

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-7-112-121

Бондаренко Н.В., Татаринцев И.В., Соколов М.В.Тамбовский государственный технический университет***E-mail: nikbon.2015@yandex.ru*

СИСТЕМА РАСЧЕТА ПРИПУСКА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. Развитие информационных технологий затрагивает все сферы жизнедеятельности человека, в том числе и машиностроение, которое, по мере внедрения различных информационных систем все чаще называют цифровым машиностроением. Однако многие задачи, выполняемые инженерами-технологами, все еще приходится решать вручную.

В свою очередь, развитие машиностроения требует от инженеров-технологов быстрой и качественной разработки технологических процессов. С учетом развития и информационных технологий, возникает потребность в быстром поиске информации и выполнении расчетов, необходимых для составления технологического процесса. Существует множество программ, упрощающих работу технологов, такие как: Вертикаль, Компас-3D, Technologics, AutoCAD, однако иногда их бывает недостаточно. Это связано в первую очередь с уменьшением размеров деталей, увеличением сложности их изготовления и возрастающих требований к качеству выпускаемой продукции, что непосредственно влияет на сроки изготовления деталей и их стоимость. Совокупность всех перечисленных факторов требует развития уже существующего и создания нового инженерного программного обеспечения.

Представленная в этой статье система расчета припуска предназначена для решения одной из задач технологов – определения припуска на механическую обработку деталей.

Ключевые слова: алгоритм, допуск, межоперационные размеры, припуск на механическую обработку деталей, программа.

Введение. Перед современным машиностроением стоят цели по автоматизации технологических процессов и оптимизации экономических затрат на производство. Особенно это актуально при увеличении планов выпуска продукции на имеющемся на производстве оборудовании без увеличения производственных мощностей. Достичь обозначенных целей можно, решив инженерные задачи, касающиеся разработки технологических процессов, в частности – автоматизировать процесс расчета припуска на механическую обработку деталей.

Изготовление деталей из различных металлов подразумевает механическую обработку – токарную, фрезерную или иную другую. Во время обработки заготовки, с нее снимают припуск – слой материала, который необходимо удалить, чтобы получить деталь с заданными конструкторской документацией геометрическими параметрами, размерами и шероховатостью поверхности. Расчет припуска является одной из задач инженера-технолога, решение которой влияет на длительность обработки детали, качество выпускаемой продукции и ее стоимость. Большая величина припуска приводит к увеличению времени обработки детали, и, соответственно, к удорожанию продукции. Недостаточная толщина припуска может не обеспечить требуемое качество поверхности (шероховатость) или требуемую величину размеров, что приводит к браку.

Существует два метода определения припуска – аналитический и справочный. Первый метод подразумевает расчет по формулам, с поиском необходимых коэффициентов в справочной литературе. Этот метод более точный, но требует больших затрат времени. Второй метод подразумевает использование уже рассчитанных параметров из справочников, что сокращает время, но ведет к повышенному расходу материала, так как эти параметры подходят не для всех деталей и поэтому завышены с целью избежать возникновения брака. Таким образом, оба метода имеют свои недостатки, которые в итоге отражаются на времени изготовления детали, и, соответственно, ее стоимости.

Учитывая все вышесказанное, и тот факт, что одним из методов автоматизации процессов является разработка и внедрение в производство информационных систем [1–3], а также оценив задачу автоматизации расчета припуска на механическую обработку деталей как актуальную, стало очевидно, что решение данной задачи заключалось в разработке программы для ЭВМ. Разумеется, разработанная программа должна была бы совмещать преимущества обоих методов определения припуска: использовала бы формулы для расчета, и подбирала бы коэффициенты для них на основе справочной литературы, при этом необходимо было устранить недостатки указанных методов.

Основная часть. Теоретические аспекты во многом были разработаны и представлены в книгах [4–7] и статье [8]. Исходные данные для расчета припуска обычно изложены в чертеже детали – это все размеры, шероховатость и материал. С учетом этих данных технолог подбирает необходимое количество операций и назначает межоперационные размеры и допуски к ним. Для проверки правильности подобранных операций и размеров рассчитывается коэффициент уточнения – ε_i :

$$\varepsilon_i = T_{i-1}/T_i \quad (1)$$

где T_{i-1} – поле допуска размера, полученного на предыдущей операции (или заготовки), T_i – поле допуска размера, получаемого на выполняемой операции. Коэффициент уточнения рассчитывается для всех операций, на которых обрабатывается один конкретный размер. После нахождения коэффициентов уточнения, вычисляется общее уточнение:

$$\varepsilon_{\text{общ}} = \varepsilon_1 \times \varepsilon_2 \times \varepsilon_3 \times \dots \times \varepsilon_n \quad (2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_n$ – коэффициенты уточнения для 1-й, 2-й, 3-й операции до конечной операции.

После этого рассчитывается требуемое уточнение:

$$\varepsilon_i = T_3/T_d \quad (3)$$

где T_3 – поле допуска на размер заготовки, T_d – поле допуска на размер детали, для которого рассчитывается припуск.

Сравнив требуемое уточнение с общим уточнением можно определить правильность выбранных операций. Если $\varepsilon_{\text{общ}} \geq \varepsilon_{\text{то}}$, то операции и допуски подобраны правильно, однако идеальным является вариант, когда коэффициенты равны, так как завышение $\varepsilon_{\text{общ}}$ хоть и гарантирует получение детали с соблюдением требований чертежа, но ведет к увеличению времени изготовления детали. Если $\varepsilon_{\text{общ}} < \varepsilon_{\text{то}}$, то операции подобраны неверно и необходимо заново выполнить подбор допусков на межоперационные размеры, или увеличить количество операций для обработки размера. При составлении технологического процесса следует учитывать возможность обработки нескольких разных поверхностей в одной операции с применением многокоординатных станков с ЧПУ. Однако, чем больше на чертеже детали поверхностей и размеров, тем больше требуется времени на подбор операций, проверку правильности подбора, и, конечно, на расчет припуска. Кроме того, возрастает риск ошибки, которая приведет к браку.

Значительное снижение времени на выполнение расчетов и существенное снижение вероятности ошибки также подчеркивают полезность разработанной программы.

Для представления взаимосвязи размеров детали, заготовки и межоперационных, составлена схема, изображенная на рисунке 1.

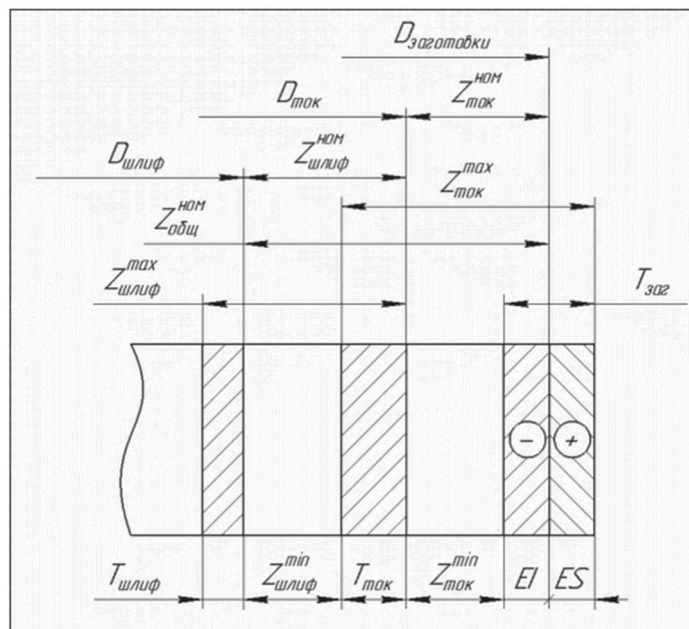


Рис. 1. Расположение допусков, припусков и межоперационных размеров

На рисунке 1 представлены следующие обозначения: $D_{\text{шлиф}}$ – диаметр детали после шлифовки, $D_{\text{токарной}}$ – диаметр детали после токарной обработки, $D_{\text{заготовки}}$ – диаметр заготовки, $T_{\text{шлиф}}$ – поле допуска на размер детали, получаемый на

шлифовальной операции, $T_{\text{токарной}}$ – поле допуска на размер детали, получаемый на токарной операции, $T_{\text{заг}}$ – поле допуска размера заготовки, EI – нижнее предельное отклонение заготовки, ES – верхнее предельное отклонение заготовки, $Z_{\text{шлиф}}^{\text{min}}$

– минимальный припуск на шлифовальную операцию, $Z_{\text{шлиф}}^{\text{ном}}$ – номинальный припуск на шлифовальную операцию, $Z_{\text{шлиф}}^{\text{max}}$ – максимальный припуск на шлифовальную операцию, $Z_{\text{ток}}^{\text{min}}$ – минимальный припуск на токарную операцию, $Z_{\text{ток}}^{\text{ном}}$ – номинальный припуск на шлифовальную операцию, $Z_{\text{ток}}^{\text{max}}$ – максимальный припуск на шлифовальную операцию.

Для расчета припуска используются следующие формулы:

$$Z_{imin} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_i \quad (4)$$

$$Z_i = Z_{imin} + eiD_{i-1} + esD_i \quad (5)$$

$$Z_{imax} = Z_{imin} + ITD_{i-1} + ITD_i \quad (6)$$

где Z_{imin} – минимальный припуск для выполняемой операции, Z_i – номинальный припуск для выполняемой операции, Z_{imax} – максимальный припуск для выполняемой операции, Rz_{i-1} – шероховатость, полученная на предшествующей операции или заготовки, h_{i-1} – глубина дефектного слоя, Δ_{i-1} – суммарное отклонение расположения поверхностей, ε_i – погрешность закрепления заготовки, eiD_{i-1} – нижнее предельное отклонение размера, полученного на предыдущей операции, esD_i – верхнее предельное отклонение размера, получаемого на выполняемой операции, ITD_{i-1} – поле допуска размера, полученного на предыдущей операции, ITD_i – поле допуска размера, получаемого на выполняемой операции.

Формулы (4), (5), (6) можно использовать для любых расчетов, но для более точных расчетов используются отдельные формулы [4, 7]. Представленные выше формулы использовались для написания кода программы.

Для реализации поставленной цели на практике требовалось решить несколько задач:

1. Используя теоретическую базу, разработать алгоритм работы программы;
2. Все известные справочные параметры, используемые для расчетов, перевести в электронный формат в виде базы данных;
3. Разработать на основе алгоритма исполняемый код программы;
4. Провести тестирование и отладку кода.

Первая задача заключалась в переносе справочной информации в электронный формат, причем в таком виде, в котором эту информацию мог бы воспринимать компьютер. То есть, просто отсканировать имеющиеся справочники было недостаточно. Для решения этой задачи подходила любая программа для работы с базами данных, самой простой из которых был Microsoft Excel. Еще одной из причин, по которым был выбран именно Excel является его совместимость с языком программирования Python, на котором ве-

лась разработка программы. В Excel были созданы таблицы со справочными значениями коэффициентов, из этих таблиц Python извлекал нужные значения и подставлял их в формулы, записанные в исполняемом файле программы. Такой подход позволяет при необходимости корректировать значения в таблицах, при этом не затрагивая код программы.

Вторая задача была более сложной, так как требовала разработать алгоритм работы программы и написать ее код. Решено было реализовать эту задачу с использованием языка программирования Python, к преимуществам которого относятся: простота освоения, наличие множества модулей для решения практически любой задачи, а также большое сообщество пользователей, которое подскажет как исправить ошибки в коде. Важнейшим преимуществом Python перед другими языками программирования является возможность разработки нейронных сетей, что позволяет использовать разработанную программу в структуре искусственного интеллекта. В первую очередь был разработан алгоритм работы программы с использованием книг [4–6] и представленный на рисунке 2.

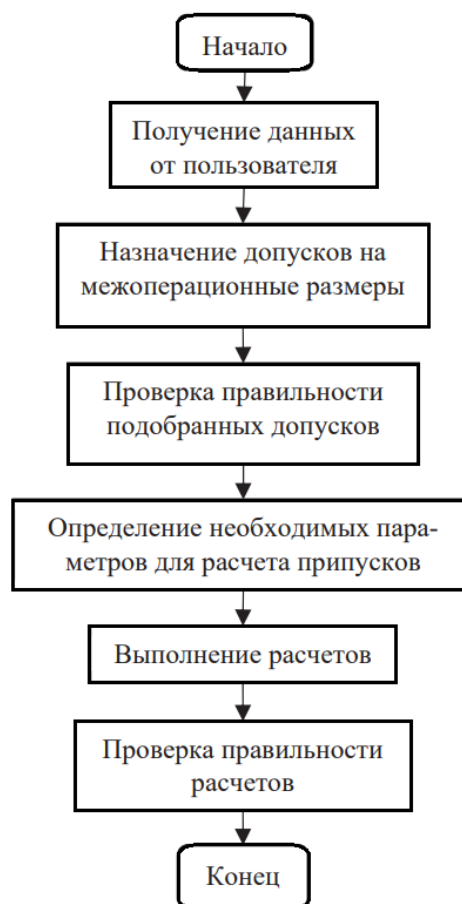


Рис. 2. Алгоритм системы расчета припуска
Для обеспечения качества выполняемых программой расчетов использовалась информация из работ [9–11], в которых описаны вопросы

обеспечения качества изделий на стадии технологической подготовки производства, рассмотренные при проектировании системы поддержки принятия решений выбора режимных и конструктивных параметров.

Так как расчет припуска выполняется на конкретный размер, толщина срезаемого слоя будет зависеть от параметра шероховатости и допуска на этот размер. С учетом того, что чем меньше допуск, тем больше потребуется операций для обеспечения точности размера (максимум 4 операции: черновая обработка, получистовая обработка, чистовая обработка и финишная обработка), программа должна рассчитывать межоперационные размеры, то есть размеры, полу-

чаемые после выполнения операций, но отличающиеся от окончательного размера. Для этого программа определяет квалитет размера детали, рассчитывая значение поля допуска размера на основании введенных пользователем допустимых отклонений, а затем, сравнивая номинальное значение размера и рассчитанное значение поля допуска со всеми возможными квалитетами. После установления квалитета программа определяет требуемое количество операций. Принцип определения квалитета представлен на рисунке 3 и соответствует принципам, заложенным в государственных и отраслевых стандартах [12, 13]. Фрагмент кода для определения квалитета представлен на рисунке 4.

Интервалы размеров, мм	Поля допусков валов, мкм											
	h5	g6	h6	js6	k6	p6	r6	f7	h7	s7	e8	u8
Предельные отклонения, мкм												
От 1 до 3	0	-2	0	+3	+6	+10	+16	-6	0	+24	-14	+32
	-4	-8	-6	-3	0	+4	+10	-16	-10	+14	-28	+18
Св. 3 до 6	0	-4	0	+4	+9	+16	+23	-10	0	+31	-20	+41
	5	12	9	4	1	-9	-15	22	12	-19	39	-23
Св. 6 до 10	0	-5	0	+4,5	+10	+19	+28	-13	0	+38	-25	+50
	-6	-14	-9	-4,5	+1	+10	+19	-28	-15	+23	-47	+28
Св. 10 до 18	0	-6	0	+5,5	+12	+23	+34	-16	0	+46	-32	+60
	-8	-17	-11	-5,5	+1	+12	+23	-34	-18	+28	-59	+33
Св. 18 до 24	0	-7	0	+6,5	+15	+28	+41	-20	0	+56	-40	+74
	-9	-20	-13	-6,5	+2	+15	+28	-41	-21	+35	-73	+41
Св. 24 до 30												+81
												+48

Рис. 3. Принцип определения квалитета

```
Python 3.8.3 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.8.3 (tags/v3.8.3:6f8c832, May 13 2020, 22:37:02) [MSC v.1924 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
===== RESTART: C:\Users\Nekki\Desktop\Prog\NewProg v.2.py =====
['Лист1']
Укажите диаметр детали в мм: 3
Укажите верхнее отклонение диаметра в мм: 0
Укажите нижнее отклонение диаметра в мм: -0.01
Укажите длину обрабатываемой поверхности в мм: 5
Допуск на диаметр детали: 0.01 мм

Укажите размер заготовки в мм: 5
Укажите верхнее отклонение размера в мм: 0
Укажите нижнее отклонение размера в мм: -0.2
Допуск на размер заготовки: 0.2 мм

-----
Квалитет: 7
```

Рис. 4. Код программы для определения квалитета

После определения требуемого количества операций, программа назначает допуск на межоперационные размеры и высчитывает поле допуска, необходимое для дальнейших расчетов.

Далее программа получает информацию о типе заготовке (прокат, поковка, штамповка, литье) и определяет шероховатость Rz и глубину дефектного слоя h заготовки и вычисляет геометрические погрешности заготовки. Для этого используются данные, получаемые из созданной

таблицы Excel. Пример такой таблицы представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Качество поверхности поковок,
изготавливаемых штамповкой**

Качество поверхности поковок, изготавливаемых штамповкой		
Масса поковки, кг	Rz, мкм	h, мкм
До 0,25	80	150
Св. 0,25 до 4	160	200
Св. 4 до 25	200	250
Св. 25 до 40	250	300
Св. 40 до 100	320	350
Св. 100 до 200	400	400

Кроме геометрических отклонений заготовки программа также рассчитывает погрешность закрепления заготовки в приспособлении. На выбор пользователя предлагается несколько вариантов крепления заготовок: с использованием в качестве баз торцов детали, наружных и внутренних диаметров. После расчета погрешностей, программа определяет припуск для каждой операции, причем вычисляет максимальный, номинальный и минимальный припуск.

Программа была протестирована на нескольких размерах, а оценка ее эффективности проводилась в сравнении с ручным расчетом припуска. Пример расчета припуска для размера $\varnothing 120h6(0; -0,022)$ мм представлен на рисунке 5.

```

['Лист1']
Укажите диаметр детали в мм: 120
Укажите верхнее отклонение диаметра в мм: 0
Укажите нижнее отклонение диаметра в мм: -0.022
Укажите длину заготовки в мм: 60
Допуск на диаметр детали: 0.022 мм

Укажите размер заготовки в мм: 130
Укажите верхнее отклонение размера в мм: 0
Укажите нижнее отклонение размера в мм: -0.5
Допуск на размер заготовки: 0.5 мм

Требуемое уточнение: 22.723

-----
Квалитет: 6
Выполняется подбор операций
22.723 22.723
Операции подобраны верно
Определение операций завершено.

-----
Укажите заготовку (прокат, поковка, штамповка, литье): штамповка
Укажите массу штамповки (от 0 до 200 кг): 10
Rz = 200 мкм; h = 250 мкм.

-----
Укажите на чём изготавливалась штамповка (молот/пресс): молот
Укажите точность штамповки (повышенная/нормальная): нормальная
Укажите, как закреплена заготовка:
[1]Вал ступенчатый в патроне, без поджатия задним центром
[2]Вал ступенчатый в центрах
[3]Деталь типа диск с прошиваемым центральным отверстием с установкой по наружному диаметру и торцу
[4]Деталь типа диск с прошиваемым центральным отверстием с установкой по наружному диаметру и торцу при обработке торцевой поверхности
3
Δk = 1200 мкм.
Δ = 1843.9088914585775 мкм.
ε = 0 мкм.

-----
Минимальный припуск для черновой обработки: 4.5878177829171545 мм
Минимальный припуск для получистовой обработки: 0.4212690669750293 мм
Минимальный припуск для чистовой обработки: 0.17106345334875148 мм
Минимальный припуск для финишной обработки: 0.10044253813395005 мм
Максимальный припуск для черновой обработки: 6.0878177829171545 мм
Максимальный припуск для получистовой обработки: 1.7212690669750292 мм
Максимальный припуск для чистовой обработки: 0.5710634533487514 мм
Максимальный припуск для финишной обработки: 0.3224425381339501 мм
Номинальный припуск для черновой обработки: 5.0878177829171545 мм
Номинальный припуск для получистовой обработки: 1.4212690669750292 мм
Номинальный припуск для чистовой обработки: 0.47106345334875144 мм
Номинальный припуск для финишной обработки: 0.30044253813395005 мм
Рекомендуемый диаметр заготовки: 127.28059284137488 мм
>>> |

```

Рис. 5. Пример расчета припуска по программе для ЭВМ

Очевидно, программа выполняет расчеты с точностью до 10^{-16} степени, что для машиностроения является излишним, так как не существует инструментов и способов обеспечить такую точность, поэтому для практической работы рекомендуется принимать значения с точностью до 10^{-3} степени.

Выполнение расчета припуска для размера $\varnothing 120h6(0; -0,022)$ мм аналитическим методом (вручную):

1) Перед началом расчетов необходимо знать диаметр заготовки, поскольку условием задачи диаметр не задан, принимаем его равным

$\varnothing 130(0; -0,5)$ мм – это предположительный размер заготовки.

Поля допусков для детали и для заготовки:

$$Td = 0 - (-0,022) = 0,022 \text{ мм}$$

$$Tz = 0 - (-0,5) = 0,5 \text{ мм}$$

Требуемое уточнение:

$$\varepsilon_{\text{то}} = \frac{0,5}{0,022} = 22,72(72)$$

2) Назначаем требуемое количество операций и допуски на межоперационные размеры:

1-ая операция – черновая обработка – допуск $(0; -0,5)$;

2-ая операция – получистовая обработка – допуск $(0; -0,2)$;

3-я операция – чистовая обработка – допуск (0; -0,1);

4-ая операция – финишная обработка – допуск (0; -0,022).

Определяем поля допусков для каждой операции:

$$T_{\text{черн.}} = 0 - (-0,5) = 0,5 \text{ мм}$$

$$T_{\text{п. чист.}} = 0 - (-0,2) = 0,2 \text{ мм}$$

$$T_{\text{чист.}} = 0 - (-0,1) = 0,1 \text{ мм}$$

$$T_{\text{фин.}} = 0 - (-0,022) = 0,022 \text{ мм}$$

Коэффициент уточнения для каждой операции:

$$\varepsilon_{\text{черн.}} = \frac{0,5}{0,5} = 1$$

$$\varepsilon_{\text{п. чист.}} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5$$

$$\varepsilon_{\text{чист.}} = \frac{0,2}{0,1} = 2$$

$$\varepsilon_{\text{фин.}} = \frac{0,1}{0,022} = 4,54(54)$$

Общее уточнение:

$$\varepsilon_{\text{общ.}} = 1 \times 2,5 \times 2 \times 4,54(54) = 22,72(72)$$

Значения $\varepsilon_{\text{ТО}}$ и $\varepsilon_{\text{общ.}}$ равны, значит операции подобраны правильно.

3) Определяем погрешности:

Шероховатость и глубину дефектного слоя принимаем равными: $Rz = 200$ мкм; $h = 250$ мкм.

$$2Z_{\text{мин. черн.}} = 2(200 + 250) + 2\sqrt{1843,9^2 + 0^2} = 4587,8 \text{ мкм} = 4,587 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{ном. черн.}} = 4587,8 + |-500| + 0 = 5087,8 \text{ мкм} = 5,087 \text{ мм}$$

$$2Z_{\text{макс. черн.}} = 4587,8 + (0 - (-500)) + (0 - (-500)) = 5587,8 \text{ мкм} = 5,587 \text{ мм}$$

5) Повторяем пункты 3 и 4 для всех операций, полученные результаты вносим в таблицу 2.

$$Z = 120 + 5,087 + 0,921 + 0,371 + 0,2 = 126,579 \text{ мм} \approx 126,6 \text{ мм}$$

На ручной расчет припуска потребовалось 22 минуты 40 секунд (1360 секунд), тогда как

$$\frac{1360}{47} = 28,93 \approx 29 \times 100\% = 2900\%$$

Очевидно, что за то время, которое было затрачено на ручной расчет припуска для одного размера, программа может выполнить расчет для 29-ти размеров, и таким образом, эффективность в сравнении с ручным расчетом составляет 2900%. Кроме этого, был определен оптимальный требуемый размер заготовки – если изначально было предположение, что необходимым диаметром является $\varnothing 130$ мм, то в конце расчетов (как ручных, так и программных), выяснилось, что размером, достаточным для получения детали, соответствующей чертежу, будет $\varnothing 126,6$ мм. Результаты расчетов сведены в таблицу 2 для наглядности.

На описанную в этой статье программу, а также на модуль для нее, разработанный дополнительно в процессе дальнейших исследований,

Суммарные геометрические отклонения будут равны 1843,9 мкм (рассчитывается по формулам, согласно [4], здесь приведен результат расчета).

Погрешность базирования $\varepsilon = 0$, т.к. обработка детали ведется в трехкулачковом патроне (схемы закрепления, формулы и значения погрешностей представлены в [4]).

4) Рассчитываем минимальный, номинальный и максимальный припуск для черновой операции:

$$2Z_{\text{мин}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + 2\sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \quad (7)$$

$$2Z_{\text{ном}} = 2Z_{\text{мин}} + eiD_{i-1} + esD_i \quad (8)$$

$$2Z_{\text{макс}} = 2Z_{\text{мин}} + ITD_{i-1} + ITD_i \quad (9)$$

где Rz_{i-1} – шероховатость поверхности на предыдущей операции, h_{i-1} – глубина дефектного слоя на предыдущей операции, Δ_{i-1} – суммарные отклонения расположения поверхностей, ε_i – погрешность установки заготовки в приспособлении, eiD_{i-1} – верхнее предельное отклонение размера на предыдущей операции, esD_i – нижнее предельное отклонение размера на выполняемой операции, ITD_{i-1} – поле допуска размера на предыдущей операции, ITD_i – поле допуска размера на выполняемой операции.

6) Определяем реальный размер заготовки:

программа справилась за 47 секунд. Сравнивая затраты времени, получаем результат:

были оформлены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ [14, 15], а более подробное описание процесса разработки представлено в книге [7]. Дальнейшее развитие программы позволит использовать ее как часть интеллектуальной системы управления производством, такая возможность рассматривается в статьях [16, 17].

Выводы. Разработанная система расчета припусков решает одну из многих технологических задач и позволяет сократить время на выполнение расчетов, при этом выдает качественный результат, что напрямую влияет на стоимость изготовления детали.

Следует отметить, что используемое при разработке технологически процессов программное обеспечение, в частности, представленные в России программами Вертикаль, Компас-3D,

TechnologiCS, NanoCAD не обладают функцией расчета припуска. Использование разработанной программы в совокупности с CAD/CAE систе-

мами позволит визуально отобразить расположение и толщину припуска на поверхностях детали, что в свою очередь поможет технологу при составлении технологического процесса.

Таблица 2

Сравнение значений припусков, полученных при ручном расчете и с помощью программы

Z_i	Значение Z_{imin} , рассчитанное вручную	Значение Z_{imin} , рассчитанное программой
$Z_{мин.черн.}$	4,5878 мм	4,5878 мм
$Z_{мин.п.чист.}$	0,4212 мм	0,4212 мм
$Z_{мин.чист.}$	0,171 мм	0,171 мм
$Z_{мин.финиш.}$	0,1 мм	0,1 мм
$Z_{ном.черн.}$	5,0878 мм	5,0878 мм
$Z_{ном.п.чист.}$	0,921 мм	1,421 мм
$Z_{ном.чист.}$	0,371 мм	0,471 мм
$Z_{ном.финиш.}$	0,2 мм	0,3 мм
$Z_{макс.черн.}$	5,5878 мм	6,2878 мм
$Z_{макс.п.чист.}$	1,021 мм	1,7212 мм
$Z_{макс.чист.}$	0,471 мм	0,571 мм
$Z_{макс.финиш.}$	0,222 мм	0,322 мм

Представленная программа может стать частью «умного производства», такого типа производства, когда большую часть работы выполняют машины под наблюдением информационных систем, в том числе с использованием искусственного интеллекта. Одной из причин, по которой программа разрабатывалась на языке программирования Python является частое его использование учеными и разработчиками для работы с нейросетями, что позволяет объединить разработанную программу с другими, решающими иные инженерные задачи, и искусственным интеллектом (нейросетью) в единую систему, которая и станет основой «умного производства».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация производства [Электронный ресурс] // Data Start URL: <https://www.expo-centr.ru/ru/articles-of-exhibitions/2016/avtomatizaciya-proizvodstva/?ysclid=m6mkllv075543084715> (дата обращения: 12.09.2024)
2. Автоматизация производственных процессов [Электронный ресурс] // Data Start URL: <https://bercut.com/blog/technologies/avtomatizatsiya-proizvodstvennykh-protsssov/?ysclid=m6gw3o1pox76874985> (дата обращения: 12.09.2024)
3. Дронов В.Д. Автоматизация машиностроительных производств в условиях многономенклатурного серийного производства // Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со Дня рождения генерального конструктора ракетно-космических систем академика Михаила Федоровича Решетнева. 2024. С. 552–554.

4. Радкевич Я.М., Тимирязев В.А., Схиртладзе А.Г., Островский М.С. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов. М.: Высш. шк., 2004. 272 с.

5. Борисов В.Б., Борисов Е.И., Васильев В.Н., Волчкевич Л.И., Воробьев Ю.А., Гайгал И.В., Калашников А.С., Калашников С.Н., Калинин М.А., Калинин М.М., Капустин Н.М., Кацев П.Г., Ковалев В.К., Козунко Б.М., Косилова А.Г., Мещеряков А.И., Мещеряков К.Р., Мещеряков Р.К., Наерман М.С., Новиков А.Н., Орлов П.Н., Панов А.А., Попов Е.А., Рыжов Э.В., Сизенов Л.К., Стародубов В.С., Сухов М.Ф., Фрумин Ю.Л., Цейтлин Л.Б., Шеметов М.Г. Справочник технолога машиностроителя в двух томах. Том 1. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 656 с., ил.

6. Гриднев В.Н., Досчатов В.В., Замалин В.С., Жданов А.И., Исаченко В.К., Малов А.Н., Орлов П.Н., Панченко К.П., Рождественский Л.А., Стасюнас А.П., Шачнев Ю.А., Шнейдер Ю.Г., Якушев, А.И. Справочник технолога машиностроителя в двух томах. Том 2. Под ред. А.Н. Малова. М.: Машиностроение, 1973. 568 с.

7. Бондаренко Н.В. Автоматизированная система расчета припусков на механическую обработку деталей : монография Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. 132 с.

8. Бондаренко Н.В., Татаринцев И.В., Вшивков Ф.И. Онтология припусков на механическую обработку деталей // Моделирование энергоинформационных процессов : IX Национальная научно-практическая конференция с международным участием, Воронеж, 22-24 декабря 2020

года. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2021. С. 97–100.

9. Пестрецов С.И., Алтуни К.А., Соколов М.В., Однолько В.Г. Концепция создания системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения. Издательский дом «Спектр», 2012. 212 с.

10. Бондаренко Н.В., Соколов М.В. Разработка алгоритма расчета припуска на механическую обработку деталей для среды программирования Python // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2022. Т. 28, № 4. С. 674–684. DOI: 10.17277/vestnik.2022.04.P. 674-684. EDN UIMJAE.

11. Алтуни К.А., Пестрецов С.И. Оценка возможности применения CAD/CAE/CAM-систем при проектировании процессов резания и металлорежущих станков // Материалы III-й Всерос. науч.-практ. кластерной заочной электронной конф. «Кооперация науки, образования, производства и бизнеса: новые идеи и перспективы безопасного развития в ближайшем будущем». 2011. С. 347–348.

12. ГОСТ Р 53464-2009. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2009-12-09 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Изд. официальное. Москва : Стандартинформ, 2010. 62 с.

13. ОСТ 1 00022-80. Предельные отклонения размеров от 0,1 до 10000 мм и допуски формы и расположения поверхностей, не указанные на

чертеже : отраслевой стандарт Российской Федерации : дата введения 1981-07-01 / утвержден и введен в действие распоряжением министерства №81-16/5 от 19 сентября 1980. Изд. официальное. Москва : Стандартинформ, 1981. 24 с.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023663752. Автоматизированная система расчета припуска на механическую обработку (Automated calculation of the processing allowance) / Бондаренко Н.В. (RU), Соколов М.В. (RU) Заявитель и правообладатель: Федеральное Государственное Учреждение Высшего Образования «Тамбовский Государственный Технический Университет» (RU) Заявка №2023661993; заявл. 06.06.2023; зарег. 27.06.2023

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023663117. Модуль программы расчета припуска на механическую обработку (Calculation of allowance for metal machining) / Бондаренко Н.В. (RU), Соколов М.В. (RU) Заявитель и правообладатель: Федеральное Государственное Учреждение Высшего Образования «Тамбовский Государственный Технический Университет» (RU) Заявка №2023661989; заявл. 06.06.2023; зарег. 20.06.2023

16. Хонин К.А., Ермолаев Р.А. Совершенствование технологического процесса в условиях автоматизированного производства // Молодой ученый. 2018. № 25 С. 151–155.

17. Алтуни К.А., Соколов М.В. Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22, № 1. С. 122–133. DOI: 10.17277/vestnik.2016.01.p. 122-133.

Информация об авторах:

Бондаренко Никита Владимирович, аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». E-mail: nikbon.2015@yandex.ru. Тамбовский государственный технический университет, Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, д. 106/5.

Татаринцев Илья Владимирович, аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». E-mail: tatarintzew.ilya2012@yandex.ru. Тамбовский государственный технический университет, Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, д. 106/5.

Соколов Михаил Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». E-mail: msok68@mail.ru. Тамбовский государственный технический университет, Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, д. 106/5.

Поступила 05.08.2024 г.

© Бондаренко Н.В., Татаринцев И.В., Соколов М.В., 2025

*Bondarenko N.V., Tatarintsev I.V., Sokolov M.V.

Tambov State Technical University

*E-mail: nikbon.2015@yandex.ru

THE ALLOWANCE CALCULATION SYSTEM FOR MACHINING PARTS

Abstract. The development of information technologies affects all spheres of human life, including mechanical engineering, which, with the introduction of various information systems, is increasingly called digital engineering. However, many tasks performed by process engineers still have to be solved manually.

In turn, the development of mechanical engineering requires process engineers to develop technological processes quickly and efficiently. Taking into account the development of information technologies, there is a need for a quick search for information and performing calculations necessary for the preparation of a technological process. There are many programs that simplify the work of technologists, such as Vertical, Compass-3D, Technologics, AutoCAD, but sometimes they are not enough. This is primarily due to a decrease in the size of parts, an increase in the complexity of their manufacture and increasing requirements for the quality of products, which directly affects the timing of the manufacture of parts and their cost. The combination of all these factors requires the development of existing ones and the creation of new engineering software.

The allowance calculation system presented in this article is designed to solve one of the tasks of technologists – determining the allowance for mechanical processing of parts.

Keywords: algorithm, tolerance, interoperable dimensions, allowance for machining parts, program.

REFERENCES

1. Automation of production [Electronic resource]. <https://www.expocentr.ru/ru/articles-of-exhibitions/2016/avtomatizaciya-proizvodstva/?ysclid=m6mklv075543084715> (Accessed: 09/12/2024) (rus)
2. Automation of production processes [Electronic resource]. Data Start URL: <https://bercut.com/blog/technologies/avtomatizatsiya-proizvodstvennykh-protsessov/?ysclid=m6gw3o1pox76874985> (Accessed: 09/12/2024) (rus)
3. Dronov V.D., Automation of machine-building industries in conditions of multi-nomenclature serial production. [Avtomatizaciya mashinostroitel'nykh proizvodstv v usloviyah mnogonomenkla-turnogo serijnogo proizvodstva]. Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician Mikhail Fedorovich Reshetnev, General Designer of Rocket and Space Systems. 2024. Pp. 552–554. (rus)
4. Radkevich Y.M., Timiryazev V.A., Shirladze A.G., Ostrovskiy M.S. Calculation of allowances and intermediate sizes in mechanical engineering. [Raschet pripuskov i mezhperehodnih razmerov v mashinostroenii: Ucheb. posob. dlya mashinostroit. spec. vuzov]. Moscow: Publishing house "Higher School", 2004. 272 p. (rus)
5. Borisov V.B., Borisov E.I., Vasil'ev V.N., Volchkevich L.I., Vorob'ev Yu.A., Gajgal I.V., Kalashnikov A.S., Kalashnikov S.N., Kalinin M.A., Kalinin M.M., Kapustin N.M., Kacev P.G., Kovalev V.K., Kozunko B.M., Kosilova A.G., Meshcheryakov A.I., Meshcheryakov K.R., Meshcheryakov R.K., Naerman M.S., Novi-kov A.N., Orlov P.N., Panov A.A., Popov E.A., Ryzhov E.V., Sizenov L.K., Starodubov V.S., Suhov M.F., Frumin Yu.L., Cejtin L.B., Shemetov M.G. Manual technologist machine builder in two volumes. Vol.1 [Spravochnik tekhnologa mashinostroitelya v dvuh tomah. Tom 1.] Pod red. A.G. Kosilovoj i R.K. Meshcheryakova. 4-e izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1986. 656 p. (rus)
6. Gridnev V.N., Doschatov V.V., Zamalin V.S., Zhdanov A.I., Isachenko V.K., Malov A.N., Orlov P.N., Panchenko K.P., Rozhdestvensky L.A., Stasiunas A.P., Shachnev Yu.A., Schneider Yu.G., Yakushev A.I. Manual technologist machine builder in two volumes. Vol. 2. [Spravochnik tekhnologa mashinostroitelya v dvuh tomah. Tom 2.] Pod red. A.N. Malova. M.: Mashinostroenie, 1973. 568 p.
7. Bondarenko N.V. Automated system for calculating allowances for machining parts. [Avtomatizirovannaya sistema rascheta pripuskov na mehanicheskuyu obrabotku detalei]. Vologda: Infra-Injeneriya, 2023. 132 p. (rus)
8. Bondarenko N.V., Tatarintsev I.V., Vshivkov F.I. Ontology of allowances for mechanical processing of parts. [Ontologiya pripuskov na mehanicheskuyu obrabotku detalei]. Modeling of energy-informational processes : IX National Scientific and practical conference with international participation. 2020. Pp. 97–100.
9. Pestretsov S.I., Altunin K.A., Sokolov M.V., Odnolko V.G. The concept of creating a computer-aided design system for cutting processes in mechanical engineering technology. [Konceptiya sozdaniya sistemi avtomatizirovannogo proektirovaniya processov rezaniya v tehnologii mashinostroeniya]. Moscow. 2012. 212 p. (rus)
10. Bondarenko N.V., Sokolov M.V. Develop-

ment of an algorithm for calculating loading on mechanical equipment for the Python programming environment. [Razrabotka algoritma rascheta pripuska na mehanicheskuyu obrabotku detalei dlya sredi programmirovaniya Python]. Bulletin of the Tambov State Technical University. 2022. Vol. 28, No. 4. Pp. 674–684. (rus)

11. Altunin K.A., Pestretsov S.I. Evaluation of the possibility of using CAD/CAE/CAM systems in the design of cutting processes and metal-cutting machines. [Ocenka vozmojnosti primeniya CAD/CAE/CAM-sistem pri proektirovanii processov rezaniya i metalloreshushih stankov]. 2011. Pp. 347–348.

12. State Standart R 53464-2009. Castings of metals and alloys. Dimensional, weight and machining tolerances. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 62 p. (rus)

13. Industry-specific Standart 1 00022-80. Maximum size deviations from 0.1 to 10,000 mm and tolerances for the shape and location of surfaces not indicated in the drawing. Moscow,

Standartinform Publ., 1981. 24 p. (rus)

14. Bondarenko N.V., Sokolov M.V. Automated system for calculating the allowance for mechanical processing. Certificate of state registration of the computer program No. 2023663752. 2023.

15. Bondarenko N.V., Sokolov M.V. Module of the program for calculating the allowance for mechanical processing. Certificate of state registration of the computer program No. 2023663117. 2023.

16. Honin K.A., Ermolaev R.A. Improvement of the technological process in conditions of automated production. [Sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa v usloviyah avtomatizirovannogo proizvodstva]. Young scientist. 2018. No. 25. Pp. 151–155.

17. Altunin K.A., Sokolov M.V. Application of neural networks for modeling the turning process. [Primenenie neironnih setey dlya modelirovaniya processa tokarnoy obrabotki]. Bulletin of the Tambov State Technical University. 2016. Vol. 22. No. 1. Pp. 122–133.

Information about the author:

Bondarenko, Nikita V. Postgraduate student. E-mail: nikbon.2015@yandex.ru. Tambov State Technical University, Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5.

Tatarincev, Ilya V. Postgraduate student. E-mail: tatarintzew.ilya2012@yandex.ru. Tambov State Technical University, Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5.

Sokolov, Michael V. DSc, Professor. E-mail: msok68@mail.ru. Tambov State Technical University, Russia, 392000, Tambov, st. Sovetskaya, 106/5.

Received 05.08.2024

Для цитирования:

Бондаренко Н.В., Татаринцев И.В., Соколов М.В. Система расчета припуска для механической обработки деталей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 7. С. 112–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-7-112-121

For citation:

Bondarenko N.V., Tatarintsev I.V., Sokolov M.V. The allowance calculation system for machining parts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 7. Pp. 112–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-7-112-121