



Проектирование структуры технологических процессов на основе синтеза

С. Ю. Калякулин^{1*}, В. В. Кузьмин², Э. В. Митин¹,
С. П. Сульдин¹, Т. Б. Тюрбеева²

¹ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Саранск, Россия)

²ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН» (С. Москва, Россия)

*rim-tm@mail.ru

Введение. Процесс автоматизации проектирования структуры технологических процессов достаточно сложен в виду множества разработанных, но слабо формализованных правил проектирования и динамичности схем их применения. Вследствие этого разработанные в настоящее время системы используют эвристические алгоритмы формирования структур. Целью работы является повышение уровня проектирования структуры технологических процессов на основе синтеза при решении задачи выбора конструкторско-технологических баз.

Материалы и методы. В основе полученных научных результатов лежат фундаментальные положения теории базирования, технологии машиностроения, теории графов, теории моделей, методологии проектирования ТП механической обработки, логики предикатов и исчисления высказываний.

Результаты исследования. Установлены связи между параметрами структуры технологических процессов и выбором конструкторско-технологических баз. Описана математическая постановка задачи оптимизации выбора конструкторско-технологических баз при решении задачи на графе и выбором конструкторско-технологических баз. Описана математическая постановка задачи оптимизации выбора конструкторско-технологических баз при решении задачи на графе.

Обсуждение и заключения. Задачи, решенные в данной статье, позволяют сделать шаг к повышению уровня проектирования структуры технологических процессов на основе синтеза при выборе конструкторско-технологических баз. Реализация в системах автоматизированного проектирования технологических процессов описанной в статье задачи позволит повысить общий уровень автоматизации проектирования данных процессов проектирования структуры технологических процессов на основе синтеза при выборе конструкторско-технологических баз. Реализация в системах автоматизированного проектирования технологических процессов описанной в статье задачи позволит повысить общий уровень автоматизации проектирования данных процессов.

Ключевые слова: технологический процесс, структура, синтез, система, бинарное отношение, алгоритм, поверхность

Для цитирования: Проектирование структуры технологических процессов на основе синтеза / С. Ю. Калякулин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 1. С. 77–84. DOI: 10.15507/0236-2910.028.201801.077-084

Designing the Structure of Technological Processes Based on Synthesis

S. Yu. Kalyakulin^{a*}, V. V. Kuzmin^b, E. V. Mitin^a,
S. P. Suldin^a, T. B. Tyurbееva^b

^aNational Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

^bMoscow State Technical University "STANKIN"
(Moscow, Russia)

*rim-tm@mail.ru

Introduction. The aim of the work is to develop an algorithm for designing a process based on synthesis.

Materials and Methods. The paper gives an account of developing the structure of technological processes in an automated mode. The authors demonstrate the complexity of the formalization. Many factors must be taken into account when developing it. An algorithm was developed that makes it possible to solve the problems based on synthesis of technological processes.

Results. The authors found the relationship between the parameters of the structure of technological processes based on the formation of a set of permissible transitions. The relationships between structural parameters, such as "surface technological methods", "method-machine", "tool-tool-tool" are revealed. A generalized algorithm based on the synthesis of the technological process of machining is developed.

Discussion and Conclusions. The present study allows speech for increasing the level of automation of calculating parameters in computer aided design systems. The implementation of the algorithm of designing technological processes developed on the basis of synthesis will allow increasing the overall level of automation of technological processes design.

Keywords: technological process, structure, synthesis, system, binary relation, algorithm, surfaces

For citation: Kalyakulin S. Yu., Kuzmin V. V., Mitin E. V., Suldin S. P., Tyurbееva T. B. Designing the Structure of Technological Processes Based on Synthesis. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(1):77–84. DOI: 10.15507/0236-2916.2018.201801.077-084

Введение

Процесс автоматизации проектирования структуры технологических процессов (ТП) достаточно сложен в виду множества разработанных, слабо формализованных правил проектирования и динамичности суммарного применения. Вследствие этого разработанные в настоящее время системы используют эвристические алгоритмы формирования структур. Данные алгоритмы, как правило, ориентированы на небольшое количество возможных производственных операций и не позволяют сделать данные системы адаптивными и широко тиражируемыми, а решения, которые формирует система, требуют корректирования. Для

проектирования структуры необходимо ввести в систему большое количество информации о производственной среде и изготавливаемом изделии. Режим диалога, встроенный в систему, позволяет вводить исходную информацию, корректировать принятые решения и производить ряд других операций. Однако в том случае, если алгоритмы не предназначены для конкретной производственной ситуации, невозможно достичь повышения эффективности проектирования структуры ТП даже при использовании диалогового режима. Оперативное внесение изменений и дополнений в разработанную систему проектирования также не всегда возможно.



Обзор литературы

Под ТП понимается система, для которой характерны понятия структуры и параметров [1]. Структурный аспект добавляется к определению ТП, поскольку на уровне развития технологии влияют не только методы обработки, но и структуры. На основе этого уточняются технологические понятия. Дальнейшее развитие понятие структуры ТП получило в работах В. Д. Цветкова¹. По его мнению, данная структура состоит из 3-х основных составляющих: функциональной (которая определяет порядок переходов из одного состояния детали в другое), пространственной и временной. В. В. Борзенков, в свою очередь, описывает топологические свойства макроэлементов, структуры деталей в системе автоматизированного проектирования (САПР) ТП [2].

Выбор структуры в частично автоматизированном режиме стал возможным только в начале 1980-х гг., когда мощность ЭВМ позволила частично решить данную проблему. Больше количество работ посвящено выбору структуры в автоматизированном режиме; многие из них получили практическое применение. Например, А. А. Саратов разработал оригинальный алгоритм структурно-параметрического синтеза производственного расписания, оптимизированный по критерию минимизации издержек производства при задержке выполнения заказов [3]. Н. В. Белая разработала методику выбора комплектов технологических баз на операциях механической обработки машиностроительных деталей [4–5]. В. Н. Бровцин предложил метод адаптивного управления и структуры настраиваемых моделей технологических процессов сельскохозяйственного производства [6]. З. Т. Шифер описывал методологию совершенствования и выбора структу-

ры технологических процессов горнодобывающих предприятий [7].

Одной из первых работ в области формализации накопленных знаний является диссертация А. А. Саратова², в которой автор продемонстрировал взаимосвязь между набором технологических баз и последующим синтезом геометрической схемы ТП. Данная схема состоит из совокупности поверхностей (с готовки, готовой детали, предварительно обработанных поверхностей), а также соотношений и размеров, которые связывают поверхности между собой. ТП в геометрическом отношении может быть представлен в виде результата последовательного совмещения режущих и установочных элементов инструмента и приспособления с обрабатываемыми и базирующими поверхностями детали. Продолжением данного подхода стали работы В. В. Кузьмина и Д. Е. Максимовского [8–9], которые рассматривали способы выбора технологических баз для корпусных деталей в автоматизированном производстве с использованием САПР ТП.

Материалы и методы

В статье предложен метод проектирования структуры ТП на основе синтеза. В основе полученных научных результатов лежат фундаментальные положения теории базирования, технологии машиностроения, теории графов, теории моделей, методологии проектирования ТП механической обработки, логики предикатов и исчисления высказываний.

Результаты разработанного метода рекомендуется использовать при проектировании структуры ТП в автоматизированном режиме в САПР ТП.

Результаты исследования

Выбор структуры ТП для корпусных деталей на основе синтеза пред-

¹ Цветков В. Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов. М. : Машиностроение, 1972. 240 с. URL: <http://www.libex.ru/detail/book596295.html>

² Саратов А. А. Моделирование процесса выбора технологических баз при автоматизированном проектировании : дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1983. 198 с.

ставляет собой многовариантную задачу в силу особенностей их геометрической структуры: деталь ограничена большим количеством обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей π . Поэтому количество комплектов технологических баз (КТБ), формируемых на поверхностях π , достаточно велико по сравнению с деталями типа тела вращения. В последнем случае КТБ формируются однозначно (либо ось центровых отверстий при обработке в центрах, либо поверхности торцов при обработке в патроне с переустановом), а технологические базы при первых операциях назначаются в зависимости от типа производства (либо на универсальных, либо на фрезерно-центровальных станках). По сути, решение задачи разработки структуры ТП на основе синтеза в первую очередь должна сводиться к выбору технологических баз детали, для которой разрабатывается структура [10].

При выборе КТБ необходимо учитывать многочисленные ограничения и критерии, которые определяют набор свойств. К важнейшим из них относятся:

- лишение заготовки детали 6-и степеней свободы при установке и приспособлении по выбранным поверхностям КТБ;
- наиболее удобная и экономичная конструкция приспособления;
- обеспечение заданной точности замыкающих звеньев (размеров на чертеже с допусками), для составляющих звеньев размерных цепей, которые определяются заданными технологическими базами;
- свойство оптимальности по критерию количества переустановов.

Выбор оптимального варианта зависит от многочисленных факторов: серийность и уровень автоматизации производства, точность технологической системы (станок и технологическая оснастка), се-

бестоимость и цикл обработки, точность размеров заготовки, структура поверхностного слоя главных поверхностей.

Рассмотрим перечисленные ограничения и критерии при выборе КТБ на примере корпусной детали (рис. 1).

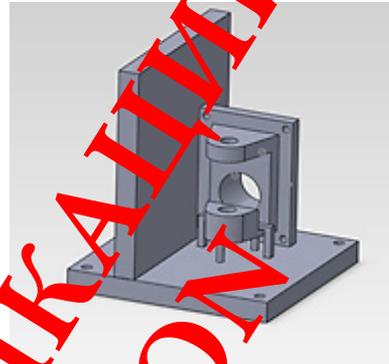


Рис. 1. Деталь типа корпус
Fig. 1. Body type part

Сформулируем задачу выбора (КТБ) в виде экстремальной задачи на графе.

Пусть задан граф

$$G = \{P, U\}, \quad (1)$$

где P – множество вершин, отражающих состояния поверхностей в процессе обработки от заготовки до окончательной обработки; U – множество дуг, отражающих размерные связи между поверхностями (конструкторские, технологические, размеры припусков и заготовки).

Конструкторские размеры и припуски являются замыкающими звеньями размерных цепей, а технологические размеры и заготовки – составляющими. Подчеркнем, что любому замыкающему звену соответствует только одна размерная цепь.

В графе G выделим на основе моделирования возможных КТБ подграф $G_T \in G$, который отражает возможности обработки поверхностей с различных технологических баз (или технологический подграф).



Требуется найти граф $G_{ТП} \in G_T$, обладающий свойством оптимальности по критерию W , который определяет число его уровней.

Рассмотрим свойства подграфа $G_{ТП} = \{P_{ТП}, U_{ТП}\}$, необходимые для постановки экстремальной задачи на графах.

1. Множество вершин подграфа $G_{ТП}$ и графа G_T совпадают, т. е. $P_{ТП} = P_T$.

2. В каждую вершину подграфа $G_{ТП}$, кроме вершин заготовки, входит одна дуга технологического размера или размера заготовки.

3. Ни одна дуга, принадлежащая составляющим звеньям, не может соединять вершины, принадлежащие одной и той же поверхности.

4. Для каждого замыкающего звена существует только одна размерная цепь.

Свойства 1–4 являются основными свойствами подграфа $G_{ТП}$.

Для формулировки экстремальной задачи на графах требуется установить дополнительные свойства подграфа $G_{ТП}$.

5. Свойство оптимальности по критерию $W(G_{ТП})$, определяющее минимальное число его уровней (число переустановов), т. е.

$$W(G_{ТП}^*) = \min_{G_{ТП} \in G_T} W(G_{ТП}^*(x)). \quad (2)$$

6. Обеспечение заданной точности конструкторских размеров выполняется путем проверки выполнения неравенства: допуски на конструкторские размеры не должны быть меньше суммы допусков на составляющие звено размерных цепей, замыкающих конструкторский размер.

Для проверки этого условия необходимо выполнить следующие этапы алгоритма:

– для каждого конструкторского размера (замыкающего звена) определить размерную цепь;

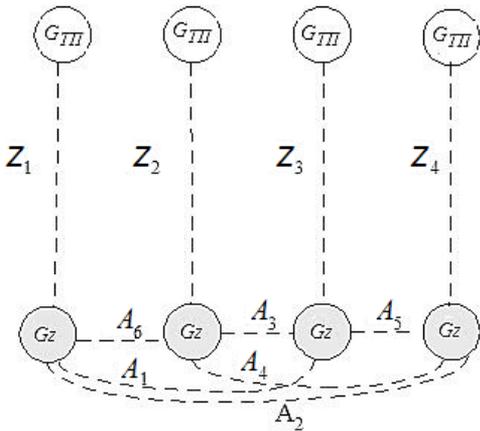
– определить по чертежу показатели точности g конструкторских размеров;

– определить по справочной информационной базе показатели точности технологических размеров, размеров заготовки (другими словами, выполнить взвешивание и суммирование показателей точности относительного положения поверхностей в результате обработки поверхности p_j на основе технологической базы p_i), а также показатели точности линейных размеров, обеспеченных технологическими методами обработки на различных этапах (черновое, получистовое, чистовое, финишное);

– выполнить суммирование f погрешностей составляющих звеньев размерной цепи теоретическим методом (если обработка поверхностей выполняется на основе одной технологической базы, то погрешности базирования компенсируются);

– выполнить проверку условия $f < g$, т. е. погрешность замыкающего звена, указанная на чертеже, должна быть больше суммы погрешностей составляющих звеньев соответствующей размерной цепи; если условие не выполняется, то ТП не удовлетворяет свойству 6.

Математическая постановка задачи оптимизации выбора технологических размеров δ в зависимости от перечисленных выше факторов используют критерий оптимальности $W(x)$ по количеству переустановов и ограничения $\Omega(x)$. Оптимизация структуры ТП с формальной точки зрения зависит от расположения μ составляющих звеньев размерных цепей относительно замыкающих звеньев. При этом структура замыкающих звеньев является фиксированной для рассматриваемой задачи, а расположение μ определяется выбором подграфа $G_{ТП}$. Структура замыкающих звеньев G_z применительно к корпусной детали показана на рис. 2.



Р и с. 2. Структура замыкающих звеньев применительно к корпусной детали (A – конструкторские размеры; Z – размеры межпереходных припусков)

F i g. 2. The structure of closing links in relation to a body part (A – design dimensions; Z – dimensions of intertransport allowances)

Обсуждение и заключения

Разработана математическая постановка задачи выбора КТБ на основе синтеза структуры ТП, представленного в виде классической задачи выделения из заданного технологического графа G_T подграфа G_{TP} с заданными свойствами:

На основе анализа исходного графа методами размерного анализа можно обосновать следующие рекомендации:

- при выборе структуры ТП на основе синтеза целесообразно использовать различные технологические базы (смену баз) на необработанных поверхностях;
- при выборе структуры ТП на основе синтеза при использовании критерия оптимальности (неравномерности припуска главных поверхностей) в качестве технологических баз при первых операциях целесообразно использовать главные поверхности в состоянии заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Селиванов С. Г. Каскадный метод оптимизации проектных технологических процессов в АСТПП на основе использования искусственных нейронных сетей // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. Т. 18. № 3. С. 170–174. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22670806>
2. Борзенков В. В. Топологические свойства макроэлементов, описывающих структуру деталей в САПР ТП механической обработки // Об. мат-лов науч. практ. конф. с междунар. участием. 2013. С. 18–21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22658937>
3. Саратов А. А. Конкурентный метод синтеза производственных расписаний // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 3. С. 104–110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21770300>
4. Новиков О. А., Байбаков С. В. Методика выбора технологических баз при проектировании технологических процессов в механической обработке // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2009. № 4. С. 73–75. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12981272>
5. Байбаков С. В. Система комплексной автоматизации технологической подготовки производства // Программные продукты и системы. 2010. № 1. С. 28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14870189>
6. Бровцин В. П. Выбор метода адаптивного управления и структуры настраиваемых моделей технологических процессов сельскохозяйственного производства // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 1996. № 66. С. 45–54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23067702>
7. Акашев З. Г. Методология совершенствования и выбора структуры технологических процессов горнодобывающих предприятий // Тяжелое машиностроение. 2005. № 12. С. 17–19. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9482961>
8. Кузьмин В. В., Максимовский Д. Е. Выбор технологических баз на основе решения прямой задачи размерного анализа // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2012. № 2. С. 64–69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17847920>
9. Maksimovskii D. E. Automation of process design by design-technological parameterization // Russian Engineering Research. 2011. Vol. 31, no. 9. С. 870–872. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24009566>



10. **Kalyakulin S. Yu.** Algorithm for calculating the parameters of the initial blank in the SITEP MO automated design system // Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34, no. 11. С. 713–715. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24009566>

Поступила 14.12.2017; принята к публикации 11.01.2018; опубликована онлайн 20.03.2018

Об авторах:

Калякулин Сергей Юрьевич, доцент кафедры технологии машиностроения, Рузаевский институт машиностроения, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ResearcherID: O-6514-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0644-7746>, rim-tm@mail.ru

Кузьмин Владимир Владимирович, профессор кафедры технологии машиностроения, факультет машиностроительных технологий и оборудования, ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН» (127994, Россия, г. Москва, Вадковский пер., д. 1), доктор технических наук, ResearcherID: V-5405-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6318-8563>, kvv2607@yandex.ru

Митин Эдуард Валерьевич, доцент кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ResearcherID: V-5383-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9899-3428>, mitinaaka@rambler.ru

Сульдин Сергей Петрович, заведующий кафедрой технологии машиностроения, Рузаевский институт машиностроения, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ResearcherID: V-5311-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8159-6322>, rimstanok@mail.ru

Тюрбеева Татьяна Борисовна, доцент кафедры информационных технологий и вычислительных систем, Институт информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН» (127994, Россия, г. Москва, Вадковский пер., д. 1), кандидат технических наук, ResearcherID: V-5050-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6693-5974>, turbееva@mail.ru

Вклад соавторов:

С. Ю. Калякулин: разработка алгоритма структуры технологических процессов на основе синтеза; В. В. Кузьмин: научное руководство, постановка задачи исследования; Э. В. Митин: анализ литературных данных; С. П. Сульдин: разработка моделей технологических процессов; Т. Б. Тюрбеева: написание текста статьи, его верстка и редактирование, построение графа бинарных отношений.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Selivanov S. G., Gabitova G. F., Yudin A. N., Shayhulova A. F. Cascade optimization method technological process routes in automated systems production planning with using artificial neural network. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatonnogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of Ufa State Aviation Technical University. 2014; 18(3):170–174. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22670806> (In Russ.)
2. Borzhenkov V. V. [Topological properties of macroelements that describe the structure of parts in the CAD of mechanical processing]. Proceedings of the Scientific Practical Conference with International Participation. 2013; 18–21. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22658937> (In Russ.)
3. Saratov A. A. Competitive method of synthesis of the machine scheduling. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* = Tula State University Bulletin. Technical Science. 2014; 3:104–110. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21770365> (In Russ.)
4. Novikov O. A., Baybakov S. V. [Technique of selection of technological bases for designing technological processes of mechanical processing]. *Upravleniye kachestvom v neftegazovom komplekse* = Quality Management in Oil and Gas Complex. 2009; 4:73–75. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12981272> (In Russ.)

5. Baybakov S. V. [The system of complex automation of technological preparation of production]. *Programmnyye produkty i sistemy* = Software Products and Systems. 2010; 1:28. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=14870189> (In Russ.)
6. Brovtsin V. N. [The choice of the method for adaptive control and the structure of customizable models of technological processes of agricultural production]. *Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva* = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Production. 1996; 66:41–54. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23067702> (In Russ.)
7. Akashev Z. T. [The methodology of improvement and selection of the structure of mining enterprises' technological processes]. *Tyazhelaye mashinostroyeniye* = Heavy Engineering. 2005; 12:17–19. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9482961> (In Russ.)
8. Kuzmin V. V., Maksimovskii D. E. Choice of technological bases on the basis of the decision of a direct problem of the dimensional analysis // *Vestnik MGTU "STANKIN"* = MSTU STANKIN Bulletin. 2012; 2:64–69. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17847920> (In Russ.)
9. Maksimovskii D. E. Automation of process design by design technological parameterization. *Russian Engineering Research*. 2011; 31(9):870–872. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24009566>
10. Kalyakulin S. Yu. Algorithm for calculating the parameters of the initial block in the SITEP MO automated design system. *Russian Engineering Research*. 2014; 34(11):713–715. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24009566>

Submitted 14.12.2017; revised 11.01.2018; published online 20.03.2018

About the authors:

Sergey Yu. Kalyakulin, Associate Professor, Chair of Mechanical Engineering Technology, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: O-6519-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0644-7746>, rim-tm@mail.ru

Vladimir V. Kuzmin, Professor, Chair of Mechanical Engineering Technology, Faculty of Engineering Technologies and Equipment, Moscow State Technical University "STANKIN" (1st Vadkovskiy Pereulok, Moscow 1127994, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: V-5405-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6318-8563>, kvv2607@yandex.ru

Eduard V. Mitin, Associate Professor, Chair of Mechanical Engineering Technology, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: V-5383-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9899-3420>, rimnauka@rambler.ru

Sergey P. Suldin, Head of Chair of Mechanical Engineering Technology, Ruzayevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: V-5381-2017, <http://orcid.org/0000-0002-8159-6322>, rimstanok@mail.ru

Tatyana B. Tyurbeyeva, Associate Professor, Chair of Information Technology and Computer Systems, Institute of Information Systems and Technologies, Moscow State Technical University "STANKIN" (1st Vadkovskiy Pereulok, Moscow 1127994, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: V-5050-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6693-5974>, turbeev@mail.ru

Contribution of the co-authors:

S. Yu. Kalyakulin: developing an algorithm for structure of technological processes based on synthesis; V. V. Kuzmin: scientific management, formulating research aims; E. V. Mitin: analysis of literary data; S. P. Suldin: developing models of technological processes; T. B. Tyurbeyeva: writing the draft, word processing and editing the text, building a graph of binary relations.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.