

ЧПУ. / Петраков Ю. В. // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнародний зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 42. – С. 238 - 244.

Bibliography :

1. Ratmirov V. A. Achievement of exactness and productivity of machine-tools with a programmatic management. / V. A. Ratmirov / - M.: Engineer, 1970. - 343 p.
2. Kowalewski C. V. Ways of achievement of the required exactness and quality of good at tooling on NC machine-tools. / Kowalewski C. V., Borisenko Yu. B. // The scientific announcer DGMA. Col-lection of scientific publications is Kramatorsk: DGMA, 2009. - №2 (5E). - P. 47-52.
3. Petrakov Yu. V. New conception of the automated planning of the programs for NC of machine-tools. / Petrakov Yu. V. // Progressive technologies and systems of engineer. International collection of scientific publications. It is Donetsk: DonNTU, 2011. Is issue 42. - P. 238 - 244.

Рецензент: М. В. Маргулис
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 05.12.2011

УДК 621.833

© Беляковский В.П.¹, Кипчарский С.В.²

**АНАЛИЗ ПРИЧИН, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТАНКОВ С ЧПУ**

В статье приведены результаты расчета упругой системы привода позиционирования, проведен анализ погрешностей позиционирования, связанных с кинематической точностью привода. Выявлены основные источники, вызывающие возникновение погрешностей, а также приведены рекомендации по уменьшению их при проектировании приводов.

Ключевые слова: кинематическая точность, кинематическая погрешность, мертвый ход, позиционирование привода, расчет погрешностей.

Біляковський В.П., Кіпчарський С.В. Аналіз причин, що визначають похибки позиціонування робочих органів верстатів з ЧПУ. В статті наведено результати розрахунку пружної системи привода позиціонування, проведений аналіз похибок позиціонування, пов'язаних з кінематичною точністю привода. Виявлено основні джерела, що викликають виникнення похибок, а також наведено рекомендації щодо зменшення їх при проектуванні приводів, розрахунок похибок.

Ключові слова: кінематична точність, кінематична похибка, мертвий хід, позиціонування привода.

V.P. Belakovskiy, S.V. Kipcharskiy. Analysis of the causes that determine the positioning error of the working bodies of NC. This article contains the results of calculation of the elastic system drive positioning, analysis of positioning error associated with the kinematic accuracy of the drive. Identified the main sources causing the errors, and provides recommendations to reduce them in the design of actuators.

Keywords: kinematic accuracy, kinematic error, backlash, positioning of the drive, calculation errors.

Постановка проблемы. Современные металлообрабатывающие станки обеспечивают высокую точность обработанных деталей, а одним из основных показателей точности станков с ЧПУ является точность позиционирования, под которой понимается отклонение действительного по-

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ложения рабочего органа станка от запрограммированного по пути его перемещения по координатным осям. Поэтому анализ причин возникновения погрешностей позиционирования рабочих органов станка и разработка методов снижения этих погрешностей является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Погрешности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ определяются большим числом факторов, учет и оценка которых затруднены из-за отсутствия соответствующих методик. Особенности расчета податливости элементов и узлов станков с ЧПУ связаны с применением в этих станках новых конструктивных решений. Основными факторами, влияющими на точность позиционирования рабочих органов, являются точность кинематических цепей привода, определяемая кинематической погрешностью и мертвым ходом. Вопрос определения мертвого хода в кинематических цепях рассматривается в работах [1, 2], в которых определены показатели точности, а также погрешности, связанные с мертвым ходом отдельных элементов кинематических цепей.

В работе [3] приводятся данные по расчету деформации некоторых элементов привода позиционирования и их податливости.

В работе [4] сделана попытка расчета точности позиционирования привода тяжелого станка с ЧПУ, однако в этих расчетах не учитывается кинематическая погрешность передач, а учитывается только мертвый ход.

В работах [5, 6] даны некоторые общие положения о расчетах точности кинематических цепей и их элементов, однако они не относятся к станкам с ЧПУ.

Анализ литературных данных показывает, что расчеты точности приводов позиционирования станков с ЧПУ относятся в основном к расчетам отдельных передач и соединений в кинематических звеньях, и не охватывают кинематических цепей в целом.

Цель статьи – выявить основные источники, вызывающие возникновение погрешностей, а также разработать рекомендации по уменьшению погрешностей при проектировании приводов металлорежущих станков с ЧПУ.

Изложение основного материала. Баланс точности тяжелых токарных станков с ЧПУ показывает, что погрешность позиционирования составляет 24-30 процентов, т.е. существенную долю общей погрешности обработки [4, 7].

Точность позиционирования в значительной степени зависит от точности кинематических цепей привода. Показателями точности кинематических цепей является кинематическая погрешность и мертвый ход. Для идеальной кинематической цепи зависимость, связывающая перемещения ведущего звена с перемещениями ведомого, называется передаточным числом. В реальной кинематической цепи имеет место изменение передаточного числа, вызываемое рядом погрешностей. Основные погрешности этих цепей обуславливаются точностью изготовления как отдельных элементов, так и точностью на выходе передачи: зазорами в сопряжениях передаточных звеньев, состоящих из боковых зазоров в зубчатых передачах, зазоров в шпоночных и шлицевых соединениях, упругими деформациями передаточных звеньев, а также точностью монтажа звеньев кинематической цепи.

В реальной кинематической цепи действительное перемещение ведомого звена отличается от идеального на величину, являющуюся кинематической погрешностью цепи. Разность между кинематическими погрешностями цепи, измеренными при прямом и обратном ходах, является мертвым ходом кинематической цепи.

Одним из способов повышения точности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ является применение механизмов с силовым замыканием в приводах подач. Такие механизмы содержат замкнутые зубчато-реечные, зубчато-червячные или шариковые винтовые передачи, в которых с помощью разветвленных кинематических цепей и специальных нагрузочных устройств обеспечивается сохранение в передачах натяга и автоматическая силовая выборка зазоров в замкнутой части кинематической цепи. Конструктивно эти механизмы представляют собой две идентичные кинематические цепи, передающие крутящий момент от одного распределительного вала. Натяг в замкнутых передачах может создаваться двумя способами: за счет осевого смещения косозубых колес и за счет применения в приводе подач торсионных муфт или валов.

Баланс общей податливости беззазорных механизмов приводов подач содержит податливости узлов кинематических цепей, элементы которых испытывают упругое контактное, изгиб-

ное и крутильное деформирование.

При условии силового замыкания ветвей механизмов и создания в них усилий предварительного натяжения, обеспечивающего натяг в цепи, упругие характеристики всех элементов в диапазоне рабочих нагрузок можно рассматривать как линейные. Вычислив упругую податливость узлов, можно установить их суммарную эквивалентную крутильную податливость, которая определяет податливость ветвей кинематических цепей и результирующую податливость механизма привода.

В балансе упругих перемещений элементов и узлов станков рассматривали деформации следующих видов:

- контактные деформации неподвижных и подвижных стыков между сопрягаемыми механическими узлами;
- контактные деформации опор качения;
- изгибные и крутильные деформации звеньев кинематических цепей;
- изгибные и крутильные деформации корпусных деталей и узлов.

Значительную (до 30%) часть упругих перемещений кинематических цепей приводов составляют контактные деформации их элементов. При расчете податливости контактирующих элементов учитывали нелинейность их характеристик.

Авторами выполнен анализ податливости привода продольной подачи на примере станка КЖ91104Ф3, на котором перемещение рабочего органа осуществляется реечной передачей. Расчет крутильной податливости привода имеет специфику, обусловленную наличием большого количества валов, имеющих низкую изгибную жесткость, шлицевых и шпоночных соединений, зубчатых передач, муфт, подшипников качения.

Кинематическая схема привода подач, осуществляющего позиционирование каретки станка КЖ9110Ф3, представлена на рисунке 1.

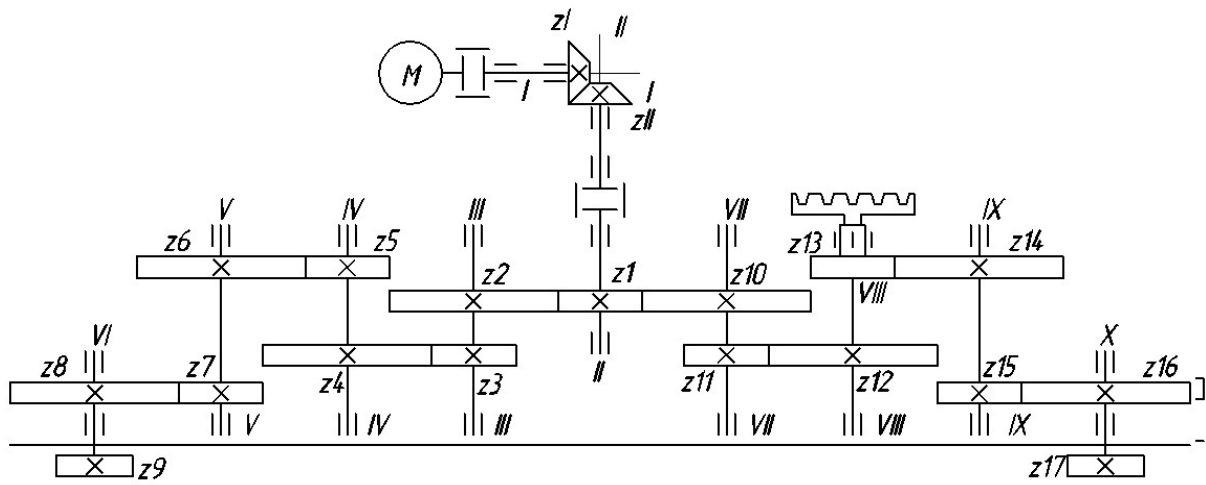


Рис. 1 – Кинематическая схема привода

Расчет податливости привода позиционирования включает расчет прогибов валов и вызываемых ими дополнительных угловых перемещений в зубчатых передачах, расчет податливости подшипниковых узлов, расчет угловой податливости шпоночных соединений. Расчеты выполнены по методикам, изложенным в [3]. Рассматривались два варианта привода: разомкнутый и замкнутый.

На основании проведенных расчетов можно сделать выводы о степени влияния различных элементов на общую податливость привода и составить баланс податливостей. Так, изгибная податливость валов составляет в среднем 8% от общей податливости вала (и привода в целом) для замкнутого привода и 23% для незамкнутого; податливость подшипниковых узлов составляет 2% для замкнутого привода и близкое к 0% для незамкнутого; податливость зубчатых пар составляет соответственно 12% и 16%; податливость шпоночных и шлицевых соединений составляет соответственно 33% и 34%; крутильная податливость валов составляет соответственно 45% и 27% (рисунки 2 и 3).

Таким образом, наибольшее влияние на податливость привода оказывают шпоночные и шлицевые соединения (в среднем 34%) и валы (изгибная податливость составляет 23%). Следовательно, при конструировании приводов необходимо принимать меры по увеличению жесткости деталей привода.

На общую податливость привода в большей степени влияют податливости валов, расположенных ближе к выходному звену: 70% податливости привода составляет податливость последнего вала (вал №6) и 25% — податливость предпоследнего вала (вал №5) (рисунок 4) и, следовательно, имеет смысл принимать меры по снижению податливости на последних звеньях привода.

Общая податливость замкнутого привода превышает общую податливость незамкнутого в 2 раза.



Рис. 2 – Баланс податливостей замкнутого привода

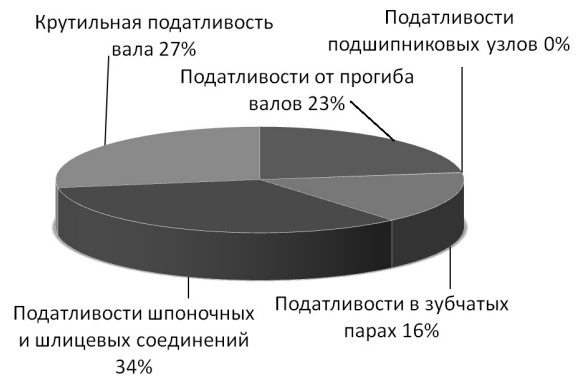


Рис. 3 – Баланс податливостей незамкнутого привода

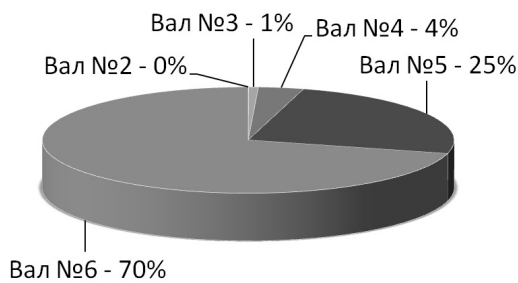


Рис. 4 – Распределение податливостей привода по валам

Расчеты кинематической погрешности и мертвого хода привода выполнены в соответствии с ГОСТ 21098-82. Цепи кинематические. Методы расчета точности.

В общем случае кинематическая погрешность является периодической функцией. Кинематическая погрешность выходного звена складывается из погрешностей каждой из передач с учетом их передаточных коэффициентов. Амплитуды и периоды изменения погрешности разных валов разные, а кривая кинематической погрешности значительно усложняется (рисунок 5).

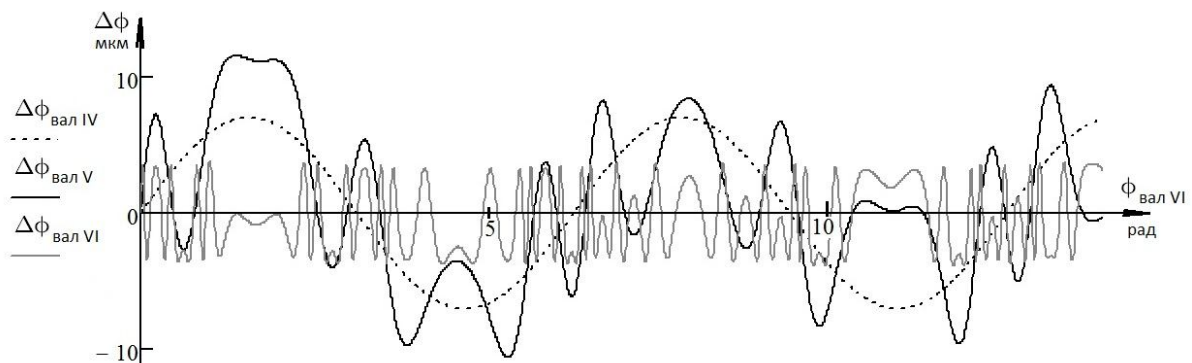


Рис. 5 – Кривая изменения кинематической погрешности привода

Кинематическая погрешность передачи определяли на протяжении полного цикла изме-

нения относительного положения колес. Полный цикл определяется как угол поворота ведомого колеса (реечного шестерни), при котором устанавливается первоначальное относительное положение зубьев колес, т.е. в зацеплении находятся те же зубья, что и в начальный момент работы передачи. Расчет показывает, что для привода, изображенного на рисунке 1, полный цикл составляет 7,67 оборота реечного колеса. Это значит, что через каждые 3,83 оборота реечного колеса кинематическая погрешность цепи будет равна 0.

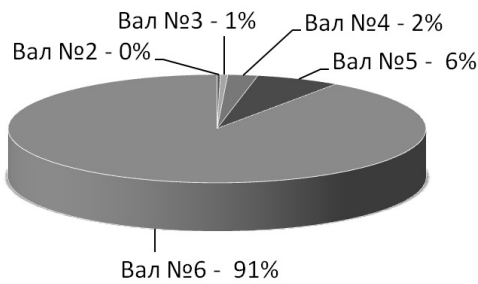


Рис. 6 – Распределение кинематической погрешности привода по валам

При максимальном ходе каретки (1200 мм), реечное колесо совершает 3,67 оборота, т.е. в конце хода каретки кинематическая погрешность близка к 0.

Кинематическая погрешность цепи на выходном звене в большей степени определяется кинематическими погрешностями последних звеньев (рисунок 6). Так 91% кинематической погрешности цепи определяется погрешностью передачи реечное колесо — рейка, 6% — погрешностью передачи колесо 6 — колесо 7. Следовательно, принимать какие-либо меры по снижению кинематической погрешности имеет смысл на последних звеньях кинематической цепи.

Мертвый ход привода определяется зазорами, необходимыми для нормальной работы механизма. Наличие зазоров облегчает монтаж и сборку привода, а при отсутствии зазоров в зубчатых передачах привод может заклинить. Единственным способом, исключаящим наличие мертвого хода, является создание одностороннего зазора с помощью замкнутой кинематической цепи. Расчет мертвого хода показал, что 46% величины мертвого хода составляет дополнительное смещение исходного контура, обеспечивающее боковой зазор, 24% — допуск на дополнительное смещение, 20% — допуск на межосевое расстояние, 10% — монтажные погрешности зубчатых колес (рисунок 7).



Рис. 7 – Зависимость мертвого хода от различных факторов

При этом для колес, соединенных с валом посадкой, 73% величины монтажного биения составляют зазоры в посадках, 14% — биение колеса на валу, 13% — биение колеса от биения подшипников, а для колес, выполненных одним целым с валом, 63% величины монтажного биения составляют зазоры в посадках, 37% — биение колеса от биения в подшипниках (рисунок 8).

Кроме того, мертвый ход имеет следующее распределение по валам: 85% величины со-

ставляет мертвый ход последней передачи, 11% - предпоследней (рисунок 9). Таким образом

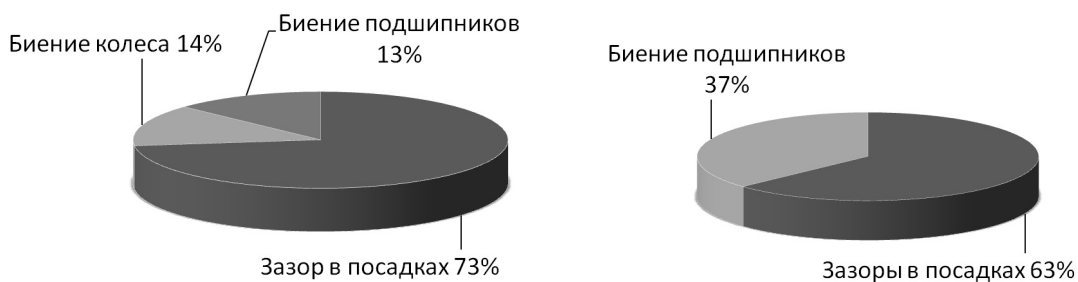


Рис. 8 – Монтажные погрешности: слева – съемные колеса, справа – колеса, выполненные одним целым с валом

207

принимать меры по уменьшению мертвого хода имеет смысл на последних звеньях цепи.

В общей погрешности позиционирования незамкнутого привода 65% составляет мертвый ход, 27% — кинематическая погрешность, 6% — погрешность от податливости привода, 2% — погрешность от неравномерности движения (рисунок 10). Следовательно, для повышения точности привода необходимо в первую очередь уменьшить мертвый ход. Таким образом, за счет отсутствия мертвого хода привод с замкнутой кинематической цепью имеет погрешность позиционирования почти в 3 раза меньшую, чем аналогичной привод с незамкнутой кинематической цепью.

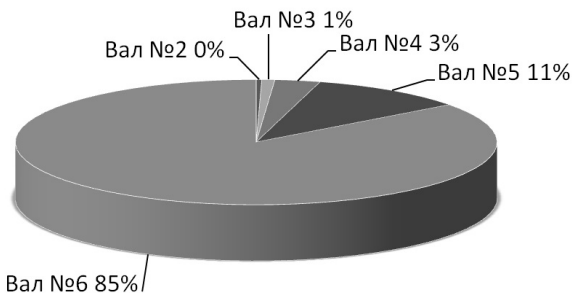


Рис. 9 – Распределение мертвого хода по валам

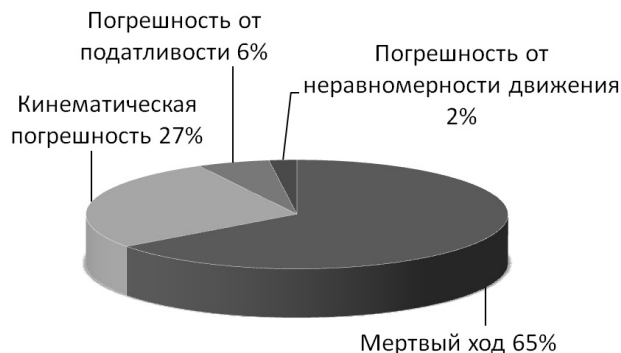


Рис. 10 – Погрешность позиционирования привода

Однако замкнутая кинематическая цепь не избавляет привод от кинематических погрешностей, а также погрешностей, связанных с податливостью привода и неравномерностью движения исполнительного органа.

Выводы

1. Для снижения податливости приводов позиционирования необходимо принимать

меры по увеличению жесткости элементов кинематических цепей — увеличивать диаметры валов, увеличивать длину шпоночных и шлицевых соединений и т.д.

2. Более 90 процентов величины кинематической погрешности составляет погрешность конечного звена кинематической цепи. Необходимо для снижения кинематической погрешности повышать точностные параметры зубчатых передач.

3. Существенно уменьшить мертвый ход за счет ужесточения точностных параметров зубчатых передач не удастся. Одним из

способов повышения точности позиционирования является использование приводов с замкнутыми кинематическими контурами и механизмами, создающими силовое замыкание в этих контурах.

Список использованных источников:

1. Беляковский В.П. Показатели точности кинематических цепей / В.П. Беляковский, С.В. Кипчарский // Международная научно-техническая конференция «Университетская наука – 2007»: тезисы докл. сб. / Приазовский государственный технический университет. – Мариуполь, 2007. – Т.2, С. 14-15.
2. Беляковский В.П. Погрешности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ, связанные с мертвым ходом привода / В.П. Беляковский // Международная научно-техническая конференция «Университетская наука – 2008»: тезисы докл. сб. / Приазовский государственный технический университет. – Мариуполь, 2008. – Т.2, С. 16-18
3. Станки с числовым программным управлением (специальные) / [В.А. Лещенко, Н.А. Богданов, И.В. Вайнштейн и др.] ; под ред. В.А. Лещенко. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 568 с.
4. Беляковский В.П. Точность позиционирования рабочих органов тяжелых станков с ЧПУ / В.П. Беляковский, С.М. Швец // Материалы международной научно-методологической конференции / ПГТУ. – Мариуполь, 2003. – С.3-5.
5. Левашов А.В. Основы расчета точности кинематических цепей металлорежущих станков / А.В. Левашов. – М. : Машиностроение, 1966. – 212 с.
6. Куцоконь В.А., Точность кинематических цепей приборов / В.А. Куцоконь. – Л. : Машиностроение, 1980. – 221 с.

Bibliography:

1. V.P. Belyakovsky, S.V. Kipcharsky Indicators of accuracy of kinematic chains, international scientific-technical conference "University Science - 2007": Proceedings of the Sat / Azov State Technical University - Mariupol, 2007. - Volume 2, pp. 14-15. (Rus.)
2. V.P. Belyakovsky Positioning error of the working bodies of CNC machines, associated with the dead move the actuator, the International Scientific Conference "Universities of technical science - 2008": Proceedings of the Sat / Azov State Technical universities - Mariupol, 2008. - Volume 2, pp. 16-18. (Rus.)
3. Machine tools with numerical control (special) / V.A. Leshchenko, N.A. Bogdanov, I.V. Weinstein [and others] : Ed. V.A. Leshchenko. - 2nd ed. rev. and add. - Moscow Machine-Building, 1988 - 568 p. (Rus.)
4. V.P. Belyakovsky Positioning accuracy of the working bodies of heavy CNC / V.P. Belyakovsky, S.M. Shvets. - Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference, PSTU. - Mariupol. - 2003. - pp.3-5. (Rus.)
5. A.V. Levashov Fundamentals of kinematic chains accuracy of machine tools. - Moscow: Mashinostroenie, 1966 - 212 p. (Rus.)
6. V.A. Kutsokon, precision instruments kinematic chains - L.: Mechanical Engineering, 1980 - 221 p. (Rus.)

Рецензент: М.В. Маргулис
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 22.11.2011

УДК 621. 825.7

©Корчагина Т.В.*

**АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МУФТ УПРУГИХ ПАЛЬЦЕВО-ДИСКОВЫХ (МУПД)**

В статье изложен алгоритм определения геометрических размеров упругого диска из полиуретана с бандажами, на основании которого предложен параметрический ряд пальцевых муфт МУПД.

Ключевые слова: муфта пальцевая, упругий диск, полиуретан, бандаж.

Корчагина Т.В. Алгоритм проектування муфт пружних пальцево-дисккових (МУПД). У статті викладений алгоритм визначення геометричних розмірів пружного диска з поліуретану з бандажами, на підставі якого запропонований параметричний ряд пальцевих муфт МУПД.

Ключові слова: муфта пальцева, пружний диск, поліуретан, бандаж.

T. Korchagina. Design algorithm of the elastic couplings finger-disk (MUPD). The article describes an algorithm for determining the geometric dimensions of an elastic disk of polyurethane bandages, on the basis of which suggested a number of finger couplings parametric MUPD.

Keywords: coupling finger, elastic disk, polyurethane, bandage.

Постановка проблемы. Оборудованию металлургических заводов свойственны большие габариты, массы и моменты инерции вращающихся масс, вследствие чего оно подвержено воздействию циклических паразитных нагрузок ударного или колебательного характера [1]. Для передачи крутящего момента с вала привода на вал исполнительной машины металлургическое оборудование в основном оснащено жесткими зубчатыми муфтами типа МЗ или МЗП (ГОСТ 5006-83), рассчитанными на крутящий момент от 1000 до 63000 Н·м. Предпочтение отдается зубчатым муфтам в связи с их надежностью и высокой нагрузочной способностью при малых габаритах. Однако они не защищают оборудование от паразитных нагрузок, которые могут в несколько раз превышать технологические и вызывать разрушение деталей оборудова-

* ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь