

Система автоматизированной разработки технологических процессов с элементами оптимизации

Д.А. Рычков^а, Д.А. Смирнова^б

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^а dielektrik84@mail.ru, ^б rikkigud@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-9323-7693>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-7136-7035>

Статья поступила 05.11.2022, принята 18.11.2022

В статье исследованы вопросы оптимизации и автоматизации подготовки производственного процесса для машиностроительных предприятий с применением специализированного программного обеспечения. При разработке эффективного технологического процесса учитывается ряд критериев оптимизации: критерий экономичности, критерий производительности обработки, критерий работоспособности режущего инструмента, а также критерий качества полученной поверхности. Оптимизация технологического процесса заключается в поиске выгодных экстремальных значений представленных критериев оптимизации. Для реализации методики оптимизации создана система автоматизированного проектирования технологических процессов, способная в кратчайшее время провести анализ значительного массива данных. Система позволяет выбрать режущий инструмент в зависимости от значимости критериев производства, а также подобрать режимы резания и рассчитать нормировку времени для каждой операции, что существенно сокращает трудоемкость работы по проектированию эффективного технологического процесса. Для хранения, изменения и обработки взаимосвязанной информации сформирована реляционная клиент-серверная система управления базами данных MySQL. Базы данных разрабатываемой программы не имеют привязок для компьютеров и расположены на отдельном сервере, что позволяет пользователю вносить информацию из любой точки. Также программа содержит внутреннюю базу металлорезающего оборудования и измерительного инструмента для назначения оборудования и оснастки и автоматического формирования маршрутно-операционных карт с установкой оптимальных режимов резания. Результаты разработки являются основой для будущих исследований, направленных на формирование расширенной номенклатуры материалов для изготовления изделий и инструментальных материалов, системный анализ новых способов обработки, создание системы инструментального обеспечения и технологической оснастки. Представленная система имеет практическую ценность в промышленности при производстве изделий различного назначения, в частности для оптимизации производственного процесса.

Ключевые слова: автоматизация; проектирование технологических процессов; оптимизация; система автоматизированного проектирования; режимы резания; программное обеспечение; режущий инструмент; базы данных.

Computer-aided process planning system with elements of optimization

D.A. Rychkov^а, D.A. Smirnova^б

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^а dielektrik84@mail.ru, ^б rikkigud@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-9323-7693>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-7136-7035>

Received 05.11.2022, accepted 18.11.2022

The article investigates the issues of optimization and automation of the preparation of the production process for machine-building enterprises using specialized software. When developing an effective technological process, a number of optimization criteria are taken into account: the criterion of efficiency, the criterion of processing performance, the criterion of the cutting tool operability, as well as the criterion of the quality of the resulting surface. Process optimization consists in finding beneficial extreme values of the presented optimization criteria. To implement the optimization technique, a computer-aided design system for technological processes has been created, which is capable of analyzing a significant amount of data in the shortest possible time. The system allows selecting a cutting tool depending on the importance of production criteria, as well as selecting cutting modes and calculate the normalization of time for each operation, which significantly reduces the labor intensity of designing an effective technological process. For storing, changing and processing interrelated information, a relational client-server database management system MySQL has been created. The databases of the developed program have no binding for computers and are located on a separate server, which allows the user to enter information from anywhere. The program also contains an internal base of metal-cutting equipment and measuring tools for assigning equipment and accessories and automatically generating route-operational maps with the setting of optimal cutting conditions. The results of the development are the basis for future research aimed at the formation of an expanded range of materials for the manufacture of products and tool materials, a systematic analysis of new processing methods, the creation of a tooling system and technological equipment. The presented system has practical value in the industry in the production of products for various purposes, in particular for optimizing the production process.

Keywords: automation; development of technological processes; optimization; CAPP; cutting modes; software; cutting tools; databases.

Введение. Одним из стремительно развивающихся направлений развития машиностроительной промышленности является внедрение компьютерных технологий для автоматизации разработки технологических процессов и управления производством [1–4].

В настоящее время в связи с ростом масштабов производства, расширением номенклатуры режущих инструментов, распространением автоматизации и роботизации предприятий становится актуальной задача проектирования технологических процессов в кратчайшие сроки. Это приводит к необходимости систематизации и оптимизации параметров технологического процесса в условиях автоматизированного проектирования.

Одной из главных задач оптимизации является делегирование части работы технолога по установлению режимов резания, выбору инструментального и технологического оснащения с учетом необходимости достижения отдельных показателей эффективности технологического процесса.

Решением данных задач является применение специализированного программного обеспечения, позволяющего автоматически создавать маршрутно-операционное описание технологического процесса, содержащее информацию по режимам резания и характеристикам режущего инструмента, оптимизированным с учетом требований эффективности производства.

Существующие автоматизированные системы и методики анализа и расчета параметров резания и подбора режущего инструмента ограничены в процессах оптимизации производства, имеют только локальный доступ, высокую стоимость и низкую производительность, так как не учитывают множество необходимых факторов [5–12].

В связи с этим целью исследования является разработка системы автоматизированного проектирования технологических процессов с элементами оптимизации технологической подготовки производства. В задачу входит создание программных средств для формирования операционно-маршрутных карт, подбора оптимальных режимов резания и режущего инструмента для осуществления технологического процесса.

Методика критериальной оптимизации. При разработке эффективного технологического процесса предлагается учитывать ряд критериев оптимизации: критерий экономичности, критерий производительности обработки, критерий работоспособности режущего инструмента, а также критерий качества полученной поверхности.

При определении критерия экономичности (Π_3) выявляются затраты на производство изделий. Они включают в себя расходы, связанные с закупкой и содержанием режущего инструмента, материалов, оборудования, на заработную плату работников, электроэнергию и прочие расходы [13–15]. Значительную часть составляют расходы на покупку режущих инструментов и их обслуживание за весь период эксплуатации.

Производительность обработки (Π) как критерий

оптимизации в настоящем исследовании определяется производительностью резания с учетом затрат времени на смену изношенного инструмента [13].

Работоспособность режущего инструмента (T) обеспечивается его технологическим периодом стойкости. При определении этой величины возникает проблема, связанная с получением достоверного значения для различных параметров технологического процесса, таких как режимы резания, инструментальный материал, обрабатываемый материал, геометрия инструмента и т. п. В рамках решения задач оптимизации технологического процесса разработана методика, которая позволяет определить теоретический период стойкости режущего инструмента на основе прочностных характеристик инструментального и обрабатываемого материалов, режимов и схемы резания, геометрических параметров режущего лезвия и др. [13].

Качество обработанной поверхности (R) определяется шероховатостью и состоянием поверхностного слоя и характеризуется высотой и формой микронеровностей [13].

Каждый из критериев оптимизации в общем виде можно представить в виде функций:

$$T = f(S_z, t, V, \sigma_{инстр/обр}, HRA_{инстр/обр}, E_{инстр/обр}) \quad (1)$$

$$R = f(D, S_z) \quad (2)$$

$$\Pi = f(T, t, S_z, V) \quad (3)$$

$$\Pi_3 = f(C_u, t, S_z, V, z, C_u, P, T, C_s, \Pi), \quad (4)$$

где T — период технологической стойкости режущего инструмента, мин; t — глубина резания, мм; S_z — подача на зуб инструмента, мм/зуб; V — скорость резания; $\sigma_{инстр/обр}$ — прочность инструментального / обрабатываемого материала, МПа; $HRA_{инстр/обр}$ — твердость инструментального / обрабатываемого материала; $E_{инстр/обр}$ — модуль упругости инструментального / обрабатываемого материала, МПа; R_{zp} — высота микронеровностей после обработки, мм; D — диаметр резания, мм; Π — производительность непрерывной обработки, мм³/мин; Π_3 — приведенные затраты, р./мм³; C_u — стоимость инструмента, р.; z — число режущих элементов; C_u — часовая ставка станочника, р./ч; P — ресурс режущего инструмента, мин; C_s — стоимость электроэнергии, р./кВт·ч.

Оптимизация технологического процесса заключается в поиске выгодных экстремальных значений представленных критериев оптимизации [16]. Обеспечение расчетов вручную не представляется возможным ввиду значительного количества факторов, влияющих на критерии оптимизации. Это приводит к необходимости автоматизации данного процесса.

Методика разработки программного обеспечения. Для хранения, изменения и обработки взаимосвязанной информации сформирована реляционная клиент-серверная система управления базами данных (СУБД) MySQL. Она обеспечивает гибкость, высокую производительность, возможность применения промышленных стандартов и безопасность данных [17]. Для реализации задач СУБД и выполнения оптимизационных расчетов разработано программное обеспечение с применением языка

программирования С#.

Работа программного обеспечения предполагается для двух видов пользователей — разработчика технологического процесса и поставщика режущего инструмента (рис. 1). Разработчик технологического

процесса обеспечивает информацию об обрабатываемых материалах и формирует запросы по оптимизации в соответствии с требуемыми задачами. Поставщик режущего инструмента обеспечивает наполнение базы данных режущих инструментов.



Рис. 1. Схема обмена данными в САПР

В качестве исполнителя выступает сервер, который обеспечивает хранение и обработку запросов оптимизации, а также формирование и передачу результатов отправителю запроса.

Основным отличием разрабатываемого программного обеспечения является наличие системы удаленного доступа: главные базы данных программы расположены на отдельном сервере, что позволяет пользователям пополнять их с любого рабочего места, подключенного к сети Интернет. При этом данные в программе будут обновляться автоматически.

Основная часть программы доступна для всех, в то время как базу данных инструментального материала и базу данных конструкций режущей части инструмента сможет обновлять и редактировать только поставщик режущего инструмента при помощи системы удаленного доступа.

Система автоматизированного проектирования.

Для решения поставленной задачи разработана программа, которая содержит:

- редактор баз данных инструментов, материалов и параметров режущей части;
- модуль критериальной оптимизации технологического процесса и выбора оптимального режущего инструмента в зависимости задач производства;
- внутреннюю систему автоматизированной разработки технологических карт.

Редактор базы данных режущих инструментов (см. рис. 2) служит для взаимодействия пользователя «поставщик режущего инструмента» с СУБД. Для внесения информации в базу данных пользователю необходимо указать назначение инструмента, материал режущей части и другие параметры инструмента, необходимые для работы других модулей программы. Для справки можно отразить дополнительные параметры, доступ к которым открывается при нажатии на кнопку «Дополнительно». Указание инструментального материала осуществляется путем его выбора из базы знаний, содержащей информацию об основных физико-химических характеристиках.

Аналогично реализовано взаимодействие пользователя «разработчик технологического процесса» в части редактирования базы данных обрабатываемых материалов. Для добавления новых данных пользователь должен обладать информацией о физико-механических характеристиках материалов, необходимых для осуществления критериальной оптимизации.

Работа модуля критериальной оптимизации (см. рис. 3) происходит по следующему алгоритму:

1. Ввод исходных данных (операция, обрабатываемый материал, режущий инструмент, значимость критериев);
2. Анализ и выбор параметров режущего инструмента;
3. Расчет и сортировка вариантов реализации технологического процесса;
4. Расчет оптимальных режимов резания;
5. Вывод результатов анализа отправителю запроса.

Алгоритм работы данного модуля осуществляется путем циклической обработки данных: информации о режущих инструментах, хранящейся в базе данных; массива данных о режимах резания; физико-механических характеристик инструментальных и обрабатываемых материалов [18–20].

Чтобы программное обеспечение работало корректно и не было непредвиденных сбоев в работе, защита базы данных программы осуществляется при помощи паролей и делает их доступными для определенного числа лиц.

Для оптимизации построения технологического процесса разрабатываемое ПО оснащено внутренней системой автоматизированного проектирования, в которой технолог сможет установить уже выбранный оптимальный инструмент и режимы резания для любой технологической операции, а также создать операционно-маршрутные карты.

Окно выбора инструмента в САПР представлено на рис. 4.

Поиск режущего инструмента и его параметров обеспечивается посредством внутренней библиотеки

государственных стандартов (ГОСТ). Данное окно программы при выборе нужного инструмента будет отображать его геометрию (рис. 5). Также при

необходимости можно будет открыть нужный стандарт или сохранить его на свой компьютер.

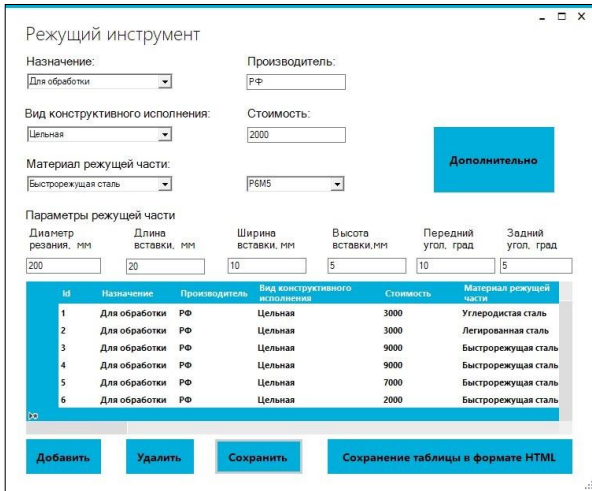


Рис. 2. Модуль редактора базы данных режущих инструментов

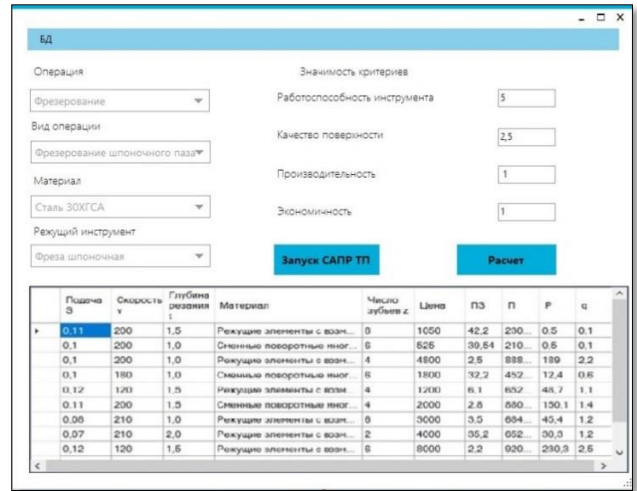


Рис. 3. Главное окно модуля критериальной оптимизации

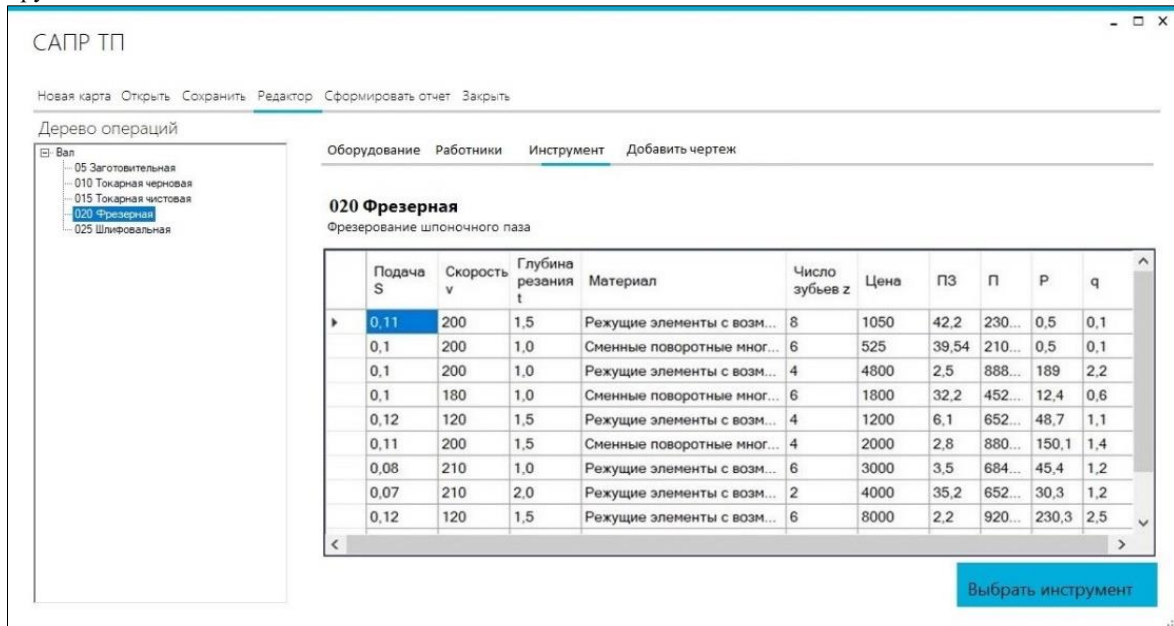


Рис. 4. Окно выбора инструмента в САПР



Рис. 5. Библиотека конструкций инструментов

Выводы. На основе методики критериальной оптимизации разработан программный комплекс, обеспечивающий систематизацию инструментального обеспечения, оборудования и оснастки, а также анализ на основе этих данных вариантов реализации технологического процесса для достижения наибольшей эффективности производства.

Программная реализация алгоритма оптимизации обеспечивает возможность формирования технологических карт для эффективного технологического процесса. Это позволяет создать условия для снижения трудоемкости работы при разработке технологического процесса.

Схема обмена данными в представленной системе формирует виртуальный канал связи между разработчиком технологического процесса и поставщиком (или изготовителем) режущего инструмента, что позволяет учитывать потребности производства в зависимости от того, из каких

материалов изготавливается изделие, какие критерии оптимизации присущи конкретному производственному процессу и т. п.

Система также может быть организована локально на предприятии, где в роли поставщика режущего инструмента может выступать служба снабжения.

Разрабатываемое программное обеспечение оптимизирует работу технолога, проектирование процесса изготовления изделий и позволяет снизить затраты производства. Результаты разработки являются основой для будущих исследований, направленных на формирование расширенной номенклатуры материалов для изготовления изделий и инструментальных материалов, системный анализ новых способов обработки, создание системы инструментального обеспечения и технологической оснастки. Представленная система имеет практическую ценность в промышленности при производстве изделий различного назначения, в частности для оптимизации производственного процесса.

Литература

- Капустин Н.М., Кузнецов П.М., Дьяконова Н.П. Комплексная автоматизация в машиностроении. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 368 с.
- Никифоров А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. М.: Высш. школа, 2006. 392 с.
- Гречишников В.А., Косарев В.А. Инновационные конструкции металлообрабатывающего инструмента для высокотехнологичных машиностроительных производств // Справочник. Инженерный журнал. 2011. № 12. С. 38-44.
- Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Технология инструментального обеспечения производства изделий из композиционных неметаллических материалов: моногр. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2012. 296 с.
- Плотников А.Л., Чигиринский Ю.Л., Фролов Е.М., Крылов Е.Г. Новая методика построения модулей расчета режимов резания в САПР ТПП механической обработки // СТИН. 2009. № 2. С. 19-25.
- Bailleul J.L., Sobotka V., Delaunay D., Jarny Y. Inverse algorithm for optimal processing of composite materials // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2003. № 8. P. 695-708.
- Krupińska B., Szewieczek D. The automation of analysis of technological process effectiveness // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2007. № 24. P. 199-202.
- Skeeba V.Yu., Ivancivsky V.V., Pushnin V.N. Numerical modeling of steel surface hardening in the process of high energy heating by high frequency currents // Applied Mechanics and Materials. 2015. № 698. P. 288-293.
- Иванов В.В. Программный комплекс T-FLEX Технология 10 // САПР и графика. 2006. № 9. С. 44-47.
- Каменев Е.М. Система автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства ADEM-VX // САПР и графика. 2007. № 12. С. 14-19.
- Чилингаров К.А. Учет использования номерного инструмента в производстве с применением системы TechnologiCS // САПР и графика. 2007. № 11. С. 26-31.
- Лобанов Д.В., Купцов М.В., Мулюхин Н.В. Мобильное приложение для автоматизации организационно-технологической подготовки производства // Актуальные проблемы в машиностроении. 2020. Т. 7. № 3-4. С. 26-31.
- Рычков Д.А., Янюшкин А.С. Технология механической обработки композиционных материалов: моногр. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2016. 232 с.
- Рычков Д.А., Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Критериальная оценка конструкции режущего инструмента на примере сборной фрезы для обработки композиционных материалов // Главный механик. 2011. № 5. С. 48-54.
- Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 5-2. С. 23-30.
- Рычков Д.А., Лобанов Д.В., Смирнова Д.А. Методика оптимизации режимов резания в интеллектуальной системе проектирования технологических процессов // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 4 (19). С. 18-24.
- Карвин Б. Программирование баз данных SQL. Типичные ошибки и их устранение. М.: Рид Групп, 2018. 336 с.
- Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Автоматизированная система создания баз данных и многокритериального сравнительного анализа конструкций сборного фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов // САПР и графика. 2011. № 3 (173). С. 71-73.
- Рычков Д.А., Смирнова Д.А., Янюшкин А.Р. Алгоритм и интерфейс средства автоматизации выбора режущего инструмента для обработки высокопрочных композитов // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы IV Междунар. науч.-практической конф. (18-20 дек. 2018 г.). Чебоксары, 2018. С. 267-273.
- Рычков Д.А., Смирнова Д.А., Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Программный продукт для расчета технологических параметров механической операции (technology v.1.00): свид. о регистрации программы для ЭВМ RU 2018662564, 11.10.2018; заявл. 17.09.2018 № 2018619887.

References

- Kapustin N.M., Kuznecov P.M., D'yakonova N.P. Integrated automation in mechanical engineering. M.: Izd. centr «Akademiya», 2005. 368 p.

2. Nikiforov A.D. Modern problems of science in the field of engineering technology. M.: Vyssh. shkola, 2006. 392 p.
3. Grechishnikov V.A., Kosarev V.A. Innovative designs of metalworking tools for high-tech machine-building industries // Handbook. An Engineering Journal. 2011. № 12. P. 38-44.
4. Lobanov D.V., YAnyushkin A.S. Technology of instrumental support for the production of products from composite non-metallic materials: monogr. Staryj Oskol: Izd-vo TNT, 2012. 296 p.
5. Plotnikov A.L., CHigirinskij YU.L., Frolov E.M., Krylov E.G. A new technique for constructing modules for calculating cutting conditions in CAD CCI of machining // STIN. 2009. № 2. P. 19-25.
6. Bailleul J.L., Sobotka V., Delaunay D., Jarny Y. Inverse algorithm for optimal processing of composite materials // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2003. № 8. P. 695-708.
7. Krupińska B., Szewieczek D. The automation of analysis of technological process effectiveness // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2007. № 24. P. 199-202.
8. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Pushnin V.N. Numerical modeling of steel surface hardening in the process of high energy heating by high frequency currents // Applied Mechanics and Materials. 2015. № 698. P. 288-293.
9. Ivanov V.V. Software complex T-FLEX Technology 10 // SAPR i grafika. 2006. № 9. P. 44-47.
10. Kamenev E.M. Automation system for design and technological preparation of production ADEM-VX // SAPR i grafika. 2007. № 12. P. 14-19.
11. CHilingarov K.A. Accounting for the use of numbered tools in production using the TechnologiCS system // SAPR i grafika. 2007. № 11. P. 26-31.
12. Lobanov D.V., Kupcov M.V., Mulyuhin N.V. Mobile application for automation of organizational and technological preparation of production // Actual problems in machine building. 2020. V. 7. № 3-4. P. 26-31.
13. Rychkov D.A., YAnyushkin A.S. Technology of mechanical processing of composite materials: monogr. Staryj Oskol: Izd-vo TNT, 2016. 232 p.
14. Rychkov D.A., YAnyushkin A.S., Lobanov D.V. Criteria assessment of the design of the cutting tool on the example of a prefabricated cutter for processing composite materials // Chief mechanical engineer. 2011. № 5. P. 48-54.
15. Lobanov D.V., YAnyushkin A.S., Rychkov D.A. Optimization of the choice of cutting tool based on methods of comparative analysis // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. 2010. № 5-2. P. 23-30.
16. Rychkov D.A., Lobanov D.V., Smirnova D.A. Technique for optimizing cutting modes in an intelligent system for designing technological processes // Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. 2018. № 4 (19). P. 18-24.
17. Karvin B. SQL Database Programming. Common mistakes and their elimination. M.: Rid Grupp, 2018. 336 p.
18. Lobanov D.V., YAnyushkin A.S., Rychkov D.A. Automated system for creating databases and multi-criteria comparative analysis of the designs of prefabricated milling tools for processing composite materials // SAPR i grafika. 2011. № 3 (173). P. 71-73.
19. Rychkov D.A., Smirnova D.A., YAnyushkin A.R. Algorithm and interface for automating the choice of cutting tools for processing high-strength composites // Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i litejnom proizvodstve: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (18-20 dek. 2018 g.). CHEboksary, 2018. P. 267-273.
20. Rychkov D.A., Smirnova D.A., YAnyushkin A.S., Lobanov D.V. Software product for calculating the technological parameters of a mechanical operation (technology v.1.00): svid. o registracii programmy dlya EVM RU 2018662564, 11.10.2018; zayavl. 17.09.2018 № 2018619887.