

DOI: 10.34031/article\_5db43fa622b135.74427811

<sup>1,\*</sup>Дудукало Д.В., <sup>1</sup>Чепчуров М.С., <sup>2</sup>Вагнер М.Ю.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

<sup>2</sup>ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат»

Россия, 309454, Старый-Оскол, ул. Алексея Угарова, д. 218

\*E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru

## МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОСТЕЙ, ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ЗАГОТОВКИ НА ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ

**Аннотация.** В статье рассмотрен метод получения поверхностей путем перемещения режущей кромки инструмента в поперечном направлении на токарных автоматах. Применение данного способа обработки позволяет по-новому взглянуть на применение и модернизацию современного оборудования и расширить его технологические возможности, что позволяет увеличить производительность, расширить номенклатуру выпускаемых изделий. Рассчитаны перемещения инструмента за один оборот заготовки, построена модель перемещения траектории инструмента, с помощью программного пакета построен график перемещения резца при формировании плоскости, параллельной оси изделия. Установлено, что полученная модель перемещения инструмента позволяет анализировать изменение скорости от нулевого до максимального значения, т.к. для реализации метода перемещения резца в обратном направлении требуется решение проблемы реверса инструмента. Метод позволяет анализировать перемещения и траектории, для обеспечения реализации получения плоскостей и различных сложнопрофильных изделий на токарных автоматах.

**Ключевые слова:** токарная обработка, токарный автомат, траектория инструмента, функциональная зависимость, адаптивное оборудование, моделирование траектории.

**Введение.** Автоматы продольного точения или прутковые автоматы нашли своё применение в массовом и крупносерийном производстве. Обладая высокой производительности и гибкостью при переналадке на крупную партию продукции, они позволяют обеспечить массовый выпуск мелкоразмерных деталей с отличным качеством. Диаметры выпускаемых изделий составляют от десятых долей миллиметра, например, в приборной промышленности, до 20...30 мм, например, при производстве различных крепёжных изделий в строительстве.

Обработка заготовок в прутковых автоматах позволяет получать в массовом производстве изделия, обладающие высокими качественными характеристиками, имеющие при этом только форму тел вращения [1]. Трудности при получении детали вызывают имеющиеся плоскости, параллельные оси обработки [2], для получения которых требуется дооснащать оборудование фрезерными головками и использовать дополнительные фрезерные операции, что снижает темп производства изделий и приводит к удорожанию его производства. Авторы предлагают свою реализацию метода получения на этом же оборудовании плоскостей изделий, параллельных оси вращения заготовки [3, 4]. Теоретическое обоснование этого метода уже было изложено в различных работах авторов [5]. Подробная схема приведена на рис. 1.

**Методика и оборудование.** Метод основан на использовании токарного резца для снятия

припуска не по окружности заготовки [6], а перемещением в процессе съема припуска в поперечном направлении  $fC$ , учитывая параметры полученной плоскости. При этом сам процесс уже нельзя рассматривать только как токарный, хотя съём припуска производится в продольном направлении оси вращения заготовки, но один из резцов (рис. 1) совершает дополнительно поперечные возвратно-поступательные движения, что приводит к появлению кривой профиля отличной от окружности [7, 8].

Заготовка в виде прутка подается цанговым патроном через люнетную втулку, расположенную на основании. На правом торце люнетной втулки располагается плоскость обработки, при этом резец совершает возвратно-поступательные движения.

Расчёт перемещения инструмента выполняется по методике, приведенной в [5]. Согласно этой методике вычислим перемещение резца за 1 оборот заготовки,

$$T = 2 \frac{30}{nS}, \quad (1)$$

где  $nS$  – частота вращения заготовки, об/мин.

Дальнейшие расчеты проведем в системе координат изделия, расположение которой (согласно рис. 2) принимается в соответствии с учетом расположения осей при токарной обработке, где ось вращения заготовки –  $Z$ , ось по нормали к оси вращения заготовки  $X$  [9]. Следовательно, в течении одного оборота резец совершает возвратно-поступательные движения вдоль оси  $X$ ,

при этом происходит съём припуска на максимальную величину  $\Delta x$ . Таким образом, получается плоскость с углом  $\varphi$ , при этом положение вершины резца изменяется от  $R$  до  $(R - \Delta x_{max})$  и от  $(R - \Delta x_{max})$  до  $R$  в течении одного оборота [10,

11]. Т.е. резец успевает достигнуть максимальной глубины, а затем возвратиться в исходное положение.

Заготовка, вращаясь против часовой стрелки, перемещает свою наружную поверхность относительно оси X, или режущей кромки резца для получения лыски [12].

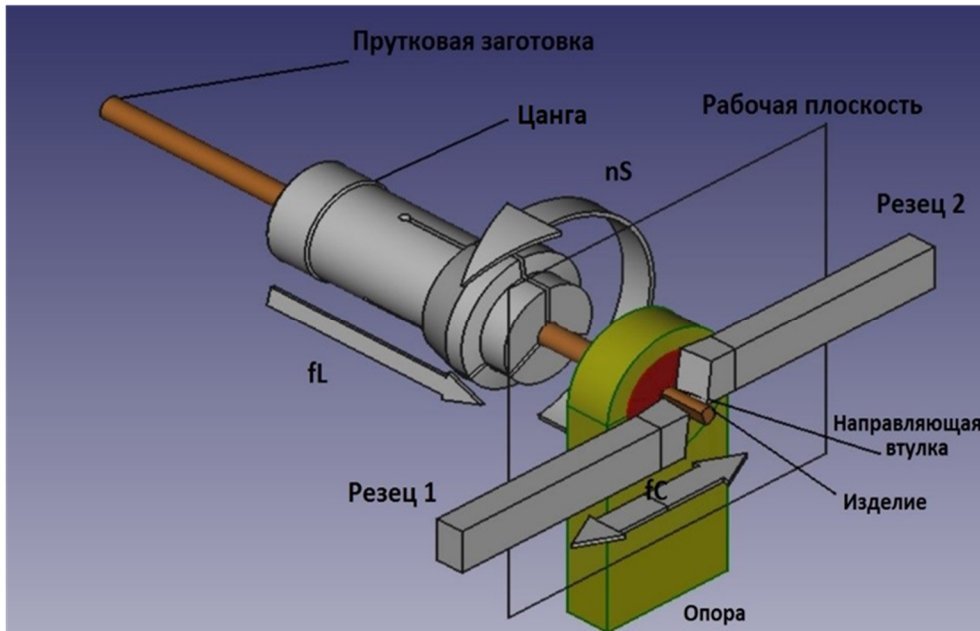


Рис. 1. Схема получение плоскостей параллельных оси вращения заготовки

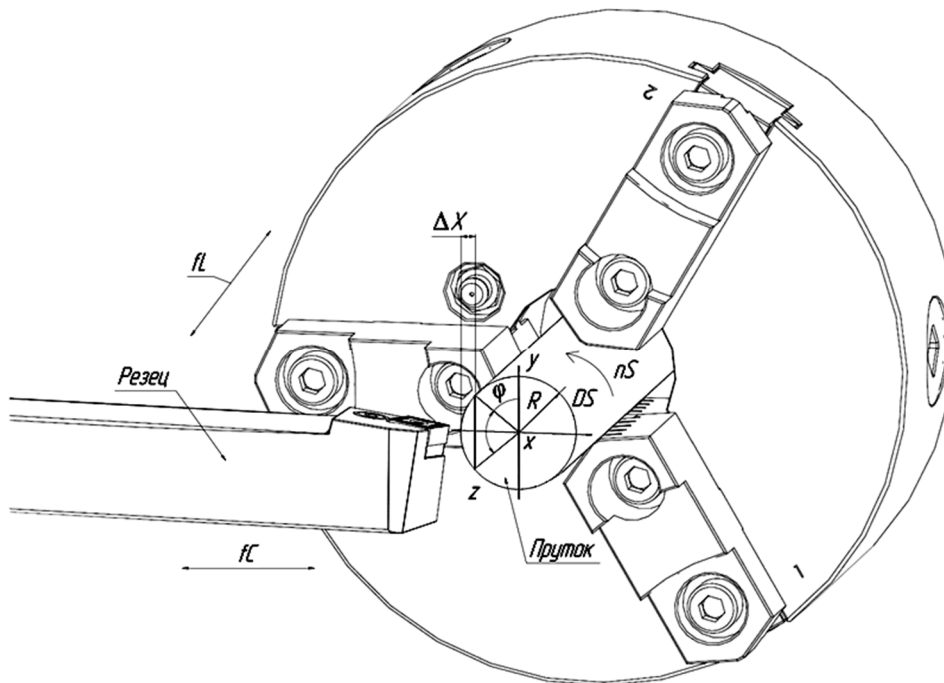


Рис. 2. Схема снятия припуска для получения плоскостей, параллельных оси изделия

На основе расчетных данных и методики, изложенной в [13], построим модель траектории перемещения инструмента, являющуюся функ-

циональной зависимостью положения инструмента по оси X, относительно получаемой плоскости.

Упростив, получим выражение:

$$f(x) = \frac{Ds}{2} - X(x) - \left( \frac{Y(x)}{\operatorname{tg}\left(\frac{180-\varphi}{2} + x - 1\right)} \right), \quad (2)$$

где  $Ds$  – диаметр заготовки, мм;  $X$  – текущая координата по оси  $X$ ;  $Y$  – текущая координата по оси  $Y$ ;  $\varphi$  – угол плоскости, градуса.

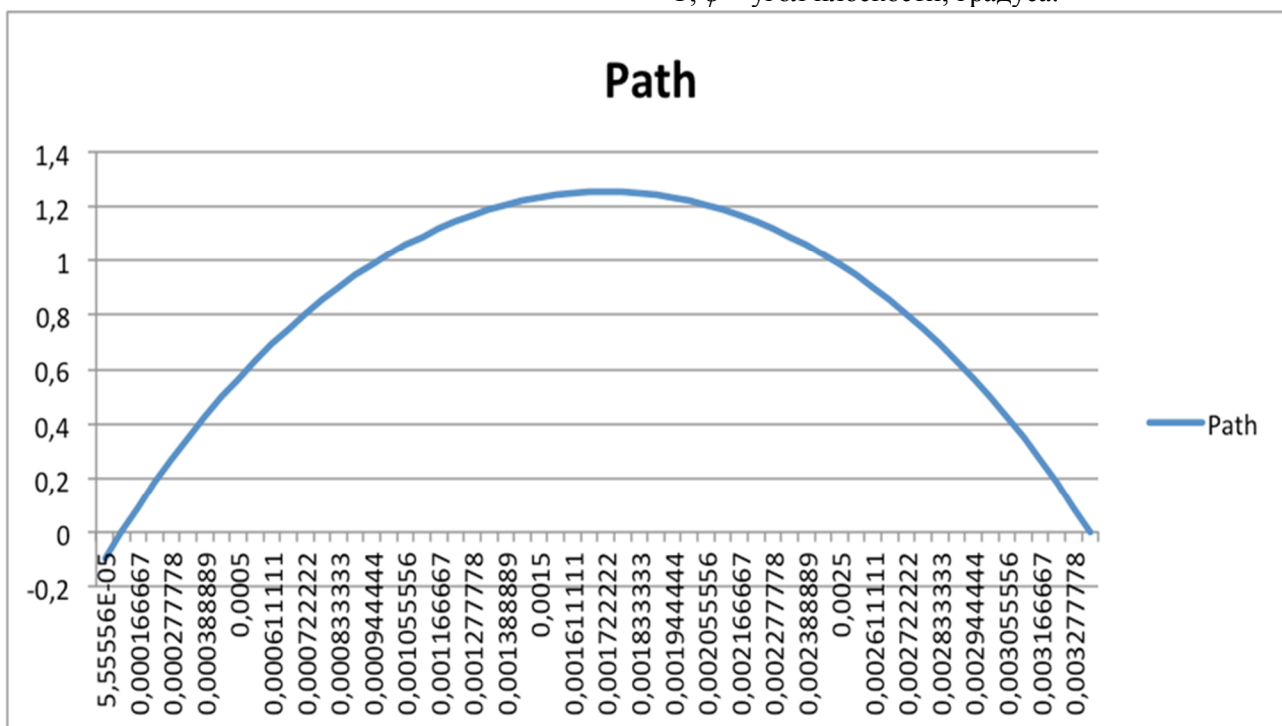


Рис. 3. Фрагмент расчета перемещения инструмента при формировании плоскости, параллельной оси изделия

С помощью программного пакета *SMathStudio*, выполним проверку модели и построим график перемещения резца при формировании плоскости, параллельной оси изделия [14, 15]. Расчеты, а также график перемещения резца отображены на рис. 3.

Для аналитической оценки перемещения режущего инструмента относительно поверхности заготовки вычислим цену одного градуса в секундах:

$$\Delta T = 2 \frac{30}{nS \cdot 360} = \frac{1}{6nS}, \text{ с}, \quad (3)$$

где  $M$  – частота вращения заготовки, об/мин.

Аналогично модели перемещения резца по оси  $X$  построим модель скорости резца [16]. На рисунке 4 показан график изменения расстояния по оси  $X$  в зависимости от времени  $t$  в течении одного оборота заготовки при следующих условиях: диаметр заготовки  $D=20$  мм, частота вращения  $nS=3000$  об/мин, угол получаемой плоскости  $\varphi=60^\circ$ .

Старт режущего инструмента происходит с максимального значения скорости, а потом, в соответствии с тангенциальным законом скорость постепенно становится равной нулю [17]. После чего происходит полная остановка инструмента, включение реверса и постепенное увеличение скорости до максимальной. Скорость перемещения определяется как производная от выражения (2), отражающего модель перемещения инструмента при формировании плоскости [6]:

$$V = \frac{d}{dt} \left( \frac{Ds}{2} - X(t) - \frac{Y(t)}{\operatorname{tg}\left(\frac{180-\varphi}{2} + \alpha(x) - 1\right)} \right), \quad (4)$$

где  $\alpha(x)$  – изменение угла плоскости за время ее получения.

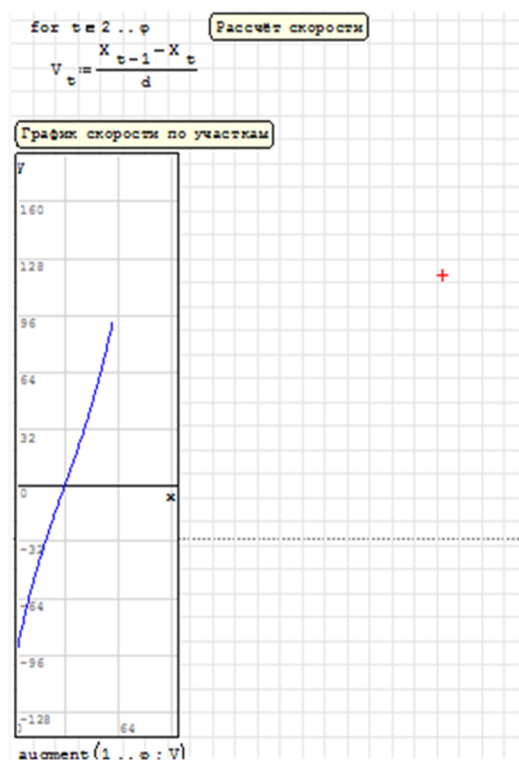


Рис. 4. График изменения расстояния по оси  $X$  от времени  $t$  в течении одного оборота заготовки ( $D=20$  мм,  $nS=3000$  об/мин,  $\varphi=60^\circ$ )

**Основная часть.** Общее время цикла получения изделия можно подсчитать по методике, изложенной в [9]. Но, следует отметить, что практическая реализация метода требует соблюдения некоторых особенных условий, для каждого способа реализации. Например, изложенная в статье остановка перед реверсом инструмента в стартовой точке требует определенного времени выстоя, в зависимости от используемого привода, что приводит к пропуску одного или нескольких оборотов заготовки. При этом обороты должны составлять целое число, в противном случае – отсутствует синхронизация движений, и получение плоскости не представляется возможным [18]. При реверсе в конечной точке траектории скорость перемещения режущего инструмента уменьшается плавно до нуля, а затем инструмент меняет направление движения. Один из вариантов решения задачи реверса в стартовые точки назначения дополнительного пути для торможения и разгона, т. к. приводу не может стартовать с максимальной скорости, аналогично и нет возможности плавно затормозить [19]. Авторы видят, именно, назначение дополнительного пути разгона-торможения инструмента, а не включения уже разогнанного привода при помощи муфты на максимальную скорость [20]. Такой способ позволяет избежать ударов в технологической системе, что обеспечит точность получаемого конструктивного элемента.

Таким образом, резец на максимальной скорости возвращается в исходное положение с торможением, где происходит его выстой, а затем цикл повторяется с разгоном.

**Выводы.** Путь достижения цели, поставленной в начале настоящей работы, позволят получить модель траектории перемещения инструмента, дающую возможность управлять приводами для обеспечения заданной скорости перемещения инструмента на различных участках траектории, включая разгон-торможение, что обеспечивает требуемую точность конструктивного элемента в виде плоскости, получаемой при токарной обработке.

**Источник финансирования.** Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова № А-80/17.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Технологические системы на базе автоматов продольного точения с использованием модульной компоновки оборудования // *Технология машиностроения*. 2013. № 7. С. 64–69.
2. Li Qiang, Ai Wu, Chen Bing. Variable angle compensation control of noncircular turning. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. No. 70. Pp. 735–736.
3. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Модернизация токарных автоматов продольного сечения с использованием мехатронных модулей // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2012. № 7. С. 10–13.
4. Максаров В.В. Теория и практика моделирования и управления в области прогнозирования динамических свойств технологических систем // *Металлообработка*. 2012. № 2. С. 7–13.
5. Chepchurov M.S., Tyurin A.V., Zhukov E.M. Getting flat surfaces in turning // *World Applied Sciences Journal*. 2014. T. 30. № 10. С. 1208–1213.
6. Бабичева И.В., Болдовская Т.Е. Справочник по математике (в формулах, таблицах, рисунках): учебное пособие. 2-е изд., исп. и доп. Омск: СибАДИ, 2010. 148 с.
7. Zhu L., Jiang Z., Shi J. [et al] An overview of turn-milling technology // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015. № 81. Pp. 493–505.
8. Лебедев В.Б. Структурный анализ систем управления: учебное пособие для вузов. Пенза: Изд-во ПензГУ, 2000. 100 с.
9. Табекина Н.А., Чепчуров М.С. Снижение временных затрат при получении изделий на прутковых автоматах с устройством сортировки // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. № 6 (113). С. 64–72.
10. Чепчуров М.С., Тюрин А.В. Управление технологической системой на базе токарного автомата, содержащей адаптивный инструментальный модуль // *Информационные системы и технологии*. 2014. № 5 (85). С. 81–87.
11. Погонин А.А., Чепчуров М.С., Хуртасенко А.В. Нестационарный станочный модуль с адаптивной системой управления // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2008. № 2. С. 72–75.
12. Хуртасенко А.В., Чепчуров М.С., Маслова И.В. Модернизация специального оборудования с использованием контроля и регистрации технологических параметров. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 240 с.
13. Блудов А.Н., Чепчуров М.С., Жуков Е.М. Способы проекционной оценки геометрии объектов в машиностроении и их реализация. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 150 с.
14. Маслова И.В., Чепчуров М.С., Хуртасенко А.В. Автоматизированный контроль прогиба державки режущего инструмента при токар-

ной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. № 2. С. 13–16.

15. Manos N.P., Bedi S., Miller D. [et al] Single controlled axis lathe mill // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007. № 32. Pp. 55–65.

16. Погонин А.А., Чепчуров М.С., Белянкина О.В. Моделирование параметров технологического процесса обработки с использованием метода Монте-Карло // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 2. С. 217–218.

17. Погонин Д.А., Чепчуров М.С., Старостин С.В. Определение оптимальных технологических параметров токарной обработки с ударом // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2010. № 10. С. 9–11.

18. Иванов М.Н. Детали машин. М.: Высшая школа, 1991. 382 с.

19. Tabekina N.A., Chepchurov M.S., Evtushenko E.I., Dmitrievsky B.S. Solution of task related to control of swiss-type automatic lathe to get planes parallel to part axis В сборнике: Journal of Physics: Conference Series Serp. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Techniques and Technologies of the Automated Mechanical Engineering" 2018. Pp. 32.

20. Табекина Н.А., Чепчуров М.С., Вороненко В.П. Контроль геометрических параметров в технологической системе на базе автоматов продольного точения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 89–95.

#### Информация об авторах

**Дудукало Денис Васильевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Чепчуров Михаил Сергеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: avt.post@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Вагнер Максим Юрьевич**, кандидат технических наук, заместитель начальника СПЦ ОАО «ОЭМК». E-mail: vagner76@yandex.ru. ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат». Россия, 309454, Старый Оскол, ул. Алексея Угарова, д. 218.

Поступила в августе 2019 г.

©Дудукало Д.В., Чепчуров М.С., 2019

<sup>1,\*</sup>*Dudukalo D.V.*, <sup>1</sup>*Chepchurov M.S.*, <sup>2</sup>*Vagner M.Y.*

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*  
*Russia, 308012, Belgorod, Kostukovast., 46*

<sup>2</sup>*OJSC «Oskol electrometallurgical plant».*  
*Russia, 309454, Stary-Oskol, st. Alexeya Ugarova, 218*

*\*E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru*

## METHOD FOR PRODUCING PLANES PARALLEL TO THE ROTATION AXIS OF BLANK OF AUTOMATIC LATCHES

**Abstract.** *The article describes the method of obtaining surfaces by moving the cutting edge of the tool in the transverse direction on automatic lathes. This method allows to take a fresh look at the use and modernization of modern equipment, to enlarge its technological capabilities. this allows to increase productivity and expand the range of products. The tool movements for one turn of the workpiece are calculated, a model for moving the tool path is built, using the software package, a tool moving graph is constructed when a plane is formed parallel to the axis of the product.*

*It is established that the obtained model of tool movement allows to analyze velocity variation in speed from zero to maximum value, since the method's implementation of moving the tool in the opposite direction, a solution to the problem of reverse tool is required. The method allows to analyze movements and trajectories for ensuring the implementation of obtaining planes and various complex products on automatic lathes.*

**Keywords:** *turning, automatic turning, tool path, functional dependence, adaptive equipment, trajectory modeling.*

## REFERENCES

1. Chepchurov M.S., Turin A.V. Technological systems based on automatic turning machines using modular equipment layout [Tekhnologicheskie sistemy na baze avtomatov prodol'nogo tocheniya s ispol'zovaniem modul'noj komponovki oborudovaniya]. Tekhnologiya mashinostroeniya. 2013. No. 7. Pp. 64–69. (rus)
2. Li Qiang, Ai Wu, Chen Bing. Variable angle compensation control of noncircular turning. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. No. 70. Pp. 735–736
3. Chepchurov M.S., Turin A.V. Modernization of longitudinal section automatic lathes using mechatronic modules [Modernizaciya tokarnyh avtomatov prodol'nogo secheniya s ispol'zovaniem mekhatronnyh modulej]. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2012. No. 7. Pp. 10–13. (rus)
4. Maksarov V.V. Theory and practice of modeling and control in the field of forecasting the dynamic properties of technological systems [Teoriya i praktika modelirovaniya i upravleniya v oblasti prognozirovaniya dinamicheskikh svoystv tekhnologicheskikh sistem]. Metalloobrabotka. 2012. No. 2. Pp. 7–13 (rus)
5. Chepchurov M.S., Tyurin A.V., Zhukov E.M. Getting flat surfaces in turning. World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 30. No 10. Pp. 1208–1213.
6. Babicheva I.V., Boldovskaya T.E. Math reference [Spravochnik po matematike (v formulah, tablicah, risunkah)]. Tutorial. Vol. 2. Omsk: SibADI, 2010. 148 p. (rus)
7. Zhu L., Jiang Z., Shi J. [et al] An overview of turn-milling technology. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. No 81. Pp. 493–505.
8. Lebedev V.D. Structural analysis of control systems [Strukturnyj analiz sistem upravleniya]. Tutorial. Penza: PenzGU, 2000. 100 p. (rus)
9. Tabekina N.A., Chepchurov M.S. Reduced time costs when receiving products on bar machines with a sorting device [Cnizhenie vremennyh zatrat pri poluchenii izdelij na prutkovykh avtomatah s ustrojstvom sortirovki]. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2016. No. 6 (113). Pp. 64–72. (rus)
10. Chepchurov M.S., Tyurin A.V. Control of a technological system based on a turning machine containing an adaptive tool module [Upravlenie tekhnologicheskoy sistemoy na baze tokarnogo avtomata, sodержashchej adaptivnyj instrumental'nyj modul']. Informacionnye sistemy i tekhnologii. 2014. No. 5. Pp. 81–87. (rus)
11. Pogonin A.A., Chepchurov M.S., Khurtasenko A.V. Non-stationary machine module with adaptive control system [Nestacionarnyj stanochnyj modul' s adaptivnoj sistemoy upravleniya]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2008. No. 2. Pp. 72–75. (rus)
12. Khurtasenko A.V., Chepchurov M.S., Maslova I.V. Modernization of special equipment using monitoring and recording of technological parameters [Modernizaciya special'nogo oborudovaniya s ispol'zovaniem kontrolya i registracii tekhnologicheskikh parametrov]. Belgorod: BGTU, 2012. 240 p. (rus)
13. Bludov A.N., Chepchurov M.S., Zhukov E.M. Methods of projection estimation of the geometry of objects in mechanical engineering and their implementation [Sposoby proekcionnoj ocenki geometrii ob'ektov v mashinostroenii i ih realizaciya]. Belgorod: BGTU, 2015. 150 p. (rus)
14. Maslova I.V., Chepchurov M.S., Khurtasenko A.V. Automated control of the deflection of the cutting tool holder during turning [Avtomatizirovannyj kontrol' progiba derzhavki rezhushchego instrumenta pri tokarnoj obrabotke]. Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2009. No. 2. Pp. 13–16 (rus)
15. Manos N.P., Bedi S., Miller D. Single controlled axis lathe mill. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007. No. 32. Pp. 55–65.
16. Pogonin A.A., Chepchurov M.S., Belyankina O.V. Modeling of technological process parameters using the Monte Carlo method [Modelirovanie parametrov tekhnologicheskogo processa obrabotki s ispol'zovaniem metoda monte-karlo]. Mountain News and Analysis Bulletin. 2003. No. 2. Pp. 217–218. (rus)
17. Pogonin D.A., Chepchurov M.S., Starostin S.V. Determination of optimal technological parameters of turning with impact. [Opredelenie optimal'nyh tekhnologicheskikh parametrov tokarnoj obrabotki s udarom]. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2010. No. 10. Pp. 9–11. (rus)
18. Ivanov M.N. Machine parts. [Detali mashin]. Moscow. High school, 1991. Pp. 382 (rus)
19. Tabekina N.A., Chepchurov M.S., Evtushenko E.I., Dmitrievsky B.S. Solution of task related to control of swiss-type automatic lathe to get planes parallel to part axis. Journal of Physics: Conference Series. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 - Techniques and Technologies of the Automated Mechanical Engineering" 2018. Pp. 32 (rus)
20. Tabekina N.A., Chepchurov M.S., Voronenko V.P. Control of geometric parameters in a technological system based on longitudinal turning machines [Kontrol' geometricheskikh parametrov v tekhnologicheskoy sisteme na baze avtomatov prodol'nogo tocheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 89–95. (rus)

*Information about the authors*

**Dudukalo, Denis V.** Postgraduate student. E-mail: denis.dudukalo@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Chepchurov, Mikhail S.** DSc, Professor. E-mail: avtpost@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Vagner, Maxim Y.** PhD, Deputy chief SPC. E-mail: vagner76@yandex.ru. OJSC «Oskol electrometallurgical plant». Russia, 309454, Stary-Oskol, st. Alexeya Ugarova, 218

---

*Received in August 2019*

**Для цитирования:**

Дудукало Д.В., Чепчуров М.С., Вагнер М.Ю. Метод получения плоскостей, параллельных оси вращения заготовки на токарных автоматах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 142–148. DOI: 10.34031/article\_5db43fa622b135.74427811

**For citation:**

Dudukalo D.V., Chepchurov M.S., Vagner M.Y. Method for producing planes parallel to the rotation axis of blank of automatic latches. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 142–148. DOI: 10.34031/article\_5db43fa622b135.74427811