

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. №1 (163). С.38-48.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2021. №1 (163). P.38-48.

Научная статья

УДК 621.9

doi: 10.30987/2223-4608-2025-1-38-48

Метод отображения технологических возможностей механообрабатывающего оборудования атрибутами теории графов

Бочкарев Петр Юрьевич^{1, 2}, Д.Т.Н.

¹ Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, Россия

² Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

bpy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0587-6338>

Аннотация. Представлен методический подход информационного обеспечения технологической подготовки систем механообработки, направленный на создания интеллектуальных систем автоматизированного проектирования и реализации технологических процессов с учетом реальной производственной ситуации. Внедрение автоматизированного проектирования технологических процессов сдерживается из-за отсутствия доступных научно-методических принципов и практических методик проектирования банков данных, отвечающих основным требованиям к обеспечению необходимого качества обработки информации и ориентации на потребности в решении задач в реальных производственных условиях. Основной причиной этого является недостаток исходной информации, которую можно в формализованном виде получить из конструкторской и технологической документации без дополнительного участия инженера. Включая данные по обрабатываемым станкам и средствам технологической оснастки, позволяющим на основе сопоставления имеющихся реальных технологических возможностей каждой единицы оборудования и характеристик деталей (заготовок) выполнять необходимые проектные процедуры по разработке технологических процессов. Разработана структура взаимосвязей между отдельными параметрами и характеристиками поверхностей обрабатываемой детали и средствами технологического оснащения, последовательность формализованного описания представленной схемы с использованием в качестве математического аппарата теории графов. Спроектированы элементы связей, описывающие: влияние используемого технологического способа на изменение показателей качества обрабатываемой поверхности в рамках отдельного технологического перехода; предельные размеры, качественные характеристики используемых в качестве базовых поверхностей и требования к их взаимному пространственному расположению для варианта выбранной технологической оснастки в системе координат оборудования; диапазоны рабочей зоны обработки, учитывающей совокупность параметров обрабатываемой и базовых поверхностей детали с элементами технологической оснастки. Результатом создания графа, на основе которого формируется база данных в реляционной форме, является четко структурированное информационное обеспечение для выполнения комплекса проектных процедур, ориентированное на анализ установочных и операционных размерных связей. Развитие методической базы информационного обеспечения создания систем автоматизированной технологической подготовки производств, обеспечивает учет, как реального состояния действующих систем, так и сложившуюся современную ситуацию в области управления разработкой технологических процессов.

Ключевые слова: машиностроительное производство, технологическая подготовка механообрабатывающего производства, установочные размерные связи, базы данных, системы автоматизированного проектирования

Для цитирования: Бочкарев П.Ю. Метод отображения технологических возможностей механообрабатывающего оборудования атрибутами теории графов // Научные технологии в машиностроении. 2025. № 1 (163). С. 38–48. doi:10.30987/2223-4608-2025-1-38-48

A rendering method of technology options for machining equipment through graph theory attributes

Peter Yu. Bochkarev^{1, 2} D. Eng.

¹ Kamyshinsky Institute of Technology (branch) Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia

² Saratov State University of Genetics, Biotechnology of Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
bpy@mail.ru

Abstract. A technical approach to information support for the machine work process design is presented, which is aimed at creating intelligent computer-aided design systems and implementing technological processes, taking into account the real production situation. The introduction of computer-aided design of manufacturing activity is slowed down due to the lack of available scientific and methodological principles and practical methods for designing databases that meet the basic requirements for ensuring the necessary quality of information processing and focusing on the needs for solving problems in real production conditions. The main reason for this is the lack of initial information, which can be formalized from design and technological documentation without the involvement of an engineer. Including data on processing machines and technological equipment, which makes it possible, based on a comparison of the available real technological capabilities of each piece of equipment and the characteristics of parts (workpieces), to carry out the necessary design procedures for the development of manufacturing activities. The structure of the interrelationships between the individual parameters and characteristics of the surfaces of the machined part and the means of technological equipment, the sequence of the formalized description of the presented scheme using graph theory as a mathematical tool technique, is developed. The elements of connections are designed that describe: the influence of the process used for the quality indicators change in case of the treated surface within the framework of a separate technological transition; the maximum dimensions, the qualitative characteristics of the base surfaces used and the requirements for their relative spatial arrangement for the equipping variant of the selected technological equipment in the coordinate system of the equipment; the ranges of the working area of processing, taking into account the set of parameters of the bases and operating surfaces of the part with the elements of the technological equipment. The result of the graphing, on the basis of which a relational database is formed, is a clearly structured information support for the implementation of a set of design procedures, focused on the analysis of definitive and operational dimensional relationships. The development of a procedural framework of the information support base for the creation of automated technological preparation systems ensures both: real state of existing systems and the current situation in the field of process development management, are taken into account.

Keywords: mechanical facilities, process design of machining production, definitive dimensional relationships, databases, computer-aided design systems.

For citation: Bochkarev P.Yu. A rendering method of technology options for machining equipment through graph theory attributes / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 1 (163). P. 38–48. doi: 10.30987/2223-4608-2025-1-38-48

Введение

Развитие информационного обеспечения технологической подготовки комплексов механообработки в настоящее время становится одним из определяющих направлений научно-

исследовательских работ, без которых невозможно создания интеллектуальных систем автоматизированного проектирования и реализации технологических процессов с учетом реальной производственной ситуации. В связи с объективным фактором специфических

особенностей каждого конкретного производства, обусловленного номенклатурой и программой выпускаемой продукции, составом и состоянием оборудования, технологической оснастки, профессиональным уровнем кадров и организацией технологической подготовки производства, сложившуюся ситуацию в организации данных в целом можно охарактеризовать как недостаточно отражающую современным запросам общества [1 – 6]. Даже при использовании известных систем автоматизированного проектирования для выполнения отдельных технологических проектных процедур пользователи насыщают информационные базы на основе своих субъективных знаний и опыта. Это приводит зачастую к недостоверности, избыточности, противоречивости данных, что сказывается на качестве технологической подготовки и управлении реализацией производственных процессов.

Внедрение в вопросах проектирования технологических процессов информационной технологии сдерживается из-за отсутствия доступных научно-методических принципов и практических методик проектирования баз данных, отвечающих основным требованиям к обеспечению необходимого качества обработки информации и ориентации на потребности решения задач в реальных производственных условиях.

Материалы и методы

Процесс создания технологии основан на анализе исходных данных и данных, получаемых в ходе реализации технологии, которые являются основой для выработки управляющих решений. Известные в настоящее время исследования в данном направлении в решении приведенных вопросов связаны с двумя аспектами:

– формирования на основе статистического анализа структурных таблиц точности обработки, содержащих значения величин и оценки достоверности изменения технологических допусков в ходе многостадийной механической обработки, адаптированных под технологические возможности и технологические традиции конкретного механообрабатывающего производства для оптимального проектирования маршрутных технологий

механической обработки поверхностей заданного качества [7– 9];

– обоснования структуры базы данных с локализацией информационных объектов, характеризующих отдельные проектные процедуры создания и реализации технологии, с формализованным описанием перечня информационных объектов и возможных взаимосвязей между ними [10 – 12].

Выполненные исследования позволили частично систематизировать подходы к информационному обеспечению технологической подготовки механообрабатывающих производств, однако не создали условий для разработки унифицированных методов сбора и обработки данных с последующим автоматическим заполнением и корректировкой баз, однотипных для различных производств. Одной из причин этого является недостаток исходной информации, которую можно в формализованном виде получить из конструкторской и технологической документации без дополнительного участия инженера. В статье [13] приведена методика формирования в виде графов с последующим созданием математической модели описания детали (заготовки), включающей всю информационную составляющую по данному объекту для выполнения проектирования технологического процесса.

Необходимость в таком же полном описании очевидна для обрабатывающих станков и средств технологической оснастки, позволяющих на основе сопоставления имеющихся реальных технологических возможностей каждой единицы оборудования и характеристик деталей (заготовок) выполнять необходимые проектные процедуры по разработке технологических процессов. Такое описание значительно сложнее и требует установления взаимосвязей между отдельными параметрами и характеристиками обрабатываемой детали и средств технологического оснащения, поэтому первоначально (рис. 1) представлено описание структурной схемы этих взаимосвязей. Построение схемы выполнялось с учетом требований обеспечения полноты необходимой информации применительно к системе планирования многономенклатурных технологических процессов как на стадиях разработки маршрутной [14], так и операционной технологии [15].

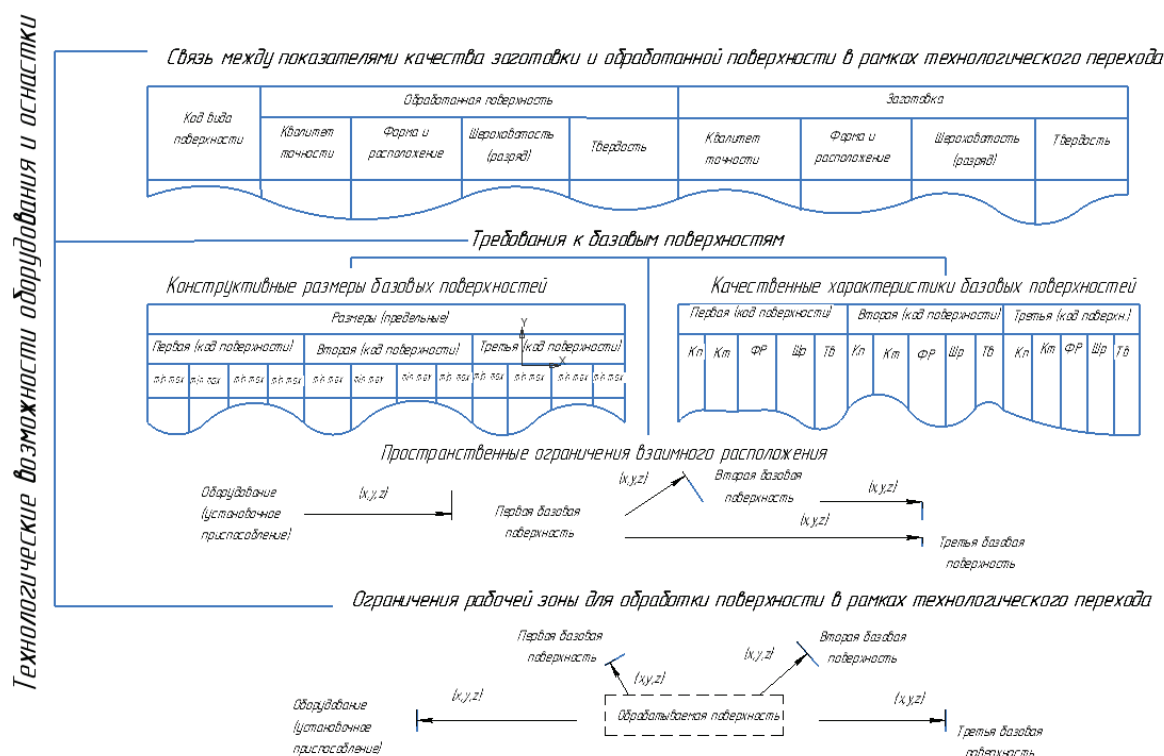


Рис. 1. Структурная схема информационных связей обрабатываемой детали и технологическими возможностями оборудования и оснастки

Fig. 1. Block schematic diagram of the data connections between the processed part and the technological capabilities of the equipment and tooling

Информационные связи охватывают анализ:

- влияния используемого технологического способа на изменение показателей качества обрабатываемой поверхности в рамках технологического перехода;
- предельных размеров качественных характеристик, используемых в качестве базовых поверхностей детали и требования к их взаимному пространственному расположению для варианта выбранной технологической оснастки в системе координат оборудования;
- диапазона рабочей зоны обработки, учитывающей параметры обрабатываемой и базовых поверхностей детали с элементами технологической оснастки.

Для формализованного описания представленной схемы с использованием в качестве математического аппарата теории графов выполнены исследования в следующей последовательности. Первоначально для описания связей между видами базовых и возможного

множества обрабатываемых поверхностей разработан граф (рис. 2).

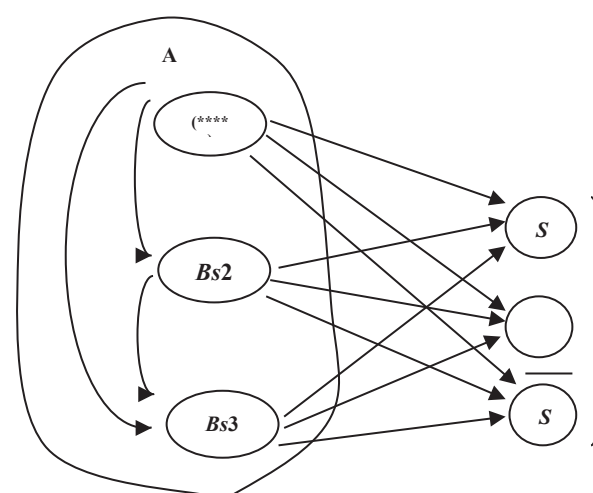


Рис. 2. Граф взаимосвязей базовых и обрабатываемых поверхностей

Fig. 2. Graph of the interrelationships of the bases and operating surfaces

Граф MmD изображающий структуру и взаимосвязи базовых и обрабатываемых поверхностей включает:

– множество вершин $S \subset (BsUSt)$ описывающих применяемые базовые поверхности $Bs = \{Bs1(****), Bs2(****), Bs3(****)\}$, где $(****)$ – код вида элементарной поверхности в соответствии классификатора системы планирования многономенклатурных технологических процессов, и обрабатываемые поверхности $St = \{St1(****), St1(****), \dots, StN(****)\}$, где N – количество возможных видов обрабатываемых поверхностей при использовании рассматриваемого технологического оборудования и технологической оснастки;

– множество дуг $U = \{(Bs1(****), Bs2(****)), (Bs1(****), Bs3(****)), (Bs2(****), Bs3(****)), (Bs1(****), St1(****)), (Bs1(****), St2(****)), \dots, (Bs1(****), StN(****)), \dots, (Bs3(****), StN(****))\}$ описывающих требования к взаимосвязям между поверхностями.

В зависимости от использования для отдельных проектных задач технологической

подготовки производства граф можно записать как $MmD = (S, U)$, так и $MmD = (S, \Gamma)$, где Γ – отображение множеств. Подграф $Abs \subset MmD$, включающий базовые поверхности определяется множеством исходящих дуг U_{Abs}^+ .

На следующем этапе создания графа (рис. 3) каждая из дуг наполняется информацией: Ac – требования к точностным размерным параметрам, устанавливающим связь базовых поверхностей между собой ($Ac_{Bs1-Bc2}$, $Ac_{Bs2-Bc3}$, $Ac_{Bs1-Bc3}$) и обрабатываемыми поверхностями ($Ac_{Bs1-St1}$, $Ac_{Bs2-St1}$, $Ac_{Bs3-St1}$; ...; $Ac_{Bs1-StN}$, $Ac_{Bs2-StN}$, $Ac_{Bs3-StN}$) в рамках рассматриваемого технологического перехода; Mt – требования к взаимному расположению базовых поверхностей между собой ($Mt_{Bs1-Bc2}$, $Mt_{Bs2-Bc3}$, $Mt_{Bs1-Bc3}$) и обрабатываемыми поверхностями ($Mt_{Bs1-St1}$, $Mt_{Bs2-St1}$, $Mt_{Bs3-St1}$; ...; $Mt_{Bs1-StN}$, $Mt_{Bs2-StN}$, $Mt_{Bs3-StN}$) в рамках рассматриваемого технологического перехода.

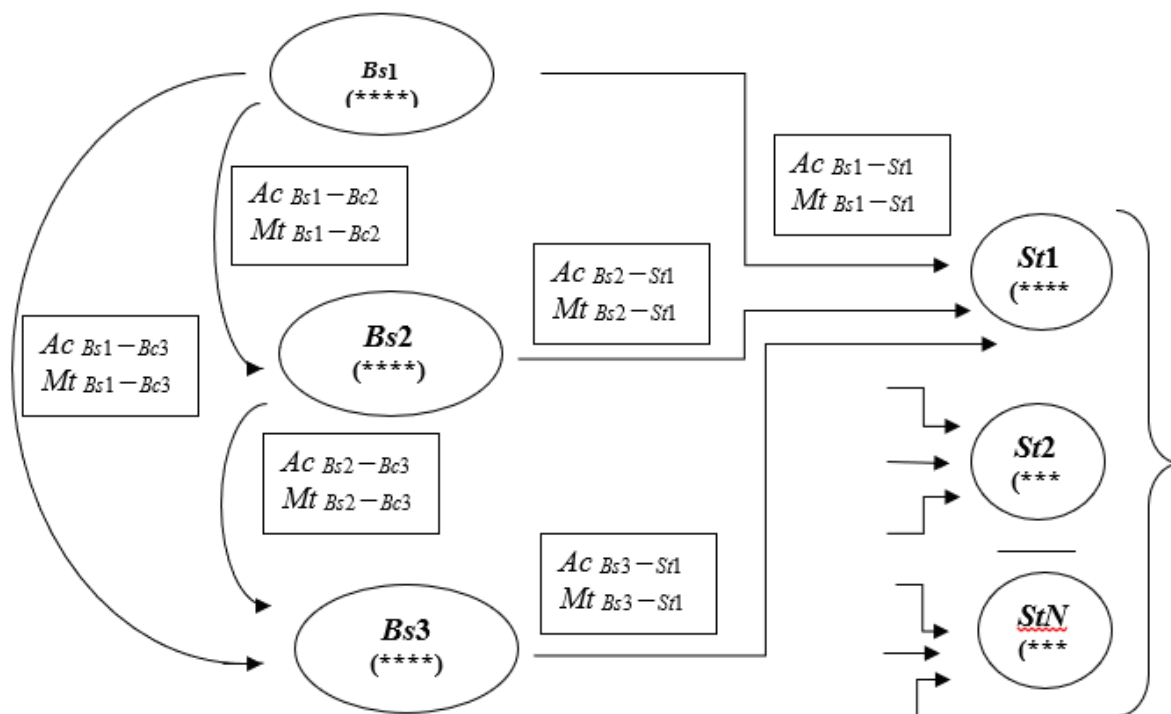


Рис. 3. Граф взаимосвязей базовых и обрабатываемых поверхностей, дополненный требованиями к их точности и взаимному расположению

Fig. 3. Graph of the interrelationships of the bases and operating surfaces, supplemented by requirements for their accuracy and relative location

Для формализованного преобразования графического символического изображения известных широкий набор математических аппаратных и программных средств. Учитывая требования универсальности и максимальной

наглядности, обеспечивающих удобство последующей алгоритмизации проектных процедур, предлагается реляционная форма представления данных (рис. 4).

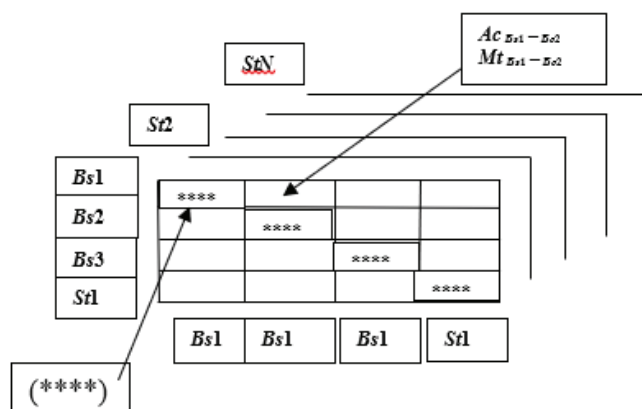


Рис. 4. Структура базы данных информации по связям между базовыми и обрабатываемыми поверхностями

Fig. 4. Structure of the database of information on the relationships between the bases and operating surfaces

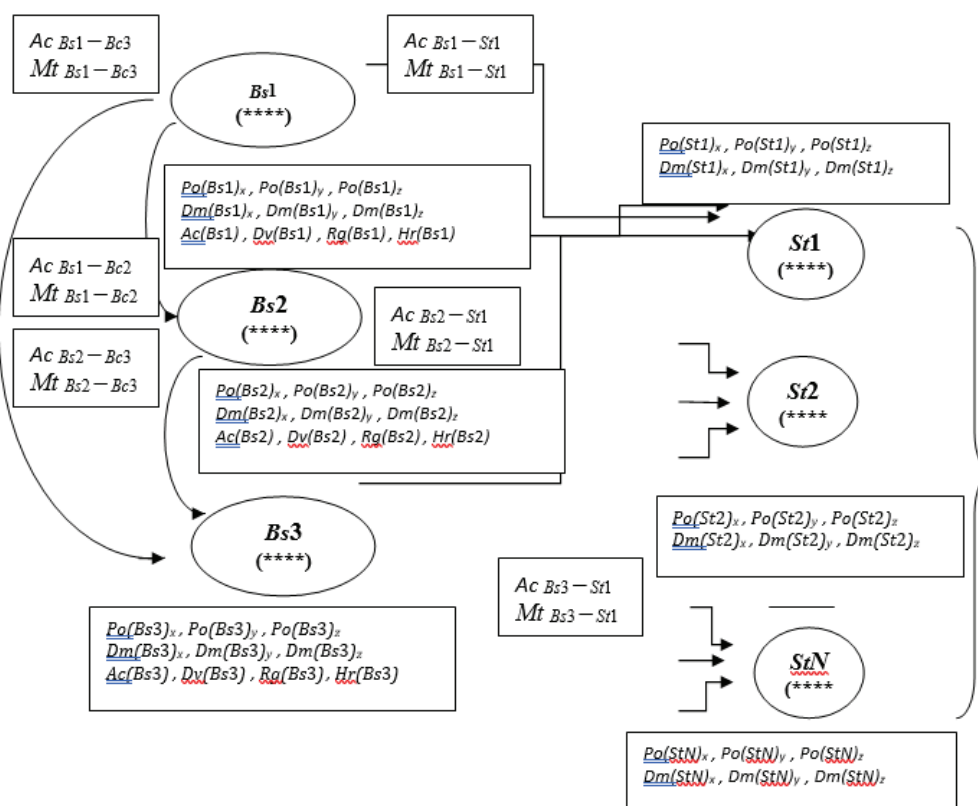


Рис. 5. Граф, дополненный информацией ограничений по расположению поверхностей в системе координат станка и требованиям к характеристикам базовых поверхностей

Fig. 5. Graph supplemented with information on restrictions on the location of surfaces in the coordinate system of the machine and requirements for the characteristics of the bases

Дальнейшее описание графа (рис. 5) заключается в насыщении информацией, относящейся к диапазону значений базовых и обрабатываемых поверхностей: габаритные ограничения по расположению ($Dm(Bs1)_x$, $Dm(Bs1)_y$, $Dm(Bs1)_z$; $Dm(Bs2)_x$, $Dm(Bs2)_y$, $Dm(Bs2)_z$; $Dm(Bs3)_x$, $Dm(Bs3)_y$, $Dm(Bs3)_z$; $Dm(St1)_x$, $Dm(St1)_y$, $Dm(St1)_z$;; $Dm(StN)_x$, $Dm(StN)_y$, $Dm(StN)_z$) и расположение нулевых точек поверхностей в соответствии с принятыми положениями в системе планирования многооперационных технологических процессов

($Po(Bs1)_x$, $Po(Bs1)_y$, $Po(Bs1)_z$; $Po(Bs2)_x$, $Po(Bs2)_y$, $Po(Bs2)_z$; $Po(Bs3)_x$, $Po(Bs3)_y$, $Po(Bs3)_z$; $Po(St1)_x$, $Po(St1)_y$, $Po(St1)_z$;; $Po(StN)_x$, $Po(StN)_y$, $Po(StN)_z$) в трехмерной системе рабочей зоны координат станка. Базовых поверхностей: точности ($Ac(Bs1)$, $Ac(Bs2)$, $Ac(Bs3)$), отклонений от геометрической формы ($Dv(Bs1)$, $Dv(Bs2)$, $Dv(Bs3)$), шероховатости ($Rg(Bs1)$, $Rg(Bs2)$, $Rg(Bs3)$), твердости ($Hr(Bs1)$, $Hr(Bs2)$, $Hr(Bs3)$). Структура реляционной формы представления информации (рис. 6 – 8).

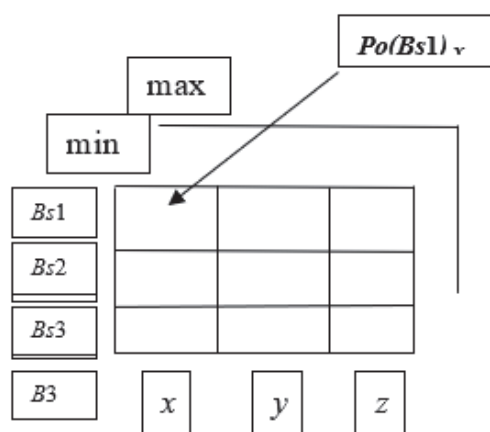


Рис. 6. Структура данных по ограничениям координат расположения нулевых точек поверхностей

Fig. 6. Data structure on restrictions on the coordinates of the location of the zero points of surfaces

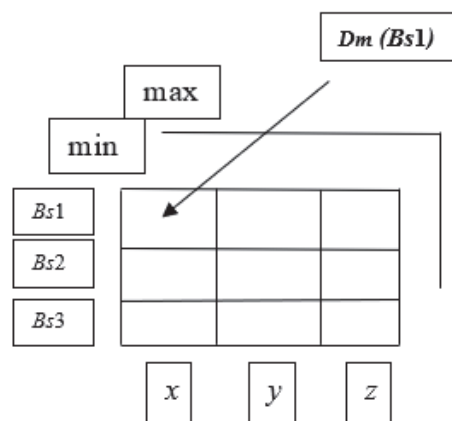


Рис. 7. Структура данных по ограничениям размерных параметров поверхностей

Fig. 7. Data structure on the limitations of the dimensional parameters of surfaces

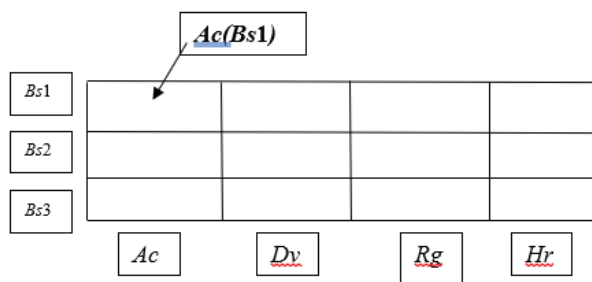


Рис. 8. Структура данных по требованиям к характеристикам базовых поверхностей

Fig. 8. Data structure on the requirements for the characteristics of the bases

Окончательное формирование графа (рис. 9) заключается в занесении информации, связывающей параметры поверхности заготовки (w) и обработанной поверхности (f) для каждого из множества возможных технологических переходов ($Ac_{w-f}(St1)$, $Dv_{w-f}(St1)$, $Rg_{w-f}(St1)$, $Hr_{w-f}(St1)$; $Ac_{w-f}(St2)$, $Dv_{w-f}(St2)$, $Rg_{w-f}(St2)$, $Hr_{w-f}(St2)$;; $Ac_{w-f}(StN)$, $Dv_{w-f}(StN)$, $Rg_{w-f}(StN)$, $Hr_{w-f}(StN)$). На рис. 10 представлена структура реляционного представления технологических связей посредством последовательного изменения параметров поверхностей.

($St2$), $Hr_{w-f}(St2)$;; $Ac_{w-f}(StN)$, $Dv_{w-f}(StN)$, $Rg_{w-f}(StN)$, $Hr_{w-f}(StN)$). На рис. 10 представлена структура реляционного представления технологических связей посредством последовательного изменения параметров поверхностей.

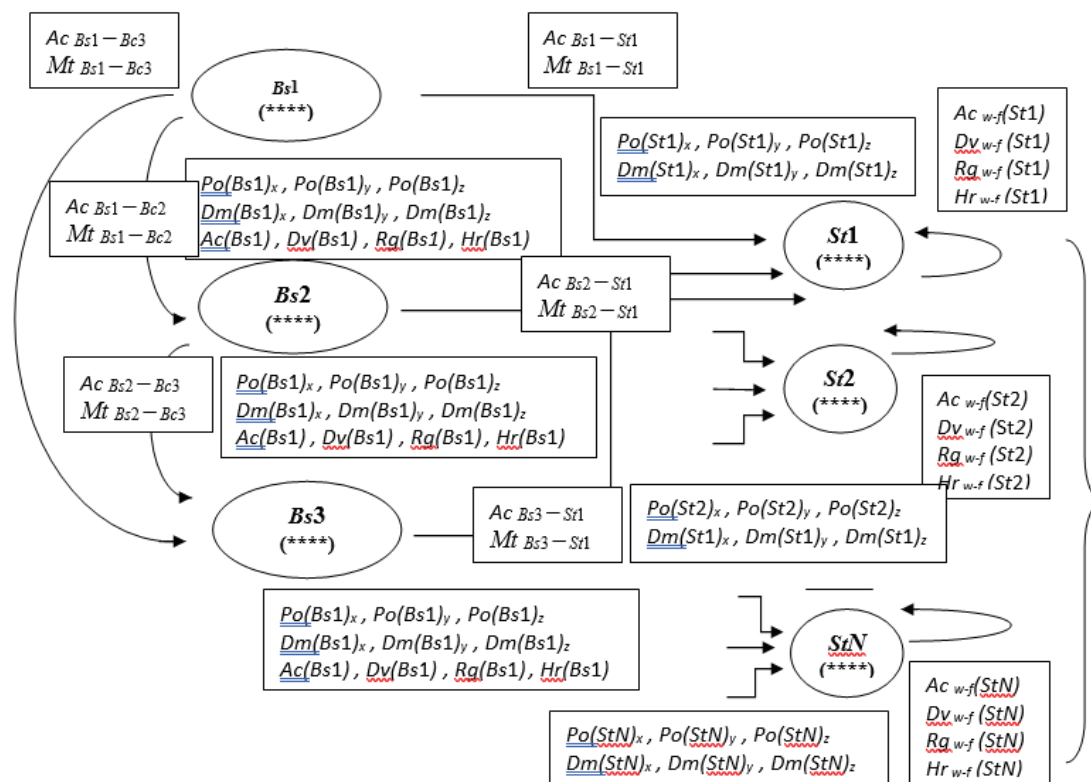


Рис. 9. Граф, дополненный информацией, связывающей параметры заготовки и обработанной поверхности

Fig. 9. Graph supplemented with information interconnecting the parameters of the workpiece and the neat surface

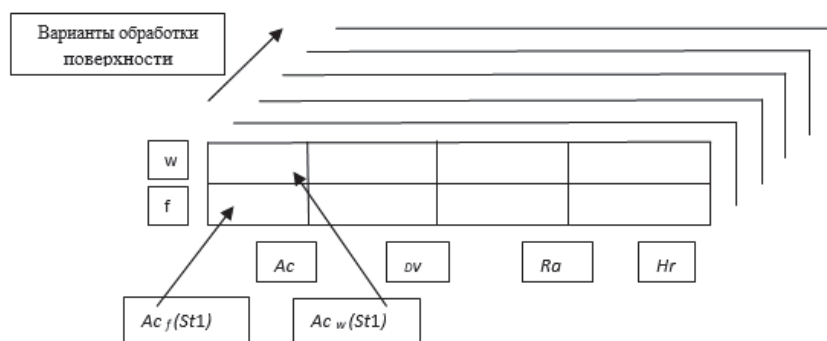


Рис. 10. Структура представления технологических связей посредством последовательного изменения параметров поверхностей

Fig. 10. The structure of the representation of technological connections through sequential changes in surface parameters

Разработанный граф содержит сведения, отражающие исчерпывающую информацию по принятию решений как о возможности выполнения конкретного вида обработки определенной поверхности, так и наличия необходимых базовых поверхностей у изготавливаемой детали, с учетом реального наличия и состояния оборудования, средств технологического оснащения. Структура и описание его однотипна

представлению данных об обрабатываемых деталях [13] и отражает методологию системы планирования многономенклатурных технологических процессов. Представленная система характеристических ограничений имеет открытую структуру, позволяющую их расширение и дополнение. Дополнительным аспектом является наличие в графе информации о предельных размерных характеристиках

поверхностей и компоновки их расположения на детали, соотнесенных к параметрам базовых поверхностей в координатах рабочей зоны станка. Это расширяет возможности и степень обоснованности принятия решений на этапе генерации вариантов последовательности обработки поверхности, и позволяет использовать инструментарий геометрического подхода для трехмерного пространства.

Заложенные при создании графического представления информационного обеспечения технологической подготовки производства предусматривало задачу кардинального снижения трудоемкости и сложности заполнения баз данных на предприятиях и максимальную унификацию на отраслевом уровне. Так работы по созданию структур взаимосвязей базовых и обрабатываемых поверхностей, учитывая известное множество используемого технологического оборудования и стандартной оснастки к ним, одинаково и

может быть выполнено на отраслевом уровне (рис. 11).

Информация к точностным характеристикам этих связей, требования к базовым поверхностям и диапазоны значений базовых и обрабатываемых поверхностей так же имеет свойство универсальности и может быть сформирована производителями станочного оборудования, как методическая технологическая поддержка, или на отраслевом уровне. На долю технологических служб предприятий ложится только обязанность установления параметров взаимосвязи поверхности заготовки и обработанной поверхности для технологических переходов, т. е. непосредственная настройка с учетом реального состояния производства и подходов к его организации. Однако, даже этот этап можно выполнить без участия специализированного персонала, основываясь на нормативных, справочных и статистических данных.

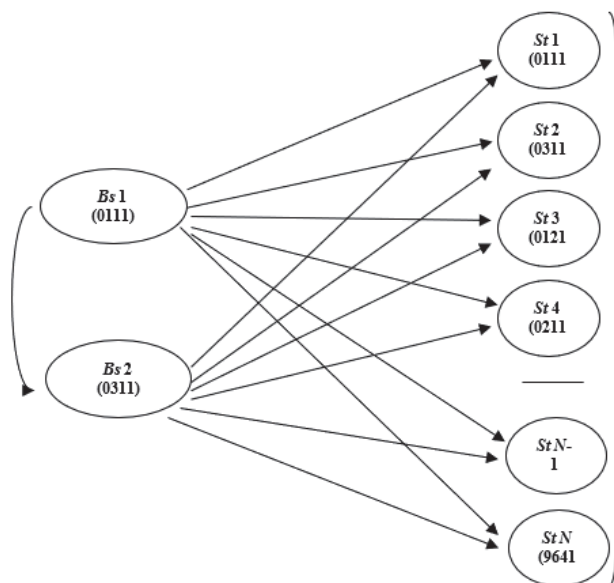


Рис. 11. Граф взаимосвязей базовых и обрабатываемых поверхностей (на примере трехкулачкового патрона) коды поверхностей:

0111 – наружная цилиндрическая; 0311 – наружная торцевая; 0121 – наружная канавка; 0211 – конус наружный; 9111 – внутренняя цилиндрическая; 9641 – центровое отверстие

Fig. 11. Graph of the interrelationships of the bases and working surfaces (using the example of a three-cam chuck) surface codes:

0111 – outer cylindrical; 0311 – outer end face; 0121 – outer groove; 0211 – outer cone; 9111 – inner cylindrical; 9641 – center hole

Закключение

Результатом создания метода конструирования графа, на основе которого формируется база данных в реляционной форме,

является четко структурированное информационное обеспечение выполнение комплекса проектных процедур технологической подготовки механообрабатывающих производств. Разработанная модель отображения

атрибутами теории графов технологических возможностей механообрабатывающего оборудования включает в себя информационную модель установления связей между базовыми и обрабатываемыми поверхностями, назначения диапазонных значений размеров и характеристик поверхностей с учетом конструктивно-компоновочной структуры детали, параметров рабочей зоны оборудования, элементов оснастки, используемых при базировании. Структура создаваемой базы данных в значительной мере ориентирована на анализ установочных и операционных размерных связей, являющихся в значительной мере качественным критерием принятия проектных решений при технологической подготовке механообрабатывающего производства в автоматизированном режиме. Представленные материалы развивают методическую базу информационного обеспечения создания систем автоматизированной технологической подготовки механообрабатывающих производств, учитывающих как реальное состояние действующих систем, так и сложившуюся современную ситуацию в области управления разработкой технологических процессов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Справочник** технолога / под общей ред. А.Г. Суслова. М.: Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
2. **Базров Б.М.** Базис технологической подготовки машиностроительного производства: монография. М.: КУРС, 2023. 324 с.
3. **Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.М., Кондаков А.И.** Направленное формирование свойств изделий машиностроения / под ред. А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352с.
4. **Суслов А.Г., Федонин О.Н., Петрешин Д.И.** Фундаментальные основы обеспечения и повышения качества изделий машиностроения и авиакосмической техники. Вестник Брянского государственного технического университета. 2020; 2(87). С. 4–10.
5. **He B., Bai K.J.** Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review // Adv. Manuf. 2021. Vol. 9. P. 1–21.
6. **Chakraborty S., Chowdhury R.** Graph-theoretic-approach-assisted Gaussian Process for Nonlinear Stochastic Dynamic Analysis Under Generalized Loading // Journal of Engineering Mechanics. 2019. Vol. 145. № 12. P. 04019105.
7. **Чигиринский Ю.Л., Крайнев Д.В., Фролов Е.М.** Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка,

производство, прослеживание // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 8 (134). С. 39–48.

8. **Чигиринский Ю.Л., Крайнев Д.В., Тихонова Ж.С.** Трансформация информационной структуры как инструмент повышения эффективности многономенклатурного производства // Научные технологии в машиностроении. 2024. № 4 (154). С. 29–40.

9. **Ингеманссон А.Р.** Основные положения методологии технологической подготовки производства и адаптивного управления в цифровых производственных системах для механической обработки // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2021. № 1 (248). С. 15–18.

10. **Бочкарев П.Ю.** Проектирование маршрутов многономенклатурных технологических процессов механообработки. Саратов: Саратов.гос.техн.ун-т, 1996. 104 с.

11. **Бочкарев П.Ю.** Системное представление планирования технологических процессов механообработки // Технология машиностроения. 2002. № 1. С. 10–14.

12. **Бочкарев П.Ю.** Развитие теории и принципов планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки и сборки // Научные технологии в машиностроении. 2024. № 9 (159). С. 25–32.

13. **Бочкарев П.Ю., Решетникова Е.П.** Повышение качества технологической подготовки механообрабатывающих производств на основе расширенного анализа конструктивных характеристик деталей // Научные технологии в машиностроении. 2023. № 2 (150). С. 30–36.

14. **Иванов А.А., Бочкарев П.Ю.** Оперативное планирование в многономенклатурном производстве. Методы и алгоритмы взаимодействия: монография // Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2016. 270 с.

15. **Митин С.Г., Бочкарев П.Ю., Азиков Н.С.** Метод генерации структур технологических операций для оборудования сверлильной группы // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2018. № 2. С. 69–74.

REFERENCES

1. Technologist's Handbook / edited by A.G. Suslov. Moscow: Innovative Mechanical Engineering, 2019. 800 p.
2. Bazrov B.M. Basis of Technological Preparation of Mechanical Engineering Production: Monograph. Moscow: KURS, 2023. 324 p.
3. Vasiliev A.S., Dal'skiy A.M., Zolotarevsky Yu.M., Kondakov A.I. Directed Formation of Properties of Mechanical Engineering Products / edited by A.I. Kondakov. Moscow: Mechanical Engineering, 2005. 352 p.
4. Suslov A.G., Fedonin O.N., Petreshin D.I. Fundamental Foundations of Ensuring and Improving the Quality of Mechanical Engineering and Aerospace Products. Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2020; 2(87). P. 4–10.
5. He B., Bai K.J. Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review // Adv. Manuf. 2021. Vol. 9. P. 1–21.

6. Chakraborty S., Chowdhury R. Graph-theoretic approach-assisted Gaussian Process for Nonlinear Stochastic Dynamic Analysis Under Generalized Loading // Journal of Engineering Mechanics. 2019. Vol. 145. No. 12. P. 04019105.

7. Chigirinsky Yu.L., Kraynev D.V., Frolov E.M. Digitalization of mechanical engineering production: technological preparation, production, tracking // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2022. No. 8 (134). P. 39–48.

8. Chigirinsky Yu.L., Kraynev D.V., Tikhonova Zh.S. Transformation of the information structure as a tool for increasing the efficiency of multi-product production // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. No. 4 (154). P. 29–40.

9. Ingemansson A.R. Basic provisions of the methodology of technological preparation of production and adaptive control in digital production systems for mechanical processing // Bulletin of the Volgograd State Technical University. 2021. No. 1 (248). P. 15–18.

10. Bochkarev P.Yu. Design of routes for multi-product technological processes of mechanical processing. Saratov: Saratov State Technical University, 1996. 104 p.

11. Bochkarev P.Yu. Systematic representation of planning of technological processes of mechanical processing // Technology of mechanical engineering. 2002. No. 1. Pp. 10–14.

12. Bochkarev P.Yu. Development of the theory and principles of planning of multi-product technological processes of mechanical processing and assembly // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. No. 9 (159). Pp. 25–32.

13. Bochkarev P.Yu., Reshetnikova E.P. Improving the quality of technological preparation of mechanical processing industries based on extended analysis of design characteristics of parts // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. No. 2 (150). Pp. 30–36.

14. Ivanov A.A., Bochkarev P.Yu. Operational planning in multi-product production. Methods and algorithms of interaction: monograph // Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2016. 270 p.

15. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu., Azikov N.S. Method of generating structures of technological operations for drilling group equipment // Problems of mechanical engineering and reliability of machines. 2018. No. 2. P. 69–74.

Статья поступила в редакцию 16.10.2024; одобрена после рецензирования 26.10.2024; принята к публикации 08.11.2024.

The article was submitted 16.10.2024; approved after reviewing 26.10.2024; assepted for publication 08.11.2024.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39, 8-903-868-85-68.

E-mail: naukatm@yandex.ru, editntm@yandex.ru

Вёрстка Н.А. Лукашов. Редактор Е.В. Лукашова. Технический редактор Н.А. Лукашов.

Сдано в набор 17.01.2025. Выход в свет 30.01.2025.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Брянский государственный технический университет» 241035,

Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

