

**Зинченко А. М., Белозерцев В. Н., \*Пипкин Ю. В.**  
 Донбасский государственный технический университет  
 \*E-mail: tmsi\_pipkin@mail.ru

## АНАЛИЗ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ТОЧНОСТЬЮ И СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ЛЕЗВИЙНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*В статье проведено обоснование и теоретические исследования взаимосвязи гиперболического типа между параметрами точности и себестоимости технологических процессов лезвийной механической обработки. Получены формулы для определения величины изменения параметров.*

**Ключевые слова:** механическая обработка, точность обработки, себестоимость обработки.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Развитие технических систем часто связывают с переходом между технологическими укладами [1–3] в том числе в результате промышленных революций [4, 5]. При этом исследователями феноменов «технологический уклад» и «промышленная революция» особо уделяется внимание цикличности инновационных и экономических процессов, имеющих концептуальное сходство для разных переходных стадий смены технического уровня социально-экономических отношений. Как один из показательных результатов анализа условий смены технологических укладов можно отметить применение в стандартах менеджмента качества, таких как ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ Р ИСО 10006-2019 и других, цикла непрерывного улучшения Деминга — Шухарта [6] (выражаемого формулой PDCA или PDSA: Plan — Do — Check — Act, т. е. «планируй — делай — оценивай — внедряй»), либо Plan — Do — Study — Act, т. е. «планируй — делай — исследуй — внедряй»). Для машиностроительной отрасли внедрение стандартов качества является важным элементом развития [7, 8]. Таким образом, для решения задач повышения эффективности и развития технических систем, обеспечиваемых машиностроительной отраслью, актуальным является выявление и формирование циклических взаимосвязей в производственной системе, технологических системах и технологических процессах.

**Постановка задачи.** В рамках научно-исследовательской работы «Разработка системы опорных и зажимных элементов фрезерных приспособлений на основе моделирования силового замыкания» проводятся исследования, направленные на повышение эффективности технологической операции фрезерования плоских поверхностей. При этом уделяется внимание как точности [9], так и производительности [10]. **Целью** данной работы является теоретическая оценка возможности выявления циклических взаимосвязей между результатами улучшения работы технологической системы для задачи дальнейшего анализа практических результатов исследований по моделированию силового замыкания фрезерных приспособлений.

**Анализ стратегий улучшения операций лезвийной механической обработки.** Работами ведущих ученых-машиностроителей, таких как А. И. Каширин, Б. С. Балакшин, В. М. Кован, А. П. Соколовский, А. А. Маталин, В. С. Колесов и других, установлено, что основными задачами, решаемыми технологией машиностроения при изготовлении деталей машин, являются:

- достижение требуемой геометрической точности изготовления;
- обеспечение требуемой производительности (выпуск заданного количества деталей в заданный период времени);
- достижение наименьшей себестоимости (то есть наименьших затрат труда живого и овеществленного).

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

При этом задачи обеспечения качества материала по его химическому составу и его свойствам решаются также в машиностроении, но в области металлургии и материаловедения.

Выделенным выше основным задачам, в свою очередь, соответствуют научно обоснованные технологические показатели:

- квалитет геометрической точности, выражаемый численно допуском  $T_A$  на заданный рабочим чертежом размер детали (англ. — tolerance admeasurement); допуском формы  $T_F$  поверхности (англ. — tolerance form); допуском взаимного расположения поверхностей  $T_{RP}$  (англ. — tolerance relative position), мм;

- техническая норма штучного  $T_{шт}$  (штучно-калькуляционного  $T_{шт-к}$ ) времени изготовления одной детали  $T$  (англ. — time), мин;

- себестоимость изготовления одной детали  $C$  (англ. — cost price), условных денежных единиц.

Взаимосвязи между основными задачами технологии машиностроения можно укрупненно охарактеризовать диаграммой Эйлера — Венна (рис. 1), показывающей отношение между множествами решений задач качества (уменьшения допуска  $T_{A,F,RP}$  = повышение качества  $K$ ), производительности (уменьшение трудоемкости  $T_{шт(шт-к)}$  = повышение производительности  $\Pi$ ) и эффективности (уменьшение себестоимости  $C$  = повышение эффективности  $\mathcal{E}$ ). Диаграмма на рисунке 1 показывает основные варианты взаимосвязанного решения задач машиностроительного производства, которые можно разбить по уровням управленческого риска (УУР):

- низкий уровень управленческого риска (НУУР) соответствует множеству отдельных решений (области, заштрихованные одним типом штриховки), когда задачи рассматриваются несвязанно;

- средний уровень управленческого риска (СУУР) соответствует множеству пересечения двух из трех показателей

(области, заштрихованные двумя типами штриховки);

- высокий уровень управленческого риска (ВУУР) соответствует множеству пересечения всех трех показателей (область, заштрихованная тремя видами штриховки).

В области механической обработки в технологии машиностроения по данным, полученным на основе наблюдений за действующим производством, может быть определена зависимость между точностью изготовления  $x$  и себестоимостью машины  $y$ . По оценке [11] эта зависимость близка к кривой гиперболического типа (рис. 2) и может быть выражена формулой

$$y = \frac{m}{x},$$

где  $y$  — себестоимость изделия,  $x$  — допуск на изготовление на данной операции (количество точных размеров, выдерживаемых на операции),  $m$  — постоянная.

Причем, как указывается в [11], эта зависимость распространяется как на изготовление машины в целом, так и на изготовление отдельных деталей, выполнение операций. К такому же выводу приходят и другие авторы [12, 13].

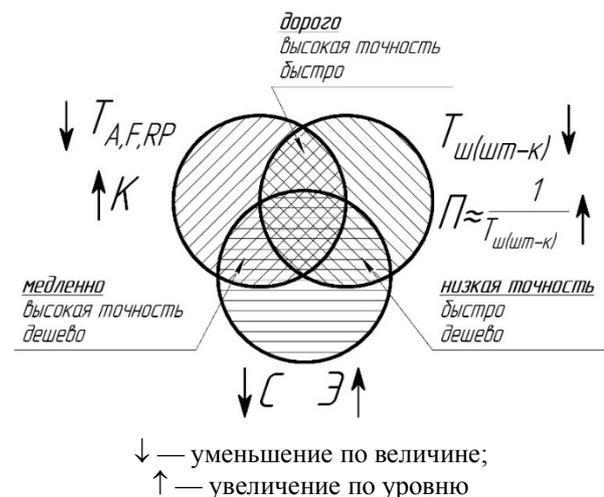


Рисунок 1 — Диаграмма Эйлера — Венна для взаимоотношений между основными задачами технологии машиностроения

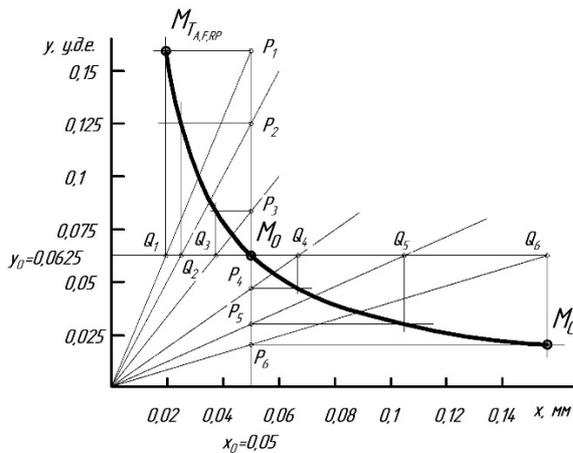


Рисунок 2 — Кривая зависимости себестоимости обработки от точности обработки

Используя рекомендации [11, 14, 15] для построения равнобочной гиперболы по ее асимптотам на основе данных в одной точке, по себестоимости какого-либо одного процесса (или группы процессов) можно определить себестоимость аналогичного другого процесса, выполненного при других условиях (т. е. другом уровне точности). Построение гиперболы включает в себя проведение из начала отсчета произвольных лучей до пересечения с ординатой и абсциссой начальной точки (точки  $M_0$  по рис. 2) в точках  $P_i$  и затем  $Q_i$ , получая затем точки пересечения вертикальных и горизонтальных линий, проведенных из полученных точек.

Рассматривая гиперболическую зависимость между точностью механической обработки и ее себестоимостью (рис. 2), можно отметить, что она соответствует диаграмме Эйлера — Венна для основных задач технологии машиностроения в том смысле, что улучшение одного из показателей приводит к ухудшению второго, и можно выделить два типа задач в зависимости от варианта положения начальной точки:

1) решается задача повышения точности обработки (уменьшение величины допуска на обработку), когда начальная точка движется в верхнюю часть графика с наименьшей величиной допуска на обработку в

точку  $M_{T,A,F,RP}$  (большая точность), перебор вариантов идет снизу вверх, и при этом себестоимость изготовления растет (задача первого типа);

2) решается задача снижения себестоимости, когда начальная точка движется к нижней части графика до меньшей себестоимости в точку  $M_C$ , перебор вариантов идет сверху вниз по гиперболе, и при этом точность изготовления падает (задача второго типа).

Задача обеспечения геометрической точности является первоочередной, поэтому выполним укрупненный анализ возможного увеличения точности механической обработки при сохранении уровня себестоимости, что возможно при внедрении наукоемких инновационных решений.

*Задача повышения точности (задача первого типа).* Рассмотрим построение гиперболы для зависимости себестоимости от точности механической обработки (рис. 3). В отличие от рисунка 2 на рисунке 3 построение ведем от нижней точки в такой последовательности.

Сначала проводим из точки  $M_C$  вертикальную линию параллельно оси  $y$ . На этой линии отмечаем произвольно точки  $P_1-P_n$ .

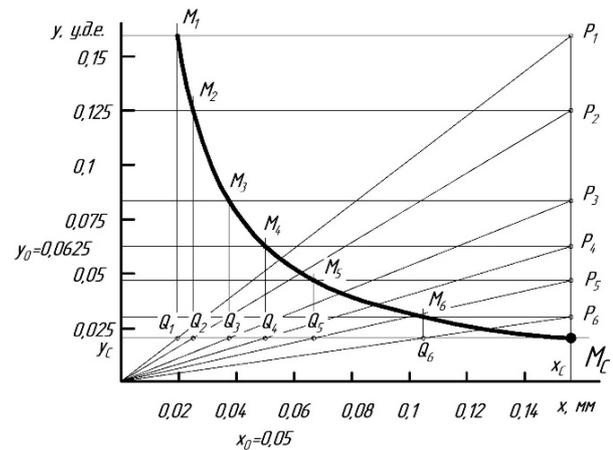


Рисунок 3 — Построение исходной гиперболы зависимости себестоимости от точности механической обработки для стратегии повышения точности обработки

Затем через центр системы координат и точки  $P_i$  проводим отрезки для пересечения с горизонтальной линией, проведенной из точки  $M_C$ .

Из полученных точек пересечения проводим вертикальные линии, а из точек  $P_i$  — горизонтальные. На пересечении горизонтальных и вертикальных линий получаем точки  $M_i$  графика гиперболы.

Выполним укрупненную оценку ожидаемого экономического эффекта при увеличении степени экономической точности метода обработки. Пусть известны данные об экономической точности обработки  $x_C$ , себестоимость метода составила  $y_C$ . Таким образом, на кривой (рис. 3) получена точка  $M_C(x_C; y_C)$ , соответствующая достигнутому уровню экономической точности.

Примем, что благодаря инновациям достигнуто повышение экономической точности метода обработки до уровня  $x_1$  при сохранении уровня себестоимости  $y_C$ , что соответствует точке  $M_1$  (рис. 4).

Для новой точки также построим гиперболу. Видно, что она не пересекает кривую для точки  $M_C$ . Величина  $\Delta y$  показывает, на сколько вследствие инноваций удалось уменьшить себестоимость обработки при увеличении точности обработки на величину  $\Delta x$ .

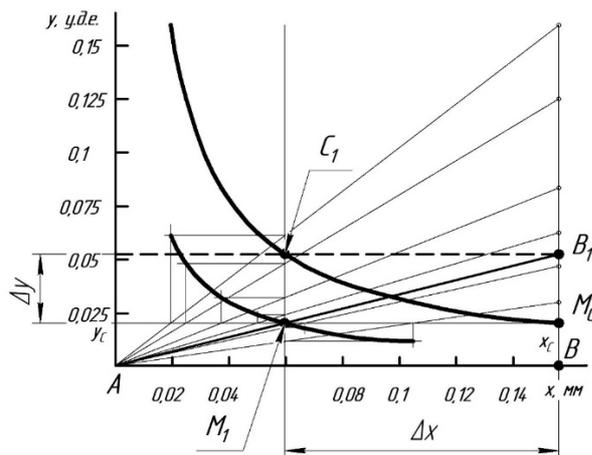


Рисунок 4 — Построение гиперболы зависимости себестоимости от точности механической обработки для точки стабильной себестоимости

Определим величину  $\Delta y$  при известном  $\Delta x$ . Из подобия треугольников (по равенству углов)  $AB_1B$  и  $MB_1M_0$  запишем соотношение

$$\frac{y_C + \Delta y}{\Delta y} = \frac{x_C}{\Delta x}. \quad (1)$$

Принимая  $y_C$  — начальную себестоимость обработки, а  $\Delta x = k_T \cdot x_C$ , где  $k_T$  — дольный коэффициент увеличения точности обработки (уменьшения допуска на обработку), лежащий в интервале от 0 до 1, после преобразований окончательно получаем формулу для определения ожидаемого эффекта от увеличения точности:

$$\Delta y = \frac{y_C \cdot k_T \cdot x_C}{x_C - k_T \cdot x_C}. \quad (2)$$

Вынесем  $x_C$  в знаменателе за скобку:

$$\Delta y = \frac{y_C \cdot k_T \cdot x_C}{x_C \cdot (1 - k_T)}.$$

После сокращения на  $x_C$  имеем

$$\Delta y = y_C \cdot \frac{1 \cdot k_T}{(1 - k_T)}. \quad (3)$$

Принимая  $\Delta y = k_C \cdot y_C$ , где  $k_C$  — дольный коэффициент сокращения себестоимости, лежащий в интервале от 0 до 1, преобразуем (3) в вид

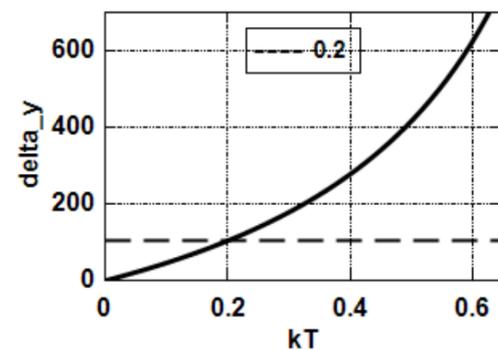
$$k_C = \frac{1 \cdot k_T}{(1 - k_T)}. \quad (4)$$

Таким образом, ожидаемый экономический эффект при повышении точности механической обработки можно определить в натуральном выражении по формуле (3), задаваясь начальной себестоимостью обработки при заданной точности, или в дольном выражении по формуле (4).

Принимая во внимание прямую зависимость между точностью механической обработки и затратами труда, можно укрупненно считать, что себестоимость механической обработки в зависимости от точности обработки приближенно равна или кратна заработной плате рабочего. Если принять за

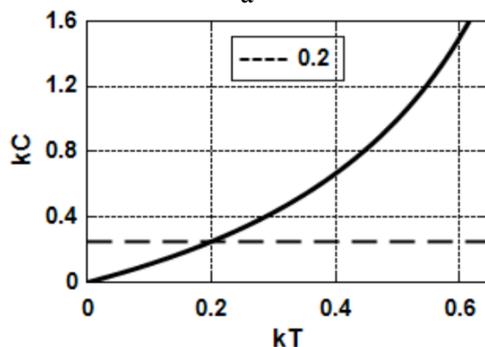
минимальную заработную плату 80000 у. д. е. в месяц, а количество рабочих часов при работе в одну смену 192 часа (24 рабочих дня), то минимальная часовая тарифная ставка составит около 416,7 у. д. е. Подставив это значение в (3), (4) в математическом пакете SMATH Solver, получим графики, показанные на рисунке 5.

Тогда, в соответствии с имеющимися графиками (рис. 5), ожидаемый экономический эффект от повышения точности в 0,2 раза (на 20 %) составит около 104,2 у. д. е. в час (25 % от начальных затрат), около 20000 у. д. е. в месяц, 240000 у. д. е. в год на одну операцию механической обработки. Программу для проверки расчета, сформированную с помощью SMATH Solver, можно скачать в облаке [16].



$\begin{cases} \Delta y (\text{■}) \\ \Delta y (k_{T1}) \end{cases}$

а



$\begin{cases} k_C (\text{■}) \\ k_C (k_{T1}) \end{cases}$

б

Рисунок 5 — Графики зависимости экономии по точности обработки, рассчитанные в пакете SMATH Solver: а) в натуральном измерении; б) в дольном соотношении

Полученную величину следует рассматривать как максимально возможный экономический эффект от инвестиций в повышение точности механической обработки на операции.

Также для установления циклических взаимосвязей в рамках концепции диаграммы Эйлера — Венна и цикла PDCA интерес представляет и рассмотрение обратного перехода: на сколько потребуется увеличить допуск на обработку (т. е. понизить точность) при направленном уменьшении себестоимости обработки. Для этого, подобно рассмотренному выше варианту с повышением точности (рис. 4), выполним построения для уменьшения себестоимости (рис. 6).

*Задача уменьшения себестоимости (задача второго типа).* На рисунке 6 начальная точка  $M_T(x_T, y_T)$  находится в верхней части графика. Уменьшение себестоимости обработки на величину  $\Delta y_T$  без дополнительных затрат означает переход в точку  $M_1(x_1, y_1)$  с увеличением допуска на обработку (снижением точности обработки) на величину  $\Delta x$  (на рисунке 6 движение по стрелкам с номером 1). Определить величину  $\Delta x$  можно следующим образом. Так как точки  $M_T$  и  $M_1$  принадлежат одной и той же равнобокой гиперболе, для них можно записать функцию в следующем виде:

$$y_T = \frac{m}{x_T} \text{ и } y_1 = \frac{m}{x_1},$$

откуда

$$y_T \cdot x_T = y_1 \cdot x_1,$$

далее

$$x_1 = x_T \cdot \frac{y_T}{y_1} = x_T \cdot \frac{y_T}{y_T - \Delta y_T}.$$

Принимая  $\Delta y_T = k_C \cdot y_T$ , получаем величину большего допуска

$$x_1 = x_T \cdot \frac{1}{1 - k_C} \text{ в мм} \quad (5)$$

и, принимая  $k_T = x_1/x_T$ , получаем

$$k_T = \frac{1}{1 - k_C}. \quad (6)$$



откуда

$$y_1 \cdot x_T = y_2 \cdot x_1,$$

далее

$$y_2 = y_1 \cdot \frac{x_T}{x_1}.$$

Затем учитываем, что

$$y_1 = y_T - \Delta y_T = y_T - k_C \cdot y_T = y_T \cdot (1 - k_C)$$

и

$$x_1 = x_T + \Delta x = x_T + k_{\Delta T} \cdot x_T = x_T \cdot (1 + k_{\Delta T}),$$

определяем величину  $\Delta y_C$ :

$$\Delta y_C = y_1 - y_2 = y_1 - y_1 \cdot \frac{x_T}{x_1} = y_1 \cdot \left(1 - \frac{x_T}{x_1}\right).$$

После подстановки получаем

$$\Delta y_C = y_T \cdot (1 - k_C) \cdot \left(1 - \frac{x_T}{x_T \cdot (1 + k_{\Delta T})}\right).$$

После сокращения на  $x_T$  получаем

$$\Delta y_C = y_T \cdot (1 - k_C) \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + k_{\Delta T}}\right),$$

после приведения к общему знаменателю в правой скобке

$$\Delta y_C = y_T \cdot (1 - k_C) \cdot \left(\frac{k_{\Delta T}}{1 + k_{\Delta T}}\right),$$

далее окончательно

$$\Delta y_C = y_T \cdot \frac{(k_{\Delta T} - k_{\Delta T} \cdot k_C)}{1 + k_{\Delta T}}, \quad (9)$$

и после подстановки (7) имеем сокращенный вариант:

$$\Delta y_C = y_T \cdot (k_C - k_C^2). \quad (10)$$

Также представляет интерес отношение величины затрат на удержание точности обработки неизменной к величине планируемого уменьшения себестоимости обработки:

$$\frac{\Delta y_C}{\Delta y_T} = \frac{y_T \cdot (k_C - k_C^2)}{k_C \cdot y_T} = 1 - k_C. \quad (11)$$

Для исходных данных, соответствующих области определения переменных по заданной на рисунке 6 системе координат, выполним ориентировочный расчет.

Исходные данные для расчета:

– начальная себестоимость  $y_T=0,1625$  у. д. е.;  
– начальный уровень точности обработки  $x_T=0,02$  мм;

– запланированное снижение себестоимости обработки до уровня  $y_1=0,0536$  у. д. е., откуда коэффициент снижения себестоимости  $k_C=0,67$ .

Расчет величины увеличения допуска на обработку по формуле (7) дает значение  $\Delta x=0,0406$  мм.

Величина допуска, соответствующего снижению себестоимости обработки по формуле (5) равна  $x_1=0,0606$  мм, что соответствует сумме исходного допуска  $x_T$  и величине интервала  $\Delta x$ .

В случае СУУР (ВУУР), означающего сохранение уровня точности при плановом снижении себестоимости, потребуются дополнительные затраты, определяемые по формулам (9) или (10),  $\Delta y_C=0,0359$  у. д. е., что меньше запланированного уменьшения себестоимости на  $0,1089$  у. д. е. и соотносится с ним по формуле (11) как  $0,33$  (т. е.  $1/3$ ).

Полученные расчетные данные соответствуют построенному предварительно по данным [11] графику гиперболы, что указывает на верность представленных выкладок.

Программу для проверки расчетов, сформированную в пакете SMATH Solver, можно скачать в облаке [17].

Следует отметить, что пропорции между коэффициентами, определяемые по формулам (4), (6), (8), (11), не зависят от единиц измерения как точности, так и себестоимости. Что позволяет выполнять анализ независимо от масштаба данных.

В целом проведенный теоретический анализ на основе гипотезы о гиперболической зависимости

ческой взаимосвязи между точностью обработки и себестоимостью показывает, что при проектировании технологических процессов изготовления деталей, в частности механической обработки, характерны УУР, при которых происходит перебор множества решений в соответствии с диаграммой Эйлера — Венна (рис. 1). Причем, как показал анализ для случая решения задачи второго типа (рис. 6), взаимосвязь между множествами решений имеет циклический характер (показанный стрелками с номерами 1, 2, 3).

Так как рассмотрена только одна из пар задач технологии машиностроения «точность — себестоимость», требуются дальнейшие теоретические исследования остальных сочетаний: «точность — производительность» и «себестоимость — производительность».

Предварительное сопоставление анализа теоретических закономерностей взаимосвязи точности и себестоимости с результатами, полученными при исследованиях силового замыкания фрезерных приспособлений при обработке плоских поверхностей [9, 10], показывает качественное сходство. Так, в работе [9] рассматривается достигнутое повышение точности обработки до 60 %, опираясь на которое, в работе [10] предлагается выполнить корректировку режимов резания с целью повышения производительности.

**Выводы.** Проведенный теоретический анализ на основе гипотезы о гиперболической зависимости между основными

задачами технологии машиностроения, в частности технологическими показателями геометрической точности и себестоимости методов лезвийной механической обработки, подтверждает наличие циклических взаимосвязей между множествами решений качества, производительности и эффективности технологических процессов изготовления деталей. Основные результаты исследования заключаются в следующем:

1) установлено, что зависимость гиперболического типа для исследования взаимосвязи в паре «точность — себестоимость» соответствует логике диаграммы Эйлера — Венна, описывающей пересечения множеств решений основных задач технологии машиностроения при производстве деталей машин;

2) выявлен циклический характер выбора управленческих решений для случая планируемого снижения себестоимости обработки, что создает предпосылки для выявления циклов PDCA (Деминга — Шухарта) и дальнейшего улучшения качества технологических систем;

3) на основе диаграммы Эйлера — Венна для основных задач технологии машиностроения предложены три уровня управленческих решений, разделяемых по степени управленческого риска;

4) сформулированы зависимости для оценки взаимосвязанного изменения точности и себестоимости в натуральном выражении (формулы (3, 5, 7, 9, 10)) и в виде пропорций между безразмерными дольными коэффициентами (формулы (4, 6, 8, 11)).

### Список источников

1. Елецких П. Е. Эволюция технологических укладов // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий : сборник тезисов и статей докладов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. Минск, 2023. С. 332–334. URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/52906> (дата обращения: 18.02.2025).
2. Останин В. А. Техника в эволюции технологических укладов : монография / под ред. С. Е. Ячина. Владивосток : изд-во Дальневосточного федерального университета, 2023. 185 с. DOI: 10.24866/7444-5523-1. EDN LAWVEX
3. Паньшина О. Ю. Методы и модели управления сменой технологических укладов в машиностроении : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2009. 16 с. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01003478923> (дата обращения: 18.02.2025). EDN NLBFQN

4. Булдыгин С. С. Концепция промышленной революции: от появления до наших дней // Вестник Томского государственного университета. 2017. № 420. С. 91–95. DOI: 10.17223/15617793/420/12. EDN ZGPXUZ

5. Аверина И. С. Промышленная революция и технологический уклад: сущностные характеристики, сходства и отличительные черты // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2021. Т. 23. № 1. С. 52–63. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2021.1.4. EDN ARJOJK

6. Управление качеством на основе цикла Деминга — Шухарта в условиях изменений / В. В. Филатов, И. А. Рамазанов, В. В. Безпалов, С. Ю. Федорук // Журнал прикладных исследований. 2022. Т. 4. № 8. С. 336–341. DOI: 10.47576/2712-7516\_2022\_8\_4\_336. EDN QUJPEN

7. Денисова Я. В. Управление качеством процессов производства продукции машиностроения в сети // Омский научный вестник. 2024. № 1 (189). С. 28–34. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-28-34. EDN CBZQOE

8. Кунаков Е. П. Совершенствование системы менеджмента качества машиностроительного производства на основе развития цикла PDCA: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Иркутск : ФГБОУ ВО «ИНИТУ», 2024. 126 с. URL: <https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/dissertatsii/elementy/74846> (дата обращения: 18.02.2025). EDN PBZHFM

9. Пипкин Ю. В., Зинченко А. М. Повышение точности механической лезвийной обработки как драйвер внедрения инновационных систем станочных приспособлений на примере фрезерования плоскостей // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сборник тезисов докладов. Алчевск : ФГБОУ ВО «ДонГТУ», 2023. С. 81–83. EDN NETJLB

10. Пикалова М. В., Желтобрюхова О. Е., Онопченко В. Н. Начальные условия для корректировки режимов фрезерования плоскостей с учетом силового замыкания станочного приспособления // Научные технологии и оборудование в промышленности и строительстве. 2024. № 5 (79). С. 86–95. EDN XIGCVX

11. Картавов С. А. Технология машиностроения (специальная часть). К. : Вища школа. Головное изд-во, 1984. 272 с.

12. Крейдич Е. А., Скуратов Д. Л., Рязанов А. И. Нормирование точности машиностроительного производства : учебное пособие. Самара : Самарский университет, 2021. 115 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/256916> (дата обращения: 18.02.2025). Режим доступа: для авториз. пользователей.

13. Ефимов В. В. Улучшение качества продукции, процессов, ресурсов : учебное пособие. М. : Компания КноРус, 2007. 223 с. EDN QRZOBL

14. Геометрические построения кривых линий : учебно-методическое пособие / сост. Т. В. Шустикова, И. В. Сергеева. Владивосток : Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2019. 27 с. URL: [https://www.dyfu.ru/upload/medialibrary/1f3/Shustikova\\_T.V.,\\_Sergeeva\\_I.V.\\_Geometricheskie\\_postroeniya\\_krivykh\\_linij.pdf](https://www.dyfu.ru/upload/medialibrary/1f3/Shustikova_T.V.,_Sergeeva_I.V._Geometricheskie_postroeniya_krivykh_linij.pdf) (дата обращения: 18.02.2025).

15. Денисова О. В. Кривые линии : методические указания к выполнению графических работ. Оренбург : ГОУ «ОГУ», 2008. 22 с. URL: <http://elib.osu.ru/handle/123456789/7302> (дата обращения: 18.02.2025).

16. Расчет экономии на точности : электронная программа. URL: <https://disk.yandex.ru/d/Cy4aJBjY-OU4Ew>.

17. Расчет затрат на точности : электронная программа. URL: <https://disk.yandex.ru/d/IAkok51X2kKEgw>.

© Зинченко А. М., Белозерцев В. Н., Пипкин Ю. В.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ТМИК ЛГУ им. В. Даля Витренко В. А., к.т.н., доц. каф. ММК ДонГТУ Изюмовым Ю. В.**

Статья поступила в редакцию 14.03.2025.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Зинченко Андрей Михайлович**, канд. экон. наук, доцент, зав. каф. технологии и организации машиностроительного производства  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Белозерцев Валерий Николаевич**, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник управления перспективных научных исследований  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**Пипкин Юрий Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации машиностроительного производства  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия,  
e-mail: tmsi\_pipkin@mail.ru

**Zinchenko A. M., Belosertsev V. N., \*Pipkin Yu. V.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, \*e-mail: tmsi\_pipkin@mail.ru)

**ANALYSIS OF HYPERBOLIC INTERDEPENDENCE BETWEEN ACCURACY AND PRIME COST OF EDGE CUTTING MACHINING**

*The article provides a rationale and theoretical studies of the hyperbolic type interdependence between the parameters of accuracy and prime cost of technological processes of edge cutting machining. Formulas for determining the magnitude of change in parameters are obtained.*

**Key words:** mechanical processing, processing accuracy, processing prime cost.

**References**

1. Eleckih P. E. Evolution of technological modes [E`volyuciya texnologicheskix ukladov]. Aktual'nye voprosy ekonomiki i informacionnyh tekhnologij: sbornik tezisov i statej dokladov 59-oj nauchnoj konferencii aspirantov, magistrantov i studentov BSUIR. Minsk. 2023. Pp. 332–334. URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/52906> (date of treatment: 18.02.2025).
2. Ostanin V. A. Technology in the evolution of technological modes: monograph [Tekhnika v evolyucii tekhnologicheskix ukladov: monografiya]. Under the editorship Yachina S. E. Vladivostok : Publishing House Far Eastern Federal University. 2023. 185 p. DOI: 10.24866/7444-5523-1. EDN LAWVEX
3. Pan'shina O. Yu. Methods and models for managing the change of technological structures in mechanical engineering : synopsis of a thesis... of PhD in Engineering [Metody i modeli upravleniya smenoi tekhnologicheskix ukladov v ma-shinostroenii : avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskix nauk]. Ufa, 2009. 16 p. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01003478923> (date of treatment: 18.02.2025). EDN NLBFQN
4. Buldygin S. S. The concept of industrial revolution: from its emergence to the present day [Konceptsiya promyshlennoj revolyucii: ot poyavleniya do nashih dneij]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. No. 420. Pp. 91–95. DOI: 10.17223/15617793/420/12. EDN ZGPXUZ
5. Averina I. S. Industrial revolution and technological structure: essential characteristics, similarities and distinctive features [Promyshlennaya revolyuciya i tekhnologicheskij ukhad: sushchnostnye harakteristiki, skhodstva i otlichitel'nye cherty]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. 2021. Vol. 23. No. 1. Pp. 52–63. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2021.1.4. EDN ARJOJK
6. Filatov V. V., Ramazanov I. A., Bezpалov V. V., Fedoruk S. Yu. Quality management based on the Deming-Shewhart cycle in the context of change [Upravlenie kachestvom na osnove cikla Deminga — Shuxarta v usloviyax izmenenij]. Journal of Applied Research. 2022. Vol. 4. No. 8. Pp. 336–341. DOI: 10.47576/2712-7516\_2022\_8\_4\_336. EDN QUJPEN

7. Denisova Ya. V. *Quality management of manufacturing processes of mechanical engineering products in the network* [Upravlenie kachestvom processov proizvodstva produkcii mashinostroeniya v seti]. Omsk Scientific Bulletin. 2024. No. 1 (189). Pp. 28–34. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-28-34. EDN CBZOQE

8. Kunakov E. P. *Improving the quality management system of mechanical engineering production based on the development of the PDCA cycle : synopsis of a thesis ... of PhD in Engineering* [Sovershenstvovanie sistemy menedzhmenta kachestva mashinostroitel'nogo proizvodstva na osnove razvitiya cikla PDCA : avtoref. diss. ... kand. texn. nauk]. Irkutsk : FSBEI HE "Irkutskij nacional'nyj issledovatel'skij tekhnicheskij universitet", 2024. 126 p. URL: <https://www.istu.edu/deyatelnost/nauka/dissertatsii/elementy/74846> (date of treatment: 18.02.2025). EDN PBZHFM

9. Pipkin Yu. V., Zinchenko A. M. *Improving the accuracy of edge cutting machining as a driver for the implementation of innovative systems of machine tools using the example of plane milling* [Povyshenie tochnosti mekhanicheskoy lezviyjnoj obrabotki kak drajver vnedreniya innovacionnyh sistem stanochnyh prispособlenij na primere frezerovaniya ploskostej]. Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh processov i oborudovaniya promyshlennogo proizvodstva : sbornik tezisov dokladov. Alchevsk : FSBEI HE "DonSTU". 2023. Pp. 81–83. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_57629112\\_31835000.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_57629112_31835000.pdf) (date of treatment: 18.02.2025). EDN: NETJLB

10. Pikalova M. V., Zheltobryuhova O. E., Onopchenko V. N. *Initial conditions for adjusting modes of planes milling considering the force closure of workholding fixture* [Nachal'nye usloviya dlya korrrektirovki rezhimov frezerovaniya ploskostej s uchetom silovogo zamykaniya stanochnogo prispособleniya]. Knowledge-intensive technologies and equipment in industry and building. 2024. No. 5(79). Pp. 86–95. URL: [download/elibrary\\_75108769\\_89099862.pdf](download/elibrary_75108769_89099862.pdf) (date of treatment: 18.02.2025). EDN XIGCVX

11. Kartavov S. A. *Mechanical engineering technology (special part)* [Tekhnologiya mashinostroeniya (special'naya chast')]. K. : Vishha shkola. Golovnoe izd-vo, 1984. 272 p. (rus)

12. Krejdich E. A., Skuratov D. L., Ryazanov A. I. *Standardization of accuracy of mechanical engineering production : a study letter*. [Normirovanie tochnosti mashinostroitel'nogo proizvodstva: uchebnoe posobie]. Samara : Samara University, 2021. 115 p. URL: <https://e.lanbook.com/book/256916> (date of treatment: 18.02.2025). Access mode: for authorized users.

13. Efimov V. V. *Improving the quality of products, processes, resources: a study letter* [Uluchshenie kachestva produkcii, processov, resursov : uchebnoe posobie] M. : Kompaniya KnoRus. 2007. 223 p. (rus) EDN QRZOBL

14. *Geometric constructions of curved lines : a study guide* [Geometricheskie postroeniya krivykh linij : uchebno-metodicheskoe posobie]. Contrib. Shustikova T. V., Sergeeva. I. V. Vladivostok : Publishing House Far Eastern Federal University, 2019. 27 p. URL: [https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/1f3/Shustikova\\_T.V.,\\_Sergeeva\\_I.V.\\_Geometricheskie\\_postroeniya\\_krivykh\\_linij.pdf](https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/1f3/Shustikova_T.V.,_Sergeeva_I.V._Geometricheskie_postroeniya_krivykh_linij.pdf) (date of treatment: 18.02.2025).

15. Denisova O. V. *Curved lines: guidelines for performing graphic works* [Krivyje linii: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu graficheskikh rabot]. Orenburg : SEI "OSU", 2008. 22 p. URL: <http://elib.osu.ru/handle/123456789/7302> (date of treatment: 18.02.2025).

16. Calculation of savings on accuracy : electronic program. URL: <https://disk.yandex.ru/d/Cy4aJBjY-OU4Ew> (date of treatment: 18.02.2025).

17. Calculation of costs on accuracy : electronic program. URL: <https://disk.yandex.ru/d/IAkok51X2kKEgw> (date of treatment: 18.02.2025).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Zinchenko Andrey Mikhailovich**, PhD in Economic Sciences, Assistant Professor, Acting Head of the Department of Technology and Machine-building Production  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

---

---

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

---

---

***Belosertsev Valery Nikolaevich***, PhD in Engineering, Senior Researcher of the Advanced Research Department  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia

***Pipkin Yury Vladimirovich***, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Technology and Machine-building Production  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Russia,  
e-mail: [tmsi\\_pipkin@mail.ru](mailto:tmsi_pipkin@mail.ru)