

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НАРУЖНОГО ПРОДОЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ И СВЕРЛЕНИЯ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

А.А. Домнышев

domnyyshevaa@student.bmstu.ru
SPIN-код: 4142-6977

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены алгоритмы для назначения параметров режима резания для универсального оборудования и оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Описано применение метода линейного программирования для универсального оборудования и оборудования с ЧПУ. На примере наружного продольного точения рассмотрена реализация алгоритма методом линейного программирования. С целью обучения специалистов принципам назначения режимов резания разработаны два приложения для назначения параметров режима резания для операций продольного точения на станках с ЧПУ и сверления спиральными сверлами на универсальном оборудовании на языке Object Pascal в среде Lazarus 1.8.4.

Ключевые слова

Режим резания, оптимизация режима резания, режимные параметры, продольное точение, сверление спиральными сверлами, линейное программирование, металлорежущие станки с ЧПУ, универсальные металлорежущие станки

Поступила в редакцию 03.09.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Назначение рационального режима резания является важной задачей механической обработки, от которой зависят такие параметры, как стойкость инструмента, составляющие силы резания, требуемая мощность, производительность операции, расход режущего инструмента, качество изготавливаемых деталей и их себестоимость.

Назначение параметров режима резания для обработки заготовок на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) существенно отличается от обработки на универсальных станках. На станках с ЧПУ подача, скорость резания, частота вращения шпинделя, как правило, могут принимать любые значения в интервалах, заданных технологическими возможностями оборудования. В то время как на универсальных станках параметры, например, частота вращения шпинделя или подача, могут принимать только дискретные значения.

Курс «Основы процессов резания и режущий инструмент», преподаваемый на кафедре «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана, предусматривает выполнение двух домашних заданий: «Назначение режима резания для операции наружного продольного точения на станках с ЧПУ» и «Назначение параметров режима резания для операции сверления спиральными

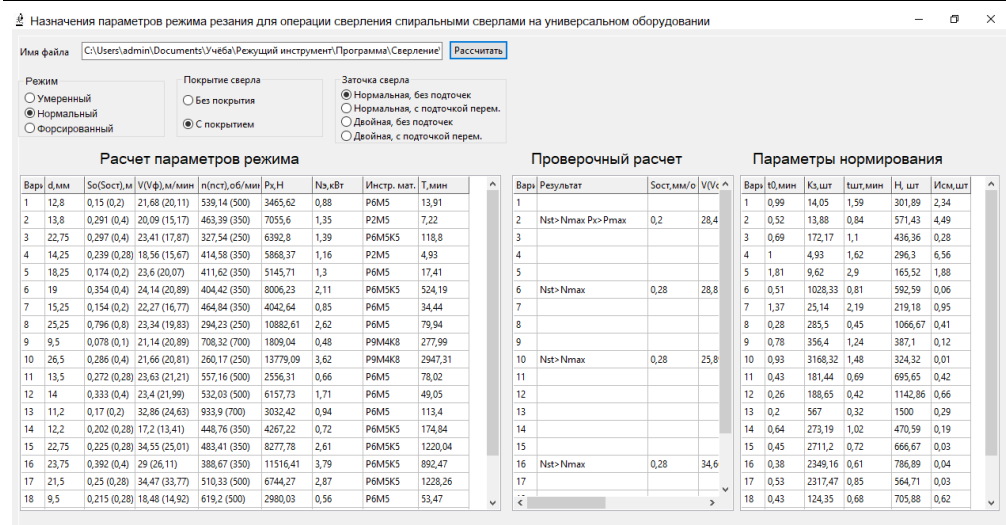
ми сверлами». Существующие справочники и литературные источники [1–3] предназначены для решения сугубо производственных задач и слабо подходят для объяснения принципов назначения режимов резания обучающимся по промышленным специальностям. Применяемые методические пособия для обучения специалистов назначению параметров режима резания [4–6] требуют значительных затрат времени на вычисления по экспоненциальным зависимостям и выбору табличных значений коэффициентов для их использования в формулах. Оптимизация режима резания является трудоемкой задачей, поскольку при изменении всего лишь одного параметра необходимо выполнять все расчеты заново, в то же время учащимся необходимо понимать, к каким результатам приведет изменение исходных данных. В методических целях были созданы два приложения на языке Object Pascal для расчета массива различных вариантов исходных данных (рис. 1). В приложениях использовались расчетные формулы и коэффициенты из [6].

Входными данными для приложений являются: материал, твердость, состояние поверхности, геометрические характеристики заготовки, требуемая точность обработки, способ закрепления заготовки, характеристики режущего инструмента, модель станка. Выходными данными являются: параметры режима резания (подача S_0 , скорость резания v , частота вращения шпинделя n , сила резания P , требуемая мощность N), параметры нормирования, заключение о возможности реализации операции на заданном оборудовании. Приложения работают с массивом данных, который может содержать множество вариантов различных исходных параметров, что позволяет получить информацию о том, как изменения одного или нескольких входных параметров влияют на результат.

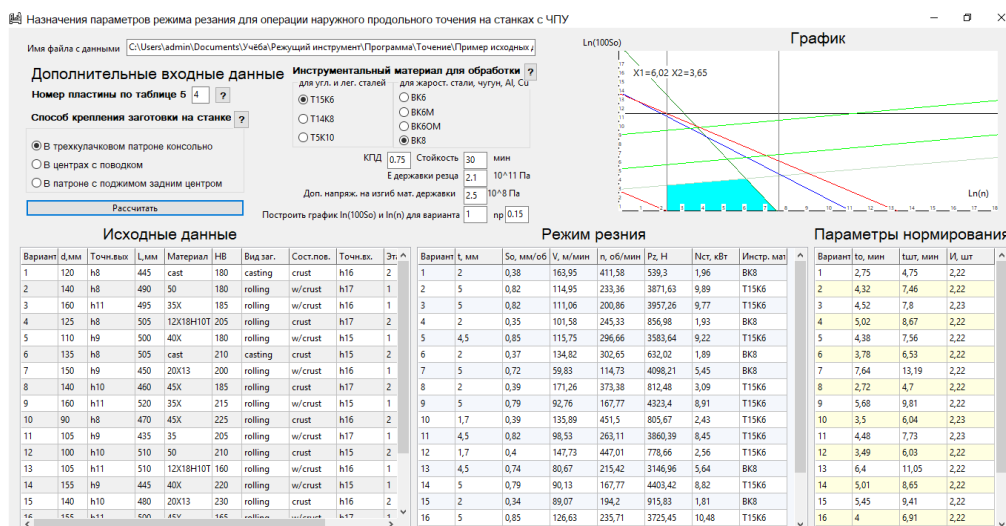
При тестировании приложения для «...продольного точения на станках с ЧПУ» на этапе проверочного расчета в некоторых случаях не удавалось переназначить параметры режима, которые выходили за пределы, установленные используемым оборудованием. Наиболее распространенная причина переназначения параметров — значение мощности N , требуемой для реализации процесса резания с назначенными параметрами, оказывалось больше, чем мощность станка $N_{ст}$. В приложении для «...сверления спиральными сверлами на универсальном оборудовании» такая проблема возникала значительно реже.

При корректировке значений параметров режима в приложении для «...сверления спиральными сверлами на универсальном оборудовании» значение S_0 принималось соседнее из ряда паспортных значений подачи (рис. 2, а, рис. 3, а), также пересчитывалось и округлялось до стандартного значения частота вращения шпинделя n , далее рассчитывались остальные параметры (скорость резания v , мощность N , параметры нормирования). При необходимости операция повторялась.

Автоматизация расчета режима резания наружного продольного точения ...



а



б

Рис. 1. Интерфейс приложений:

а — «Назначение параметров режима резания для операции сверления спиральными сверлами на универсальном оборудовании»; б — «Назначение параметров режима резания для операции наружного продольного точения на станках с ЧПУ»

Если в результате расчета параметров режима резания для операции продольного точения одна из компонент силы резания P_z , P_x , P_y превышает соответствующую ей допускаемую, необходимо уменьшить снимаемы припуск t или значение подачи S_0 . При превышении значения мощности станка $N_{ст}$ предлагается выбрать другое оборудование. Однако в условиях реального производства часто это бывает невозможно. Очевидным решением является уменьшение скорости резания, однако простое снижение скорости приводит к тому, что стой-

кость режущего инструмента T становится больше нормального периода стойкости, то есть рассчитанный режим резания не является рациональным или оптимальным. Оптимизация режимов резания может проводиться по разным критериям, например, по критериям минимальной себестоимости, максимальной производительности, максимальной надежности работы инструмента и др. От принятого критерия оптимизации зависит алгоритм или методика расчета режима резания.

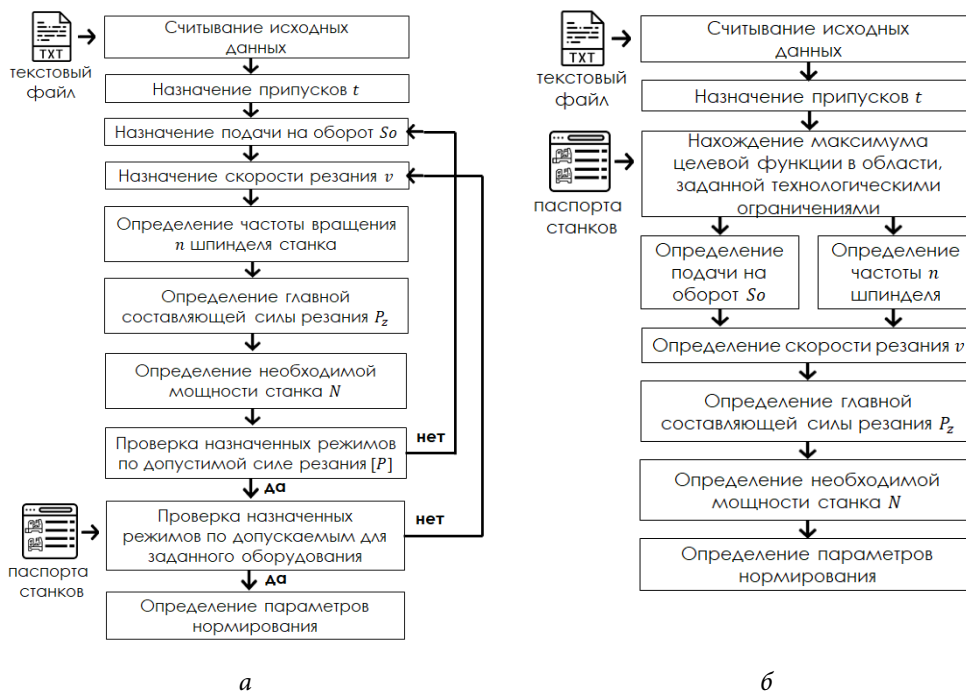


Рис. 2. Алгоритм:

a — для универсального оборудования без использования метода линейного программирования (реализован в приложении для «...сверления спиральными сверлами на универсальном оборудовании»); *б* — для оборудования с ЧПУ с использованием метода линейного программирования (реализован в приложении для «...продольного точения на станках с ЧПУ»)

Рассмотрим оптимизацию режима резания по критерию максимальной производительности методом линейного программирования на примере продольного точения [7, с. 35–37]. Схема реализации данного метода представлена на рис. 2, б. В соответствии с данным критерием режим резания должен быть таким, чтобы обеспечить минимальное штучное время обработки $t_{шт}$ детали, т. е.

$$t_{шт} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Штучное время обработки при точении определяется по следующей формуле

$$t_{шт} = \frac{l(C_\tau + T_{см}/T)}{nS_0},$$

где l — длина резания с учетом врезания и перебега; C_τ — общий коэффициент, учитывающий вспомогательное время и время на организационное обслуживание; $T_{см}$ — время на замену инструмента и настройку станка; T — стойкость инструмента. Для выполнения условия (1) требуется, чтобы произведение частоты вращения шпинделя n и подачи S_0 было максимальным:

$$nS_0 \rightarrow \max.$$

Так как режимные параметры должны быть максимально возможными, возникает необходимость рассмотрения технологических ограничений. Для реализации алгоритма были рассмотрены следующие технологические ограничения:

- 1) стойкость режущего инструмента;
- 2) мощность привода вращения шпинделя станка;
- 3) шероховатость обработанной поверхности;
- 4) предельные значения скорости вращения шпинделя;
- 5) предельные значения скорости подачи;
- 6) предельные значения подачи;
- 7) допустимая деформация инструмента;
- 8) прогиб заготовки.

Представим данные ограничения в математическом виде для последующей программной реализации алгоритма.

Стойкость режущего инструмента (ограничивает скорость резания). Назначенные режимные параметры должны обеспечивать стойкость инструмента не ниже нормативной, что обеспечивается выполнением следующего условия (неравенства):

$$v \leq \frac{C_v K_v}{T^{0,4} t^{x_v} S_0^{y_v}}, \quad (2)$$

где C_v, x_v, y_v, K_v — эмпирические коэффициенты, определяемые условиями обработки; T — нормативный период стойкости. Скорость резания v определяется частотой вращения шпинделя n :

$$v = \frac{\pi d n}{1000}. \quad (3)$$

где d — диаметр обрабатываемой заготовки. Подставляя выражение (3) в неравенство (2) и умножая числитель и знаменатель правой части на 100^{y_v} , получим

$$\frac{\pi d n}{1000} \leq \frac{C_v K_v}{T^{0,4} t^{x_v} S_0^{y_v}} \frac{100^{y_v}}{100^{y_v}}.$$

Преобразуем неравенство к следующему виду:

$$n(100S_0)^{Y_v} \leq \frac{C_v K_v 100^{Y_v} \cdot 1000}{T^{0,4} t^{x_v} \pi d}.$$

Логарифмируем обе части неравенства и вводим замену

$$x_1 = \ln n;$$

$$x_2 = \ln(100S_0);$$

$$b_1 = \ln \left(\frac{C_v K_v 100^{Y_v} \cdot 1000}{T^{0,4} t^{x_v} \pi d} \right).$$

Окончательно имеем

$$x_1 + Y_v x_2 \leq b_1. \quad (4)$$

Мощность привода вращения шпинделя станка. Мощность резания не должна превышать паспортное значение мощности оборудования:

$$N_{\text{ст}} \geq \frac{P_z \nu}{6 \cdot 10^4 \eta_{\text{ст}}}, \quad (5)$$

где P_z — главная составляющая силы резания; $\eta_{\text{ст}}$ — КПД оборудования. Главная составляющая силы резания определяется как

$$P_z = \frac{C_p t^{X_p} S_0^{Y_p} K_H}{v^{n_p}}, \quad (6)$$

где C_p , X_p , Y_p , K_H , n_p — эмпирические коэффициенты, определяемые условиями обработки. Подставляя выражения (3) и (6) в неравенство (5) и умножая числитель и знаменатель правой части на 100^{Y_p} , получим:

$$N_{\text{ст}} \geq \frac{C_p t^{X_p} S_0^{Y_p} K_H \cdot 1000^{n_p}}{6 \cdot 10^4 \eta_{\text{ст}} (\pi d n)^{n_p}} \frac{\pi d n}{1000} \frac{100^{Y_p}}{100^{Y_p}}.$$

Преобразуем неравенство к следующему виду:

$$n^{1-n_p} (100S_0)^{Y_p} \leq \frac{N_{\text{ст}} \cdot 6 \cdot 10^4 \eta_{\text{ст}} (\pi d n)^{n_p} \cdot 1000 \cdot 100^{Y_p}}{C_p t^{X_p} K_H \cdot 1000^{n_p} \pi d}.$$

Логарифмируем обе части неравенства, используем замену $x_1 = \ln n$ и $x_2 = \ln(100S_0)$, вводим замену b_2 для правой части неравенства:

$$b_2 = \ln \left(\frac{N_{\text{ст}} \cdot 6 \cdot 10^4 \eta_{\text{ст}} (\pi dn)^{n_p} \cdot 1000 \cdot 100^{Y_p}}{C_p t^{X_p} K_H \cdot 1000^{n_p} \pi d} \right).$$

Окончательно получим

$$(1 - n_p) x_1 + Y_p x_2 \leq b_2. \quad (7)$$

Шероховатость обработанной поверхности. Если рассматриваемая операция является окончательной и требуемая шероховатость задана, необходимо проверить режимные параметры по критерию получения заданной шероховатости:

$$Ra \geq \frac{C_R S_0^{Y_R} t^{X_R}}{v^{n_R}}, \quad (8)$$

где C_R, x_R, Y_R, n_R — эмпирические коэффициенты, определяемые условиями обработки. Подставляя выражение (3) в неравенство (8) и умножая числитель и знаменатель правой части на 100^{Y_R} , получим:

$$Ra \geq \frac{C_R S_0^{Y_R} t^{X_R} \cdot 1000^{n_R}}{(\pi dn)^{n_R}} \frac{100^{Y_R}}{100^{Y_R}}.$$

Преобразуем неравенство к следующему виду

$$n^{-n_R} (100S_0)^{Y_R} \leq \frac{Ra \cdot 100^{Y_R} (\pi d)^{n_R}}{C_R t^{X_R} \cdot 1000^{n_R}}.$$

Логарифмируем обе части неравенства, используем замену $x_1 = \ln n$ и $x_2 = \ln(100S_0)$, вводим замену b_3 для правой части неравенства:

$$b_3 = \ln \left(\frac{N_{\text{ст}} \cdot 6 \cdot 10^4 \eta_{\text{ст}} (\pi dn)^{n_p} \cdot 1000 \cdot 100^{Y_p}}{C_p t^{X_p} K_H \cdot 1000^{n_p} \pi d} \right).$$

Окончательно получим

$$-n_R x_1 + Y_R x_2 \leq b_3. \quad (9)$$

Предельные значения скорости вращения шпинделя. Найденное значение скорости вращения шпинделя n должно находиться в диапазоне, указанном в паспорте оборудования.

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}.$$

Используя замену $x_1 = \ln n$, получим:

$$x_1 \geq \ln n_{\min} = b_4; \quad (10)$$

$$x_1 \leq \ln n_{\max} = b_5. \quad (11)$$

Предельные значения скорости подачи. Скорость подачи также должна находиться в диапазоне, указанном в паспорте оборудования:

$$V_{s\min} \leq V_s \leq V_{s\max}. \quad (12)$$

Скорость подачи определяется:

$$V_s = S_0 n. \quad (13)$$

Подставляя выражение (12) в неравенство (13) и умножая обе части на 100 получим:

$$100V_{s\min} \leq 100S_0 n \leq 100V_{s\max}.$$

Логарифмируем обе части неравенства, используем замену $x_1 = \ln n$ и $x_2 = \ln(100S_0)$, вводим замену b_6, b_7 для правой части неравенства.

$$b_6 = \ln(100V_{s\min});$$

$$x_1 + x_2 \geq b_6; \quad (14)$$

$$b_7 = \ln(100V_{s\max});$$

$$x_1 + x_2 \leq b_7. \quad (15)$$

Предельные значения подачи. Используя максимальные и минимальные значения частоты вращения шпинделя n и скорости подачи V_s , найдем максимальное и минимальное значение подачи:

$$S_{0\min} = \frac{V_{s\min}}{n_{\max}}; \quad S_{0\max} = \frac{V_{s\max}}{n_{\min}};$$

$$S_{0\min} \leq S_0 \leq S_{0\max}.$$

Умножаем все части неравенства на 100, логарифмируем, используем замену $x_2 = \ln(100S_0)$, вводим замену b_8, b_9 :

$$x_2 \geq \ln(100S_{0\min}) = b_8; \quad (16)$$

$$x_2 \leq \ln(100S_{0\max}) = b_9. \quad (17)$$

Допустимая деформация инструмента. Использование ограничения по допустимой деформации инструмента необходимо для подтверждения возможности работы при назначенной глубине резания t и подаче S_0 . Деформация инструмента определяется как

$$f_p \geq \frac{P_z}{j_p}, \quad (18)$$

где j_p — жесткость резца в направлении действия главной составляющей силы резания; f_p — допустимая деформация резца,

$$j_p = \frac{3EI}{l_{вр}^3}, \quad (19)$$

где $l_{вр}$ — вылет резца из резцедержки; E — модуль упругости материала державки резца, I — момент инерции державки прямоугольного сечения. Подставляя выражения (3), (6), (19) в неравенство (18) и умножая числитель и знаменатель правой части на 100^{Y_p} , получим:

$$f_p \geq \frac{C_p t^{X_p} S_0^{Y_p} K_H \cdot 1000^{n_p} l_{вр}^3}{(\pi d n)^{n_p}} \frac{100^{Y_p}}{3EI \cdot 100^{Y_p}}.$$

Преобразуем неравенство к следующему виду:

$$n^{-n_p} (100S_0)^{Y_p} \leq \frac{f_p (\pi d)^{n_p} \cdot 3EI \cdot 100^{Y_p}}{C_p t^{X_p} K_H \cdot 1000^{n_p} l_{вр}^3}.$$

Логарифмируем обе части неравенства, используем замену $x_1 = \ln n$ и $x_2 = \ln(100S_0)$, вводим замену b_{10} для правой части неравенства:

$$b_{10} = \ln \left(\frac{f_p (\pi d)^{n_p} \cdot 3EI \cdot 100^{Y_p}}{C_p t^{X_p} K_H \cdot 1000^{n_p} l_{вр}^3} \right).$$

Окончательно получаем

$$-n_p x_1 + Y_p x_2 \leq b_{10}. \quad (20)$$

Прогиб заготовки. Жесткость заготовки также накладывает ограничения на параметры режима резания. Прогиб обрабатываемой заготовки будет осуществляться равнодействующей двух составляющих P_z и P_y , т. е. силой P_{zy} . Значение этой силы может быть приближенно определено по формуле

$$P_{zy} = P_z \sqrt{1 + 20 / \varphi^{1,6}}, \quad (21)$$

где φ — главный угол в плане режущего инструмента.

Прогиб заготовки можно найти по формуле

$$f_3 \geq \frac{P_z \sqrt{1 + \frac{20}{\varphi^{1,6}} L^3}}{kEI_x}, \quad (22)$$

где L — длина заготовки (величина вылета из патрона); I_x — осевой момент инерции круглого сечения заготовки; k — коэффициент, характеризующий способ закрепления заготовки: при креплении заготовки консольно в патроне станка $k = 3$; при креплении заготовки в центрах станка $k = 48$; при креплении заготовки в патроне станка с поджатием задним центром $k = 102$. Подставляя выражения (3), (6), (21) в неравенство (22) и умножая числитель и знаменатель правой части на 100^{Y_p} , получаем:

$$f_3 \geq \frac{C_p t^{X_p} S_0^{Y_p} K_H \sqrt{1 + \frac{20}{\varphi^{1,6}} L^3} \cdot 1000^{n_p}}{(\pi d n)^{n_p} kEI_x} \frac{100^{Y_p}}{100^{Y_p}}.$$

Преобразуем неравенство к следующему виду:

$$n^{-n_p} (100S_0)^{Y_p} \leq \frac{f_3 (\pi d)^{n_p} kEI_x \cdot 100^{Y_p}}{C_p t^{X_p} K_H \sqrt{1 + \frac{20}{\varphi^{1,6}} L^3} \cdot 1000^{n_p}}.$$

Логарифмируем обе части неравенства, используем замену $x_1 = \ln n$ и $x_2 = \ln(100S_0)$, вводим замену b_{11} для правой части неравенства.

$$b_{11} = \ln \left(\frac{f_3 (\pi d)^{n_p} kEI_x \cdot 100^{Y_p}}{C_p t^{X_p} K_H \sqrt{1 + \frac{20}{\varphi^{1,6}} L^3} \cdot 1000^{n_p}} \right).$$

Окончательно получим

$$-n_p x_1 + Y_p x_2 \leq b_{11}. \quad (23)$$

Линейные неравенства (4), (7), (9), (10), (11), (14), (15), (16), (17), (20) и (23) задают область допустимых значений параметров, в которой выбирается точка с максимальным значением целевой функции — произведение частоты вращения шпинделя и подачи (рис. 3, б).

Реализация метода линейного программирования для назначения параметров режима резания на универсальном оборудовании не принесет пользы, поскольку найденное значение подачи S_0 было бы необходимо округлить до пас-

портного значения, затем пересчитать и округлить до паспортного значения частоты вращения шпинделя n , найти остальные параметры и все равно выполнить проверку по допускаемой силе резания $[P]$.

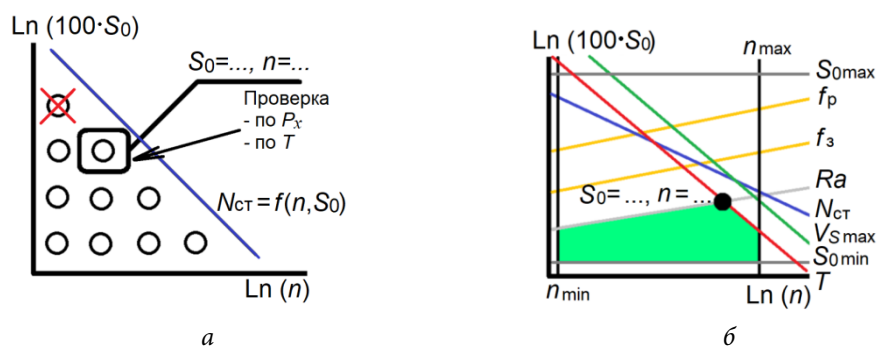


Рис. 3. Назначение подачи S_0 и частоты вращения шпинделя n :

a — для универсального оборудования в случае невыполнения требований значения S_0 и n переназначались соседними из ряда паспортных значений; b — для оборудования с ЧПУ реализован метод линейного программирования (разноцветными линиями показаны технологические ограничения, формирующие область допустимых значений S_0 и n (закрашена зеленым), черная точка — максимум целевой функции в этой области)

Заключение. Методика расчета параметров режима резания широко представлена в справочных и методических пособиях, однако учащимся необходимо понимать, к каким результатам приведет изменение исходных данных. Разработанное программное обеспечение позволяет автоматизировать расчет режимов резания и проводить анализ влияния исходных данных на параметры процесса резания. Для назначения параметров режима резания на универсальном оборудовании целесообразно использовать традиционный алгоритм с последовательным назначением режимных параметров, а для оборудования с ЧПУ — метод линейного программирования.

Благодарность. Автор выражает благодарность Сергею Витальевичу Грубому — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальная техника и технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана — за оказанную помощь при разработке приложений.

Примечание. Приложения можно скачать:

<https://yadi.sk/d/bDyXMrYO2CJetw> (продольное точение на станках с ЧПУ)

<https://yadi.sk/d/UZVAMn5Io-jMPw> (сверление спиральными сверлами).

Литература

- [1] Вереина Л.И., Краснов М.М., Фрадкин Е.И. Металлообработка. М., Инфра-М, 2017.
- [2] Васильев А.С., Кутин А.А., ред. Справочник технолога-машиностроителя. М., Инновационное машиностроение, 2018.
- [3] Зубков Н.Н. Инструментальные материалы для изготовления лезвийных инструментов. *Наука и образование: научное издание*, 2013, № 5. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/569432.html>

- [4] Макаров С.В., ред. Назначение рациональных режимов резания при механической обработке. СПб., Лань, 2018.
- [5] Сысоев С.К., ред. Технология машиностроения. Расчеты и выбор параметров при разработке технологических процессов механической обработки заготовок деталей. Красноярск, СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2015.
- [6] Даниленко Б.Д., Зубков Н.Н. Выбор режимов резания (продольное точение, сверление спиральными сверлами, фрезерование концевыми фрезами). М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
- [7] Грубый С.В. Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.

Домнышев Андрей Алексеевич — студент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Шуляк Ян Игоревич, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Инструментальная техника и технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Домнышев А.А. Автоматизация расчета режима резания наружного продольного точения и сверления методом линейного программирования. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 10(39). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-10-539>

AUTOMATION OF CALCULATION OF EXTERNAL LONGITUDINAL TURNING AND DRILLING CONDITIONS BY LINEAR PROGRAMMING

A.A. Domnyshev

domnyshevaa@student.bmstu.ru

SPIN-code: 4142-6977

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

This article considers algorithms for assigning cutting parameters for universal equipment and computer numerically controlled equipment (CNC). The application of the linear programming method for universal equipment and CNC equipment is described. On the example of external longitudinal turning, the implementation of the algorithm by the linear programming method is considered. In order to educate specialists on the principles of assigning cutting parameters, two applications have been developed for assigning cutting parameters for longitudinal turning operations on CNC machines and drilling with twist drills using universal equipment in Object Pascal language in Lazarus 1.8.4.

Keywords

Cutting conditions, optimization of the cutting parameters, operating parameters, longitudinal turning, drilling with twist drills, linear programming, CNC metal cutting machines, universal metal cutting machines

Received 03.09.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Vereina L.I., Krasnov M.M., Fradkin E.I. Metalloobrabotka [Metal treatment]. Moscow, Infra-M Publ., 2017 (in Russ.).
- [2] Vasil'yev A.S., Kutin A.A., ed. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya [Handbook of mechanic engineer technologist]. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie Publ., 2018 (in Russ.).
- [3] Zubkov N.N. Cutting tool materials for edge tool manufacturing. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2013, no. 5. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/569432.html> (in Russ.).
- [4] Makarov S.V., ed. Naznachenie ratsional'nykh rezhimov rezaniya pri mekhanicheskoy obrabotke [Assignment of rational cutting regimes at mechanical treatment]. Sankt-Petersburg, Lan' Publ., 2018 (in Russ.).
- [5] Sysoev S.K., ed. Tekhnologiya mashinostroeniya. Raschety i vybor parametrov pri razrabotke tekhnologicheskikh protsessov mekhanicheskoy obrabotki zagotovok detaley [Machine engineering technology. Calculation and choice of parameters at cutting technological processes of parts mechanical processing]. Krasnoyarsk, Reshetnev University Publ., 2015 (in Russ.).
- [6] Danilenko B.D., Zubkov N.N. Vybor rezhimov rezaniya (prodol'noe tochenie, sverlenie spiral'nymi sverlami, frezerovanie kontsevyimi frezami) [Choice of cutting regimes (axial turning, twist drilling, end milling)]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005 (in Russ.).
- [7] Grubby S.V. Optimizatsiya protsessa mekhanicheskoy obrabotki i upravlenie rezhimnymi parametrami [Mechanical processing optimization and control on operating condition]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014 (in Russ.).

Domnyshev A.A. — Student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Shulyak Y.I., Cand. Sc. (Eng.), Assis. Professor, Department of Tool Engineering and Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Domnyshev A.A. Automation of calculation of external longitudinal turning and drilling conditions by linear programming. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2019, no. 10(39). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-10-539.html> (in Russ.).