

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ / COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 621.31:004.942

DOI: 10.15507/2658-4123.030.202002.287-299



## Синтез структуры технологических процессов

С. Ю. Калякулин<sup>1\*</sup>, В. В. Кузьмин<sup>1</sup>, Э. В. Митин<sup>1</sup>,С. П. Сульдин<sup>1</sup>, Т. Б. Тюрбева<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Гусарёва» (г. Саранск, Россия)<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (г. Москва, Россия)

\*rim-tm@mail.ru

*Введение.* Целью работы является повышение уровня автоматизации разработки технологической документации за счет решения задачи синтеза структуры технологических процессов.

*Материалы и методы.* Проведенный авторами обзор состояния вопроса разработки структуры технологических процессов в автоматизированном режиме показал сложность его формализации из-за большого количества факторов, которые необходимо учитывать при его разработке. На основании этого был разработан алгоритм, позволяющий решать поставленные задачи на основе синтеза технологических процессов.

*Результаты исследования.* В данной статье установлены связи между параметрами структуры технологических процессов на основе формирования множества допустимых переходов. Выявлены отношения между параметрами структуры. Разработан алгоритм синтеза на основе синтеза.

*Обсуждение и заключение.* Задачи, решаемые в данной статье, позволяют сделать шаг вперед в повышении уровня автоматизации расчета параметров в системах автоматизированного проектирования. Реализация разработанного на основе синтеза алгоритма проектирования технологических процессов позволит повысить общий уровень автоматизации проектирования технологического процесса.

*Ключевые слова:* структура, синтез, переходы, модели, бинарное отношение, алгоритм, метод

*Для цитирования:* Калякулин, С. Ю. Синтез структуры технологических процессов / С. Ю. Калякулин, В. В. Кузьмин, Э. В. Митин [и др.]. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202002.287-299 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 2. – С. 287–299.



## Synthesis of the Structure of Technological Processes

S. Yu. Kalyakulin<sup>a\*</sup>, V. V. Kuzmin<sup>a</sup>, E. V. Mitin<sup>a</sup>, S. P. Suldin<sup>a</sup>,  
T. B. Tyurbееva<sup>b</sup>

<sup>a</sup>National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

<sup>b</sup>Moscow State University of Technology "STANKIN" (Moscow, Russia)

\*rim-tm@mail.ru

**Introduction.** The purpose of the study is to increase the level of automation of the technical documentation development through solving a problem of synthesis of the structure of technological processes.

**Materials and Methods.** The authors reviewed the current status of the issue of developing the automated structure for technological processes, that have shown the complexity of its formalization because of a considerable quantity of factors which must be considered in developing. The algorithm for solving these tasks based on synthesis of technological processes has been developed.

**Results.** The authors identified the relations between the parameters of the structure of technological processes based on the formation of many admissible transitions. The generalized algorithm on the basis of the synthesis is developed.

**Discussion and Conclusion.** The tasks solved in this article allow increasing the level of automation of calculation of the parameters in systems of automated designing. The implementation of the algorithm for designing technological processes, which is developed on the basis of synthesis, allows increasing the general level of automation of designing technological processes.

**Keywords:** structure, synthesis transitions, models, binary relation, algorithm, method

**For citation:** Kalyakulin S. Yu., Kuzmin V. V., Mitin E. V., et al. Synthesis of the Structure of Technological Processes. *Inzhenernyye Tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(2): 287-299. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202002.287-299>

### Введение

Процесс разработки документации технологического процесса (ТП) состоит из двух этапов: 1) разработка структуры ТП и 2) расчет параметров. Первый этап, включающий в себя разработку операций и переходов, слабо автоматизирован из-за плохой формализации этого процесса и многовариантности возможных применяемых решений. Используемые сегодня системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) при разработке структуры ТП используют эвристические методы, которые не всегда являются гарантированно точными. Используемые алгоритмы основаны на небольшом количестве типовых технологических процессов,

наиболее часто применяемых на практике. Прикладные алгоритмы препятствуют дальнейшему развитию систем и их более широкому применению за счет наибольшей адаптации. Структура, разработанная на основе типовых алгоритмов, в большинстве случаев требует ручной корректировки, что приводит к уменьшению степени автоматизации. Ввод исходной информации для проектирования структуры ТП осуществляется чрез диалоговое окно, в которое оператору необходимо ввести наиболее полную информацию об изделии и средствах производства. Анализируя входную информацию, система предлагает типовой алгоритм структуры ТП, который оператор может принять и при необходимости провести корректировку.

Если система не обладает алгоритмом, предназначенным для конкретной ситуации, эффективность проектирования структуры заметно снижается. Решение данной проблемы является важной задачей на пути полной автоматизации разработки технологического процесса и цифровизации производства.

### Обзор литературы

Проектирование структуры ТП на основе синтеза является одним из вариантов повышения уровня автоматизации проектирования ТП с использованием унифицированных САПР ТП. На сегодняшний день основным принципом проектирования является диалоговый, а сами системы САПР ТП служат автоматизированной базой данных, из которой технолог получает необходимую информацию и компилирует технологический процесс.

Частичное решение данной проблемы рассмотрено в работе О. В. Милосвирова, в которой автор предлагает новую методику автоматизированного проектирования ТП на основе расширенной трактовки понятия обобщенной структуры, включающей операции, переходы и информационные модели детали [1]. Для решения поставленной задачи автор использовал САПР ТП T-FLEX Технология. Инструменты для создания прототипов ТП с помощью унифицированных шаблонов текстов переходов с привязкой к соответствующим технологическим элементам.

В работе А. Г. Лютова и соавторов рассмотрен вопрос интеллектуального управления производственным процессом, который создает условия для изменения технологических параметров и структуры за счет обработки и анализа знаний, переходов и операций [2]. Авторами предложен новый метод представления знаний на основе XML-схем. Предлагаемый подход к структурному синтезу ТП позволяет значительно сократить время на подготовку, генерацию и корректировку управляющих

программ для оборудования с числовым программным управлением.

Разработке моделей и методики автоматизации проектирования структуры технологических операции для токарных станков посвящена работа С. Г. Митина [3]. Автор разрабатывает модели генерации вариантов структур технологических операций для оборудования токарной группы, которые включают в себя модель процедуры рационального размещения режущего инструмента по позициям оборудования; модель объединения комплектов сети Петри в варианты операций; модель установления порядка выполнения технологических переходов. Кроме этого, автором разработаны методики отсева нерациональных вариантов структур технологических операций, выбора рациональных вариантов структур технологических операций. По мнению автора, предложенные модели и методики позволяют формализовать проектные процедуры для оформления рациональных структур технологических операций для токарных станков.

Разработка структурного представления о технологических процессах на основе онтологии и объектно-ориентированных сред рассматривается в работе В. А. Игруши и С. С. Сосинской [4]. Авторами исследуются этапы построения онтологии для описания построения технологических процессов в их связи с диаграммой бизнес-процессов, целесообразность совместного использования онтологии и объектно-ориентированных баз данных, эффективность применения программного продукта ANTLER для автоматизированного преобразования из одного представления в другое.

Автоматизации выбора структуры технологических процессов посвящен ряд работ, в которых авторы разрабатывают методику автоматизированного выбора баз, что является наиболее трудно формализуемой задачей при проек-

тировании ТП [5–7]. Автоматизации выбора баз для корпусных деталей на многоцелевых станках посвящены работы Д. Е. Максимовского [8; 9].

Автоматизация синтеза структуры ТП может быть полезна в любых отраслях современного машиностроительного производства [10], в том числе при проектировании сложных механизмов, таких как промышленные роботы [11–14].

### Материалы и методы

В статье рассматривается синтез структуры ТП как способ автоматизации проектирования технологических процессов. Технологическая подготовка производства включает в себя этап проектирования технологического процесса в системах САПР ТП, в которых могут быть применены результаты, изложенные в данной статье.

В основе полученных научных результатов лежат фундаментальные положения выбора технологических баз, методики разработки алгоритмов их структур, теории графов и построения математических моделей, методологии проектирования ТП.

### Результаты исследования

Синтез технологического процесса подразумевает объединение различных элементов технологического процесса (операций и переходов), полученных в результате анализа (разделения) в единую систему. Система в свою очередь представляет собой множество элементов, связанных между собой и образующих единое целое.

Рассмотрим понятие «система» как технологический процесс обработки деталей, и «синтез» как исходные элементы, представляющие собой переходы, объединенные в ТП.

Структура и параметры технологического процесса, включающие в себя множество составляющих элементов, представлены на рисунке 1.

Синтез технологических процессов ориентирован на решение алгоритми-

ческих задач выбора структуры  $S$  и расчета параметров  $t$  [10]:

1) выбор исходного множества  $M$  технологических переходов, необходимых для обработки данной детали в заданной производственной системе;

2) выявление отношений и установление связей на множестве  $M$  технологических переходов с последующим их упорядочиванием и объединением в операции;

3) расчет параметров  $t$  для операций и переходов.

Рассмотрим элементы синтеза ТП механической обработки (МО) при решении указанных задач.

Элементы модели  $M_1$  включают в себя виды поверхностей и средства производства (технологические предметы). Например, технологическое оборудование, применяемое приспособление, мерительный и режущий инструмент.

Основная задача, выполняемая на переходах, заключается в придании необходимым поверхностям заготовки формы, максимально приближенной и соответствующей всем показателям точности детали, представленной на чертеже.

Математическая модель, отражающая множество допустимых переходов имеет вид:

$$M_1 = \langle M_1, R_1 \rangle, \quad (1)$$

где  $M_1$  – множество поверхностей и средств производства;  $R_1$  – множество отношений на  $M_1$ .

Объединим множество  $M_1$  в подмножества:

$$M_1 = M_{1,1} \cup M_{1,2} \cup M_{1,3} \cup M_{1,4}, \quad (2)$$

где  $M_{1,1}$  – множество поверхностей детали после механической обработки и поверхности заготовки;  $M_{1,2}$  – множество технологического оборудования;  $M_{1,3}$  – множество инструментов;  $M_{1,4}$  – множество методов обработки (точение

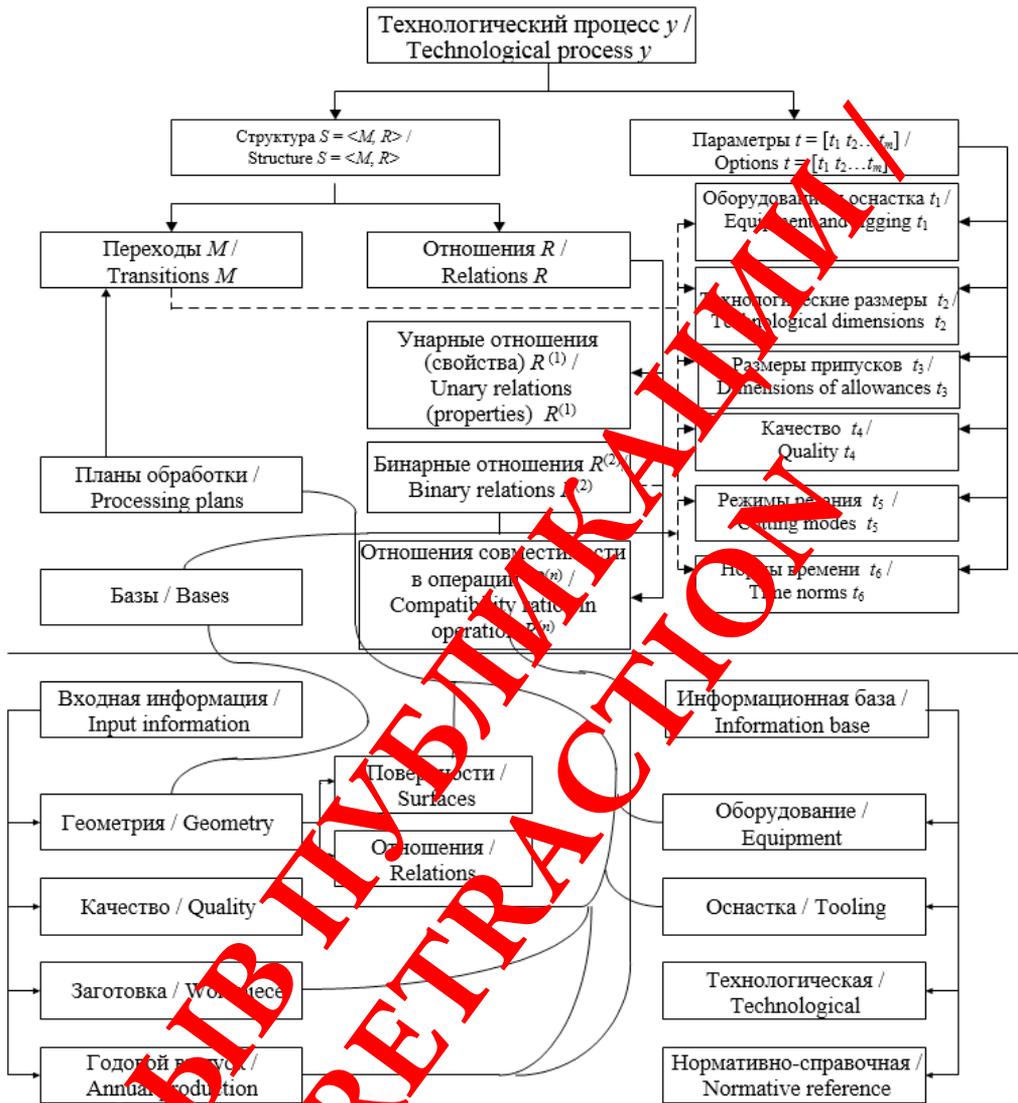


Рис. 1. Составные элементы синтеза технологического процесса механической обработки  
 Fig. 1. Composite elements of the synthesis of the machining process

первое, фрезерование черновое, шлифование окончательное и т. д.).  
 Рассмотрим множество отношений  $R_1 = \{R_1^{(1)}, R_2^{(2)}, \dots, R_n^{(n)}\}$  на  $M_1$ .  
 $R_1^{(1)}$  – унарные отношения, к которым относится набор параметров исходного множества  $M_1$ . Характеристики технологических предметов (виды

поверхностей и средства производства) для множеств  $M_{1,1}^{(1)}, M_{1,2}^{(2)}, M_{1,3}^{(3)}, M_{1,4}^{(4)}$  отражены в таблице 1.  
 $R_2^{(2)}$  – бинарные отношения, к которым относятся:  $R_{2,1}^{(2)}$  – «обрабатываемая поверхность – методы обработки»;  $R_{2,2}^{(2)}$  – «обрабатываемая поверхность – вид технологического оборудования»;

Т а б л и ц а 1  
T a b l e 1

**Характеристики технологических предметов**  
**Characteristics of technological objects**

Предметы / Subject	Характеристики / Characteristics				
Поверхности / Surfaces	тип поверхности / type of surface	параметры / parameters	точность / accuracy	твёрдость / hardness	шероховатость / roughness
Станки / Machine tools	тип станка / machine type	рабочая зона / work zone	точность / accuracy	производительность / productivity	тип метода / method type
Инструмент / Tool	тип инструмента / tool type	геометрия / geometry	тип метода / method type	тип станка / machine type	–
Методы / Methods	тип метода / method type	параметры / parameters	точность / accuracy	тип поверхности / type of surface	–

$R_{2,3}^{(2)}$  – «обрабатываемая поверхность – применяемый инструмент».

На рисунке 3 показана геометрическая интерпретация бинарного отношения «обрабатываемая поверхность – методы отработки», а на рисунке 4 бинарного отношения «обрабатываемая поверхность – вид технологического оборудования». К тернарным отношениям  $R^{(3)}$  относится совместное использование «технологического оборудования – метод обработки – применяемый инструмент».

$R^{(4)}$  – элемент отношения, включающий в себя свойства четверки бинарных технологических переходов и, соответственно, включающий в себя обрабатываемые поверхности, вид технологического оборудования, применяемые инструменты, методы обработки.

Помимо двоякой формы представления отношений (исходные) множество  $R^{(n)}$  модели  $M_2$  можно задать, используя правила вывода  $P$  (выводимые).

К группе выводимых относятся отношения технологических переходов.

Из исходных (унарных) отношений сформулируем правила вывода отношений  $R^{(2)}$  и  $R^{(4)}$ .

1. Два предмета  $(m_i \in M_1) \wedge (m_j \in M_1)$  находятся в отношении  $m_i R^{(2)} m_j$ , если типы  $[m_i = m_j]$  и выполняется условие:

параметры  $F[m, m_j] = 1$ , где  $[m, тип]$  – значение типа предмета. Например, два предмета ( $m_i =$  «точение» и  $m_j =$  «внутренняя цилиндрическая») находятся в бинарном отношении «метод обработки – обрабатываемая поверхность» при условии, что их параметры имеют одинаковый тип (тип поверхности) и выполняется условие согласования:

$$F(D_{\min} \leq D_i \leq D_{\max}) = 1, \quad (3)$$

где  $F(x) = 1$ , если соотношение  $x$  выполняется, и  $F(x) = 0$  – в противном случае;  $D_{\min}, D_{\max}$  – параметры предмета  $m_j$ ;  $D_i$  – параметр предмета  $m_i$ .

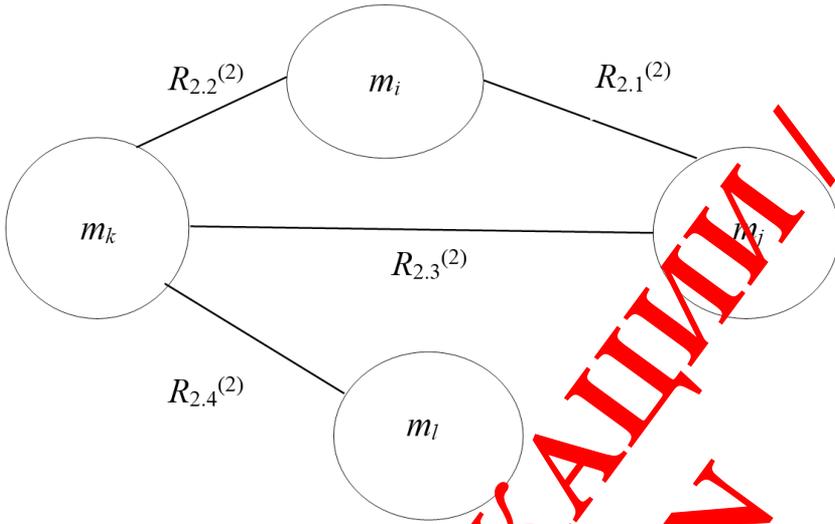
2. Если  $m_i R^{(2)} m_j$  и  $m_j R^{(2)} m_k$ , то  $m_i R^{(2)} m_k$ .

3. Элементы  $m_i \in M_1, m_j \in M_1, m_k \in M_1, m_l \in M_1$  находятся в отношении  $(m_i, m_j, m_k, m_l) R^{(4)}$ , если бинарные отношения выполняются попарно:  $(m_i, m_j) R_{2,1}^{(2)}, (m_j, m_k) R_{2,2}^{(2)}, (m_k, m_l) R_{2,3}^{(2)}, (m_k, m_l) R_{2,4}^{(2)}$ .

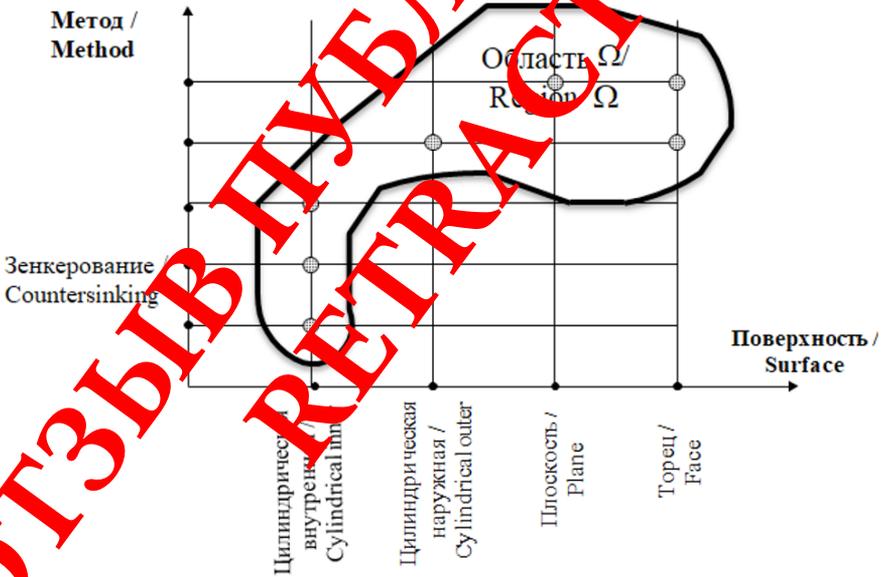
Изобразим геометрическую интерпретацию отношения  $R^{(2)}$  в виде графа, представленного на рисунке 2.

Технологический переход рассматривается как упорядоченная четверка  $(m_i, m_j, m_k, m_l)$  предметов, которые находятся между собой в отношении  $R^{(4)}$  (отношение согласования) [10].

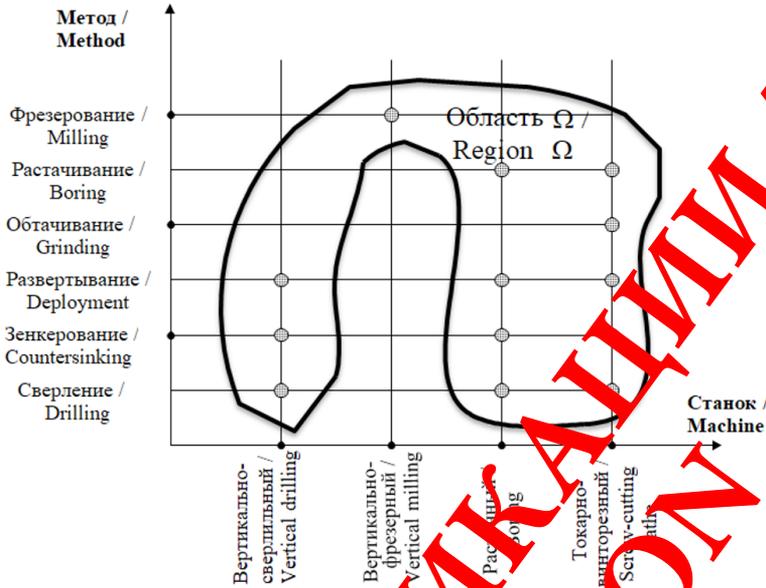
На рисунках 3, 4 показаны геометрические модели интерпретации би-



Р и с. 2. Граф бинарных отношений  
F i g. 2. Graph of binary relations



Р и с. 3. Бинарное отношение «метод обработки – обрабатываемая поверхность»  
F i g. 3. Binary relation “method – the processed surface”



Р и с. 4. Бинарное отношение «технологическое оборудование – метод обработки»  
 F i g. 4. Binary relation «method – machine»

нарных отношений «метод обработки – обрабатываемая поверхность» и «технологическое оборудование – метод обработки».

На основе построенных геометрических моделей отношений разработаем алгоритм синтеза структуры технологического процесса (рис. 5).

Блок-схема алгоритма синтеза показана на рисунке 5.

Рассмотрим представленные операторы более подробно. Множество технологических методов (Оператор 1.1), определяющиеся парой «наименование технологического перехода – наименование этапа обработки», отвечает за достижение обрабатываемой поверхности соответствия всем заданным требованиям точности, представленным на конструкторском чертеже детали, начиная от заготовки до окончательной обработки. Например: указанная на чертеже детали шероховатость  $Ra = 3,2$  при обработке отверстия втулки может

быть достигнута следующими технологическими методами: «зенкерование – чистой этап» или «развертывание – чистой этап».

Упорядочивание технологических переходов в технологический процесс выполняется с помощью операторов 2.2–2.4.

Геометрическая модель обрабатываемой заготовки технолога GT определяет возможные варианты обработки поверхностей детали с использованием различных схем базирования, технологического оборудования, инструмента, оснастки и создается с помощью оператора 2.2.

Далее в геометрической модели технолога GT происходит выделение подмоделей структуры технологического процесса (оператор 2.3), которая позволяет упорядочить технологические переходы в технологический процесс и провести некоторую задачу оптимизации на графах.



Рис. 5. Алгоритм синтеза структуры технологического процесса

Fig. 5. Synthesis algorithm of the structure of technological process

Оператор 2.4 группирует технологические переходы на основе решения задач оптимизации на графах. Состав и структура группируемой подсистемы в большой степени зависят от выбранных методов проектирования.

Самыми универсальными подсистемами проектирования ТП являются подсистемы, реализующие метод синтеза структуры ТП и формализующие этапы проектирования.

#### Обсуждение и заключение

На основе выявленных связей раскрыто понятие структуры ТП, которая представлена в виде совокупности

бинарных отношений на множестве технологических переходов, вследствие чего разработана математическая модель, позволяющая производить моделирование комплектов технологических баз при обработке на металлорезающих станках с учетом требований к качеству изделия с последующей оптимизацией полученных результатов. Установленные связи позволили алгоритмизировать основные этапы автоматизации разработки структуры ТП деталей в автоматизированном производстве. Разработан алгоритм синтеза структуры технологического процесса.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Миловзоров, О. В.** Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-FLEX Технология / О. В. Миловзоров // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2015. – № 54. – С. 133–138.
2. **Лютов, А. Г.** Интеллектуальное управление процессами технологической подготовки машиностроительного производства / А. Г. Лютов, Ю. В. Рябов, Р. И. Шайдуллин [и др.]. – DOI 10.14529/ctcr170312 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 111–124. – URL: <https://vestnik.susu.ru/ctcr/article/view/6068> (дата обращения: 27.04.2020). – Рез. англ.
3. **Митин, С. Г.** Модели и методики автоматизации процедур разработки структур технологических операций, реализуемых на оборудовании токарной группы / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев. – DOI 10.21685/2072-3059-2018-2-11 // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 2. – С. 119–130. – URL: <https://izvuz.tn.pnpu.ru/tn11218> (дата обращения: 27.04.2020). – Рез. англ.
4. **Игруша, В. А.** Формализация описания технологических процессов изготовления деталей машиностроения на основе онтологии и объектно-ориентированных баз данных / В. А. Игруша, С. С. Сосинская. – DOI 10.18287/2223-9537-2017-7-1-77-88 // Онтология проектирования. – 2017. – № 1. – С. 77–88. – URL: [http://www.ontology-of-design.tn.pnpu.ru/article/2017\\_1\\_77-88\\_23%29/6\\_Igrusha.pdf](http://www.ontology-of-design.tn.pnpu.ru/article/2017_1_77-88_23%29/6_Igrusha.pdf) (дата обращения: 27.04.2020). – Рез. англ.
5. **Новиков, О. А.** Методика выбора технологических баз при проектировании технологических процессов механической обработки / О. А. Новиков, С. В. Байбаков // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2009. – № 4. – С. 72–75.
6. **Байбаков, С. В.** Система комплексной автоматизации технологической подготовки производства / С. В. Байбаков // Программные продукты и системы. – 2010. – № 1. – С. 28. – URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=243&lang=> (дата обращения: 27.04.2020). – Рез. англ.
7. **Калякулин, С. Ю.** Проектирование структуры технологических процессов на основе синтеза / С. Ю. Калякулин, В. В. Кузьмин, Э. В. Миллер [и др.]. – DOI 10.15507/0236-2910.028.201801.077-084 // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 1. – С. 77–84. – URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/ru/articles2/57-18-1/384-10-15507-0236-2910-028-201801-06> (дата обращения: 27.04.2020). – Рез. англ.
8. **Кузьмин, В. В.** Выбор технологической базы на основе решения прямой задачи размерного анализа / В. В. Кузьмин, Д. В. Максимовский // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2012. – № 2. – С. 64–69. – URL: <http://www.stankin-journal.ru/ru/articles/590> (дата обращения: 27.04.2020).
9. **Maksimovskii, D. E.** Automation of Process Design by Design-Technological Parameterization / D. E. Maksimovskii – DOI 10.3103/S1068798X1109019X // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31, Issue 9. – Pp. 870–872. – URL: <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068798X1109019X> (дата обращения: 27.04.2020).
10. **Kalyakulin, S. Yu.** Algorithm for Calculating the Parameters of the Initial Blank in the SITEP MO Automated Design System / S. Yu. Kalyakulin. – DOI 10.3103/S1068798X14110082 // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34, Issue 11. – Pp. 713–715. – URL: <https://link.springer.com/article/10.3103%2FS1068798X14110082> (дата обращения: 27.04.2020).
11. **Кузнецов, П. М.** Цифровизация процессов восстановления дробильно-измельчительного оборудования / П. М. Кузнецов, Л. Л. Хорошко. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-10-0-195-205 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 10. – С. 195–205. – URL: <http://giab-online.ru/catalog/12886> (дата обращения: 27.04.2020). – Рез. англ.
12. **Цырков, А. В.** Проектно-операционное управление в машиностроительном производстве / А. В. Цырков, П. М. Кузнецов, Г. А. Цырков [и др.]. – DOI 10.15507/0236-2910.028.201804.511-522 // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 4. – С. 511–522. – URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/ru/articles2/76-18-4/564-10-15507-0236-2910-028-201804-3> (дата обращения: 27.04.2020). – Рез. англ.

13. Бутко, А. О. Построение информационных моделей в интегрированных системах // А. О. Бутко, П. М. Кузнецов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу. – 2019. – № 3. – С. 20–25. – URL: [http://izdat.ntckompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=160&ELEMENT\\_ID=24794](http://izdat.ntckompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=160&ELEMENT_ID=24794) (дата обращения: 27.04.2020).

14. Москвин, В. К. Привод технологического робота токарного роботизированного комплекса / В. К. Москвин, П. М. Кузнецов // Технология машиностроения. – 2018. – № 11. – С. 45–48. – URL: [http://www.ic-tm.ru/info/11\\_254](http://www.ic-tm.ru/info/11_254) (дата обращения: 27.04.2020).

*Поступила 18.11.2019; принята к публикации 20.01.2020; опубликована онлайн 30.06.2020*

*Об авторах:*

**Калякулин Сергей Юрьевич**, доцент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, Researcher ID: V-6519-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0644-7746>, rim-tm@mail.ru

**Кузьмин Владимир Владимирович**, профессор кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, Researcher ID: V-5405-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-8563>, kvv2607@yandex.ru

**Митин Эдуард Валерьевич**, доцент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, Researcher ID: V-5383-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9899-3420>, gimnauka@rambler.ru

**Сулдин Сергей Петрович**, заведующий кафедрой технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, доцент, Researcher ID: V-5381-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8159-6322>, gimstanov@mail.ru

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

*Заявленный вклад авторов:*

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. Сулдин – разработка моделей технологических процессов; Т. Б. Тюрбеева – описание текста статьи, построение графа бинарных отношений.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Ivanovzovov O.V. Implementation of the Principles of Synthesis of Technological Processes from a Generalized Structure Based on the T-Flex Technology System. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* = Ryazan State Radio Engineering University Bulletin. 2015; (54):133-138. (In Russ.)

2. Lutov A.G., Ryabov Yu.V., Shaydullin R.I., et al. Intellectual Control of Processes of Technological Preparation of Machine-Building Production. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Kompyuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika* = South Ural State University Bulletin. Series: Computer Technology, Automatic Control, Radio Electronics. 2017; 17(3):117-124. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.14529/ctcr170312>

3. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Models and Methods of Automation of Procedures for Development of Structures of Technological Operations Implemented on the Equipment of the Large Group. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* = University Proceedings. Volga Region. Engineering Sciences. Computer Science. 2018; (2):119-130. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2018-2-11>
4. Igrusha V.A., Sosinskaya S.S. Formalization of Description of Technological Processes for Manufacturing of Machine-Building Parts on the Basis of Ontology and Object-Oriented Databases. *Ontologiya proektirovaniya* = Ontology of Designing. 2017; (1):77-88. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2017-7-1-77-88>
5. Novikov O.A., Baybakov S.V. Methods for Selecting Technological Bases when Designing Machining Processes. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse* = Quality Management in Oil and Gas Complex. 2009; (4):73-75. (In Russ.)
6. Baybakov S.V. Complex Automation System of Process Planning. *Programmnyye produkty i sistemy* = Software & Systems. 2010; (1):28. Available at: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=2437&lang=> (accessed 27.04.2020). (In Russ.)
7. Kalyakulin S.Yu., Kuzmin V.V., Mitin E.V., et al. Designing the Structure of Technological Processes Based on Synthesis. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(1):77-84. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.201801.077-084>
8. Kuzmin V.V., Maksimovskiy D.E. Choice of Technological Bases on the Basis of the Decision of a Direct Problem of the Dimensional Analysis. *Vestnik MGU "STANKIN"* = MSTU STANKIN Bulletin. 2012; 2:64-69. Available at: <http://www.stankin-journal.ru/ru/articles/500> (In Russ.) (accessed 27.04.2020). (In Russ.)
9. Maksimovskiy D.E. Automation of Process Design by Design-Technological Parameterization. *Russian Engineering Research*. 2011; 31(4):869-872. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X11090197>
10. Kalyakulin S.Yu. Algorithm for Calculating the Parameters of the Initial Blank in the SITEP MO Automated Design System. *Russian Engineering Research*. 2014; 34(11):713-715. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X14110662>
11. Kuznetsov P.M., Khorosheko L.L. Digitization of Grinding and Milling Equipment Reconditioning. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* = Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). 2019; (10):195-205. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-10-0195-205>
12. Tsytkov A.V., Kuznetsov P.M., Tsytkov G.A., et al. Project and Operations Management of Machine-Building Production. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(4):511–522. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.201804.511-522>
13. Butko A.O., Kuznetsov P.M. Building Information Models in Integrated Systems. *Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskoye progressu Rossii* = Defense Complex to Scientific and Technical Progress of Russia. 2019; (3):20–25. Available at: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=160&ELEMENT\\_ID=24794](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=160&ELEMENT_ID=24794) (accessed 27.04.2020). (In Russ.)
14. Moskvina Y.K., Kuznetsov P.M. Drive of a Technological Robot of a Turning Robotic Complex. *Tehnologiya mashinostroeniya* = Engineering Technology. 2018; (11):45-48. Available at: [http://www.ic-tm.ru/info/11\\_254](http://www.ic-tm.ru/info/11_254) (accessed 27.04.2020). (In Russ.)

Received 18.11.2019; revised 20.01.2020; published online 30.06.2020

About the authors:

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

**Vladimir V. Kuzmin**, Professor of Chair of Mechanical Engineering Technology of Ruza-yevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), D.Sc. (Engineering), Researcher ID: V-5405-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-8563>, [kvv2607@yandex.ru](mailto:kvv2607@yandex.ru)

**Eduard V. Mitin**, Associate Professor of Chair of Mechanical Engineering Technology of Ruza-yevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), Researcher ID: V-5383-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9899-3420>, [rimnauka@rambler.ru](mailto:rimnauka@rambler.ru)

**Sergey P. Suldin**, Head of Chair of Mechanical Engineering Technology of Ruza-yevka Institute of Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Researcher ID: V-5381-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8159-6322>, [rimstanok@mail.ru](mailto:rimstanok@mail.ru)

**Tatiana B. Tyurbeeva**, Associate Professor of Chair of Information Technology and Computer Systems, Moscow State University of Technology "STANKIN" (1 Vaukovsky Pereulok, Moscow 127994, Russia), Ph.D. (Engineering), Researcher ID: V-5050-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6693-5974>, [turbbev@mail.ru](mailto:turbbev@mail.ru)

*Contribution of the authors:*

S. Yu. Kalyakulin – development of an algorithm for the structure of technological processes based on synthesis; V. V. Kuzmin – scientific management, research agenda setting; E. V. Mitin – literature analysis; S. P. Suldin – process modeling development; T. B. Tyurbeeva – writing the text, building a binary relationship graph.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

ОТЗЫВ ПУБЛИКАЦИИ  
RETRACTION