

АЛГОРИТМ МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

А.В. Мухолзоев

*Томский политехнический университет, г. Томск,
Омский государственный технический университет, г. Омск*

Разработан алгоритм автоматизации размерного анализа технологических процессов, работающий на основе представления технологических размеров и их допусков в виде матриц смежности. Предложенный алгоритм использует представление размерной схемы технологического процесса как в виде графа, так и в виде размерных цепей. Алгоритм требует ввода конструкторских размеров, допусков технологических размеров, а также припусков на обработку. Нумерация поверхностей обработки может осуществляться в произвольном порядке, что никак не влияет на расчеты, и составляться автоматически.

Расчет средних значений технологических размеров, допусков припусков и конструкторских размеров производится простейшими математическими преобразованиями. Алгоритм использует как особенности представления размерных структур в виде цепей, так и в виде графов, что позволяет определять относительное положение поверхностей и, в то же время, использовать возможности математических преобразований графа. Алгоритм одинаково рассчитывает размерные цепи как для тел вращения, так и для более сложных конфигураций изделий. Потенциально этот же алгоритм способен на расчет цепей отклонения расположения. Основным достоинством представленного алгоритма является способ составления матриц допусков и средних значений размеров, позволяющий производить расчет замыкающих звеньев размерной цепи без необходимости выявления отдельных размерных цепей, определения увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Приведен пример размерного анализа технологического процесса механической обработки ступенчатого вала. Рассчитаны допуски и средние значения всех операционных размеров, входящих в технологический процесс. Представлен алгоритм выявления каждого отдельного размера и его допуска из общего массива рассчитанных данных. Назначение средних значений припусков на обработку не рассматривается в данном примере, так как связанные с этим расчеты производятся вне основных матриц.

Ключевые слова: размерный анализ, автоматизация машиностроения, теория графов, размерная цепь, алгоритм расчета, автоматизация размерного анализа.

Введение

Размерный анализ технологических процессов – это совокупность расчетно-аналитических процедур, осуществляемых при разработке и анализе технологических процессов механической обработки [1].

Поскольку технологический размерный анализ является весьма трудоемкой задачей, разработаны программы и программные модули для автоматизации размерного анализа (Visual KursAR [2], GRAKON [3], ASKON [4], NORMAL [5]). Программа Visual KursAR, разработанная в Южно-Уральском государственном университете, является наиболее универсальной среди существующих программ: обеспечивает проектный и проверочный расчет линейных и диаметральных размеров и всех видов отклонений расположения для деталей как типа тел вращения, так и для корпусных деталей.

Существующее программное обеспечение уменьшает время расчетов и повышает их качество. Основной недостаток – большая трудоемкость подготовки и ввода исходных данных:

– Visual KursAR требует предварительного построения размерных схем и их кодирования вручную;

- GRAKON требует предварительного нанесения припусков на чертеж изделия, что усложняет исходные графические данные;
- модуль АСКОН имеет сложный интерфейс ввода технологического маршрута и требует дополнительных эскизов в качестве исходных параметров;
- NORMAL требует предварительного построения геометрической модели детали, заготовки и технологического процесса с табличным представлением информации.

Кроме того, есть различие в подходах к расчету технологических размеров – с одной стороны применяется метод составления и решения системы уравнений размерных цепей (Visual KursAR, АСКОН и GRAKON), с другой – метод представления размерных связей в виде матрицы смежности графа и ее преобразования (NORMAL). Второй подход является более алгоритмизируемым, так как сводит размерные расчеты к простейшим математическим операциям. Но в то же время этот подход имеет избыточный алгоритм построения матриц средних размеров, включающий генерацию отдельных матриц для каждого замыкающего звена.

За рубежом подход к автоматизации представлен преимущественно диаграммой допусков [7, 8]. На основе диаграммы допусков разработаны математические модели [9, 10], алгоритмы расчета [11, 12], на их основе разработаны программы и программные модули [13–15], но эта методика ограничена тем, что применяется только для прямоугольных форм изделий [16], между тем, с развитием станков с ЧПУ, CAD/CAM-систем конструкции изделий принимают все более сложные формы.

В связи с наличием недостатков возникает необходимость в разработке нового программного модуля, где в качестве исходных данных будет использован только конструкторский чертеж изделия, технологический маршрут и допуски операционных размеров, и при этом будет использован более гибкий и эффективный метод расчета.

Предлагаемый алгоритм расчета размерных цепей

Для решения поставленной задачи, прежде всего, требуется алгоритм, работающий только с вышеперечисленными исходными данными. Наиболее удобным будет представление размерных схем в виде графов [17–19]. Такой подход позволит применить к размерному анализу теорию графов, что упрощает выявление и расчет размерных цепей. При этом поверхности представляют вершины графов, а размеры – связи между этими вершинами. Более того, графы представляются в виде матриц смежности и инцидентности [6, 20]. Но, несмотря на вышеперечисленные удобства, граф размерных цепей не содержит информации о взаимном расположении поверхностей, что важно при расчете номинальных значений размеров. В связи с этим в качестве исходных данных принимается не только граф, но и размерные цепи.

В разрабатываемом алгоритме используется две матрицы: средних размеров и допусков. Так как все значения средних размеров (как составляющих, так и замыкающих) на графе координатно связаны между собой, возникает возможность представить расчет среднего размера как определение кратчайшего расстояния между двумя пунктами, а расчет допусков свести к определению пройденного расстояния из одного пункта в другой по заданному маршруту.

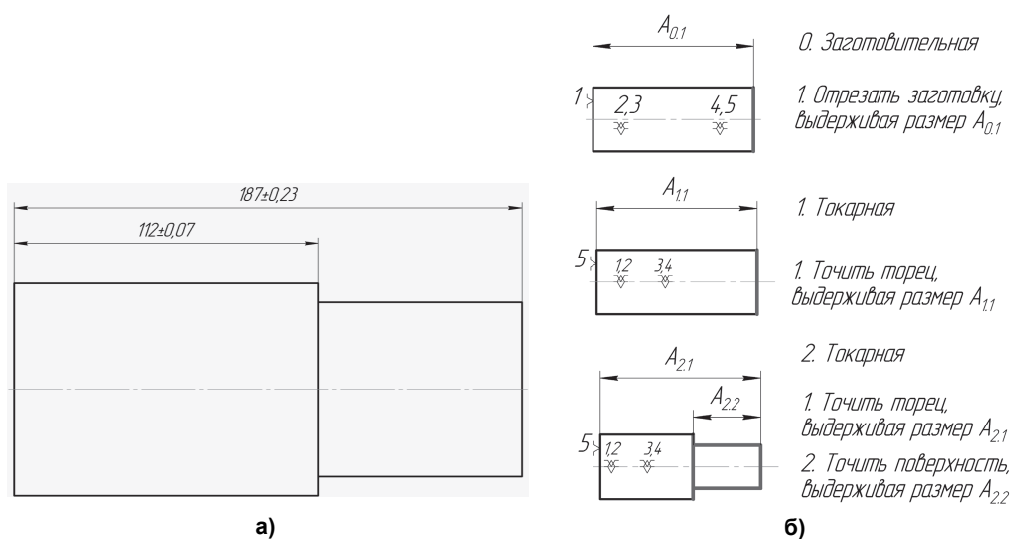


Рис. 1. Эскиз (а) и маршрут технологического процесса обработки вала (б)

Технология

Рассмотрим предлагаемый алгоритм на примере технологии обработки ступенчатого вала (рис. 1, а, б). Технология обработки должна содержать все размеры, но в данном примере используются только осевые.

Назначим припуски на обработку: $Z_{1,1}$, $Z_{2,1}$ и на основе технологического процесса, построим размерную схему (рис. 2, а) и, пронумеровав на ней поверхности, граф технологических размерных цепей (рис. 2, б). Для того чтобы размерные линии на эскизе не пересекались, разместим их в обратном порядке, от последней операции до заготовки.

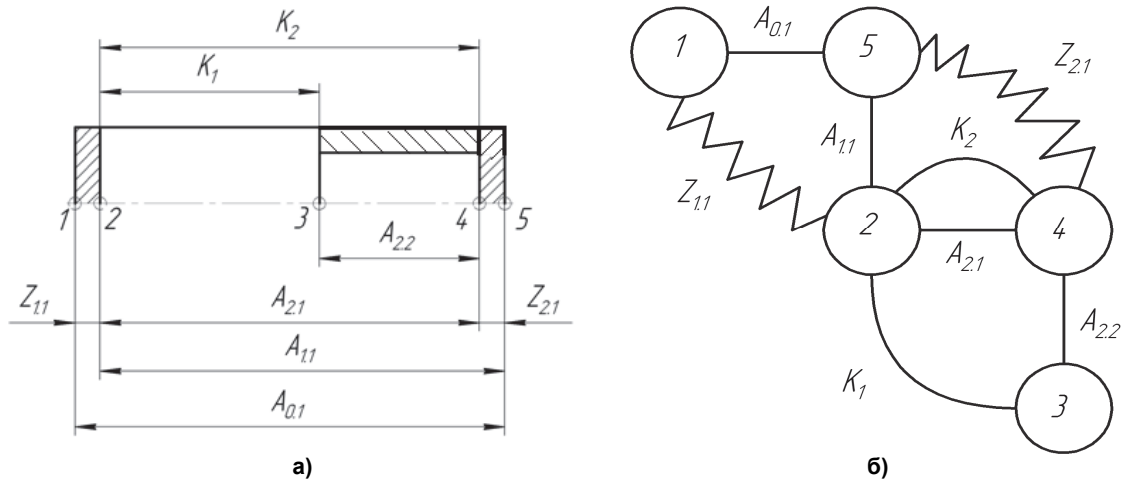


Рис. 2. Размерная схема технологического процесса обработки вала (а) и граф технологических размерных цепей (б)

Алгоритм расчета допусков

Построим матрицу смежности допусков. При этом значение допуска размера, лежащего между поверхностями под номерами n и p , записывается в ячейку с адресом $a_{n,p}$ (рис. 3) (например: размер $A_{2,1}$ лежит между поверхностями 2 и 4 (см. рис. 2), значит, будет записан в ячейку $a_{2,4}$). В матрицах, представленных на рис. 3–8, содержимое ячеек содержит нумерацию в соответствии с технологическим процессом (рис. 2, а).

Для расчета неизвестных допусков (см. рис. 3), используется следующий алгоритм (рис. 4):

1. Методом перебора выбирается ячейка, значение которой необходимо рассчитать – $a_{n,p}$.
2. Находим ячейку в строке n , содержащую значение допуска составляющего звена.
3. В столбце, которому принадлежит найденная ячейка, также ищем ячейку, содержащую значение допуска составляющего звена.

$p \backslash n$	1	2	3	4	5
1		TZ_{11}			$TA_{01}=0,8$
2	TZ_{11}		TK_1	$TA_{21}=0,09$	$TA_{11}=0,6$
3		TK_1		$TA_{22}=0,05$	
4		$TA_{21}=0,09$	$TA_{22}=0,05$		TZ_{21}
5	$TA_{01}=0,8$	$TA_{11}=0,6$		TZ_{21}	

Рис. 3. Матрица известных значений допусков

$p \backslash n$	1	2	3	4	5
1		TZ_{11}			$TA_{01}=0,8$
2	TZ_{11}		TK_1	$TA_{21}=0,09$	$TA_{11}=0,6$
3		TK_1		$TA_{22}=0,05$	
4		$TA_{21}=0,09$	$TA_{22}=0,05$		TZ_{21}
5	$TA_{01}=0,8$	$TA_{11}=0,6$		TZ_{21}	

Рис. 4. Схема определения значения ячейки с адресом $a_{2,1}$ ($a_{2,1}$ – адрес ячейки в матрице, выделенной жирным цветом)

4. Далее снова ищем в строке и т. д., до тех пор, пока не найдем ячейку в строке или столбце p .

5. Значения найденных ячеек суммируются и записывают в $a_{n,p}$.

Однако здесь существует возможность составления тупиковой последовательности ячеек, которая не ведет к расчету значения нужной ячейки (рис. 5). Подобные последовательности необходимо методом автоматического перебора исключить и выявить такую последовательность, которая приведет к расчету значения заданной ячейки. Тупиковой считается последовательность ячеек, в которой при выполнении пунктов 3 и 4 вышеизложенного алгоритма в текущей строке (столбце) имеется только одно значение допуска замыкающего звена и ячейка не принадлежит строке или столбцу p .

Рассчитанные значения допусков представлены в матрице, отображенной на рис. 6.

$p \backslash n$	1	2	3	4	5
1		TZ_{11}			$TA_{01}=0,8$
2	TZ_{11}		TK_1	$TA_{21}=0,09$	$TA_{11}=0,6$
3		TK_1		$TA_{22}=0,05$	
4		$TA_{21}=0,09$	$TA_{22}=0,05$		TZ_{21}
5	$TA_{01}=0,8$	$TA_{11}=0,6$		TZ_{21}	

Рис. 5. Тупиковая схема определения значения ячейки с адресом $a_{2,1}$

$p \backslash n$	1	2	3	4	5
1		$TZ_{11}=1,4$			$TA_{01}=0,8$
2	$TZ_{11}=1,4$		$TK_1=0,14$	$TA_{21}=0,09$	$TA_{11}=0,6$
3		$TK_1=0,14$		$TA_{22}=0,05$	
4		$TA_{21}=0,09$	$TA_{22}=0,05$		$TZ_{21}=0,69$
5	$TA_{01}=0,8$	$TA_{11}=0,6$		$TZ_{21}=0,69$	

Рис. 6. Рассчитанные значения допусков

Алгоритм расчета средних размеров

Рассчитываются средние значения известных размеров (конструкторских размеров и припусков) и записываются в матрицу смежности средних размеров (рис. 7). Неизвестные средние размеры (технологические) рассчитываются согласно следующему алгоритму.

1. Среднее значение размера лежащего между поверхностями n и p записывается в ячейку с адресом $a_{n,p}$.

2. Если положение поверхности n левее положения поверхности p , то среднее значение в ячейку $a_{n,p}$ записывается со знаком «+», если правее, то со знаком «-». Стоит заметить, что выполнение данного пункта предполагает наличие относительного положения поверхностей в качестве исходных данных. Эту информацию граф не содержит и, следовательно, необходимо пользоваться не только графами, но и классической размерной цепью.

3. Используя формулы, содержащиеся в матрице, представленной на рис. 8, а, рассчитываются пустые ячейки (рис. 8, б). Нумерация содержимого ячеек в матрице, представленной на рис. 8, а, приведена в соответствии с адресами ячеек в матрице.

Например, ячейка с адресом $a_{1,5}$ – пустая, должна содержать значение размера $A_{0,1}$ – расчет этого значения, согласно формулам на рис. 8, а, будет выглядеть так:

$$a_{1,5} = a_{4,5} - a_{4,1} \tag{1}$$

Ячейка $a_{4,1}$ – пустая, расчет по тем же формулам:

$$a_{4,1} = a_{2,1} - a_{1,1} = -187 - 1,2 = -188,2 \text{ мм.} \tag{2}$$

$p \backslash n$	1	2	3	4	5
1		$Z_{11}^{cp}=1,2$			A_{01}^{cp}
2	$-Z_{11}^{cp}=-1,2$		$K_1^{cp}=112$	$A_{21}^{cp}=187$	A_{11}^{cp}
3		$-K_1^{cp}=-112$		A_{22}^{cp}	
4		$-A_{21}^{cp}=-187$	$-A_{22}^{cp}$		$Z_{21}^{cp}=0,6$
5	$-A_{01}^{cp}$	$-A_{11}^{cp}$		$-Z_{21}^{cp}=-0,6$	

Рис. 7. Матрица смежности значений средних размеров

Отсюда по формуле (1):

$$a_{1,5} = a_{4,5} - a_{4,1} = 0,6 - (-188,2) = 188,8 \text{ мм.}$$

На основе заполненных матриц допусков и средних размеров определяется любой размер и его допуск, участвующий в технологическом процессе. Например, технологический размер $A_{2,1}$ лежит между поверхностями 2 и 4, значит, его среднее значение записано в ячейке с адресом $a_{2,4}$ (значение берется по модулю) матрицы средних размеров, а допуск размера $A_{2,1}$ расположен в матрице допусков в ячейке с тем же адресом.

$\rho \backslash \pi$	1	2	n
1		$a_{1,2} = a_{2,2} - a_{2,1} =$ $= a_{p,2} - a_{p,1}$	$a_{1,n} = a_{2,n} - a_{2,1} =$ $= a_{p,n} - a_{p,1}$
2	$a_{2,1} = a_{2,2} - a_{1,2} =$ $= a_{2,n} - a_{1,n}$	$a_{2,2} = a_{1,2} + a_{2,1}$	$a_{2,n} = a_{1,n} + a_{2,1}$
ρ	$a_{p,1} = a_{p,2} - a_{1,2} =$ $= a_{p,n} - a_{1,n}$	$a_{p,2} = a_{p,1} + a_{1,2}$	$a_{p,n} = a_{1,n} + a_{p,1}$

а)

$\rho \backslash \pi$	1	2	3	4	5
1	0	$Z_{1,1}^{cp} = 1,2$	113,2	188,2	$A_{0,1}^{cp} = 188,8$
2	$-Z_{1,1}^{cp} = -1,2$	0	$K_1^{cp} = 112$	$A_{2,1}^{cp} = 187$	$A_{1,1}^{cp} = 187,6$
3	-113,2	$-K_1^{cp} = -112$	0	$A_{2,2}^{cp} = 75$	75,6
4	-188,2	$-A_{2,1}^{cp} = -187$	$-A_{2,2}^{cp} = -75$	0	$Z_{2,1}^{cp} = 0,6$
5	$-A_{0,1}^{cp} = -188,8$	$-A_{1,1}^{cp} = -187,6$	-75,6	$-Z_{2,1}^{cp} = -0,6$	0

б)

Рис. 8. Формулы для расчета средних размеров (а) и их рассчитанные значения (б)

Заключение

Основным преимуществом данного алгоритма является отсутствие необходимости выявления увеличивающих и уменьшающих звеньев, отдельных размерных цепей и составления уравнений расчета. Кроме того, для расчета всех размеров и их допусков требуется составить только две матрицы смежности – допусков и средних размеров и размерную цепь. Также алгоритм не требует особой нумерации поверхностей. Данный алгоритм позволяет автоматизировать расчеты цепей отклонения формы и расположения, одинаково подходит для размерного расчета технологических процессов деталей как типа «тело вращения», так и для более сложных изделий, конусных элементов, но на данный момент главным ограничением является отсутствие простых алгоритмов формирования исходных данных.

Выражаю огромную благодарность за обсуждение рукописи, рекомендации и справедливую критику:

- 1) Масыгину Василию Борисовичу – профессору кафедры «Технология машиностроения», ОмГТУ, г. Омск;
- 2) Арляпову Алексею Юрьевичу – доценту, заведующему кафедрой «Технология автоматизированных машиностроительных производств» НИ ТПУ, г. Томск.

Литература

1. *Размерный анализ технологических процессов* / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
2. *Шамин, В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей: учеб. пособие* / В.Ю. Шамин. – 5-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2012. – 530 с.
3. *Калачев, О.Н. Графическое моделирование размерной структуры технологического процесса на электронном чертеже в среде AutoCAD* / О.Н. Калачев, Н.В. Богоявленский, С.А. Погорелов // Вестник компьютер. и информ. технологий. – 2012. – № 5. – С. 13–19.

4. Хармац, И. КОМПАС-АВТОПРОЕКТ: точный контроль над технологической информацией. Новые модули и новые возможности системы / И. Хармац // САПР и графика. – 2004. – Июнь. – С. 17–19.
5. Масыгин, В.Б. Автоматизация размерного анализа технологических процессов механической обработки деталей типа тел вращения / В.Б. Масыгин // Омский науч. вестн. Серия «Приборы, машины и технологии». – 2008. – № 3 (70). – С. 40–44.
6. Масыгин, В.Б. Метод расчета линейных технологических размеров на основе матричного представления графа / В.Б. Масыгин, С.Г. Головченко // Омский науч. вестн. Серия «Приборы, машины и технологии». – 2003. – № 3 (24). – С. 75–78.
7. Ngoi, B.K.A. Tolerance Charting: the state-of-the-art review / B.K.A. Ngoi, Y.C. Kuan // *International Journal of Computer Applications in Technology* – 1995. – Vol. 8, No 3/4. – P. 229–242.
8. Ping, Ji. Determining Dimensions for Process Planning: A Backward Derivation Approach / Ji Ping // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 1996. – P. 52–58.
9. Wei, C.-C. Determining the process tolerances based on the manufacturing process capability / C.-C. Wei, Y.-C. Lee // *International Journal of Computer Applications in Technology*. – 1995. – November. – P. 416–421.
10. Ngoi, B.K.A. Tolerance Control for Dimensional and Geometrical Specifications / B.K.A. Ngoi, M.S. Seow // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 1996. – P. 34–42.
11. Britton, G.A. A Matrix Method for Calculating Working Dimensions and Offsets for Tolerance Charting / G.A. Britton, G. Thimm // *International Journal of Computer Applications in Technology*. – 2002. – P. 448–453.
12. Legoff, O. Technological form defects identification using discrete cosine transform method / O. Legoff, J.-Y. Hascoet // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2010. – December. – P. 52–58.
13. Pan, Y.R. Computer-Aided Tolerance Charting for Products with Angular Features / Y.R. Pan, G.R. Tang // *International Journal of Computer Applications in Technology*. – 2001. – P. 361–370.
14. Ann, B.N.K. Tolerance synthesis adopting a nonlinear programming approach / B.N.K. Ann, M.S.M. Seng // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 1996. – № 6. – P. 387–393.
15. Roy, U. Computational Methodologies for Evaluating Form and Positional Tolerances in a Computer integrated Manufacturing System / U. Roy // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 1995. – March. – P. 110–117.
16. Roy, U. Review of Dimensioning and Tolerancing: Representation and Processing / U. Roy // *Computer Aided Design*. – 1991. – № 7. – P. 466–483.
17. Thimm, G. A graph theoretic approach linking design dimensioning and process planning. Part I: Designing to process planning / G. Thimm, G.A. Britton, S.C. Fok // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2004. – P. 261–271.
18. Ngoi, B.K.A. The Noded Graph Approach to Stack Analysis / B.K.A. Ngoi, M. Agarwal, C.S. Chua // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 1998. – P. 343–349.
19. Мордвинов, Б.С. Исследование геометрических структур с применением теории графов / Б.С. Мордвинов // *Изв. вузов. Машиностроение*. – 1965. – № 3. – С. 111–118.
20. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари; пер. с англ. В.П. Козырева; под ред. Г.П. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 2003. – 296 с.

Мухолзоев Андрей Владимирович. Ассистент кафедры «Технология автоматизированного машиностроительного производства», Томский политехнический университет, г. Томск; аспирант заочной формы обучения кафедры «Технология машиностроения», Омский государственный технический университет, г. Омск, alien89.07@mail.ru.

Поступила в редакцию 14 января 2015 г.

THE ALGORITHM FOR AUTOMATED CALCULATION OF TECHNOLOGICAL DIMENSIONAL CHAINS

A.V. Muholzoev, Omsk State Technical University, Omsk; Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation, alien89.07@mail.ru

The algorithm of automation of technological processes of tolerance analysis based on the presentation of technological dimensions and tolerances in the form of co-occurrence matrices. The algorithm requires a design dimensions, tolerances technological dimensions and machining allowances. The calculation of the average values of the technological dimensions, tolerances, allowances and design dimensions is a simple mathematical interpretation. Numbering surface processing can occur in any order that does not affect the final calculations and compiled automatically. The algorithm uses as particularly representation dimensional structures in the form of chains, and in the form of graphs, it allows to determine the relative position of surfaces and at the same time the possibility to use a mathematical representation of the graph. The algorithm calculates equally sized chain, both for bodies of revolution, and for more complex product configurations. Potentially, this algorithm is capable of deviation calculation circuit layout. The main advantage of the presented algorithm is a method for making matrices tolerances and medium-size values them, allows the calculation of dimensional chain master links without the need to identify the individual size of chains, determining increases and decreases links.

An example of the tolerance analysis of the technological process of machining a stepped shaft. Calculated tolerances and the average of the operating sizes included in the process. An algorithm for detecting the size of each individual and his admission of the total array of calculated data. Appointment of average values machining allowances are not considered in this example, since the associated calculations are performed outside the main matrix.

Keywords: tolerance analysis, automation engineering, graph theory, dimensional chain, calculation algorithm, automation of dimensional analysis.

References

1. Matveev V.V., Tverskoy M.M., Boykov F.I. et al. *Razmernyy analiz tekhnologicheskikh protsesov* [Tolerance Analysis of Technological Process]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 264 p.
2. Shamin V.Yu. *Teoriya i praktika resheniya konstruktorskikh i tekhnologicheskikh razmernykh tsepey: elektronnoe uchebnoe posobie* [Theory and Practice of Design and Technological Dimension Chains: Electronics Tutorial], 2nd ed. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2012. 530 p.
3. Kalachev O.N., Bogoyavlenskiy N.V., Pogorelov S.A. [Graphic simulation dimensional structure Process on Electrical drawings in AutoCAD]. *Journal of Computer and Information Technology*, 2012, no. 5, pp. 13–19. (in Russ.)
4. Khartsman I. [KOMPASS AUTOPROEKT: Precise Control over Technological Information. New Modules and New Features of the System]. *CAD and Graphics*, 2014, no. 6, pp. 17–19. (in Russ.)
5. Masyagin V.B. [Automation Tolerance Analysis of Technological Processes of Mechanical Parts Such as “Body Rotation”]. *Omsk Scientific Gazette. Ser. Devices, machines and technology*, 2008, no. 3 (70), pp. 40–44. (in Russ.)
6. Masyagin V.B., Golovchenko S.G. [Method for Calculating the Linear Dimensions of Technology Based on the Matrix Representation of the Graph]. *Omsk Scientific Gazette*, 1983, no. 3 (24), pp. 75–78. (in Russ.)
7. Ngoi B.K.A., Kuan Y.C. Tolerance Charting: the State-of-the-Art Review. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 1995, vol. 8, no 3/4, pp. 229–242.
8. Ping Ji. Determining Dimensions for Process Planning: A Backward Derivation Approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1996, pp. 52–58.
9. Wei C.-C., Lee Y.-C. Determining the Process Tolerances Based on the Manufacturing Process Capability. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 1995, November, pp. 416–421.
10. Ngoi B.K.A., Seow M.S., Tolerance Control for Dimensional and Geometrical Specifications. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1996, pp. 34–42.

11. Britton G.A., Thimm G. A Matrix Method for Calculating Working Dimensions and Offsets for Tolerance Charting. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 2002, pp. 448–453.
12. Legoff O., Hascoet J.-Y. Technological form Defects Identification Using Discrete Cosine Transform Method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, December, pp. 52–58.
13. Pan Y.R., Tang G.R. Computer-Aided Tolerance Charting for Products with Angular Features. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 2001, pp. 361–370.
14. Ann B.N.K., Seng M.S.M. Tolerance Synthesis Adopting a Nonlinear Programming Approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1996, no. 6, pp. 387–393.
15. Roy U. Computational Methodologies for Evaluating Form and Positional Tolerances in a Computer Integrated Manufacturing System. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1995, March, pp. 110–117.
16. Roy U. Review of Dimensioning and Tolerancing: Representation and Processing. *Computer Aided Design*, 1991, no. 7, pp. 466–483.
17. Thimm G., Britton G.A., Fok S.C. A Graph Theoretic Approach Linking Design Dimensioning and Process Planning. Part 1: Designing to Process Planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2004, pp. 261–271.
18. Ngoi B.K.A., Agarwal M., Chua C.S. The Noded Graph Approach to Stack Analysis. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1998, pp. 343–349.
19. Mordvinov B.S. [The Study of Geometric Structures Using Graph Theory]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 1965, no. 3, pp. 111–118. (in Russ.)
20. Harary F. *Teoriya grafov* [Graph Theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1994. 300 p.

Received 14 January 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Мухолзоев, А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей / А.В. Мухолзоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 48–55.

REFERENCE TO ARTICLE

Muholzoev A.V. The Algorithm for Automated Calculation of Technological Dimensional Chains. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 48–55. (in Russ.)
