

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Владимирович Виноградов ⁽¹⁾, Дмитрий Вячеславович Виноградов ⁽²⁾

⁽¹⁾*Студент 5 курса*

Российская Федерация, г. Москва, Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э.Баумана, кафедра «Инструментальная техника и технологии»

⁽²⁾*Научный руководитель: Д.В.Виноградов,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

В статье изложены основные положения разработанной авторами методики расчета оптимальной скорости резания и стойкости режущих инструментов, а также выбора типа токарного станка, представлено программное обеспечение, позволяющее определить: тип токарного станка, на котором необходимо обрабатывать заданную партию данных деталей; тип деталей, которые целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ; размер партии обрабатываемых деталей, при котором целесообразно производить обработку на станке с ЧПУ.

В настоящее время на машиностроительных предприятиях широко внедряют современные станки с числовым программным управлением. Эти станки обладают рядом преимуществ по сравнению со станками с ручным управлением, но имеют и недостатки. В одних производственно-экономических условиях станки с ЧПУ будут экономически выгодны, а в других – нет. Вопрос, обработку каких деталей следует переводить на станки с ЧПУ, часто решается на производстве без опоры на конкретные экономические результаты. В настоящей работе делается попытка разработать методику выбора типа токарного станка для обработки конкретной детали.

С целью решения поставленной задачи было использовано выражение для определения себестоимости обработки одной детали C :

$$C = C_{об} \left(\frac{t_{п.з}}{N} + t_{учм.дет} + t_o + t_{всп} + \frac{t_{см.ин}}{N_T} \right) + \frac{C_{ин}}{N_T},$$

где C – себестоимость обработки; $C_{об}$ – стоимость минуты работы станка, руб./мин; $C_{ин}$ – стоимость инструмента, приведенная к одной режущей кромке, руб.; $t_{п.з}$ – подготовительно-заключительное время, мин; $t_{учм.дет}$ – время установки и снятия детали, мин; t_o – основное время работы, мин; $t_{всп}$ – вспомогательное время, связанное с переходом, мин; $t_{см.ин}$ – время установки и снятия инструмента, мин; N – количество обрабатываемых деталей (партия), шт.; N_T – количество деталей, обработанных за период стойкости, шт.

Выразив t_o и N_T через скорость резания и обозначив $\left(\frac{C_V K_V}{t^x S^y} \right)^{\frac{1}{m}} = K$, а

$\frac{S}{\pi D l_p} = K_S$, получим:

$$C = C_{об} \left(\frac{t_{п.з}}{N} + t_{учм.дет} + t_{всп} \right) + \frac{C_{об}}{K_S V} + \frac{(C_{об} t_{см.ин} + C_{ин}) V^{\left(\frac{1}{m}-1\right)}}{K K_S},$$

где t – глубина резания, мм; S – подача, мм/об; l_p – длина обрабатываемой поверхности, мм; C_V, K_V, m – коэффициенты и показатель степени в выражении $V = \frac{C_V K_V}{t^x S^y T^m}$.

Первая часть выражения, $C_{об} \left(\frac{t_{п.з}}{N} + t_{учм.дет} + t_{всп} \right)$, не зависит от скорости

резания. Эту часть можно назвать постоянной составляющей себестоимости.

Вторая часть, $C_{об} \frac{\pi D l_p}{S V}$, обратно пропорциональна скорости резания, а третья –

$\frac{(C_{об} t_{см.ин} + C_{ин}) V^{\left(\frac{1}{m}-1\right)}}{K K_S}$ – прямо пропорциональна скорости резания в степени

$\left(\frac{1}{m} - 1 \right)$. Вторая и третья части уравнения образуют переменную составляющую

себестоимости обработки $C_{перем}$. При увеличении скорости резания одна часть $C_{перем}$ уменьшается, а другая увеличивается (т.к. m находится в пределах 0,15–0,4), что обусловлено, с одной стороны, снижением основного времени обработки, а с другой – увеличением затрат на режущий инструмент и времени простоя оборудования при замене изношенного инструмента.

Анализ зависимости себестоимости от скорости резания позволяет получить выражения для определения скорости резания V_c и стойкости режущего инструмента T , обеспечивающих минимальную себестоимость, а также для минимальной себестоимости обработки C [1, 2]:

$$V_c = \left(\frac{C_{об} K}{(C_{об} t_{см.ин} + C_{ин}) \left(\frac{1}{m} - 1 \right)} \right)^m = \left(\frac{K}{\left(t_{см.ин} + \frac{C_{ин}}{C_{об}} \right) \left(\frac{1}{m} - 1 \right)} \right)^m ; \quad T = \left(t_{см.ин} + \frac{C_{ин}}{C_{об}} \right) \left(\frac{1}{m} - 1 \right);$$

$$C = C_{об} \left(\frac{t_{н.з}}{N} + t_{уст.дем} + t_{всн} \right) + \frac{C_{об} \left(t_{см.ин} + \frac{C_{ин}}{C_{об}} \right)^m \left(\frac{1}{m} - 1 \right)^m}{K^m K_S (1 - m)}.$$

Данные выражения позволяют провести анализ влияния типа станка на величину оптимальной скорости резания и стойкости режущего инструмента. Для такого анализа введем коэффициент ускорения $K_{уск}$ как отношение скоростей резания при разных условиях обработки:

$$K_{уск} = \frac{V_{c2}}{V_{c1}},$$

где V_{c1} и V_{c2} – скорости, обеспечивающие минимальную себестоимость при работе на станке с ручным управлением и с ЧПУ соответственно.

При переносе обработки со станка с ручным управлением на станок с ЧПУ происходит увеличение стоимости станко-минуты $C_{об}$. При этом остальные величины, входящие в выражение для определения скорости резания, остаются неизменными. Тогда коэффициент ускорения

$$K_{уск} = \frac{V_{c2}}{V_{c1}} = \left(\frac{t_{см.ин1} + \frac{C_{ин}}{C_{об1}}}{t_{см.ин2} + \frac{C_{ин}}{C_{об2}}} \right)^m.$$

При небольшом времени смены инструмента выражение для расчета коэффициента ускорения упрощается:

$$K_{уск} = \left(\frac{C_{об2}}{C_{об1}} \right)^m = \frac{V_{c2}}{V_{c1}}.$$

Таким образом, при переводе обработки на станок с ЧПУ скорость резания должна быть увеличена, причем чем дороже станок, тем быстрее надо работать, чтобы экономить «дорогое» время.

Другими словами, если стоимость станко-минуты возросла в N раз, то скорость резания необходимо увеличить в N^m раз. Например, при увеличении стоимости нормочаса в 2 раза скорость резания должна быть увеличена на 14%, а если стоимость выросла в 10 раз, то скорость должна увеличиться на 58%. Зависимость стоимости работы оборудования на оптимальную скорость резания представлена на рис. 1.

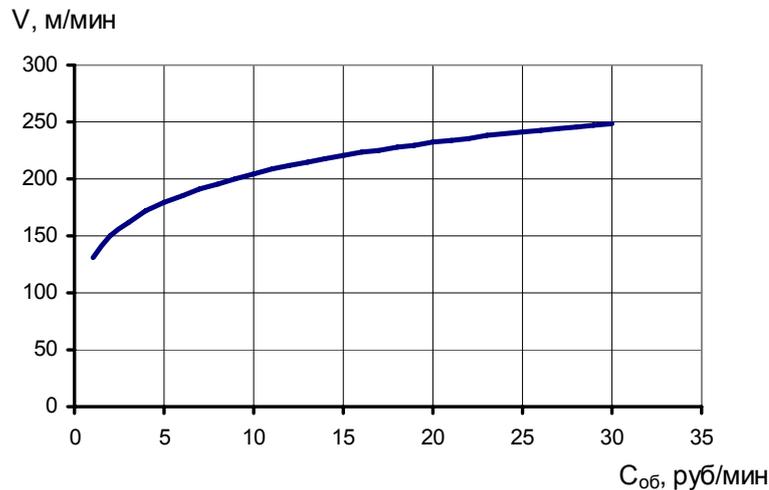


Рис. 1. Зависимость оптимальной скорости резания от стоимости станко-минуты

Изменение скорости резания ведет к изменению стойкости режущего инструмента. Зависимость стойкости, обеспечивающей минимальную себестоимость, приведена на рис. 2.

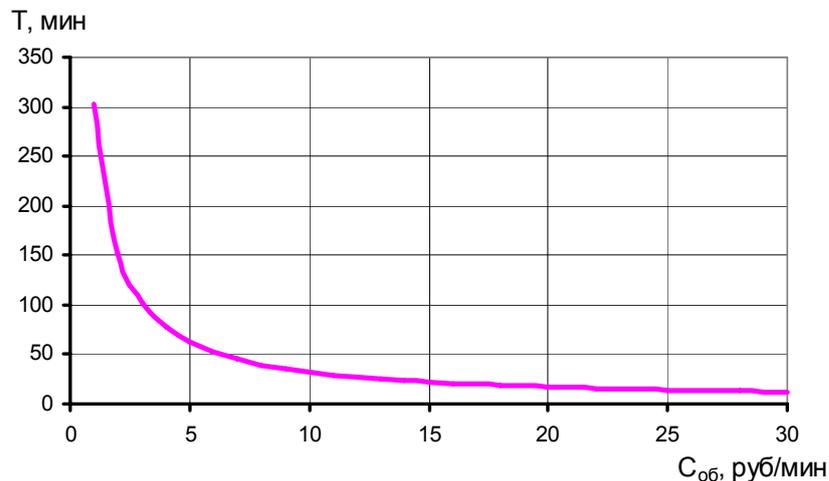


Рис. 2. Зависимость стойкости, обеспечивающей минимальную себестоимость, от стоимости станко-минуты

Для анализа влияния изменения типа используемого оборудования на величину себестоимости найдем разницу в себестоимостях обработки на станке с ручным управлением (индекс «1») и с ЧПУ (индекс «2»):

$$C_1 - C_2 = C_{об.1} \left(\frac{t_{н.з}}{N} + t_{учм.дем} + t_{всн.1} \right) - C_{об.2} \left(\frac{t_{н.з} + t_{np}}{N} + t_{учм.дем} + t_{всн.2} \right) +$$

$$+ \frac{C_{об.1} \left(t_{см.ин} + \frac{C_{ин}}{C_{об.1}} \right)^m \left(\frac{1}{m} - 1 \right)^m}{K^m K_S (1-m)} - \frac{C_{об.1} \left(t_{см.ин} + \frac{C_{ин}}{C_{об.1}} \right)^m \left(\frac{1}{m} - 1 \right)^m}{K^m K_S (1-m)}$$

Если допустить, что при переходе на станок с ЧПУ время установки детали, глубина резания и подача не изменяются, а подготовительно-заключительное время увеличивается на время введения программы в ЧПУ и ее отладки, то:

$$C_1 - C_2 = \frac{t_{н.з}}{N} (C_{об.1} - C_{об.2}) + (C_{об.1} t_{всн.1} - C_{об.2} t_{всн.2}) - \frac{C_{об.2} t_{np}}{N} +$$

$$+ \frac{(1-m)^{m-1}}{m^m K^m K_S} (C_{об.1}^{1-m} (t_{см.ин} C_{об.1} + C_{ин})^m - C_{об.2}^{1-m} (t_{см.ин} C_{об.2} + C_{ин})^m)$$

Анализ выражения показывает, что все его слагаемые, кроме второго – $(C_{об.1} t_{всн.1} - C_{об.2} t_{всн.2})$, отрицательны. Поэтому можно сделать следующий вывод: добиться экономического эффекта от перевода операции точения на станок с ЧПУ можно только за счет снижения вспомогательного времени.

Максимально возможное вспомогательное время можно определить по формуле

$$t_{всп.чпу} < \frac{C_{об.1}}{C_{об.2}} \left(t_{всн.1} + \frac{t_{н.з}}{N} \right) - \frac{t_{н.з} + t_{np}}{N} + \frac{(1-m)^{m-1}}{m^m K^m K_S} \frac{C_{об.1}^{1-m} (t_{см.ин} C_{об.1} + C_{ин})^m - C_{об.2}^{1-m} (t_{см.ин} C_{об.2} + C_{ин})^m}{C_{об.2}}$$

из которой видно, что вспомогательное время должно быть тем меньше, чем больше стоимость обслуживания станка с ЧПУ, подготовительно-заключительное время и время ввода программы обработки. Увеличение же стоимости станко-минуты станка с ручным управлением увеличивает

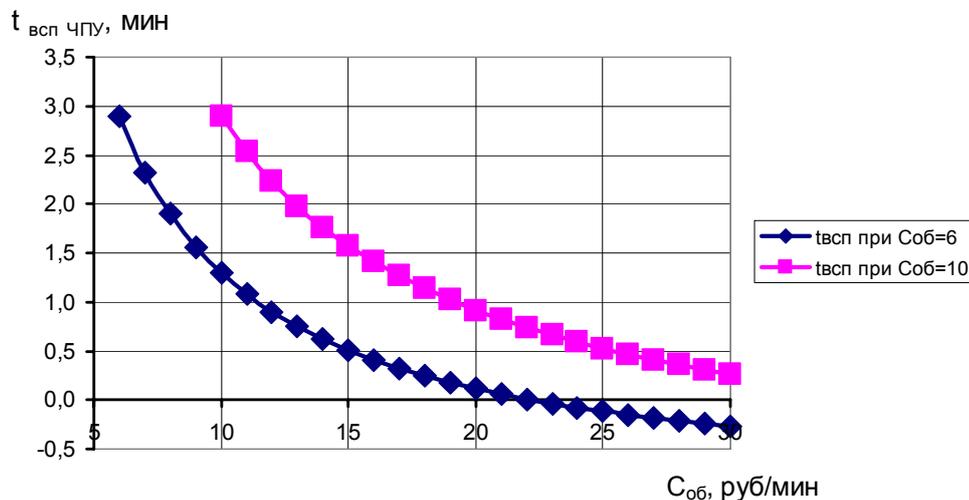


Рис. 3. Зависимость максимально возможного вспомогательного времени, которое необходимо обеспечить при переводе обработки на станок с ЧПУ, от стоимости станко-минуты

максимальное вспомогательное время. Зависимость максимально возможного вспомогательного времени, которое необходимо обеспечить при переводе обработки на станок с ЧПУ, от стоимости станко-минуты при разном $C_{об}$ станка с ЧПУ приведена на рис. 3.

Как видно на рисунке, при некоторой стоимости станко-минуты работы станка с ЧПУ невозможно добиться экономического эффекта от его внедрения – минимальное вспомогательное время становится меньше нуля.

Снижение вспомогательного времени при переводе обработки на станок с ЧПУ возможно за счет снижения вспомогательного времени, связанного с переходом, в основном – времени настройки инструментов на размер.

При токарной обработке возможны три схемы организации обработки.

1. Обработка на станке с ручным управлением по схеме «единичного» производства – все поверхности детали обрабатываются без переустановки. При этом настройка инструмента на размер производится для каждой поверхности каждой детали. Вспомогательное время, приведенное к одной детали, может быть определено так: $t_{всп} = \frac{t_{н.р.} \cdot N \cdot N_{п} + t_{см.д.} \cdot N}{N}$, где $t_{н.р.}$ и $t_{см.д.}$ – время настройки на размер и смены детали, мин, $N_{п}$ и N – количество обрабатываемых поверхностей и деталей в партии соответственно.

2. Обработка на станке с ручным управлением по схеме «массового» производства – обрабатывается одна поверхность на всех деталях партии, затем вторая поверхность на всех деталях и т. д. Вспомогательное время, приведенное к одной детали: $t_{всп} = \frac{t_{н.р.} \cdot N_{п} + t_{см.д.} \cdot N \cdot N_{п}}{N}$.

3. Обработка на станке с ЧПУ по схеме «единичного» производства. Вспомогательное время в этом случае $t_{всп} = \frac{t_{н.р.} \cdot N_{ин} + t_{см.д.} \cdot N}{N}$, где $N_{ин}$ – количество инструментов (если один инструмент обрабатывает только одну поверхность, то $t_{всп} = \frac{t_{н.р.} \cdot N_{п} + t_{см.д.} \cdot N}{N}$).

Для расчета себестоимости обработки на различных станках была разработана компьютерная программа, интерфейс которой приведен на рис. 4.

Эта программа позволила для выбранной детали произвести расчет оптимальной скорости резания и себестоимости обработки для станка с ручным управлением и с ЧПУ и определить:

- тип токарного станка, на котором необходимо обрабатывать заданную партию данных деталей;
- детали, которые целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ или на станках с ручным управлением;

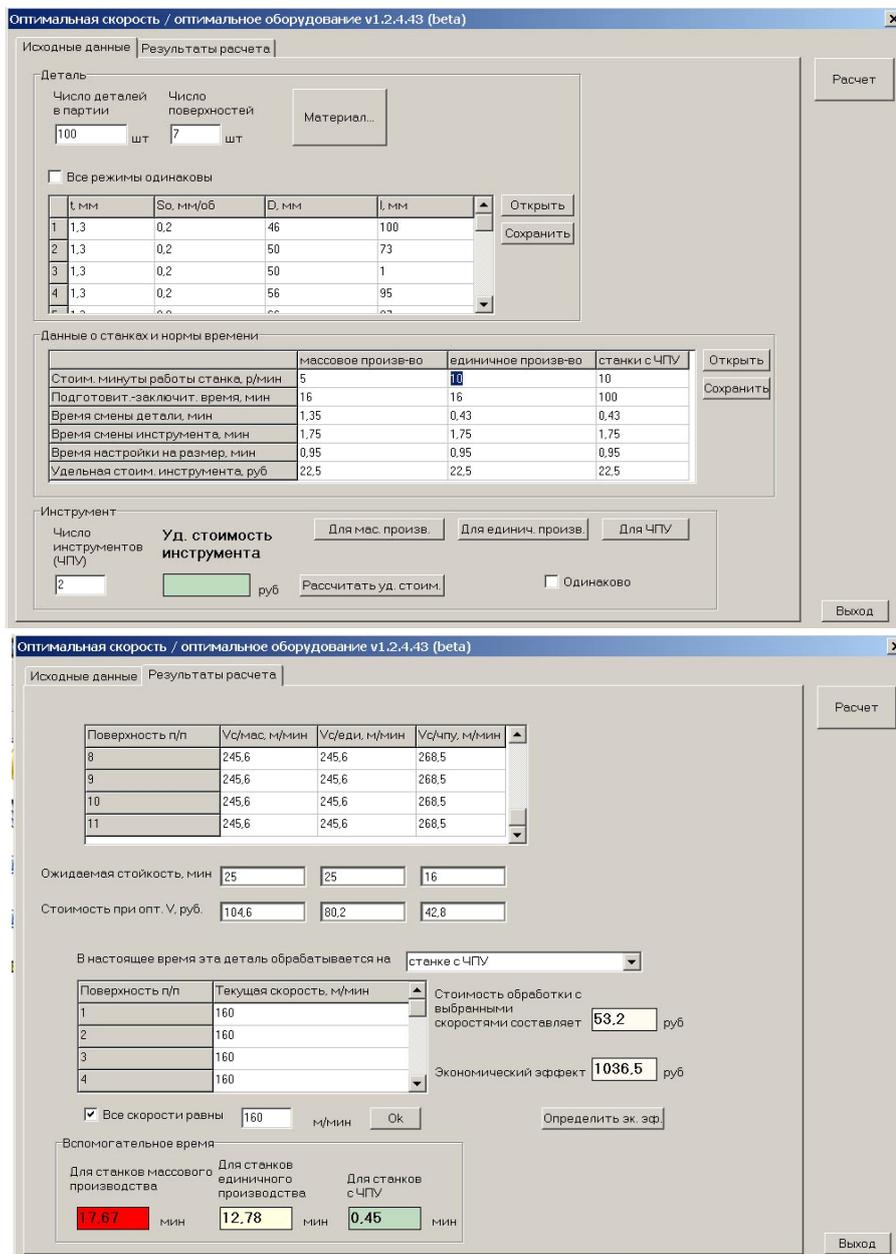


Рис. 4. Интерфейс программы для выбора типа оборудования и расчета оптимальной скорости резания и стойкости

- размер партии обрабатываемых деталей, при котором целесообразно производить обработку на станке с ЧПУ.

Первая задача решается программой автоматически – она рассчитывает себестоимость обработки для заданной детали. Для решения второй задачи следует построить зависимость себестоимости обработки от количества

обрабатываемых поверхностей на детали (пример показан на рис. 5). Для решения третьей задачи необходимо построить зависимость себестоимости обработки от величины партии деталей (пример – на рис. 6).

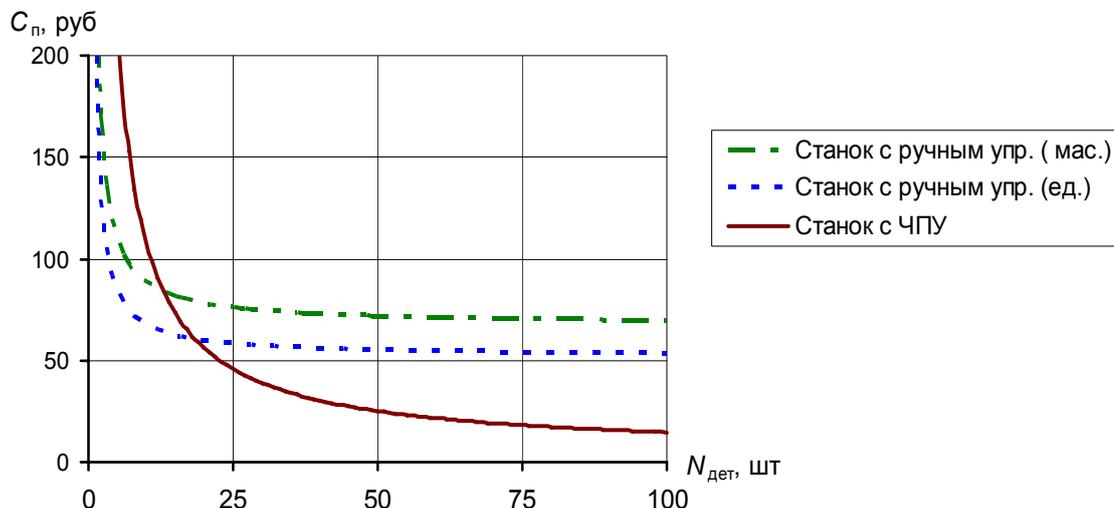


Рис. 5. Зависимость себестоимости обработки от количества обрабатываемых деталей для станков с ручным управлением и ЧПУ ($N_{пов} = 5$)

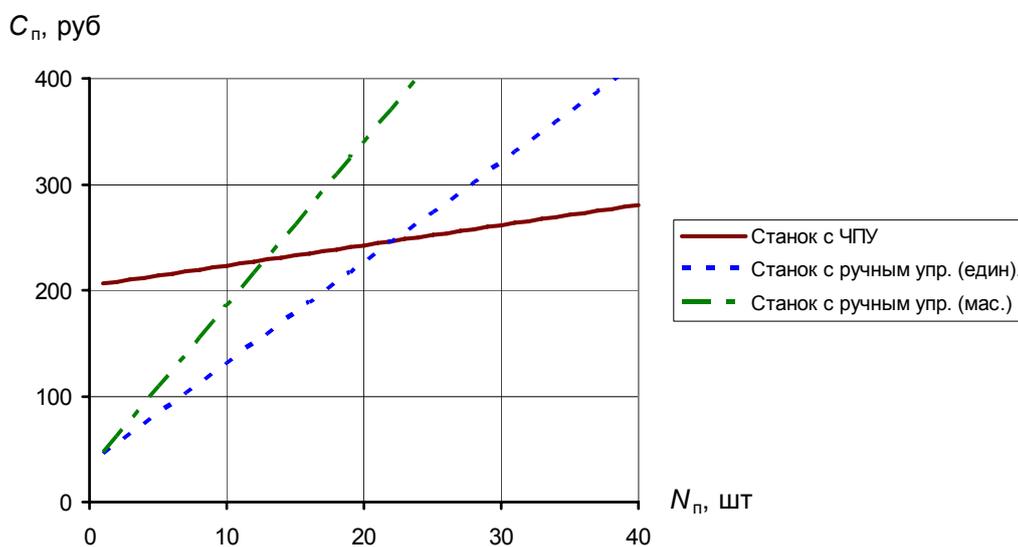


Рис. 6. Зависимость себестоимости обработки от количества обрабатываемых поверхностей для станков с ручным управлением и ЧПУ ($N = 5$)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика и программное обеспечение позволяют находить оптимальное значение скорости резания и выявлять целесообразность

перевода выполнения операции на станок с ЧПУ, что в итоге позволяет снизить себестоимость обработки. Кроме того, возможно определить:

- тип токарного станка, на котором необходимо обрабатывать заданную партию данных деталей;

- детали, которые целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ или на станках с ручным управлением;

- размер партии обрабатываемых деталей, при котором целесообразно производить обработку на станке с ЧПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рывкин Г.М. Инструментальная оснастка для автоматизированного производства. – М: Центральное бюро технической информации, 1962.

2. Петрушин С.И. Экономически обоснованный срок службы режущих инструментов / Вестник машиностроения. – 2007, №4. – С.40–45.