

УДК 621.74

DOI: 10.30987/article_5cf7bd2fad6808.87115101

В.Ф. Безъязычный, д.т.н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева,
152394, Ярославская обл., Рыбинск, ул. Пушкина, 53)

E-mail: technology@rsatu.ru

Проблемы технологического обеспечения точности массы изделий¹

Предложены математические зависимости для расчетного определения погрешности массы деталей и изделия в целом во взаимосвязи с допусками на размеры заготовок и деталей машин, а также параметрами шероховатости и волнистости их поверхностей. Разработаны алгоритмы технологического обеспечения требуемой точности массы деталей и изделия в целом.

Ключевые слова: точность массы; размер; допуск; поверхность; шероховатость; волнистость.

V.F. Beziyazychny, Dr. Sc. Tech.

(Soloviyov State Aircraft Technical University of Rybinsk, 53, Pushkin Str., Rybinsk, Yaroslavl Province, 152394)

Problems in accuracy technological support of product mass

Mathematical dependences for the rated definition of the mass error of parts and a product as a whole in correlation with tolerances for dimensions of blanks and machinery and also with parameters of roughness and waviness of their surfaces are offered. The algorithms for technological support of the accuracy required for a mass of parts and a product as a whole are developed.

Keywords: mass accuracy; size; tolerance; surface; roughness; waviness.

Масса машины и ее структурных составляющих (деталей, узлов и др.) в значительной степени определяют расход металла на изготовление и характер технологических процессов изготовления деталей. Снижение массы, расхода материалов при изготовлении машин – это одновременно и снижение себестоимости. Масса машин оказывает существенное влияние, а в некоторых случаях (авиадвигателестроение и т.п.) решающее влияние на эксплуатационные свойства изделий. Для обеспечения высокого качества машин, сборочных единиц, деталей и стабильности их эксплуатационных свойств, при серийном и массовом производстве, большое значение имеет однородность, а в ряде случаев и взаимозаменяемость по массе. Поэтому наряду с отклонениями размеров и формы деталей ограничивают их массу, а также возможные отклонения массы. В производстве часто возникают ситуации, когда размеры детали и шероховатость ее поверхностей полностью соответствуют заданным требованиям конструкторской

документации, а масса детали не соответствует значению, указанному на чертеже. Это связано с тем, что допуски на массу детали не связаны с допусками на размеры детали, параметрами шероховатости и волнистости поверхностей и другими параметрами.

Масса деталей и сборочных единиц особенно большое значение имеет в авиационном строительстве. Масса самолета – главная исходная величина при выборе основных его параметров (площади крыла, длины фюзеляжа, размера колес), поэтому при проектировании расчет массы предшествует всем остальным. От точности расчета массы зависит точность всех остальных расчетов.

Качество самолета и эффективность его использования как транспортного средства определяется летно-техническими характеристиками, надежностью, сроком службы и безопасностью применения изделия. Последние три показателя оценки качества не отличают самолет от других видов транспорта, в отношении же летных характеристик имеются свои особенности.

К летным характеристикам обычно относятся скорость, дальность полета, высота (по-

¹ Статья подготовлена на основе исследований, выполненных к.т.н. Воронцовой Н.С. под руководством автора статьи.

толок), скороподъемность, маневренность, взлетно-посадочные характеристики и грузоподъемность. Так, например, для истребителя-перехватчика, основным назначением которого является перехват и поражение в воздухе самолетов и других типов летательных аппаратов противника, особенно важными будут не только высокая скорость и большая высота, но и большая скороподъемность и маневренность. Для пассажирского и транспортного самолетов наибольшее значение имеют грузоподъемность, дальность полета и взлетно-посадочные характеристики, позволяющие использовать их на существующих аэродромах. Масса наряду с тягой, удельным расходом топлива, габаритными размерами и ресурсом относится к основным параметрам, характеризующим технические данные и степень совершенства газотурбинных двигателей. Все эти обстоятельства накладывают особую специфику на технологию изготовления и сборки самолета и требуют высокой культуры производства, а также строгого контроля массы деталей и сборочных единиц.

Отклонения массы реальной заготовки или детали от номинальной массы зависит от погрешностей объема и плотности материала детали.

Погрешности плотности металла зависят от большого количества факторов. Основными являются: тип сплава, интервал кристаллизации, химический состав и др. Все вышеперечисленные факторы приводят к появлению следующих основных причин плотности сплавов: газовая и усадочная пористость, нестабильность химического состава и структуры, формирование в структуре сплава различного рода неметаллических включений.

Известно, что значения плотности материала колеблются в значительных интервалах даже для одного и того же металла. Так, величина разброса плотности отливок по данным работы [1] при литье в песчано-глинистые формы при машинной формовке по металлическим моделям составляет: для отливок из серого чугуна – от 1,35 до 6,5 %; из ковкого чугуна – от 2,23 до 6,31 %; из стали – от 2,27 до 6,97 %. Для стальных отливок, изготавливаемых по выправляемым моделям, колебание плотности материала составляет 1,24...2,25 %.

Объем реальной детали V_d определяется по формуле:

$$V_d = V_n + f(\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4, \Delta V_5),$$

где V_n – номинальный объем детали или заготовки, рассчитанный по номинальным разме-

рам; $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3, \Delta V_4, \Delta V_5$ – погрешности объема, вызванные погрешностями размеров, погрешностью шероховатости и волнистости поверхностей, погрешностями формы и взаимного расположения поверхностей, соответственно.

В данной работе оцениваются предельные отклонения массы отливок, поковок, деталей и сборочных единиц гидроаппаратуры авиационных двигателей. В таких изделиях отдельные элементы заготовок и деталей имеют форму шаровых поверхностей, цилиндров, прямоугольников или элементов этих геометрических фигур, поэтому изучались значения отклонений массы заготовок и деталей в виде цилиндра, сферы, а также в виде бруса прямоугольного сечения, обусловленных полями допусков на размеры заготовки или детали, шероховатостью и волнистостью поверхностей заготовок и деталей.

Рассматривались детали с точностью линейных и диаметральных размеров от 5 до 14 качества по ГОСТ 25346-89 для полностью механически обработанных деталей; для отливок – с классами точности от 3 до 10 в соответствии с ГОСТ Р 53464-2009; для штамповок – с исходными индексами штамповки с 3 по 11 в соответствии с ГОСТ 7505-89. Именно такая градация точности размеров имеется в изучаемой группе деталей.

Нормы точности отливок и поковок устанавливаются для заготовки в целом. Допуски линейных размеров отливок регламентированы ГОСТ 26645-85 в зависимости от их класса точности. Класс точности устанавливает конструктор в зависимости от назначения детали, типа металла (сплава), способа литья, типа производства и других условий. Допускаемые отклонения размеров поковок назначают в зависимости от исходного индекса и размеров заготовки в соответствии с ГОСТ 7505-89.

Эскизы элементов заготовок и деталей типа «цилиндр», «сфера» и «брус» представлены на рис. 1.

Расчет максимальных, минимальных и номинальных объемов (см. рис. 1) элементов заготовок и деталей, производится по формулам:

– для элементов деталей типа «сфера»:

$$V_{\max} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d_{\max}}{2} \right)^3; \quad V_{\min} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d_{\min}}{2} \right)^3;$$

$$V_n = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d_n}{2} \right)^3,$$

где V_{\max} – максимальный объем, м³; d_{\max} – максимальный диаметр сферы, м; V_{\min} – минимальный объем, м³; d_{\min} – минимальный диаметр сферы, м; V_n – номинальный объем, м³; d_n – номинальный диаметр сферы, м.

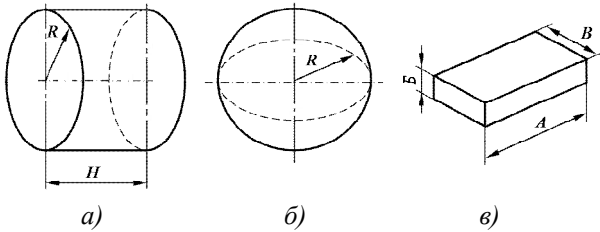


Рис. 1. Эскизы элементов деталей:

а – цилиндр; б – сфера; в – брус

– для элементов детали типа «цилиндр»:

$$V_{\max} = \pi \cdot \left(\frac{d_{\max}}{2}\right)^2 \cdot h_{\max}; \quad V_{\min} = \pi \cdot \left(\frac{d_{\min}}{2}\right)^2 \cdot h_{\min};$$

$$V_n = \pi \cdot \left(\frac{d_n}{2}\right)^2 \cdot h_n,$$

где h_{\max} – максимальная высота цилиндра, м; d_{\max} – максимальный диаметр цилиндра, м; h_{\min} – минимальная высота цилиндра, м; d_{\min} – минимальный диаметр цилиндра, м; h_n – номинальная высота цилиндра, м; d_n – номинальный диаметр цилиндра, м.

– для элементов детали типа «брус»:

$$V_{\max} = A_{\max} \cdot B_{\max} \cdot V_{\max}; \quad V_{\min} = A_{\min} \cdot B_{\min} \cdot V_{\min};$$

$$V_n = A_n \cdot B_n \cdot V_n,$$

где A_{\max} – максимальная длина бруса, м; B_{\max} – максимальная высота бруса, м; V_{\max} – максимальная ширина бруса, м; A_{\min} – минимальная длина бруса, м; B_{\min} – минимальная высота бруса, м; V_{\min} – минимальная ширина бруса, м; A_n – номинальная длина бруса, м; B_n – номинальная высота бруса, м; V_n – номинальная ширина бруса, м.

Значения максимальной, минимальной и номинальной массы заготовки или детали рассчитываются по формуле

$$m_{\max} = \rho \cdot V_{\max}; \quad m_{\min} = \rho \cdot V_{\min}; \quad m_n = \rho \cdot V_n,$$

где m_{\max} – максимальная масса детали или заготовки, кг; m_{\min} – минимальная масса детали или заготовки, кг; m_n – номинальная масса детали или заготовки, кг; ρ – плотность материала детали, кг/м³.

Максимальное отклонение массы от номинального значения определяется по формуле

$$\Delta m = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{m_n} \cdot 100\%.$$

Выбор заготовки – важная стадия проектирования технологического процесса. От правильности установления формы, размеров и припусков на обработку, точности размеров и твердости материала зависят не только трудоемкость и стоимость процесса обработки, но и точность массы детали, получаемой из данной заготовки. Каждый способ получения заготовки обеспечивает достижение фиксированных предельных размеров отдельных элементов. Формулы для расчетного определения погрешностей массы отливок и поковок во взаимосвязи с точностью их размеров приведены в табл. 1. Использование зависимостей, приведенных в табл. 1, позволяет определить максимально возможное отклонение массы от номинального значения для отдельных элементов заготовок.

При проектировании деталей допускается не проставлять предельные отклонения для каждого из размеров. В этом случае в технических требованиях чертежа дается ссылка на нормативный документ, по которому определяются предельные отклонения, или качества точности для всех размеров детали. В таком случае отклонение массы отдельных элементов детали определяется в соответствии с зависимостями, приведенными в табл. 2.

При задании конструктивно для каждого из размеров детали точностных параметров расчет предельных отклонений массы производится по формулам, приведенным в табл. 3, которыми учитывается влияние на отклонение массы детали качества точности каждого из размеров элементов механически обработанных деталей: «сфера», «цилиндр» и «брус».

В табл. 4 приведены зависимости, определяющие предельные отклонения массы деталей и заготовок в зависимости от шероховатости и волнистости их поверхностей для отдельных элементов: «сфера», «цилиндр» и «брус». В данных формулах учитывается влияние параметров шероховатости и волнистости каждой из поверхностей элемента.

Для деталей, обработанных частично, технологические отклонения массы также можно определить расчетом по комбинации из формул, приведенных в табл. 1 и 2 для элементов деталей «цилиндр» и «брус». Данные формулы учитывают размерную точность каждого элемента детали, что дает возможность ис-

пользовать их комбинации при расчете предельных отклонений частично обработанных деталей. В табл. 5 приведены формулы, для

определения предельных отклонений массы частично обработанных деталей [2].

1. Формулы для определения погрешностей массы отливок и поковок

№ п/п	Тип заготовки	Формула для определения отклонений массы элементов заготовок (сфера, цилиндр, брус) от номинального значения массы, %
1	Отливка «сфера»	$\Delta m_{\text{верх.}} = +1,26d^{-0,72} (KP)^{1,9}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -1,26d^{-0,72} (KP)^{1,9}$
2	Отливка «цилиндр»	$\Delta m_{\text{верх.}} = +(KP)^{1,9} \cdot (0,844d^{-0,72} + 0,42h^{-0,72})$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -(KP)^{1,9} \cdot (0,844d^{-0,72} + 0,42h^{-0,72})$
3	Отливка «брус»	$\Delta m_{\text{верх.}} = +0,42(KP)^{1,9} (A^{-0,72} + B^{-0,72} + B^{-0,72})$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -0,42(KP)^{1,9} (A^{-0,72} + B^{-0,72} + B^{-0,72})$
4	Поковка «сфера»	$\Delta m_{\text{верх.}} = 9,53 \cdot d^{-0,616} \cdot (Ind)^{1,51d^{-0,14}}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -32,82d^{-1,12} (Ind)^{0,43d^{0,184}}$
5	Поковка «цилиндр»	$\Delta m_{\text{верх.}} = 6,55d^{-0,624} (Ind)^{1,45d^{-0,133}} + 3,385h^{-0,63} (Ind)^{1,4h^{-0,125}}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -10,98h^{-1,12} (Ind)^{0,44h^{-0,18}} - 22,09d^{-1,13} (Ind)^{0,43d^{0,18}}$
6	Поковка «брус»	$\Delta m_{\text{верх.}} = +3,385 \cdot [B^{-0,63} \cdot (Ind)^{1,55B^{-0,15}} + B^{-0,63} (Ind)^{1,55B^{-0,15}} + A^{-0,63} (Ind)^{1,55A^{-0,15}}]$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -10,98 [B^{-1,12} (Ind)^{0,44B^{0,18}} + B^{-1,12} (Ind)^{0,44B^{0,18}} + A^{-1,12} (Ind)^{0,44A^{0,18}}]$
<i>Примечание. KP – класс точности размера отливки; Ind – исходный индекс заготовки</i>		

2. Формулы для определения отклонений массы детали с размерами по одному качеству точности (IT)

№ п/п	Тип детали	Формула для определения отклонений массы элементов детали (сфера, цилиндр, брус) от номинального значения массы, %
1	Механически обработанная деталь типа «сфера»	$\Delta m = 0,0017d^{-0,72} (IT)^{3,87}$
2	Механически обработанная деталь типа «цилиндр»	$\Delta m = IT^{3,96} (0,00102d^{-0,759} + 0,0003h^{-0,612})$
3	Механически обработанная деталь типа «брус»	$\Delta m = 0,0003 \cdot IT^{3,99} (B^{-0,612} + A^{-0,612} + B^{-0,612})$
<i>Примечание. IT – класс точности размера детали</i>		

3. Зависимости для определения отклонений массы деталей с разными качествами точности размеров (IT)

№ п/п	Тип детали	Формула для определения отклонений массы элементов детали (сфера, цилиндр, брус) от номинального значения массы, %
1	Механически обработанная деталь типа «сфера»	$\Delta m = 0,0017d^{-0,72} (IT_d)^{3,87}$
2	Механически обработанная деталь типа «цилиндр»	$\Delta m = [0,00102d^{-0,759} (IT_d)^{3,96} + 0,0003h^{-0,612} \cdot (IT_h)^{3,99}]$
3	Механически обработанная деталь типа «брус»	$\Delta m = 0,0003 [(B)^{-0,612} (IT_B)^{3,99} + A^{-0,612} (IT_A)^{3,99} + B^{-0,612} \cdot (IT_B)^{3,99}]$

4. Формулы для определения отклонений массы деталей в зависимости от шероховатости и волнистости поверхностей

№ п/п	Параметр и тип детали	Формула для определения возможных отклонений массы элементов детали (сфера, цилиндр, брус) от номинального значения массы, %
1	Шероховатость «сфера»	$\Delta m = 0,3 \frac{Rz}{d}$
2	Шероховатость «цилиндр»	$\Delta m = \frac{0,1 \cdot Rz_{\text{торц.}}}{h} + \frac{0,2 \cdot Rz_{\text{бок}}}{d}$
3	Шероховатость «брус»	$\Delta m = 0,1 \left(\frac{Rz_{AB}}{B} + \frac{Rz_{AB}}{B} + \frac{Rz_{BB}}{A} \right)$
4	Волнистость «сфера»	$\Delta m = 0,3 \frac{h_w}{d}$
5	Волнистость «цилиндр»	$\Delta m = \frac{0,1 \cdot h_{w\text{торц.}}}{h} + \frac{0,2 \cdot h_{w\text{бок}}}{d}$
6	Волнистость «брус»	$\Delta m = 0,1 \left(\frac{h_{wAB}}{B} + \frac{h_{wAB}}{B} + \frac{h_{wBB}}{A} \right)$
Примечания: Rz – высота неровностей профиля микро неровности поверхности; h_w – высота волн на поверхности детали.		

5. Зависимости для определения отклонений массы частично обработанных деталей

№ п/п	Тип заготовки	Формула для определения возможного отклонения массы элементов детали (цилиндр, брус) от номинального значения массы, %
1	Отливка типа «цилиндр»	
1.1	Торцевая поверхность «цилиндра» механически обработана	$\Delta m_{\text{верх.}} = +0,844d^{-0,72} (KP)^{1,9}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -0,844d^{-0,72} (KP)^{1,9} - 0,0003h^{-0,612} \cdot (IT_h)^{3,99}$
1.2	Боковая поверхность «цилиндра» механически обработана	$\Delta m_{\text{верх.}} = +0,42h^{-0,72} (KP)^{1,9}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -0,42h^{-0,72} (KP)^{1,9} - 0,00102d^{-0,759} \cdot (IT_d)^{3,96}$
2	Отливка типа «брус»	
2.1	Поверхности АБ и ВБ механически обработаны	$\Delta m_{\text{верх.}} = +0,42B^{-0,72} (KP)^{1,9}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -0,42B^{-0,72} (KP)^{1,9} - 0,0003A^{-0,612} (IT_A)^{3,99} + B^{-0,612} (IT_B)^{3,99}$
3	Поковка типа «цилиндр»	
3.1	Торцевая поверхность «цилиндра» механически обработана	$\Delta m_{\text{верх.}} = 6,55d^{-0,624} (Ind)^{1,45d^{-0,133}}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -22,09d^{-1,13} (Ind)^{0,43d^{0,18}} - 0,0003h^{-0,612} \cdot (IT_h)^{3,99}$
3.2	Боковая поверхность «цилиндра» механически обработана	$\Delta m_{\text{верх.}} = 3,385h^{-0,63} (Ind)^{1,4h^{-0,125}}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -10,98h^{-1,12} (Ind)^{0,44h^{-0,18}} - 0,00102d^{-0,759} \cdot (IT_d)^{3,96}$
4	Поковка типа «брус»	
4.1	Поверхности АБ и ВБ механически обработаны	$\Delta m_{\text{верх.}} = +3,385 \cdot B^{-0,63} \cdot (Ind)^{1,55B^{-0,15}}$ $\Delta m_{\text{нижн.}} = -10,98 \left[B^{-1,12} (Ind)^{0,44B^{0,18}} \right] - 0,0003 \cdot A^{-0,612} (IT_A)^{3,99} + B^{-0,612} (IT_B)^{3,99}$

При различном расположении допусков на диаметр отклонение массы детали относительно номинальной массы будет различным. Например, для вала круглого сечения возможны пять случаев расположения допусков: допуск на диаметр со знаком $-\delta$; допуск на диаметр со знаком $+\delta$; допуск, когда верхнее отклонение $+\delta_B$ и нижнее отклонение $-\delta_H$ по абсолютной величине равны; допуск, когда верхнее отклонение $+\delta_B$ и нижнее отклонение $-\delta_H$ по абсолютной величине не равны и $\delta_B < \delta_H$; допуск, когда верхнее отклонение $+\delta_B$ и нижнее отклонение $-\delta_H$ по абсолютной величине не равны и $\delta_B > \delta_H$.

Расчет массы детали производится с разделением ее на отдельные простейшие элементы («сфера», «брус», «цилиндр»). Масса i -го элемента рассчитывается по номинальным размерам. Номинальная масса детали определяется по формуле

$$m_H^{дет.} = \sum_i m_H^{элемент.}, \quad (1)$$

где $m_H^{дет.}$ – масса детали; $m_H^{элемент.}$ – масса элемента детали.

Номинальную массу детали также можно определять методами 3D-моделирования. Современное программное обеспечение позволяет при заданной плотности материала по модели определять массу детали и положение ее центра масс. Но, так как модель детали при 3D-проектировании строится по номинальным размерам, по ней можно определить только номинальную массу без предельных отклонений из-за отсутствия учета влияния точности размеров, колебаний параметров шероховатости и волнистости поверхностей детали.

Масса детали с предельными отклонениями рассчитывается по формуле

$$m_{д} = m_H^{дет.} \begin{matrix} +\Delta m_{верх.} \\ -\Delta m_{нижн.} \end{matrix} \quad (2)$$

Шероховатость и волнистость поверхностей уменьшают массу, так как размеры деталей фиксируются по вершинам.

Поскольку размеры деталей в пределах партии деталей изменяются в пределах допуска, также как и параметры шероховатости и волнистости поверхности, т.е. являются величинами случайными, суммирование погрешностей массы выполняется по правилу квадратного корня:

$$\Delta m = k \cdot \sqrt{\Delta^2 m_{разм.} + \Delta^2 m_{шер.} + \Delta^2 m_{волн.}}, \quad (3)$$

где k – коэффициент относительного рассеяния случайных величин. Коэффициент относительного рассеяния или относительное среднеквадратическое отклонение показывает,

во сколько раз отличается фактическое рассеяние значений i -й погрешности от величины рассеяния этой погрешности при ее нормальном распределении с тем же значением.

Если каждая из составляющих погрешностей подчиняется закону нормального распределения, то в этом случае $k = 1,0$; $\Delta m_{разм.}$ – погрешность массы, вызванная колебанием размеров детали или заготовки; $\Delta m_{шер.}$ – погрешность массы, вызванная колебанием параметров шероховатости поверхностей детали или заготовки; $\Delta m_{волн.}$ – погрешность массы, вызванная колебанием параметров волнистости поверхностей детали или заготовки.

При расчете верхнее и нижнее предельное отклонение от номинальной массы детали рассчитываются отдельно (рис. 2).

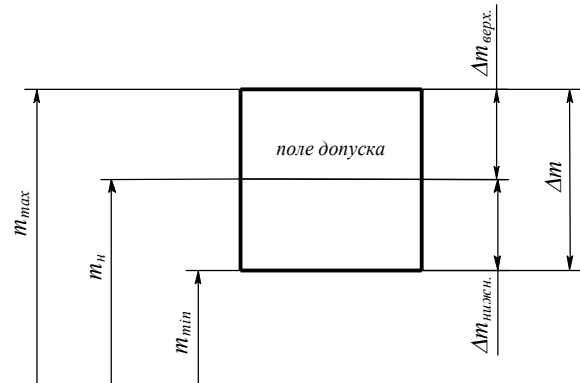


Рис. 2. Схема расположения поля допуска массы

Шероховатость и волнистость поверхностей учитываются только при расчете верхнего или нижнего предельного отклонения, так как размеры деталей фиксируются по вершинам. Тогда расчет допуска на массу отдельно элемента детали:

$$\Delta m_{верх} = k \sqrt{\Delta^2 m_{разм.} + \Delta^2 m_{шер.} + \Delta^2 m_{волн.}}; \quad (4)$$

$$\Delta m_{нижн} = \sqrt{\Delta^2 m_{разм.}}. \quad (5)$$

В формуле (4) знак «+» для наружных размеров детали; знак «-» для внутренних поверхностей детали.

Алгоритм технологического обеспечения требуемой точности массы детали, составленный в соответствии с требованиями ГОСТ 19.701-90, приведен на рис. 3.

Исходными данными для расчета массы и ее предельных отклонений являются: номинальные размеры детали, показатели точности размеров, показатели волнистости и шероховатости поверхностей детали или заготовки. Расчет производится с разбиением детали на

простейшие элементы: «сфера», «цилиндр» и «брус». Для каждого i -го элемента рассчитывается номинальная масса, а затем полученные значения масс суммируются по формуле для определения номинальной массы детали. Также для каждого i -го элемента определяются погрешности массы, обусловленные шеро-

ватостью и волнистостью его поверхностей. Верхнее и нижнее отклонения, вызванные колебанием размеров в пределах допуска определяются с учетом наличия необрабатываемых поверхностей и размеров по разным квалитетам точности.

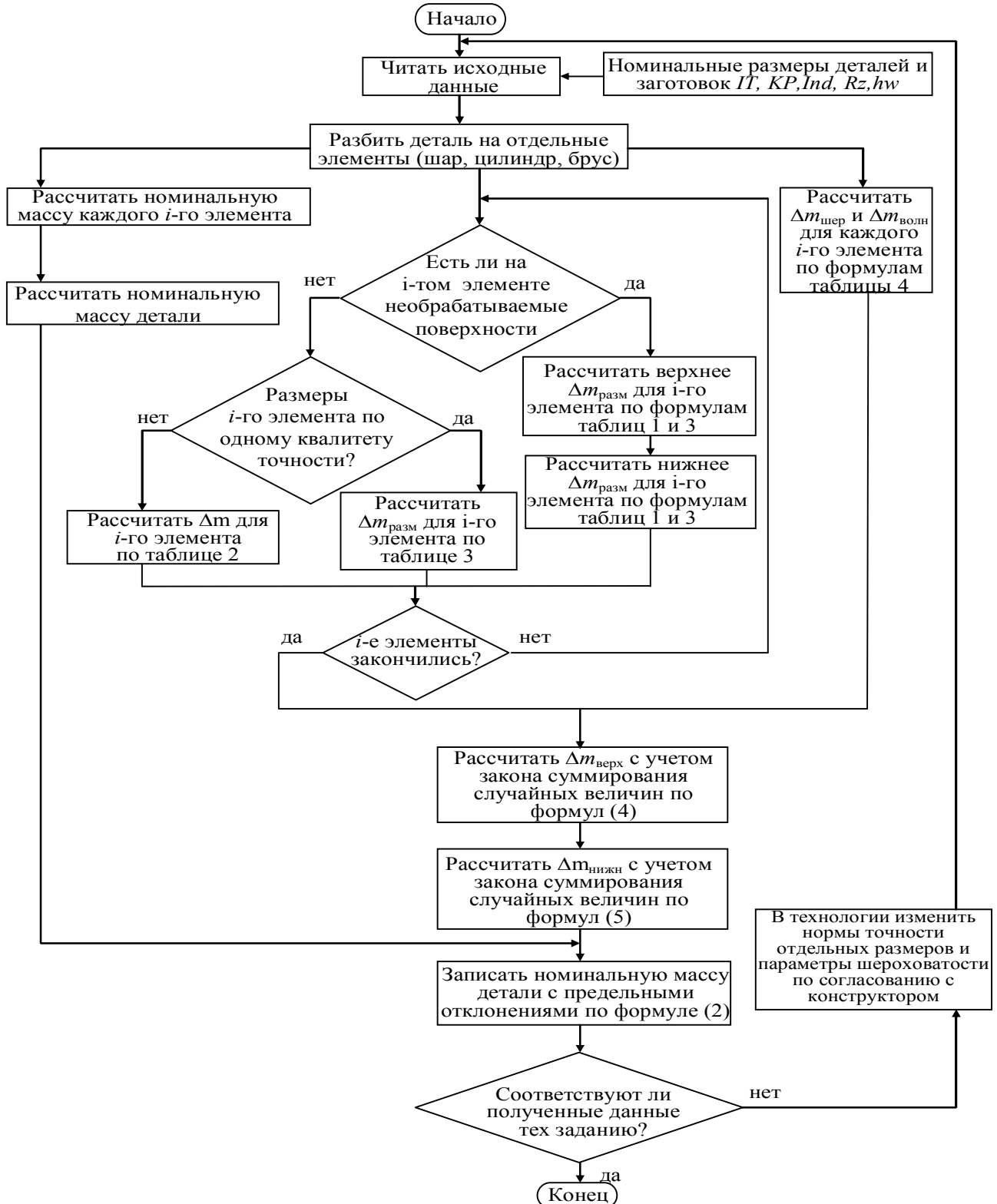


Рис. 3. Алгоритм технологического обеспечения требуемой точности массы детали

После определения верхнего и нижнего значений отклонения массы от номинального значения для каждого i -го элемента производится их суммирование с учетом закона нормального распределения по формулам (3), (4) и выполняется ее сравнение с требованиями конструкторской документации. При соответствии погрешности массы требованиям конструкторской документации расчет завершается, при несоответствии – по согласованию с конструктором увеличивается точность обработки отдельных поверхностей детали и улучшаются параметры шероховатости и волнистости. С новыми исходными данными расчет повторяется до получения значений, соответствующих требованиям КД.

Номинальная масса изделия представляет собой сумму масс всех сборочных единиц и деталей:

$$m_{\text{изд.н.}} = \sum_i m_{\text{н.}i} \quad (6)$$

где $m_{\text{н.}i}$ – номинальная масса i -й детали данной сборочной единицы.

Верхнее предельное отклонение $\Delta m_{\text{изд.верх.}}$ и нижнее предельное отклонение $\Delta m_{\text{изд.ниж.}}$ от номинальной массы изделия определяются по формулам:

$$\Delta m_{\text{изд.верх.}} = \sum_i m_{\text{верх.}i} \quad (7)$$

$$\Delta m_{\text{изд.ниж.}} = \sum_i m_{\text{нижн.}i} \quad (8)$$

Тогда масса изделия с допуском:

$$m_{\text{изд.}} = m_{\text{изд.н.}} + \Delta m_{\text{верх.}} - \Delta m_{\text{нижн.}} \quad (9)$$

Алгоритм определения допуска на массу изделия приведен на рис. 4.

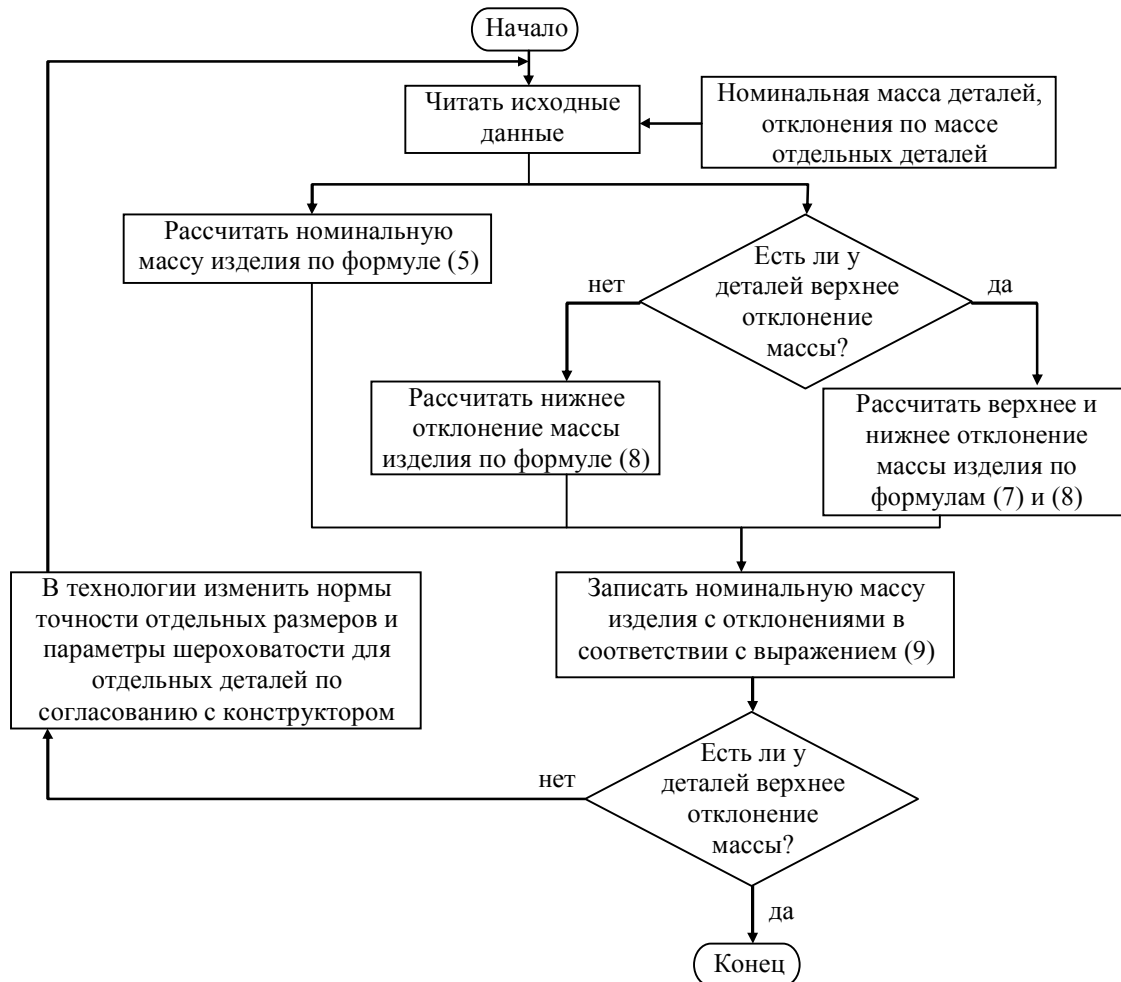


Рис. 4. Алгоритм технологического обеспечения точности массы изделия

Исходными данными для расчета массы изделия являются номинальная масса входящих в него деталей с предельными отклонениями. Номинальная масса изделия определяется суммированием номинальных масс дета-

лей по формуле (6). Предельные отклонения от номинальной массы и изделия определяются по формулам (7) и (8) суммированием соответствующих верхних и нижних отклонений деталей.

Полученное значение массы изделия и его предельные отклонения сравниваются с требованиями к точности массы в конструкторской документации. При несоответствии – по согласованию с конструктором, увеличивается точность массы отдельных деталей. С новыми исходными данными расчет повторяется до получения значений, соответствующих требованиям КД.

Следует иметь в виду, что технолог самостоятельно не имеет возможности изменить размеры деталей и параметры, характеризующие их точность, это прерогатива конструктора. Поэтому, обеспечение точности массы деталей и изделий в целом должно решаться на стадии конструкторско-технологической подготовки производства совместно технологом и конструктором. Это решение возможно путем изменения отдельных номинальных размеров детали и определения номинального значения массы по формуле (1) или путем корректировки допускаемых отклонений точности размеров детали посредством расчетов по формулам (3), (4) и (5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безъязычный, В.Ф., Жуков, А.А. Плотность сплава в отливках. Особенности формирования. Статистическая оценка: монография. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2012. – 68 с.

2. Безъязычный, В.Ф., Воронцова, Н.С. Теоретическое исследование погрешностей массы деталей, обусловленных колебаниями размеров в пределах допуска и параметров шероховатости поверхности // Справочник. Инженерный журнал. – 2017. – № 8. – С. 38–43.

REFERENCES

1. Beziyazychny, V.F., Zhukov, A.A. *Alloy Density in Casts. Formation Peculiarities. Statistical Assessment*: monograph. – Rybinsk: Soloviyov SATU of Rybinsk, 2012. – pp. 68.

2. Beziyazychny, V.F., Vorontsova, N.S. Theoretical investigation of parts mass conditioned with dimension variations within limits of tolerance and surface roughness parameters // *Reference Book. Engineering Journal*. – 2017. – No.8. – pp. 38-43.

Рецензент д.т.н. А.Н. Прокофьев

УДК 621.9

DOI: 10.30987/article_5cf7bd2fbe4f43.90942178

Б.М. Базров, д.т.н.

(ФГБУН ИМАШ им. Благонравова, 101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., д.4)

E-mail: modul_lab@mail.ru

Фундаментальные основы технологической подготовки производства

В статье изложен анализ основ, на которых базируется система технологической подготовки производства, включая метод описания конструкции изделия, основы базирования, размерного анализа, оценки технологичности конструкции изделия, метод описания механизма образования погрешностей изготовления изделия, виды технологий; раскрыты их недостатки.

Ключевые слова: изделие; конструкция; деталь; базирование; размерные цепи; технологичность; погрешность; качество; технология.

B.M. Bazrov, Dr. Sc. Tech.

(FSBIS Blagonravov IMACH, 4, Maly Kharitonievsky Side Str., Moscow, 101990)

Fundamental base of technological pre-production

The paper reports the analysis of fundamentals which a system of pre-production technology is based on including a method of product design description, a dimension analysis, an assessment of product design manufacturability, a method for the description of the error formation mechanism in product manufacturing, technology kinds; their drawbacks are shown.

Keywords: product; design; part; basing; dimension chains; manufacturability; error; quality; technology.