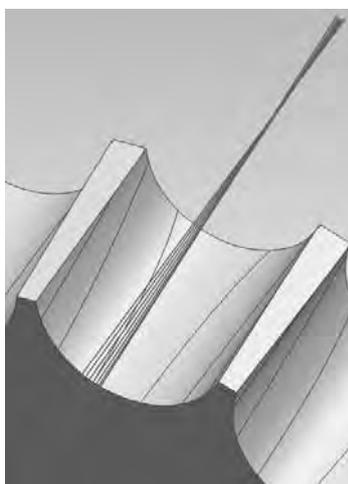


Рис. 6. Расположение осей роликов относительно сателлита

Перемещая сферическую фрезу диаметром, равным диаметру ролика, вдоль каждой из осей, можно осуществить формообразование зуба сателлита на станке с ЧПУ (рис. 7).

Оборудование для реализации процесса формообразования зубьев сателлита прецессионной передачи типа К-Н-V – вертикально-фрезерный станок с ЧПУ (рис. 8) и поворотный или наклонно-поворотный стол, встроенный в станок и управляемый его системой ЧПУ (рис. 9).

Указанное оборудование и режу-

щий инструмент являются стандартными и серийно выпускаются соответствующими фирмами-производителями. В частности, в ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» имеется парк данного оборудования производства НААС.

Для оценки кинематической погрешности прецессионной передачи типа К-Н-V при различных погрешностях монтажа и погрешности изготовления сателлита и роликов в среде САПР NX была разработана динамическая компьютерная модель (рис. 10).



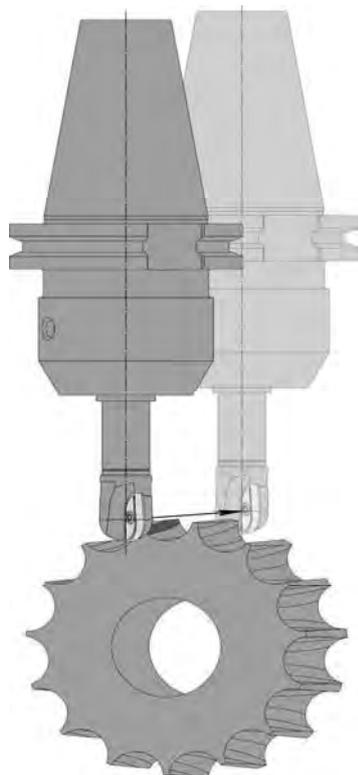


Рис. 7. Схема формообразования участка поверхности зуба сателлита сферической фрезой на станке с ЧПУ

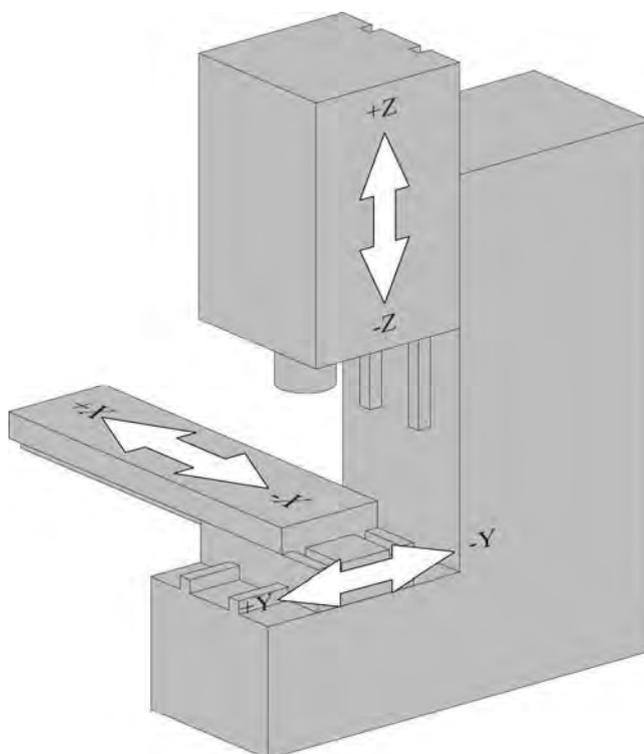


Рис. 8. Схема фрезерного станка с ЧПУ для обработки зубьев сателлита



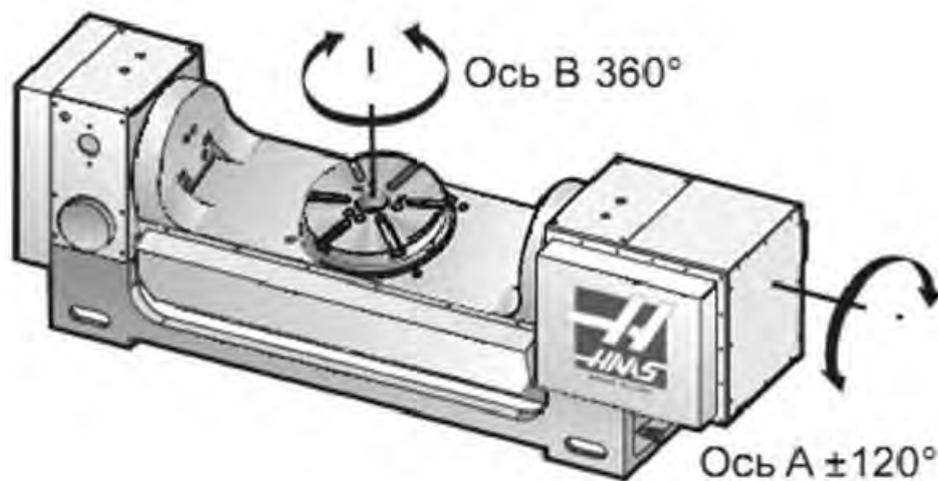


Рис. 9. Наклонно-поворотный стол для делительного движения сателлита на фрезерном станке с ЧПУ

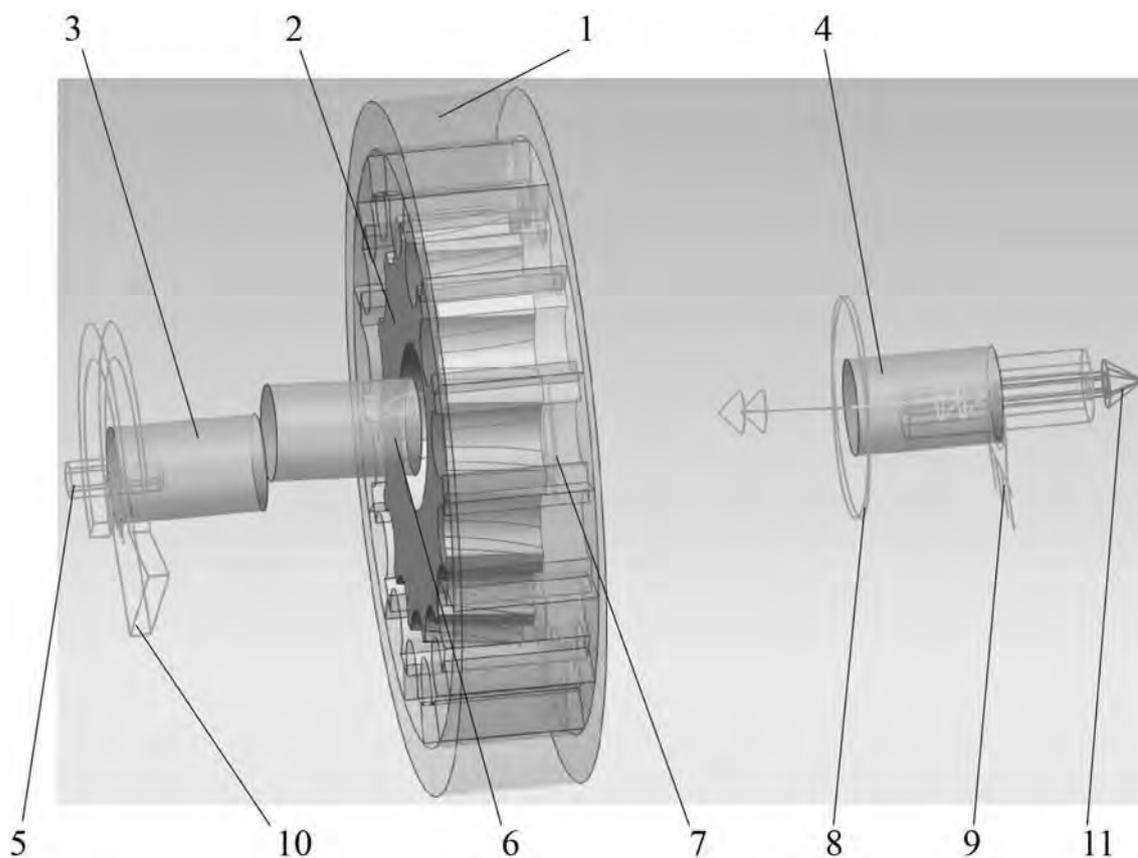


Рис. 10. Динамическая компьютерная модель прецессионной передачи типа К-Н-В

Входной вал 3 имеет возможность вращаться в шарнире 5 под действием двигателя 10, для которого задается угловая скорость. Сателлит 2 установлен на выходном валу 3 при помощи сферического шарнира 6. При этом сателлит 2 взаимодействует с центральным колесом 1, жестко закрепленным путем применения заделки 7. От сателлита 2 вращение передается на выходной вал 4 при помощи ШРУС 8. Выходной вал 4 имеет возможность вращаться в шарнире 9. На выходной вал действует пара сил 11, момент которой задается.

Были исследованы различные со-

четания геометрических параметров прецессионной передачи, в частности: угол нутации 3° ; межцентровое расстояние роликов 100 мм; радиус роликов 14 мм; передаточное отношение -15 (количество роликов – 16, количество зубьев сателлита – 15).

Для исследования были выделены четыре вида погрешности: погрешность формы и размеров поверхности зуба сателлита, зависящая от количества проходов сферической фрезы (рис. 11); погрешность угла нутации; погрешность диаметра роликов; погрешность межцентрового расстояния роликов.

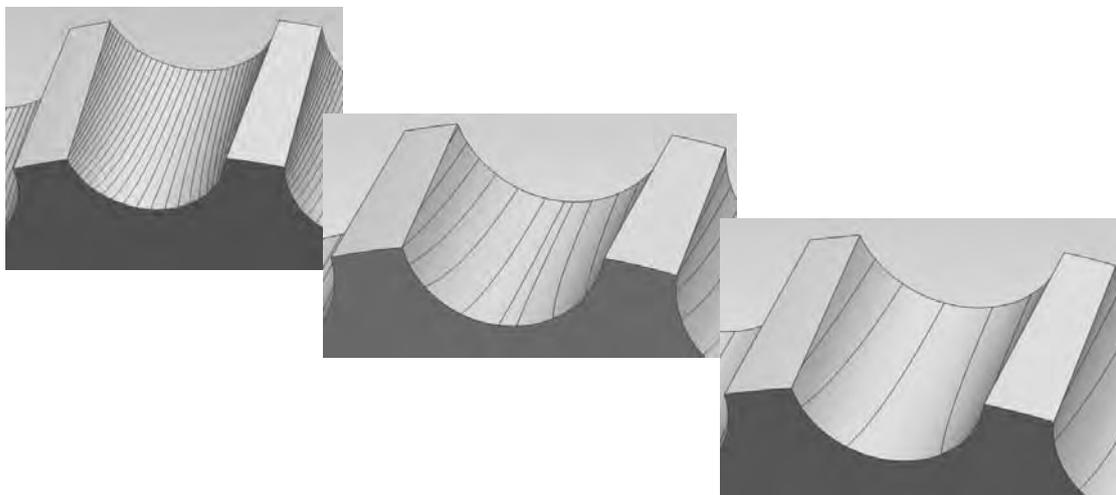


Рис. 11. Формы поверхности зуба сателлита при различном количестве проходов сферической фрезы

Наибольший диаметр ролика при варьировании количества проходов сферической фрезы менялся от $14_{-0,02}$ до $14_{-0,04}$ для наиболее и наименее точной обработки соответственно. Наименьший диаметр ролика был взят равным 13,9 мм.

Межцентровое расстояние роликов варьировалось от 100 до 100,1 мм.

Угол нутации варьировался от 3 до $2,8^\circ$.

При наличии какого-либо одного вида погрешности кинематическая погрешность, определенная средствами

САПР NX, не превышала 0,5'. Наиболее худший случай, когда использовался наименее точный зуб сателлита, диаметр ролика 13,9 мм, межцентровое расстояние 99,9, представлен на рис. 12 (ϵ – кинематическая погрешность; φ – угол поворота входного вала прецессионной передачи).

Заключение

Влияние погрешности формообразования зубьев сателлита, диаметра роликов, их межцентрового расстояния и

угла нутации на кинематическую погрешность прецессионной передачи типа К-Н-V ограничено минимум 3,5' при

выполнении основных ее звеньев в пределах 9 качества точности.

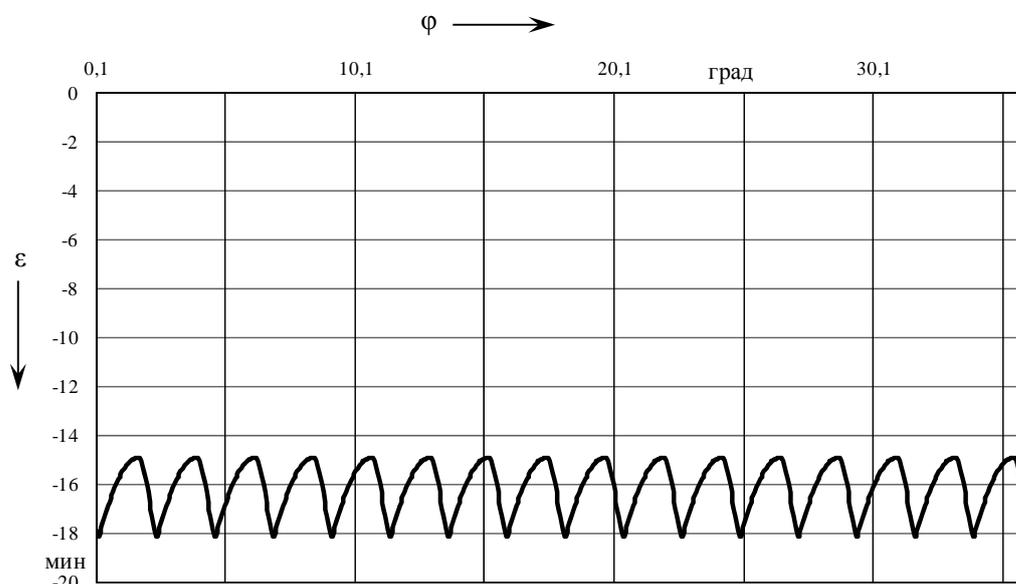


Рис. 12. Пример изменения кинематической погрешности прецессионной передачи типа К-Н-V в зависимости от угла поворота входного вала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хатетовский, С. Н.** Обеспечение нечувствительности зацепления поверхностей к изменению их относительного положения / С. Н. Хатетовский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 122–131.
2. **Колчин, Н. И.** Механика машин : в 2 т. / Н. И. Колчин. – Ленинград : Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 456 с.

Статья сдана в редакцию 17 октября 2017 года

Станислав Николаевич Хатетовский, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: mechlab@yandex.ru.

Петр Николаевич Громыко, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.

Роман Адександрович Калентионок, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Александр Валентинович Капитонов, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

Иван Вячеславович Котов, студент, Белорусско-Российский университет.

Stanislav Nikolayevich Khatetovsky, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: mechlab@yandex.ru.

Petr Nikolaevich Gromyko, DSc (Engineering), Professor, Belarusian-Russian University.

Roman Alexandrovich Kalentionok, PhD student, Belarusian-Russian University.

Alexandr Valentinovich Kapitonov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.

Ivan Viacheslavovich Kotov, student, Belarusian-Russian University.

