

Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд
Конкурс 2021 года «Проведение фундаментальных научных исследований и
поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами»

Название проекта Алгоритмы решения интегрированной задачи 2D раскроя и маршрутизации в системах автоматизированного проектирования управляющих программ для машин лазерной резки	Номер проекта	22-21-00778 
	Отрасль знания: 01	
	Основной код классификатора: 01-507 Дополнительные коды классификатора: 01-210 01-701	
	Код ГРНТИ 50.47.31	
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Петунин Александр Александрович	Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +79126158982, a.a.petunin@urfu.ru	
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" ФГАОУ ВО "УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина", Уральский федеральный университет, УрФУ		
Объем финансирования проекта в 2022 г.: 1500 тыс. руб.	Год начала проекта: 2022	Год окончания проекта: 2023
Гарантирую, что при подготовке заявки не были нарушены авторские и иные права третьих лиц и/или имеется согласие правообладателей на представление в Фонд материалов и их использование Фондом для проведения экспертизы и для обнародования (в виде аннотаций заявок).		
Подпись руководителя проекта _____ /А.А. Петунин/ Подпись руководителя организации* <i>* Либо уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа. В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. - руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки <u>прилагается копия распорядительного документа или доверенности</u>, заверенная печатью организации. Непредставление копии распорядительного документа или доверенности в случае подписания формы уполномоченным представителем организации, а также отсутствие расшифровки подписи, является основанием недопуска заявки к конкурсу.</i> _____ / _____ / Печать (при наличии) организации		Дата регистрации заявки 15.06.2021 г.

Форма 1. Сведения о проекте

1.1. Название проекта

на русском языке

Алгоритмы решения интегрированной задачи 2D раскроя и маршрутизации в системах автоматизированного проектирования управляющих программ для машин лазерной резки

на английском языке

Algorithms for solving the integrated nesting and routing problem in computer-aided design systems for CNC laser cutting machines

1.2. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология

Указывается согласно перечню (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899) в случае, если тематика проекта может быть отнесена к одному из приоритетных направлений, а также может внести вклад в развитие критических технологий Российской Федерации.

3. Информационно-телекоммуникационные системы.

13. Технологии информационных, управляющих, навигационных систем.

Направление из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации») (при наличии)

H1 Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта

1.3. Ключевые слова (приводится не более 15 терминов)

на русском языке

раскрой-упаковка, машины термической резки с ЧПУ, задача маршрутизации инструмента, интегрированная задача раскроя и маршрутизации, управляющая программа, сегмент резки, траектория резки, мульти-контурная резка, совмещенный рез, САМ система, эвристические алгоритмы

на английском языке

cutting & packing, CNC thermal cutting machines, cutting path problem, integrated nesting and routing problem (INRP), NC program, cutting segment, multi-contour cutting, common cut, CAM system, heuristic algorithms

1.4. Аннотация проекта (объемом не более 2 стр.; в том числе кратко – актуальность решения указанной выше научной проблемы и научная новизна)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

Темой настоящего проекта является исследование новой научной проблемы: разработка научно-обоснованных методик применения "мульти-контурной резки" заготовок на машинах термической резки с числовым программным управлением (ЧПУ) для решения интегрированной задачи 2D раскроя и маршрутизации инструмента (Integrated Nesting and Routing Problem, INRP). Проектирование управляющих программ (УП) для технологического оборудования листовой резки с ЧПУ предполагает предварительное создание 2D моделей заготовок (в проекте термин «заготовка» используется как синоним термина «деталь», которая вырезается из листового материала) и разработку раскройной карты листового материала, при этом возникает задача фигурного раскроя или проблема «нестинга», которая относится к классу задач раскроя-упаковки (cutting & packing problem, C&P). Для проектирования раскроя и УП используются специализированные системы автоматизированного проектирования (Computer-Aided-Manufacture, CAM) системы. Раскройная карта – графический файл, который содержит информацию о геометрии и расположении вырезаемых деталей. На следующем этапе осуществляется процесс назначения траектории перемещения режущего инструмента, что порождает актуальные оптимизационные задачи минимизации стоимости и времени процесса резки при получении деталей на оборудовании термической резки с ЧПУ. Современные САМ-системы в общем случае не гарантируют получение ни оптимального варианта раскроя, ни оптимальной траектории перемещений режущего инструмента при одновременном соблюдении технологических требований резки в силу того, что перечисленные задачи относятся к классу NP-трудных.

В настоящее время на практике при проектировании траектории инструмента применяется, в основном, т.н. «резка по замкнутому контуру» (стандартная техника). В этом случае каждый сегмент резки содержит ровно один граничный

контур детали, который вырезается целиком (под сегментами резки понимаются части траектории перемещения инструмента между точками включения и выключения инструмента). Вместе с тем, мульти-контурная резка, которая предполагает вырезку нескольких граничных контуров деталей в одном сегменте, часто обеспечивает существенное сокращение времени и стоимости резки за счет уменьшения числа точек врезки (точек включения инструмента). Мульти-контурную резку часто используют совместно со специальной техникой «совмещенного реза», которая позволяет сокращать длину рабочего хода инструмента. Однако применение мульти-контурной резки в существующих САПР, предназначенных для автоматизации подготовки УП для машин термической резки ограничивается отсутствием алгоритмического обеспечения, позволяющего в автоматическом режиме формировать траекторию с гарантированной минимизацией временных и стоимостных параметров процесса резки при одновременном соблюдении технологических требований термической резки.

В проекте планируется исследовать типовые фигурные заготовки, изготавливаемые на предприятиях реального сектора экономики, и впервые выделить среди них по геометрическим признакам обширный параметрический класс таких, для которых на этапе раскроя возможно объединение конгруэнтных заготовок этого класса в группы, позволяющие применять мульти-контурную резку и оптимизировать траекторию инструмента при процессе резки этих групп на машине с ЧПУ. В качестве критерия оптимизации будет использоваться интегрированный критерий стоимости раскроя и резки задачи INRP. При этом полученная траектория должна быть допустимой с точки зрения технологических требований термической резки, в процессе которой могут возникнуть недопустимые тепловые деформации материала, приводящие к геометрическим искажениям формы и размеров получаемых деталей. Работа также предусматривает разработку вычислительных алгоритмов, реализующих оптимальные методики построения траектории инструмента для конкретного оборудования лазерной резки, и разработку соответствующего программного обеспечения, включая интерфейсы интеграции с отечественными системами проектирования управляющих программ машин термической резки.

на английском языке

The topic of this project is the study of a new scientific problem: the development of scientifically grounded methods of using "multicontour cutting" of parts on CNC thermal cutting machines for solving the integrated problem of 2D nesting and tool routing (Integrated Nesting and Routing Problem, INRP). The design of control programs (NC) for technological equipment for CNC sheet cutting assumes the preliminary creation of 2D models of parts (in the project the term "part" is used as a synonym for the term "workpiece" that is cut from sheet material) and also the development of a nesting map of sheet material. Thus arising 2D cutting problem or nesting problem, which is a cutting & packing problem (C&P). Specialized computer-aided-manufacture (CAM) systems are used for the design of cutting map and development of NC programs. The nesting map is a graphic file that contains information about the geometry and location of nested parts. At the next stage, the process of assigning the trajectory of movement of the cutting tool is carried out, which gives rise to urgent optimization problems of minimizing the cost and time of the cutting process when the parts on CNC thermal cutting equipment are produced. In general, modern CAM systems do not guarantee obtaining either the optimal nesting map or the optimal trajectory of the cutting tool while meeting the technological requirements for cutting, due to the fact that the listed tasks are NP-hard.

In the project, it is planned to study typical shaped parts manufactured at enterprises of the real sector of the economy, and for the first time distinguish among them, by geometric features, an extensive parameterized class of those for which, at the cutting stage, it is possible to combine congruent parts of this class into groups. This kind of group has to allow to use multi-contour cutting and to optimize tool path when cutting these groups on a CNC machine. The integrated cost criterion INRP will be used as an optimization criterion. In this case, the resulting trajectory must be acceptable from the point of view of the technological requirements of thermal cutting, during which unacceptable thermal deformations of the material may occur, leading to geometric distortions of the shape and size of the parts obtained. The work also provides for the development of computational algorithms that implement the optimal methods for constructing the tool path for specific laser cutting equipment, and the development of appropriate software, including interfaces for integration with russian systems for designing control programs for thermal cutting machines.

1.5. Ожидаемые результаты и их значимость (указываются результаты, их значимость для развития новой научной тематики)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

В результате реализации проекта ожидается получение следующих новых научных результатов, впервые позволяющих решать некоторые классы задач INRP.

1. Детальная математическая формализация задачи INRP.

2. Разработка по геометрическим признакам параметрической библиотеки 2D объектов в векторной форме, каждый из которых соответствует по геометрической форме стандартной типовой детали, изготавливаемой из листового материала, и при этом позволяет на этапе раскроя объединять его с любым конечным числом таких же объектов в группу, для которой на этапе проектирования траектории перемещения инструмента машины с ЧПУ существует по крайней мере один способ применения техники мульти-контурной резки одновременно с применением техники совмещенного реза. Этот результат позволит впервые выделить класс типовых деталей, "перспективных" (по сравнению со стандартной техникой резки) для поиска оптимального решения задачи INRP для групп, состоящих из конгруэнтных деталей.
 3. Разработка для каждого 2D объекта из библиотеки методов формирования групп и множества допустимых мульти-контурных траекторий с учетом технологических требований термической резки. Этот результат позволит перейти от интерактивного режима формирования в САМ-системах элементов раскройных карт для типовых деталей и интерактивного проектирования допустимых вариантов маршрута инструмента машины с ЧПУ при использовании техники мульти-контурной резки к автоматическим режимам проектирования.
 4. Разработка оптимизационных алгоритмов раскроя конгруэнтных деталей и траектории инструмента машин термической резки материала с ЧПУ для интегрированного критерия INRP. Этот результат позволит впервые получать оптимальные траектории инструмента для интегрированного критерия INRP.
 5. Разработка программного обеспечения для выбора оптимальной траектории инструмента на множестве допустимых вариантов применительно к конкретному технологическому оборудованию лазерной резки. Интеграция разработанного ПО с САПР "Сириус", предназначенной для проектирования 2D раскроя и подготовки УП для машин листовой резки с ЧПУ. Этот результат позволит для каждой типовой детали из библиотеки при заданном числе деталей в группе, а также при заданных марке и толщине листового материала находить траекторию, соответствующую минимуму интегрированного критерия стоимости INRP, и проектировать оптимальные управляющие программы машины с ЧПУ в САМ системе.
- В целом, ожидаемые новые научные результаты позволят впервые разработать алгоритмы решения актуальной задачи INRP и для целого класса типовых деталей формировать в автоматическом режиме в системах автоматизированного проектирования управляющих программ оптимальные перемещения инструмента машин лазерной резки на основе применения техник мульти-контурной резки.

на английском языке

As a result of the project, the following new scientific results are expected to be obtained, for the first time allowing to solve some classes of INRP problems.

1. Detailed mathematical formalization of the Integrated Nesting and Routing Problem.
2. Development of a parametric library of 2D objects in vector kind based on geometric features, moreover, each object must correspond in geometric shape to a standard typical part made of sheet material. At the same time it is possible to be combined the object at the nesting process with any finite number of the same objects into a groups for which at the stage of designing the trajectory of the CNC machine tool, there is at least one way of using the multi-contour cutting technique simultaneously with the use of the combined cut technique. This result will allow for the first time to distinguish a class of typical parts, "promising" (in comparison with the standard cutting technique) for searching an optimal solution to the INRP problem for groups consisting of congruent parts.
3. Development for each 2D object from the library of methods for forming groups and a set of permissible multi-contour trajectories taking into account the technological requirements of thermal cutting. This result will make it possible to switch from the interactive mode design in CAM systems of elements of cutting maps for typical parts and interactive design of permissible options for the route of the tool of a CNC machine when using the multi-contour cutting technique to automatic design modes.
4. Development of optimization algorithms for nesting of congruent parts and tool paths for CNC thermal cutting machines for the integrated criterion INRP. This result will allow for the first time to obtain optimal tool paths for the integrated INRP criterion.
5. Development of software for the selection of the optimal tool path on a variety of acceptable options in relation to specific technological equipment for laser cutting. Integration of the developed software with CAD "Sirius" designed for 2D nesting design and NC preparation for CNC sheet cutting machines. This result will allow for each typical part from the library for a given number of parts in a group, as well as for a given grade and thickness of sheet material, to find a trajectory corresponding to the minimum of the integrated cost criterion INRP, and to design optimal control programs for a CNC machine in a CAM system.

1.6. В состав научного коллектива (в т.ч. с учетом руководителя проекта) будут входить (указывается планируемое количество исполнителей в течение всего срока реализации проекта):

Несоответствие состава научного коллектива (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 12 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

3 исполнителей проекта (включая руководителя),

В соответствии с требованиями пункта 12 конкурсной документации от 2 до 4 человек, вне зависимости от того, в трудовых или гражданско-правовых отношениях исполнители состоят с организацией.

в том числе:

2 исполнителей в возрасте до 39 лет включительно;

0 аспирантов (адъюнктов, интернов, ординаторов) очной формы обучения;

1 студентов очной формы обучения.

1.7. Планируемый состав научного коллектива с указанием фамилий, имен, отчеств (при наличии) членов коллектива, их возраста на момент подачи заявки, ученых степеней, должностей и основных мест работы, формы отношений с организацией (трудовой договор, гражданско-правовой договор) в период реализации проекта

1. Петунин Александр Александрович - 65 лет, доктор технических наук, профессор, Уральский федеральный университет, трудовой договор

2. Таваева Анастасия Фидагилевна - 30 лет, кандидат технических наук, главный специалист, АО «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э. С. Яламова» (УОМЗ), трудовой договор

3. Халявка Александр Павлович - 23 года, студент, Уральский федеральный университет, трудовой договор

Соответствие профессионального уровня членов научного коллектива задачам проекта

Петунин А.А. - д.т.н., ведущий российский ученый в области оптимизации технологических процессов раскроя промышленных материалов и подготовки управляющих программ для машин листовой резки с числовым программным управлением, имеет большой опыт руководства научными и образовательными проектами, в том числе крупными проектами, успешно выполненными для предприятий реального сектора экономики. Председатель диссертационного совета УрФУ 05.09.24 (технические науки). Лауреат премии Губернатора Свердловской области в сфере информационных технологий за 2016 г. в номинации "За выдающийся вклад в развитие научных исследований в сфере информационных технологий", Главный разработчик САПР "Сириус", предназначенной для автоматизации проектирования технологических процессов раскройно-заготовительного производства.

Таваева А.Ф. - ведущий специалист АО "ПО" "УОМЗ" по разработке управляющих программ для машин лазерной резки листового металла. Кандидат технических наук (2021). Диссертация защищена по специальности 05.13.12. - Системы автоматизации проектирования (промышленность). Научный руководитель - А.А.Петунин. Автор 20-ти научных публикаций, в т.ч. 7 - индексированы в базах данных Scopus и WoS. В последние 5 лет провела ряд уникальных исследований по определению зависимости скорости лазерной резки от исходных параметров задачи оптимизации траектории инструмента с целью точного вычисления целевых функций и минимизации временных и стоимостных характеристик процесса лазерной резки фигурных заготовок. Владеет несколькими языками программирования.

Халявка А.П. - студент 1 курса магистратуры Уральского федерального университета, научный руководитель - А.А.Петунин. Имеет научные публикации. Совместно с А.А.Петуниным разработал первую библиотеку тестов с открытым доступом, содержащую несколько сотен раскройных карт для тестирования алгоритмов оптимизации маршрута инструмента машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением. Специалист по применению САПР для автоматизации конструкторско-технологической подготовкой производства. Владеет несколькими языками программирования.

1.8. Планируемый объем финансирования проекта Фондом по годам (указывается в тыс. рублей):

в 2022 г. - 1500 тыс. рублей,

в 2023 г. - 1500 тыс. рублей.

Несоответствие планируемого объема финансирования проекта (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 10 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

1.9. Научный коллектив по результатам проекта в ходе его реализации предполагает опубликовать в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях не менее

Приводятся данные за весь период выполнения проекта. Уменьшение количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) по сравнению с порогом, установленным в пункте 16.2 конкурсной документации, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

9 публикаций,

из них

5 в изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus).

Информация о научных изданиях, в которых предполагается опубликовать результаты проекта, в том числе следует указать в каких базах индексируются данные издания - «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), РИНЦ, иные базы, а также указать тип публикации - статья, обзор, тезисы, монография, иной тип

International Journal of Production Research (IF=2.623, Q1 SJR)

Acta Polytechnica Hungarica (IF=0.298, Q2 SJR).

Автоматика и телемеханика (Automation and Remote Control) (IF 0.562, Q2 SJR)

IFAC-PapersOnLine (IF=0.234, Q3 SJR)

Pollack Periodica, (IF=0.229, Q3 SJR)

Известия ЮФУ. Технические науки (список ВАК)

и др.

Иные способы обнародования результатов выполнения проекта

Выступление с докладами на российских и международных конференциях, в т.ч.:

- Всероссийская Мультиконференция по проблемам управления (МКПУ - 2022, 2023);

- International Conference Optimization and Applications (OPTIMA - 2022, 2023);

- Applications of Mathematics in Engineering and Economics (AMEE- 2023);

и др.

1.10. Число публикаций членов научного коллектива, опубликованных в период с 1 января 2016 года до даты подачи заявки,

66, из них

39 – опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или в Scopus.

1.11. Планируемое участие научного коллектива в международных коллаборациях (проектах) (при наличии)

Руководитель проекта подтверждает, что

- все члены научного коллектива (в том числе руководитель проекта) удовлетворяют пунктам 4, 6, 7, 13 конкурсной документации;
- на весь период реализации проекта руководитель проекта будет состоять в трудовых отношениях с организацией;
- при обнародовании результатов любой научной работы, выполненной в рамках поддержанного Фондом проекта, руководитель проекта и научный коллектив будут указывать на получение финансовой поддержки от Фонда и организацию, а также согласны с опубликованием Фондом аннотации и ожидаемых результатов поддержанного проекта, соответствующих отчетов о выполнении проекта, в том числе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»;
- помимо гранта Фонда проект не будет иметь других источников финансирования в течение всего периода практической реализации проекта с использованием гранта Фонда;
- проект не является аналогичным по содержанию проекту, одновременно поданному на конкурсы научных фондов и иных организаций;
- проект не содержит сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством Российской Федерации иной информации ограниченного доступа;
- доля членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно в общей численности членов научного коллектива будет составлять не менее 50 процентов в течение всего периода практической реализации проекта;
- в установленные сроки будут представляться в Фонд ежегодные отчеты о выполнении проекта и о целевом использовании средств гранта.

Подпись руководителя проекта _____ /А.А. Петунин/

Форма 2. Сведения о руководителе

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Петунин Александр Александрович

на английском языке фамилия и инициалы

Petunin A.

WoS ResearcherID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу www.ResearcherID.com.

<https://publons.com/researcher/P-2487-2016/>

Scopus AuthorID (при наличии)

Scopus AuthorID формируется в базе данных Scopus автоматически при появлении у автора хотя бы одной статьи в данной базе. AuthorID указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных Scopus (Author Search) в результатах поиска нажать на фамилию автора.

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56780066100>

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0003-2540-1305>

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

28.09.1955

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

Доктор технических наук, 2010

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии), участие в оргкомитетах или программных комитетах известных международных конференций, иной опыт организации международных мероприятий

Лауреат премии Губернатора Свердловской области в сфере информационных технологий за 2016 г. в номинации "За выдающийся вклад в развитие научных исследований в сфере информационных технологий",

Член Программных международных комитетов следующих международных научных конференций:

1. International conference "Mathematical Optimization Theory and Operations Research" (MOTOR2019), Екатеринбург, Россия, (MOTOR2020), Новосибирск, Россия, (MOTOR2021), Иркутск, Россия
2. X, XI International Conference Optimization and Applications (OPTIMA-2019), Петровац, Черногория, (OPTIMA-2020), Москва, Россия
3. International conference "Optimization problems on graphs and network structures" (AIST 2019), Казань, Россия
4. International Workshop "Computer Science and Information Technologies" (CSIT) (2009-2017)
5. International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS), Уфа, Россия (2015-2017)
6. XI Международная конференция «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур» (ICAM'2016), Екатеринбург, Россия
7. The 2 nd International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support and the International Workshop on Robots and Robotic Systems (ITIDS+RRS'2014), Уфа, Россия
8. The International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support and the Intended Russian-German Workshop on Models and Algorithms of Applied Optimization" (ITIDS+MAAO '2013), Уфа, Россия
9. Международная конференция: "Информационные технологии и системы" (ITIS), Банное, Россия (2013-2016)

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное наименование организации)

Руководитель проекта может на момент подачи заявки не являться работником организации, но, в случае победы в конкурсе, должен заключить с ней трудовой договор. В случае, если руководитель проекта не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (ФГАОУ ВО "УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина", Уральский федеральный университет, УрФУ, Свердловская обл)

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

раскрой-упаковка, машины листовой резки с ЧПУ, задача маршрутизации инструмента, управляющая программа, дискретная оптимизация, стоимость резки, GTSP, динамические ограничения, эвристические алгоритмы, САПР

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

01-110 01-203 01-507 01-701

2.9. Перечень публикаций руководителя проекта, опубликованных в период с 1 января 2016 года до даты подачи заявки, подтверждающий выполнение условия пункта 9 конкурсной документации

Для лиц, находившихся в указанный в настоящем пункте период в отпусках по беременности и родам, отпусках по уходу за ребенком, а также отпусках работникам, усыновившим ребенка, допускается наличие соответствующих публикаций также в период, предшествующий 1 января 2016 года, и равный продолжительности таких отпусков.

Достаточно привести ссылки на публикации в количестве, равном установленному в конкурсной документации порогу. Несоответствие количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы), приводимое в перечне и/или численно в строке ниже, требованиям пункта 9 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу в соответствии с подпунктом «е» пункта 21 конкурсной документации.

В случае представления публикации в изданиях, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus), входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>), данная статья учитывается как две публикации.

на английском языке

1. Chentsov, A.G., Chentsov, P.A., Petunin, A.A., Seseikin, A.N.: Model of megalopolises in the tool path optimisation for CNC plate cutting machines. International Journal of Production Research (IF=2.623, Q1 SJR), 2018, 56(14), pp. 4819-4830. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1421784>
2. Petunin, A. A., & Chentsov, P. A. (2020). Routing in CNC cutting machines: Engineering constraints. Acta Polytechnica Hungarica (IF=0.298, Q2 SJR), 17(8), 165-177. <https://doi.org/10.12700/APH.17.8.2020.8.12>
3. Zakharova, G.B., Krivonogov, A.I., Kruglikov, S.V., Petunin, A.A. Energy-efficient technologies in the educational programs of the architectural higher education schools (2020) Acta Polytechnica Hungarica, (IF=0.298, Q2 SJR), 17 (8), pp. 121-136. DOI: 10.12700/APH.17.8.2020.8.9
4. Khachay M., Kudriavtsev A., Petunin A. (2020) PCGLNS: A Heuristic Solver for the Precedence Constrained Generalized Traveling Salesman Problem. In: Olenov N., Evtushenko Y., Khachay M., Malkova V. (eds) Optimization and Applications. OPTIMA 2020. Lecture Notes in Computer Science (IF=0.432, Q2 SJR), vol 12422. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62867-3_15
5. Petunin, A.A., Chentsov, A.G., Chentsov, P.A. Optimizing Insertions in a Constraint Routing Problem with Complicated Cost Functions (2019). Journal of Computer and Systems Sciences International (IF=0.513, Q2 SJR), 58 (1), pp. 113-125. DOI: 10.1134/S106423071901012X
6. Petunin, A.A., Chentsov, A.A., Chentsov, A.G., Chentsov, P.A. Elements of dynamic programming in local improvement constructions for heuristic solutions of routing problems with constraints (2017) Automation and Remote Control (IF=0.35, Q2 SJR), 78 (4), pp. 666-681. DOI: 10.1134/S0005117917040087
7. Kovács, G., Petunin, A., Ivanko, J., Yusupova, N. From the first chess-automaton to the mars pathfinder (2016) Acta Polytechnica Hungarica (IF=0.298, Q2 SJR), 13 (1), pp. 61-81, DOI: 10.12700/APH.13.1.2016.1.6
8. Petunin, A., Khalyavka, A., Khachay, M., Kudriavtsev, A., Chentsov, P., Polishchuk, E., Ukolov, S. Library of Sample Image Instances for the Cutting Path Problem (2021) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) (IF=0.25, Q3 SJR), 12665 LNCS, pp. 227-233. DOI: 10.1007/978-3-030-68821-9_21
9. Petunin, A., Polishchuk, E., Ukolov, S. A Novel Algorithm for Construction of the Shortest Path Between a Finite Set of Nonintersecting Contours on the Plane (2020) Communications in Computer and Information Science (IF=0.188, Q3 SJR), 1340, pp. 70-83. DOI: 10.1007/978-3-030-65739-0_6
10. Petunin, A. (2019). General Model of Tool Path Problem for the CNC Sheet Cutting Machines. IFAC-PapersOnline (IF=0.332, Q3 SJR), 52(13), 2662-2667. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.609>
11. Petunin, A. A., Polishchuk, E. G., & Ukolov, S. S. (2019). On the new Algorithm for Solving Continuous Cutting Problem.

- IFAC-PapersOnLine (IF=0.332, Q3 SJR) , 52(13), 2320-2325. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.552>
12. Tavaeva A., Petunin A., Ukolov S., Krotov V. (2019) A Cost Minimizing at Laser Cutting of Sheet Parts on CNC Machines. In: Bykadorov I., Strusevich V., Tchemisova T. (eds) Mathematical Optimization Theory and Operations Research. MOTOR 2019. Communications in Computer and Information Science (IF=0.168, Q3 SJR), vol 1090 , pp. 438-451. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33394-2_33
 13. Petunin, A. A., Chentsov, A. G., & Chentsov, P. A. (2017). About routing in the sheet cutting. Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software (IF=0.261, Q3 SJR), 10(3), 25-39. <https://doi.org/10.14529/mmp170303>
 14. Berezin, I. M., Petunin, A. A., Kryuchkov, D. I., & Kovács, G. L. (2017). Finite-element simulation of the cold stamping process of spherical vessels. Pollack Periodica (IF=0.232, Q3 SJR), 2017, 12(1), 81-92. <https://doi.org/10.1556/606.2017.12.1.7>.
 15. Petunin, A. A., & Stylios, C. (2016). Optimization models of tool path problem for CNC sheet metal cutting machines. IFAC-PapersOnLine (IF=0.234, Q3 SJR), 49(12), 23-28. doi:10.1016/j.ifacol.2016.07.544
 16. Chentsov, P. A., & Petunin, A. A. (2016). Tool routing problem for CNC plate cutting machines. IFAC-PapersOnLine (IF=0.234, Q3 SJR), 49(12), 645-650. doi:10.1016/j.ifacol.2016.07.762
 17. Verkhoturov, M., Petunin, A., Verkhoturova, G., Danilov, K., & Kurennov, D. (2016). The 3D object packing problem into a parallelepiped container based on discrete-logical representation. IFAC-PapersOnLine (IF=0.234, Q3 SJR), 49(12), 1-5. doi:10.1016/j.ifacol.2016.07.540
 18. Chentsov, A.G., Chentsov, P.A., Petunin, A.A., Sesekin, A.N. Routing problems: constraints and optimality (2016) IFAC-PapersOnLine (IF=0.234, Q3 SJR), 49 (12), pp. 640-644.
 19. Kovács, G. L., & Petunin, A. (2016). An information technology view of manufacturing automation - product life-cycle management. Pollack Periodica, (IF=0.229, Q3 SJR) 11(2), 3-14. doi:10.1556/606.2016.11.2.1
 20. Kolios, S., Loukadakis, D., Stylios, C., Kazantzidis, A., & Petunin, A. (2016). A WebGIS application for cloud storm monitoring. B Databases and Information Systems - 12th International Baltic Conference, DB and IS 2016, Proceedings (Vol. 615, pp. 151-163). (Communications in Computer and Information Science (IF=0.169, Q3 SJR); Vol. 615). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40180-5_11
 21. Petunin, A., Tavaeva, A. The Dependence of Actual Laser Cutting Speed on CNC Sheet Equipment on Number of NC Program Commands for Metal Grades 1.0114 and AWA1Mg3 (2020) Journal of Physics: Conference Series (IF=0.227, Q4 SJR), 1527 (1), 012013, DOI: 10.1088/1742-6596/1527/1/012013
 22. Tavaeva, A.F., Petunin, A.A., Polishchuk, E.G. Methods of Cutting Cost Minimizing in Problem of Tool Route Optimization for CNC Laser Machines (2020) Lecture Notes in Mechanical Engineering (IF=0.15, Q4 SJR), pp. 447-455, DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_48
 23. Liagkou, V., Stylios, C., Petunin, A. Handling privacy and concurrency in an online educational evaluation system (2019) Baltic Journal of Modern Computing (IF=0.13, Q4 SJR), 7 (1), pp. 86-98. DOI: 10.22364/bjmc.2019.7.1.07
 24. Kuznetsov, V.P., Skorobogatov, A.S., Voropayev, V.V., Petunin, A.A. Research into Dry Turning of Welded Surface by Replaceable Cutting Insert with Closed Loop Heat Removal (2018) Journal of Physics: Conference Series (IF=0.241, Q4 SJR), 1045 (1), 012024, DOI: 10.1088/1742-6596/1045/1/012024
 26. Besschaposchnikov, Y.P., Pai, V.V., Chernukhin, V.I., Petunin, A.A. A mathematical model of the layered plate throwing by detonation products (2021) AIP Conference Proceedings (IF=0.18 SJR), 2333, 090023, DOI: 10.1063/5.0041899
 27. Petunin, A.A., Chentsov, P.A., Polishchuk, E.G., Ukolov, S.S., Martynov, V.V. Optimum routing algorithms for control programs design in the CAM systems for CNC sheet cutting machines (2020) AIP Conference Proceedings (IF=0.19 SJR), 2312, 18. 020005, DOI: 10.1063/5.0035636
 28. Trapeznikov, F.Yu., Petunin, A.A. A variant of solving the optimization problem of finding the order of bending of sheet metal parts with parallel bends in time (2021) CEUR Workshop Proceedings (IF=0.18 SJR), 2843, <http://ceur-ws.org/Vol-2843/paper030.pdf>
 29. Petunin, A.A., Polyshuk, E.G., Chentsov, P.A., Ukolov, S.S., Krotov, V.I. The thermal deformation reducing in sheet metal at manufacturing parts by CNC cutting machines (2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (IF=0.198 SJR), 613 (1), 012041, DOI: 10.1088/1757-899X/613/1/012041
 30. Martynov, V.V., Zakieva, E.S., Petunin, A.A. Modeling the Initial Shape in the Tasks of Automating the Design of Electronic Means Placement on a Flat Material (2019) 2019 International Seminar on Electron Devices Design and Production, SED 2019 - Proceedings (IF=0.1 SJR), 8798437, DOI: 10.1109/SED.2019.8798437
 31. Dolgii, Y.F., Petunin, A.A., Sesekin, A.N., Tashlykov, O.L. Optimal control of the system of coupled cylinders (2018) AIP Conference Proceedings (IF=0.182 SJR), 2048, 020007, DOI: 10.1063/1.5082025
 32. Shipacheva, E.N., Petunin, A.A., Berezin, I.M. A genetic algorithm used for solving one optimization problem (2017) AIP Conference Proceedings (IF=0.182 SJR), 1915, 040052, DOI: 10.1063/1.5017400

33. Kartak, V.M., Marchenko, A.A., Petunin, A.A., Sesekin, A.N., Fabarisova, A.I. Optimal and heuristic algorithms of planning of low-rise residential buildings (2017) AIP Conference Proceedings (IF=0.165 SJR), 1895, 110002, DOI: 10.1063/1.5007408
34. Petunin, A.A., Sesekin, A.N., Tashlykov, O.L., Chentsov, A.G. Route optimization on the nuclear objects and in mechanical engineering (2017) CEUR Workshop Proceedings (IF=0.167 SJR), 1825, pp. 69-79.
35. Tavaeva, A.F., Petunin, A.A. Investigation of cutting speed influence on optimality of the tool path route for CNC laser cutting machines (2017) 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings, 8076452, DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076452
36. Kurennov, D.V., Petunin, A.A., Repnitskii, V.B., Shipacheva, E.N. About one algorithm of the broken line approximation and a modeling of tool path for CNC plate cutting machines (2016) AIP Conference Proceedings (IF=0.165 SJR), 1789, 060004, DOI: 10.1063/1.4968496
37. Petunin, A.A., Polishuk, E.G., Chentsov, A.G., Chentsov, P.A., Ukolov, S.S. About some types of constraints in problems of routing (2016) AIP Conference Proceedings (IF=0.165 SJR), 1789, 060002, DOI: 10.1063/1.4968494
38. Tavaeva, A.F., Petunin, A.A. The cutter speed determination of CNC laser cutting machines for precise calculation of objective function of tool path problem (2016) 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings, 7911618, DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911618

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский язык. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

Перечень содержит 39 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, Scopus.

Перечень содержит 1 публикаций в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>).

2.10. Основные научные результаты руководителя проекта за период с 1 января 2016 года (результаты должны подтверждаться сведениями из заявки, например - публикациями)

1. На основе вновь введенного понятия "сегмента резки" формализована задача маршрутизации инструмента машины фигурной листовой резки с ЧПУ (Cutting Path Problem) в общем случае в виде модели непрерывно-дискретной оптимизации [10] (см. Перечень публикаций п.2.9 Форма 2), [Петунин, А. А. Оптимальная маршрутизация инструмента машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением. Математические модели и алгоритмы : монография / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов ; научный редактор А. Н. Сесекин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020. — 247 с. — ISBN 978-5-7996-3016-4]
2. Расширена существующая классификация оптимизационных задач маршрутизации инструмента машин листовой резки (введены новые классы задач, в частности, SCCP, GSCCP) [10,15]
3. Проведена дискретизация предложенной оптимизационной модели в виде обобщенной задачи курьера с дополнительными ограничениями нового типа ("динамическими" ограничениями, зависящими от истории построения частичного маршрута резки) [2,15,18].
4. Для известного класса задач ССР и новых классов задач маршрутизации инструмента с фиксированным числом сегментов резки SCCP в дискретном случае разработаны точный алгоритм решения, использующий специальную схему динамического программирования для модели GTSP, а также ряд приближенных алгоритмов для задач большой размерности, учитывающих технологические требования термической резки ("жесткость листа" и "жесткость детали") [1,4-6,27]
5. Для непрерывной модели известной задачи маршрутизации инструмента ССР впервые разработан эффективный приближенный алгоритм решения, позволяющий задавать вход инструмента в контур в произвольной точке контура и учитывающий технологические требования резки в виде условий предшествования [9,11], [А.А. Петунин, Е.Г. Полищук, С.С. Уколов (2021). Новый алгоритм построения кратчайшего пути обхода конечного множества непересекающихся контуров на плоскости. Известия ЮФУ. Технические науки. №1 (218). 2021 г., С.149-165. http://www.izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/456]
6. Разработано программное обеспечение для расчета температурных полей при термической резке листового материала. Показана зависимость величин температуры от выполнения эвристического геометрического правила "жесткости детали" [22,29,37]
7. Исследована зависимость скорости резки машины лазерной резки с ЧПУ от числа кадров управляющей программы [21,35,38]
8. Впервые разработана библиотека тестовых примеров для оценки эффективности алгоритмов решения

2.11. Общее число публикаций за период с 1 января 2016 года, 64, из них:

39 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus,

в том числе 1 в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>).

2.12. Дополнительный список публикаций руководителя проекта с 1 января 2016 года *(монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science Core Collection, Scopus, приводится не более 10 публикаций, при наличии публикации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition, JCR Social Sciences Edition или SJR))*

Пункт не является обязательным к заполнению. Могут приводиться публикации, свидетельствующие о научной квалификации и достижениях руководителя проекта, за исключением публикаций, указанных в п. 2.9 настоящей формы.

на английском языке

2.13. Опыт выполнения научных проектов *(указываются наименования фондов (организаций), их местонахождение (страна), форма участия, номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)*

1. Руководитель гранта РФФИ № 17-08-01385 "Оптимизация маршрутов в условиях ограничений для типичных инженерных задач управления инструментом при листовой резке на машинах с ЧПУ и снижения дозовой нагрузки персонала на радиационно опасных объектах". Срок реализации проекта : 2017-2019.
2. Руководитель гранта РФФИ № 20-08-00873 "Разработка математических моделей и алгоритмов решения прикладных оптимизационных маршрутных задач со сложными целевыми функциями и параметрами". Срок реализации проекта : 2020-2022.
3. Участник (исполнитель) гранта РФФИ № 16-01-00649 А "Проблема соблюдения ограничений в задачах оптимизации и управления". Срок реализации проекта: 2016-2018.
4. Участник (исполнитель) гранта РФФИ № 19-01-00573 "Проблема точного и приближенного соблюдения ограничений в задачах управления". Срок реализации проекта: 2019-2021.
5. Руководитель научного проекта «Создание и развитие научной лаборатории «Лаборатория оптимального раскрытия промышленных материалов и оптимальных маршрутных технологий», реализуемого в рамках Программы повышения конкурентоспособности Уральского федерального университета, финансируемой из Проекта повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов 5-100. Проект выполнялся при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006 Срок выполнения проекта: 2014-2020.
6. Руководитель НИОКТР на сумму 56 млн. руб. по госконтракту № 02.G25.31.0148 от Уральского федерального университета, реализуемого в рамках Договора АО «Свердловский инструментальный завод» с Минобрнауки России, выполняемого по Постановлению Правительства РФ № 218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, в рамках подпрограммы "Институциональное развитие научно-исследовательского сектора" государственной программы Российской Федерации "Развитие науки и технологий" на 2013 - 2020 годы". Срок реализации проекта : 2016-2018

В том числе проектов, финансируемых РНФ (при наличии):

2.14. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2022 году

Общее количество – 2, из них:

руководство – 2, участие в качестве исполнителя – 0,

а именно:

1. Грант РФФИ № 20-08-00873 "Разработка математических моделей и алгоритмов решения прикладных оптимизационных маршрутных задач со сложными целевыми функциями и параметрами" (руководитель). Срок реализации проекта : 2020-2022.

2. Данный грант (руководитель)

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, ФПИ, РНФ, иных фондов или иных организаций, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.15. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на руководство данным проектом в случае победы в конкурсе Фонда -

35 процентов.

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.16. Предполагаемая форма трудовых отношений** с организацией, через которую будет осуществляться финансирование:

**В соответствии со статьями 91, 100 ТК РФ исчисление продолжительности рабочего времени осуществляется исходя из еженедельного графика работы (за исключением (ст. 104 ТК РФ) работников, занятых на круглосуточных непрерывных работах, а также на других видах работ, где по условиям производства (работы) не может быть соблюдена установленная ежедневная или еженедельная продолжительность рабочего времени).

Руководитель проекта может на момент подачи заявки не являться работником организации, но, в случае победы в конкурсе, должен заключить с ней трудовой договор. В случае, если руководитель проекта не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

Организация будет являться основным местом работы (характер работы – не дистанционный): да;

Трудовой договор по совместительству (характер работы – не дистанционный): нет;

*Трудовой договор о дистанционной работе (место осуществления трудовой деятельности расположено*** на территории Российской Федерации): нет.*

***Трудовой кодекс Российской Федерации не предусматривает возможности заключения трудового договора о дистанционной работе с гражданином, проживающим и осуществляющим трудовую деятельность за пределами территории Российской Федерации.

2.17. Опыт образовательной деятельности за последние 5 лет (указывается информация о руководстве аспирантами, адъюнктами, интернами, ординаторами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

Председатель диссертационного совета УрФУ 05.09.24 (технические науки). Научный руководитель аспирантов по специальности 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования (промышленность) по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Разработал Программу Кандидатского экзамена по специальной дисциплине по направлению 09.06.01. Научный руководитель 3 аспирантов, успешно защитивших диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. В настоящее время руководит работой 3-х аспирантов. Принимал участие в разработке образовательной программы аспирантуры по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» (направленность: «Системы автоматизации проектирования (по отраслям)»), образовательной программы магистратуры по направлению 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» («Автоматизация конструкторского и технологического проектирования на базе универсальных промышленных САПР»), образовательной программы магистратуры по направлению 09.04.03 «Прикладная информатика («Программное обеспечение информационных систем»), образовательных программ бакалавриата по направлениям 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 09.03.03 «Прикладная информатика». Разработал и читает несколько новых образовательных курсов для студентов Уральского федерального университета по перечисленным направлениям, в том числе:

1. Автоматизация проектирования раскройно-заготовительного производства.
2. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования.
3. САПР в машиностроении.
4. Элементы математического программирования
5. Основы научных исследований.
6. Системы быстрого прототипирования.

2.18. Почтовый адрес

620073, г.Екатеринбург, ул.Родонитовая,9, кв.228

2.19. Контактный телефон

+79126158982

2.20. Электронный адрес (E-mail)

a.a.petunin@urfu.ru

2.21. Участие в проекте:

Руководитель проекта

2.22. Файл с дополнительной информацией *(резюме, другая дополнительная информация, которая, по мнению руководителя проекта, может быть полезна для принятия решения о целесообразности финансирования данного проекта)*

Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6 и 7 конкурсной документации) ознакомлен и согласен.
Подтверждаю свое участие в проекте.

Фамилия, имя и отчество	Петунин Александр Александрович
Данные документа, удостоверяющего личность **** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	<div></div> <div></div> <div></div> <div>Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!</div>
Адрес проживания	620073, г.Екатеринбург, ул.Родонитовая,9, кв.228
Оператор персональных данных	Российский научный фонд

Я выражаю согласие**** на обработку указанным выше оператором персональных данных, внесенных в настоящую форму мною лично.

Обработка Российским научным фондом (адрес: г. Москва, ул. Солянка, д. 14, строение 3) указанных выше персональных данных может осуществляться **посредством** их сбора, систематизации, накопления, хранения, уточнения, использования, блокирования, распространения на официальном сайте Российского научного фонда, передачи и уничтожения **с целью** проведения экспертизы заявок на конкурсы, проводимые Российским научным фондом, экспертизы проектов и программ, финансируемых Российским научным фондом, подготовки аналитических материалов по конкурсам, долговременного сохранения документированной информации об участниках программ, получивших финансирование Российского научного фонда, общедоступного раскрытия информации о руководителях программ и проектов, финансируемых Российским научным фондом. Указанная обработка моих данных может осуществляться в течение 75 лет со дня заполнения настоящей формы в печатной форме. Хранение настоящей формы может быть поручено ООО «РАЙСВОЛФ» (107150, Москва, ул. Бойцовая, д. 22), оказывающему Российскому научному фонду услуги архивного хранения документов. Настоящее согласие может быть отозвано посредством направления на указанный выше адрес оператора персональных данных заявления с требованием о прекращении обработки персональных данных. Заявление должно содержать номер документа, удостоверяющего личность субъекта персональных данных; сведения о дате выдачи указанного документа и выдавшем его органе, а также собственноручную подпись субъекта персональных данных.

**** Непредставление данных документа, удостоверяющего личность, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

***** Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Подпись руководителя проекта _____/А.А. Петунин/

Дата подписания «___» _____ 2021 г.

Форма 3. Сведения об организации

собираются автоматически на основе регистрационных данных организации, через которую будет осуществляться финансирование ("Форма Т")

3.1. Полное наименование *(приводится в соответствии с регистрационными документами)*

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина"

3.2. Сокращенное наименование

ФГАОУ ВО "УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина", Уральский федеральный университет, УрФУ

3.3. Наименование на английском языке

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin"

3.4. Организационно-правовая форма *(указывается по ОКОПФ)*

Федеральные государственные автономные учреждения

3.5. Форма собственности *(указывается по ОКФС)*

Федеральная собственность

3.6. Ведомственная принадлежность

Министерство науки и высшего образования РФ

3.7. ИНН, КПП, ОГРН, ОКТМО

6660003190, 667001001, 1026604939855, 65701000

3.8. Адрес

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.19

3.9. Фактический адрес

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.19

3.10. Субъект Российской Федерации

Свердловская обл

3.11. Должность, фамилия, имя, отчество *(при наличии)* руководителя организации

ректор, Кокшаров Виктор Анатольевич

3.12. Контактный телефон

+73433754472

3.13. Электронный адрес *(E-mail)*

rector@urfu.ru

Руководитель организации подтверждает, что:

- ознакомлен с условиями конкурса Фонда и согласен на финансирование проекта, в случае его поддержки, через организацию;
- согласен с пунктами 8, 14, 33, 35, 36 конкурсной документации, иными условиями конкурса;
- подтверждает сведения о руководителе проекта, изложенные в данной заявке;
- организация исполняет обязательства по уплате налогов в бюджеты всех уровней и обязательных платежей в государственные внебюджетные фонды, платежеспособна, не находится в процессе ликвидации, не признана несостоятельной (банкротом), на ее имущество не наложен арест и ее экономическая деятельность не приостановлена;
- в случае признания заявки победителем организация берет на себя следующие обязательства:
 - заключить с членами научного коллектива гражданско-правовые или трудовые (срочные трудовые) договоры;
Если таковые не заключены ранее. В случае, если член научного коллектива не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

- по поручению руководителя проекта выплачивать членам научного коллектива вознаграждение за выполнение работ по проекту;
- ежегодно в установленные сроки представлять отчет о целевом использовании гранта Российского научного фонда.

Руководитель организации гарантирует, что:

- вознаграждение за выполнение работ по реализации проекта будет ежегодно получать каждый член научного коллектива;
Лица, не являющиеся налоговыми резидентами Российской Федерации, могут осуществлять работы по проекту на безвозмездной основе (за исключением руководителя проекта).
- общий размер ежегодного вознаграждения членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно не будет меньше 35 процентов от суммы ежегодного вознаграждения всех членов научного коллектива;
- общее число членов научного коллектива (вместе с руководителем проекта) будет составлять от 2 до 4 человек, при этом членом научного коллектива не будет являться работник организации, в непосредственном административном подчинении которого находится руководитель проекта;
- научному коллективу будет предоставлено помещение и обеспечен доступ к имеющейся экспериментальной базе для осуществления научного исследования.

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), **печать** (при ее наличии) **организации.**

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____/_____
М.П.

Форма 4. Содержание проекта

4.1. Научная проблема, на решение которой направлен проект

Проект направлен на решение новой научной проблемы, которая предварительно имеет название "The Integrated Nesting and Routing Problem (INRP)" (Интегрированная задача раскроя и маршрутизации) и представляет собой объединение двух известных оптимизационных задач: задачу 2D раскроя листового материала на фигурные заготовки (Nesting Problem), которая относится к классу задач раскроя-упаковки (cutting & packing, C&P) [1] и задачу оптимальной маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ (Cutting Path Problem или Tool Path Problem) [2,3] на основе единого стоимостного оптимизационного критерия (аддитивной целевой функции стоимости раскроя и резки) [4, § 2.1]. Название проблемы было предложено в 2019 г. бельгийским ученым Reginald Dewil (<https://orcid.org/0000-0003-1114-5099>) в личной переписке с руководителем данного проекта. Впервые содержательная постановка проблемы была сформулирована руководителем проекта ещё в 2011 г. [5], однако в дальнейшем исследования по этой научной тематике не были продолжены из-за сложности с детальной математической формализацией проблемы и с отсутствием понимания возможных методов её решения при условии реализации этих методов в системах автоматизированного проектирования управляющих программ для машин листовой резки.

1. Wäscher, Gerhard & Haufner, Heike & Schumann, Holger. (2007). An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*. 183. 1109-1130. 10.1016/j.ejor.2005.12.047.

2. Dewil, R., Vansteenwegen, P., Cattrysse, D (2016). A review of cutting path algorithms for laser cutters. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 87(5–8), 1865–1884 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8609-1>

3. Dewil, R., Vansteenwegen, P., & Cattrysse, D. (2015). Sheet Metal Laser Cutting Tool Path Generation: Dealing with Overlooked Problem Aspects. *Key Engineering Materials*, 639, 517–524. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.639.517>

4. Петунин, А. А. Оптимальная маршрутизация инструмента машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением. Математические модели и алгоритмы : монография / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов ; научный редактор А. Н. Сесекин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020. — 247 с. — ISBN 978-5-7996-3016-4

5. A. A. Petunin. (2011) Development of CAM-system for sheet cutting machines as an innovation example . *Innovative information technologies: Theory and practice. International scientific edition: materials of the International workshop (Karlsruhe - Ufa - Dresden, April 8-13, 2011)*, Ufa: UGATU, pp. 47-50.

4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

Научная значимость обозначенной проблемы заключается в разработке теоретических основ решения нового класса оптимизационных задач, предусматривающих интегрированные критерии целевых функций для совместно рассматриваемой задачи оптимального 2D раскроя и задачи оптимальной маршрутизации инструмента для машин листовой резки. Теоретические аспекты этой проблемы включают в себя разработку новых методов раскроя, ориентированных на последующее нахождение оптимальной траектории инструмента машины с ЧПУ с учетом сложных ограничений, включающих, в частности, учет термических деформаций листового материала при термической резке с целью обеспечения сохранения необходимой геометрии получаемых заготовок. Научная значимость проекта определяется также необходимостью исследований эффективности применения новых специальных техник резки материала и разработки новых алгоритмов маршрутизации, обеспечивающих би-критериальную оптимизацию. В качестве целевых функций интегрированной проблемы INRP рассматривается суммарная функция стоимости материала, использованного для раскроя, и стоимость процесса резки раскроенных деталей на машине с ЧПУ, а также некоторые частные случаи этой целевой функции.

Актуальность данной проблемы совершенно очевидна в силу её практической ориентации на сокращение себестоимости производства заготовок из листового материала.

4.3. Конкретная задача (задачи) в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб и комплексность

В рамках данного проекта рассматривается частный случай задачи INRP, ограничивающий на этапе 2D раскроя возможные геометрические типы деталей, используемые в задании на раскрой, а на этапе маршрутизации инструмента машины листовой резки предполагающий обязательное использование техники мульти-контурной резки и техники совмещенного реза, поскольку применение именно этих техник значительно сокращает временные и стоимостные параметры процесса термической резки в сравнении с применением стандартной техники.

Данный вариант задачи INRP включает следующие основные подзадачи:

- 1) разработка по геометрическим признакам параметризированной библиотеки 2D объектов, каждый из которых соответствует по геометрической форме стандартным типовым деталям, изготавливаемым из листового материала в машиностроении и других отраслях промышленности. При этом объект позволяет на этапе раскроя объединять его с любым конечным числом таких же объектов в группу, для которой на этапе проектирования траектории перемещения инструмента машины с ЧПУ существует по крайней мере один способ применения техники мульти-контурной резки совместно с использованием техники совмещенного реза. Именно для таких объектов и будут разрабатываться алгоритмы решения задачи INRP. Создание анонсированной библиотеки позволит впервые выделить класс типовых деталей, "перспективных" для создания раскройных карт с последующим проектированием траектории инструмента, обеспечивающей минимизацию интегрированного критерия стоимости раскроя и резки.
2. Разработка для каждого 2D объекта из библиотеки вычислительного алгоритма формирования групп и множества допустимых мульти-контурных траекторий с учетом технологических требований термической резки. Этот результат позволит перейти от интерактивного режима формирования в CAM-системах элементов раскройных карт для типовых деталей и интерактивного проектирования допустимых вариантов маршрута инструмента машины с ЧПУ при использовании техники мульти-контурной резки к автоматическим режимам проектирования.
3. Разработка вычислительного алгоритма и программного обеспечения для выбора оптимальной траектории инструмента на множестве допустимых вариантов применительно к конкретному технологическому оборудованию лазерной резки. Этот результат позволит для каждой типовой детали из библиотеки при заданном числе деталей в группе, а также при заданных марке и толщине листового материала находить траекторию, соответствующую минимуму времени и стоимости процесса лазерной резки.

Реализация проекта обеспечит комплексное решение задачи INRP в CAM системах, начиная с этапа геометрического моделирования 2D объектов на этапе подготовки задания на раскрой и кончая возможностью генерации оптимальных управляющих программ для машин лазерной резки.

4.4. Научная новизна исследований, обоснование того, что проект направлен на развитие новой для научного коллектива тематики***, обоснование достижимости решения поставленной задачи (задач) и возможности получения предполагаемых результатов**

*****В том числе, на определение объекта и предмета исследования, составление плана исследования, выбор методов исследования.

Как отмечено в п.4.1., рассматриваемая проблема INRP с научной точки зрения является новой. Суммарная оптимизация стоимости листового фигурного раскроя и стоимости процесса резки при получении раскроенных деталей на машинах листовой резки с ЧПУ с учетом дополнительных технологических ограничений в научной литературе ранее не исследовалась. В этой задаче, прежде всего изменяется (в сравнении со стандартными технологическими процессами 2D раскроя и резки) сам объект исследования, поскольку предполагает не последовательное решение двух основных задач технологического проектирования, а моделирование процессов фигурного раскроя для фиксированного числа конгруэнтных объектов в зависимости от последующих процессов получения фигурных заготовок на технологическом оборудовании листовой резки с ЧПУ. Соответственно меняется и предмет исследования, который исключает прямое применение известных алгоритмов решения задач "нестинга" и оптимальной маршрутизации инструмента, а потребует кардинально новых алгоритмов размещения 2D объектов и проектирования траектории инструмента, ориентированной на использование мульти-контурной техники резки и техники совмещенного реза. План исследований также предполагает совершенно новые задачи, не рассматриваемые участниками проекта ранее. К ним, в частности, относится задача определения класса 2D объектов, "перспективных" для формирования групп, для которых разрабатываемые алгоритмы решения задачи INRP будут давать гарантированное уменьшение значения интегрированной целевой функции стоимости, нежели при последовательном решении задач фигурного раскроя и маршрутизации инструмента. Очевидно, что данная задача и другие задачи проекта потребует новых методов исследования, например, специализированных методов анализа векторных изображений. Вместе с тем, реальная возможность получения предполагаемых результатов обусловлена следующими факторами: 1) участники проекта не рассматривают задачу INRP в самом общем виде, а только её частный случай, который, тем не менее, позволяет впервые создать конструктивные алгоритмы автоматизированного проектирования элементов раскройных карт для достаточно широкого класса типовых конгруэнтных деталей с минимизацией стоимости раскроя и процесса резки после получения на втором этапе проектирования технологического процесса резки деталей допустимой траектории инструмента лазерной машины с ЧПУ, удовлетворяющей необходимым технологическим требованиям; 2) участники проекта обладают необходимой квалификацией и опытом для выполнения нового проекта, команда проекта хорошо сбалансирована по профессиональным качествам; руководитель проекта является ведущим российским ученым и в области оптимизации задач "нестинга", и в области оптимальной маршрутизации инструмента машин термической резки с ЧПУ; 3) новые методы исследования, которые необходимо будет применить для реализации проекта, находятся в

близких к новой предметной области предметных областях, в которых участники проекта имеют научные результаты, признанные научным сообществом.

4.5. Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления исследований в мировой науке и научные конкуренты

Как уже было отмечено, если говорить в целом о проблеме INRP применительно к технологиям листового раскроя и моделирования траектории инструмента для технологического оборудования листовой резки с ЧПУ, то в настоящее время не существует ни теоретической базы для решения этой проблем, ни даже алгоритмов для решения частных вариантов этой проблемы. Существуют отдельные группы ученых, которые многие годы, начиная с основополагающих работ академика Л.В. Канторовича (см., например, [1]), занимаются исследованием проблематики задач С&Р для случая 2D раскроя. Менее объемный пул работ по оптимизации маршрута резки при изготовлении деталей на машинах листовой резки с ЧПУ появился, в основном, в последние два десятилетия. Практически все они предполагают, что раскройная карта, полученная на этапе решения задачи нестинга фиксирована, и единственной задачей оптимизации раскроя является минимизация расхода материала при получении из него заготовок известных форм и размеров. Поэтому в рамках данного раздела мы вынуждены ограничиться обзором работ отдельно по тематике 2D раскроя, и, отдельно - по тематике маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ.

Следует отметить, что в CAD/CAM системах, предназначенных для проектирования раскроя и управляющих программ для машин листовой резки с ЧПУ, есть отдельные модули, которые позволяют решать некоторые оптимизационные задачи, например (минимизацию холостого хода инструмента), однако при этом не обеспечивают соблюдение технологических требований резки материала на машинах с ЧПУ и не позволяют получать маршруты резки, близкие к оптимальным с точки зрения интегрированного критерия стоимости резки с учетом рабочего хода инструмента, затрат на врезку и т.д. Вместе с тем в сочетании с интерактивными методами проектирования они обеспечивают технологически допустимые варианты траекторий инструмента машины с ЧПУ. Следует также подчеркнуть, что алгоритмы, реализованные в коммерческом программном обеспечении, не описываются в научной литературе. Большой вклад в разработку методов двумерного раскроя в нашей стране на протяжении последних пятидесяти лет внесли работы Э.А. Мухачевой (Уфа) и её учеников. Большая часть научных публикаций уфимской была посвящена вопросам гильотинного прямоугольного раскроя и прямоугольной упаковки [2-4], но часть работ затрагивала и методы решения задач нестинга [5]. Идеи этих методов восходят к математическим идеям харьковской научной школы Ю.Г. Стояна, которая продолжает работать и сегодня [6-9], однако эти алгоритмы не нашли широкого применения в САМ системах для проектирования фигурного раскроя и подготовки управляющих программ для машин листовой резки. Большинство работ по оптимизации 2D фигурного раскроя используют сочетание метаэвристик с решением локальных геометрических процедур без учета технологических особенностей получения раскроенных деталей на конкретном оборудовании, ограничиваясь геометрическими ограничениями типа задания минимального расстояния между размещаемыми объектами [10-12]. Отметим также некоторые публикации, описывающие использование алгоритмов глобального поиска для получения решений задачи нерегулярного раскроя [13-14].

Что касается задачи маршрутизации инструмента для машин листовой термической резки с ЧПУ, то число публикаций по этой тематике значительно уступает числу публикаций по С&Р, хотя термическая (лазерная, плазменная, газовая) резка является одним из основных процессов резания, используемых для производства изделий из листового металла. В рамках проекта основные исследования будут сосредоточены на решении оптимизационных задач с применением лазерной резки. По оценкам, в мире используются свыше 50 тысяч лазерных станков, каждая такая машина потребляет около 1500 тонн сырья в год и несмотря на применение программного обеспечения САМ систем, в отходы уходит, по разным оценкам, от 20 до 50 процентов металла [15].

В нашей стране первые работы по оптимизации проектирования маршрута листовой резки на машинах с ЧПУ были опубликованы проф. Верхотуровом М.А. (Уфа) [16] и проф. Фроловским В.Д. (Новосибирск) [17]. Авторы использовали простую модель, эквивалентную классической задаче коммивояжера. Однако эти работы не получили продолжения. В последние годы появилось много публикаций А.В. Панюкова и Т.А. Макаровских (Челябинск), которые анонсированы как работы по маршрутизации инструмента лазерных машин с ЧПУ [18-20]. Отметим, что эти работы можно отнести пока только к классу работ только по маршрутизации в графах, поскольку получаемые траектории пока не могут быть реализованы на машинах с ЧПУ и в тексте публикаций отсутствует информация о каких-либо вычислительных экспериментах, проведенных для тестовых данных. Выделим также работу, сделанную в Перми.

Из зарубежных конкурентов следует особо выделить группу ученых из Бельгии [22-26], которые ведут аналогичные авторам заявки исследования. Задача маршрутизации инструмента для лазерной резки зависит от большого набора технологически ограничений, таких как предшествование (вложенность), предотвращение столкновений и температурные ограничения и зачастую некоторые аспекты вообще не рассматриваются авторами зарубежных публикаций, например, мостики и возникающие из-за них ограничения предшествования. В вышеупомянутых работах

делается попытка увязать особенности лазерной резки с алгоритмами маршрутизации. В [24] дан обзор алгоритмов маршрутизации, имеющих отношение к лазерной резке. Авторы классифицируют существующую литературу по маршрутизации на шесть классов задач: задача непрерывной резки (ССР), задача резки с конечными точками (ЕСР), задача прерывистой резки (ICP), задача обхода многоугольников (ТПР), задача коммивояжера (TSP) и обобщенная задача коммивояжера (GTSP). Задача маршрутизации в общем случае резки может рассматриваться как ICP. Тем не менее, литература по ICP очень скудна, и большинство научных статей вводят искусственные ограничения, которые упрощают ICP до задач других классов. Поиск хороших алгоритмов оптимизации или эффективного упрощения ICP мог бы заполнить явный и существующий пробел в исследованиях. Есть необходимость и в высококачественных общедоступных эталонных тестах, которые содержали бы все многообразие проблем, связанных с лазерной резкой. Ряд исследователей из др. стран также периодически публикуют свои результаты, однако они, как правило, касаются разработки отдельных алгоритмов только для одного из вышеприведенных в [24] классов задач рассматриваемой проблемы маршрутизации инструмента, при этом часто не учитывают важные технологические ограничения листовой резки на машинах с ЧПУ. В частности, учет термических деформаций заготовок и искажение их геометрических размеров не являются предметом большинства исследований, что делает эти работы в достаточной степени академическими и не в полной мере приемлемыми для практики. Вместе с тем, эти работы вносят свой вклад в теорию и практику экстремальных задач маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ. Из работ, учитывающих тепловые деформации материала при моделировании маршрута резки отметим [15, 27, 28]. В [15] предложен сложный подход на основе параллельного программирования ограничений (CP) для маршрутизации лазерной резки с явным учетом ограничений предшествования и неявным учетом тепловых ограничений. Предложенная модель CP привела к разработке нескольких надежных эвристических методов для быстрого поиска допустимых решений. Авторы подчеркивают важность учета всех практических соображений маршрутизации уже на этапе раскроя. Тем не менее, не было опубликовано никаких последующих исследований, направленных на решение этой комплексной проблемы, и поэтому остается очень важный пробел в исследованиях, связанных с INRP. В [27] были разработаны более точные и более быстрые методы тепловых оценок. Хотя подтверждение концепции является обнадеживающим, требуется более детальное изучение этой проблемы. Кроме того, использование методов, подобных тем, которые разработаны в [27], потребуется для разработки модуля термической оценки, который может точно прогнозировать температуру листа за разумное время вычислений, чтобы иметь практическое применение в рамках системы оптимизации. В [28] применен метаэвристический подход для решения обобщенной модели задачи коммивояжера для задачи лазерной резки с одновременным учетом температуры материала в процессе лазерной резки. Однако приведенные результаты вычислений не очень убедительны. Тем не менее, эта статья демонстрирует, что работы по оптимальной маршрутизации инструмента машин лазерной резки активно развиваются, и эта тематика нуждается в более структурированном научном подходе.

В целом, ещё раз можно отметить, что за рамками современных исследований отечественных и зарубежных коллег, в основном, остаются следующие принципиальные моменты:

1. Разработка алгоритмов, обеспечивающих получение глобального оптимума оптимизационной задачи маршрутизации инструмента.
2. Разработка комплексного подхода к решению оптимизационных задач всех вышеперечисленных классов для различного технологического оборудования листовой фигурной резки с ЧПУ
3. Разработка алгоритмов, позволяющих эффективно решать задачи с непрерывными моделями (ССР, SCCR), для которых точки врезки в материал могут выбираться из континуальных множеств на плоскости.
4. Разработка оценок вычислительной сложности и точности разрабатываемых алгоритмов для практических задач маршрутизации инструмента с дополнительными ограничениями.
5. Разработка подходов к решению интегрированной оптимизационной задачи раскроя и маршрутизации инструмента с суммарной целевой функцией стоимости раскроя и резки (задача INRP).

Применение эффективных классических метаэвристических алгоритмов дискретной оптимизации (метод эмуляции отжига, метод муравьиной колонии, эволюционные алгоритмы, метод переменных окрестностей и др.) для дискретных моделей оптимизации траектории инструмента машин с ЧПУ возможно только при адаптации этих алгоритмов к требованиям технологических ограничений листовой резки. Однако, эта адаптация наталкивается на серьёзные проблемы, связанные с невозможностью учета некоторых технологических ограничений при "лобовом" применении упомянутых методов. Таким образом, необходимость в создании новых оптимизационных постановок задач, алгоритмов и программного обеспечения представляется доминантой развития методов решения не только задачи INRP, но и других задач маршрутизации инструмента

1. Расчет рационального раскроя материалов / Л. В. Канторович [и др.]. – Лениздат, 1951. – 198 с.
2. Мухачева, Э. А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение в АСУ / Э. А. Мухачева. – М. : Машиностроение, 1984. – 176 с.

3. Проектирование размещения ортогональных объектов на полигонах с препятствиями / Э. А. Мухачева [и др.] // Информационные технологии. – 2010. – № 10. – С. 16–22. 9. Мухачева, А. С.
4. V. M. Kartak, M. A. Mesyagutov, E. A. Mukhacheva, A. S. Filippova, "Local search of orthogonal packings using the lower bounds", *Autom. Remote Control*, 70:6 (2009), 1054–1066
5. Мухачева Э. А., Верхотуров М. А., Мартынов В. В. Модели и методы расчета раскроя-упаковки геометрических объектов // Уфа. УГАТУ. 1998. - с. 216.
6. Стоян Ю.Г., Гиль Н.И. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов. - Киев: Наук. думка, 1976. -247с.
7. Romanova, T., Stoyan, Y., Pankratov, A., Litvinchev, I., Avramov, K., Chernobryvko, M., Yanchevskiy, I., Mozgova, I., Bennell, J. Optimal layout of ellipses and its application for additive manufacturing (2021) *International Journal of Production Research*, 59 (2), pp. 560-575. DOI: 10.1080/00207543.2019.1697836
8. Romanova, T., Stoyan, Y., Pankratov, A., Litvinchev, I., Marmolejo, J.A. Decomposition Algorithm for Irregular Placement Problems (2020) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1072, pp. 214-221. DOI: 10.1007/978-3-030-33585-4_21
9. Stoyan, Y., Pankratov, A., Romanova, T., Fasano, G., Pintér, J.D., Stoian, Y.E., Chugay, A. Optimized Packings in Space Engineering Applications: Part I. (2019) *Springer Optimization and Its Applications*, 144, pp. 395-437. DOI: 10.1007/978-3-030-10501-3_15
10. Sakaguchi, Tatsuhiko & Ohtani, Hayato & Shimizu, Yoshiaki. (2015). Genetic Algorithm Based Nesting Method with Considering Schedule for Sheet Metal Processing. *Transactions of the Institute of Systems, Control and Information Engineers*. 28. 99-106. 10.5687/iscie.28.99.
11. Cherri L, Toledo F, Carravilla MA (2016) A model-based heuristic for the irregular strip packing problem. *Pesquisa Operacional* 36(3):447–468
12. Alvarez-Valdes, R., Carravilla, M. A., & Oliveira, J. F. (2018). Cutting and Packing. In R. Martí, P. Panos, & M. G. C. Resende (Eds.), *Handbook of Heuristics* (pp. 931–998). https://doi.org/10.1007/978-3-319-07153-4_43-1
13. Wang, A., Hanselman, C.L. & Gounaris, C.E. A customized branch-and-bound approach for irregular shape nesting. *J Glob Optim* 71, 935–955 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10898-018-0637-y>
14. Luiz H. Cherri, Leandro R. Mundim, Marina Andretta, Franklina M.B. Toledo, José F. Oliveira, Maria Antónia Carravilla, Robust mixed-integer linear programming models for the irregular strip packing problem, *European Journal of Operational Research*, Volume 253, Issue 3, 2016, Pages 570-583, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.009>.
15. Lagerkvist, M. Z., Nordkvist, M., & Rattfeldt, M. (2013). Laser cutting path planning using CP. *Principles and Practice of Constraint Programming*, 790–804. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40627-0_58
16. Верхотуров М. А., Тарасенко П. Ю. Математическое обеспечение задачи оптимизации пути режущего инструмента при плоском фигурном раскрое на основе цепной резки//Вестник УГАТУ (сер. «Управление, ВТ и И»). 2008. Т. 10, № 2(27). С. 123-130.
17. Ганелина Н. Д., Фроловский В. Д. Декомпозиционный метод оптимизации проектирования управляющих программ тепловой резки металла на оборудовании с ЧПУ//Научный Вестник НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2006. № 2 (23). С. 9-19.
18. Makarovskikh, T., Panyukov, A., Savitsky, E. Software development for cutting tool routing problems (2019) *Procedia Manufacturing*, 29, pp. 567-574. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.02.123
19. Makarovskikh, T. A., Panyukov, A. V., & Savitskiy, E. A. (2018). Mathematical models and routing algorithms for economical cutting tool paths. *International Journal of Production Research*, 7543, 1–30. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1401746>
20. Makarovskikh, T., Savitsky, E. The estimation of the number of oe-chains and realizable oe-routes for cutting plans with combined contours (2020) *Yugoslav Journal of Operations Research*, 30 (4), pp. 483-498. DOI: 10.2298/YJOR191024025M
21. Murzakaev, R.T., Shilov, V.S., and Bryukhanova, A.A., ITAS NESTING: Software complex for material complicating cutting, *Vestn. Permsk. Nats. Issl. Politekh. Univ. Elektrotekh., Inf. Tekhnol., Sist. Upr.*, 2015, no. 13, pp. 15–25.
22. Dewil, R., Vansteenwegen, P., & Cattrysse, D. (2014). Construction heuristics for generating tool paths for laser cutters. *International Journal of Production Research*, 52(20), 5965–5984. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.895064>
23. Dewil, R., Vansteenwegen, P., & Cattrysse, D. (2015). Sheet Metal Laser Cutting Tool Path Generation: Dealing with Overlooked Problem Aspects. *Key Engineering Materials*, 639, 517–524. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.639.517>
24. Dewil, R., Vansteenwegen, P., & Cattrysse, D. (2016). A review of cutting path algorithms for laser cutters. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8609-1>
25. Dewil, R., Vansteenwegen, P., Cattrysse, D., Laguna, M., & Vossen, T. (2014). An improvement heuristic framework for the laser cutting tool path problem. *International Journal of Production Research*, 53(6), 1761–1776. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.959268>

26. Dewil, R., Vansteenwegen, P., & Cattrysse, D. (2011). Cutting Path Optimization Using Tabu Search. Key Engineering Materials, 473, 739–748. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.473.739>
27. Mejia, D., Moreno, A., Arbelaiz, A., Posada, J., Ruiz-Salguero, O., & Chopitea, R. (2017). Accelerated Thermal Simulation for Three-Dimensional Interactive Optimization of Computer Numeric Control Sheet Metal Laser Cutting. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 140(3), 031006. <https://doi.org/10.1115/1.4038207>
28. Hajad, Makbul & Tangwarodomnukun, Viboon & jaturanonda, chorkaew & Dumkum, Chaiya. (2019). Laser cutting path optimization using simulated annealing with an adaptive large neighborhood search. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 10.1007/s00170-019-03569-6.

4.6. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты (объемом не менее 2 стр.; в том числе указываются ожидаемые конкретные результаты по годам; общий план дается с разбивкой по годам)

Для решения поставленных в проекте задач предлагается использовать следующие методы и подходы. Основу алгоритмического обеспечения решения геометрических и оптимизационных задач формирования оптимальной траектории инструмента для машин термической листовой резки с ЧПУ должны составить:

- детальная математическая формализация задачи INRP;
- оригинальная концепция сегментной резки;
- эталонная библиотека типовых деталей;
- специализированные эффективные алгоритмы непрерывной и дискретной оптимизации для формирования допустимых вариантов 2D фигурного раскроя с использованием методов регулярного раскроя;
- применение мульти-контурной техники резки и техники совмещенного реза при формировании допустимых вариантов маршрута инструмента машин листовой резки с ЧПУ;
- специализированные эффективные алгоритмы оптимизации траекторий движения инструмента при термической резке деталей на машинах с ЧПУ на основе точных и эвристических методов;
- эвристические методы "жесткости детали" и "жесткости листа" для уменьшения тепловых деформаций материала при термической резке заготовок;
- моделирование тепловых полей при лазерной резке заготовок на основе МКЭ;
- алгоритмы решения новой оптимизационной задачи интегрированной оптимизационной задачи раскроя и маршрутизации инструмента с суммарной целевой функцией стоимости раскроя и резки на основе методов би-критериальной оптимизации.

В качестве основного подхода к решению маршрутных задач с дискретными моделями предлагается использовать как точные методы на базе аппарата широко понимаемого ДП (имеется в виду применение метода ДП в задачах, осложненных ограничениями различных типов, что потребует расширения самой идеологии данного метода) и метода ветвей и границ, так и специальные эвристические методы, базирующиеся на метаэвристических алгоритмах. Это позволит впервые получать оценки точности полученных решений и обеспечит получение точных решений для многих задач из различных классов задач CPP. Такой подход потребует построения нестандартных расширений самих исходных задач; в частности, в ряде случаев потребуется преобразование системы ограничений. Основной подход к формированию сегментов резки будет заключаться в активном применении нестандартных техник резки для представления любой задачи маршрутизации в форме задачи GSCCP с последующим сведением к задачам классов CCP и GTSP.

Помимо этого предполагается разработать и методы решения непрерывно-дискретных задач CCP и SSCP, в которых точки врезки для вырезания сегментов резки выбираются из континуальных множеств, связанных с геометрическими контурами, описывающими геометрию вырезаемых заготовок, а последовательность обработки - из дискретного множества перестановок. Для этих целей будут использованы методы геометрической оптимизации и комбинаторные алгоритмы.

В рамках проекта в 2022-2023 гг. предполагается выполнить следующие работы..

- обобщить существующие содержательные математические постановки задач оптимизации Cutting Path Problem и INRP и провести детальную математическую формализацию задачи INRP с использованием понятий "сегмент резки" и "базовый сегмент резки"; (2022 г.)
- сформировать библиотеку 2D объектов INRP1Lib в векторной форме на основе разработанной ранее и находящейся в открытом доступе библиотеки тестовых примеров CPPLib для оценки эффективности алгоритмов решения задачи маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ. Каждый объект из библиотеки должен соответствовать по геометрической форме стандартной типовой детали, изготавливаемой из листового материала, и при этом позволять на этапе раскроя объединять его с любым конечным числом таких же объектов в группу, для которой на этапе проектирования траектории перемещения инструмента машины с ЧПУ существует по крайней мере один способ

- применения техники мульти-контурной резки одновременно с применением техники совмещенного реза (2022)
- разработать и реализовать алгоритмы построения групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib. В качестве целевой функции при оптимизации размещения групп деталей предполагается выбрать площадь описанного прямоугольника, содержащего группу. (2022-2023)
- разработать и реализовать алгоритмы формирования допустимых вариантов траектории инструмента машины листовой резки с ЧПУ для групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib с использованием техники "совмещенный рез" и "мульти-контурная резка" и с учетом эвристических правил "жесткости детали" и "жесткости листа" . (2022-2023);
- формализовать "динамические ограничения" в используемых математических оптимизационных моделях в случае необходимости с одновременным соблюдением правил "жесткости детали" и "жесткости листа"; (2022 г.) ;
- определить точные математические формулы для целевых функций оптимизационных задач в зависимости от исходных данных задачи (геометрические характеристики раскройных карт, число сегментов резки, технология резки, особенности технологического оборудования, свойства материала и др.) для технологического оборудования лазерной резки (2023);
- разработать методы формирования "базовых сегментов резки" в зависимости от исходных данных задачи и с учетом соблюдения правил "жесткости" листа; (2023г.);
- разработать методики сведения задачи оптимизации траектории с фиксированным числом сегментов резки (SCCP) к известным оптимизационным моделям непрерывной и дискретной оптимизации с дополнительными ограничениями (TSP, задача о последовательном обходе мегаполисов (спец. тип GTSP), CCP (непрерывно-дискретная модель задачи оптимизации траектории инструмента), ECP и др. (2023 г.);
- разработать модуль расчета тепловых полей при лазерной резке материала на основе МКЭ и САПР "Рапид" (2022);
- провести тестовые расчеты в САПР "Сириус"(2022-2023).

В области разработки оптимизационных алгоритмов для исследуемых моделей предполагается:

- разработать точные алгоритмы решения задачи раскроя групп конгруэнтных деталей на основе метода динамического программирования и метода ветвей и границ и методов регулярного раскроя (2023)
- разработать точные алгоритмы решения дискретных вариантов задач SCCP и GSCCP с учетом "условий предшествования" и "динамических ограничений", обеспечивающие получения глобального оптимума за приемлемое время для размерностей, соответствующим диапазону 30-40 базовых сегментов резки; (2023 г.)
- разработать приближенные алгоритмы решения задачи оптимизации траектории инструмента для расширенного класса CCP (SCCP) с использованием непрерывно-дискретной модели и базовых сегментов резки, содержащих несколько контуров вырезаемых деталей и с учетом "динамических ограничений"; (2023 г.)
- разработать алгоритмы и программы моделирования тепловых полей при лазерной резке листовых материалов на машинах с ЧПУ (2022 г.);
- разработать эвристический алгоритм решения задачи INRP на основе разработанных алгоритмов нестинга и задачи CCP и методов би-критериальной оптимизации(2023) .
- оценить вычислительную сложность разработанных алгоритмов и разработать способы её уменьшения. (2023 г.)

В области разработки программного обеспечения для решения заявленного варианта задачи INRP предполагается:

- разработать комплекс программ, обеспечивающий формирования групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib, для резки которых возможно применение мульти-контурной резки и совмещенного реза.(2022-2023)
- разработать программное обеспечение для оптимизации раскроя с заданными ограничениями (2022-2023)
- разработать комплекс программ, обеспечивающий формирования маршрута резки, удовлетворяющего как технологическим требованиям листовой резки, так и критериям времени резки и стоимости резки для всех типов технологического оборудования с ЧПУ , используемого для вырезки фигурных заготовок из листового материала; (2022-2022 г.);
- разработать программное обеспечение для оптимизации маршрута инструмента машины листовой резки с ЧПУ с заданными ограничениями на применение мульти-контурной резки (2022-2023);
- разработать программное обеспечение для вычисления температурных полей при резке заготовок на машинах термической резки с визуализацией и интеграцией в оптимизационных процедурах (2022);
- исследовать зависимость соблюдения правил "жесткости листа" от температуры материала в зоне завершения резки "сегмента резки"; (2023г.)
- разработать программное обеспечение для оптимизации решения задачи INRP для конгруэнтных деталей применительно к одному типу технологического оборудования лазерной резки (2023)
- провести интеграцию разработанного программного обеспечения с отечественной САПР "Сириус" (2023г.)

Ожидаемые результаты.

1. Детальная математическая формализация задачи INRP.

2. Разработка по геометрическим признакам параметрической библиотеки 2D объектов в векторной форме, каждый из которых соответствует по геометрической форме стандартной типовой детали, изготавливаемой из листового материала, и при этом позволяет на этапе раскроя объединять его с любым конечным числом таких же объектов в группу, для которой на этапе проектирования траектории перемещения инструмента машины с ЧПУ существует по крайней мере один способ применения техники мульти-контурной резки одновременно с применением техники совмещенного реза. Этот результат позволит впервые выделить класс типовых деталей, "перспективных" (по сравнению со стандартной техникой резки) для поиска оптимального решения задачи INRP для групп, состоящих из конгруэнтных деталей.
 3. Разработка для каждого 2D объекта из библиотеки методов формирования групп и множества допустимых мульти-контурных траекторий с учетом технологических требований термической резки. Этот результат позволит перейти от интерактивного режима формирования в САМ-системах элементов раскройных карт для типовых деталей и интерактивного проектирования допустимых вариантов маршрута инструмента машины с ЧПУ при использовании техники мульти-контурной резки к автоматическим режимам проектирования.
 4. Разработка оптимизационных алгоритмов раскроя конгруэнтных деталей и траектории инструмента машин термической резки материала с ЧПУ для интегрированного критерия INRP. Этот результат позволит впервые получать оптимальные траектории инструмента для интегрированного критерия INRP.
 5. Разработка программного обеспечения для выбора оптимальной траектории инструмента на множестве допустимых вариантов применительно к конкретному технологическому оборудованию лазерной резки. Интеграция разработанного ПО с САПР "Сириус", предназначенной для проектирования 2D раскроя и подготовки УП для машин листовой резки с ЧПУ. Этот результат позволит для каждой типовой детали из библиотеки при заданном числе деталей в группе, а также при заданных марке и толщине листового материала находить траекторию, соответствующую минимуму интегрированного критерия стоимости INRP, и проектировать оптимальные управляющие программы машины с ЧПУ в САМ системе.
- В целом, ожидаемые новые научные результаты позволят впервые разработать алгоритмы решения актуальной задачи INRP и для целого класса типовых деталей формировать в автоматическом режиме в системах автоматизированного проектирования управляющих программ оптимальные перемещения инструмента машин лазерной резки на основе применения техник мульти-контурной резки.

4.7. Имеющийся у научного коллектива научный задел по проекту, наличие опыта совместной реализации проектов *(указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)*

Научный коллектив имеет значительный научный задел по проекту, который можно считать уникальным, поскольку новая научная проблема, исследуемая в проекте, напрямую связана с двумя активно исследуемыми в настоящее время задачами (задачей 2D раскроя и задачей маршрутизации инструмента машины термической резки), а именно этой тематике были посвящены исследования участников проекта в последние годы. При этом руководитель проекта входит в число ведущих российских ученых и по разработке методов оптимизации раскроя, и по разработке методов оптимальной маршрутизации для технологического оборудования листовой резки с ЧПУ. Подавляющая часть его публикаций посвящена этим темам, включая и докторскую диссертацию [1]. Он также является главным разработчиком системы автоматизированного проектирования "Сириус", предназначенной для автоматизации технологических процессов раскроя листового материала и подготовки управляющих программ для различного типа машин листовой резки с ЧПУ, включая лазерное, плазменное, газовое и гидроабразивное оборудование. САПР "Сириус" внедрена на целом ряде российских предприятий. В 2015 г. руководителем проекта была предложена концепция «сегмента резки» [2], которая позволила с единых позиций существенно расширить существующую классификацию задач маршрутизации инструмента для машин фигурной листовой резки с ЧПУ (введены новые классы SCCP, а затем – GSCCP) [3]. В работе [4] (вместе с П.А.Ченцовым) был формализован учёт т.н. правила жёсткости детали, которое относится к классу "динамических ограничений". Отметим, что "динамические ограничения" (термин, введенный руководителем проекта для ограничений в маршрутных задачах, в которых условия задачи меняются в зависимости от истории построения частичного решения) порождают принципиально новый тип оптимизационных задач. Для машин термической резки с ЧПУ динамические ограничения описаны в форме сформулированных А.А.Петуниным эвристических геометрических правил выбора точек врезки в материал и последовательности резки контуров (выше упомянутое правило «жёсткости детали» и правило «жёсткости листа») [5]. Несоблюдение этих правил приводит к существенным деформациям материала и искажениям геометрических размеров вырезаемых деталей. В работах [6,7] совместно Е.Г.Полищуком было показано, что динамические ограничения в задачах маршрутизации инструмента машин термической резки коррелируют с более высокой температурой материала в зонах завершения резки, что позволяет использовать разработанный инструментальный для моделирования тепловых полей в листе для выбора допустимых вариантов маршрута. В 2020 руководителем проекта совместно с А.Г.Ченцовым и П.А.Ченцовым подготовлена монография

«Оптимальная маршрутизация инструмента машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением. Математические модели и алгоритмы» [8], которая стала итогом совместных разработок точных и приближенных алгоритмов для решения задачи оптимальной маршрутизации инструмента, формализованной в виде задачи о мегаполисах [9]. Совместно с М.Ю.Хачаем и С.С.Уколовым были разработаны новые эффективные эвристические алгоритмы для моделирования маршрута инструмента в задачах большой размерности [10-12]

Несмотря на молодость двух из троих участников проекта, коллектив имеет большой опыт совместной научной работы. А.Ф.Таваева закончила аспирантуру и защитила кандидатскую диссертацию под руководством руководителя проекта, разработала для САПР "Сириус" ряд приложений, предназначенных для оптимизации траектории резки машины лазерной резки. Она провела большое новое исследование практических вопросов моделирования процесса резки для лазерных (CO₂) машин с ЧПУ [13-19]. В этих работах впервые исследованы вопросы точного вычисления в оптимизационных процедурах целевых функций, задаваемых величинами времени резки и стоимости резки. Была установлена зависимость фактической скорости резки от числа команд управляющей программы резки, описана методика вычисления констант, определяющих величину стоимости резки для различных марок и толщин материала, были предложены эвристические способы маршрутизации инструмента, существенно уменьшающие стоимость процесса резки.

Третий участник проекта - Халявка А.П.Ю., студент 1 курса магистратуры Уральского федерального университета, научный руководитель - А.А.Петунин. Совместно с А.А.Петуниным разработал первую библиотеку тестов с открытым доступом, содержащую несколько сотен раскройных карт для тестирования алгоритмов оптимизации маршрута инструмента машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением [20].

Список литературы

1. Петунин А.А. Методологические и теоретические основы автоматизации проектирования раскроя листовых материалов на машинах с числовым программным управлением: дис. д.т.н.: 05.13.12. Екатеринбург, 2009. - 348 с.
2. Petunin, A. A. (2015). Modeling of tool path for the CNC sheet cutting machines. B Pasheva, N. Popivanov, & G. Venkov (Ред.), 41st International Conference "Applications of Mathematics in Engineering and Economics", AMEE 2015 (Том 1690). [060002] (AIP Conference Proceedings; Том 1690). American Institute of Physics Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.4936740>
3. Petunin, A. (2019). General Model of Tool Path Problem for the CNC Sheet Cutting Machines. IFAC-PapersOnline (IF=0.332, Q3 SJR), 52(13), 2662-2667. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.609>
4. Chentsov, P. A., & Petunin, A. A. (2016). Tool Routing Problem for CNC Plate Cutting Machines. IFAC-PapersOnline, 49(12), 645-650. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.762>
5. Petunin, A. A., & Stlios, C. (2016). Optimization Models of Tool Path Problem for CNC Sheet Metal Cutting Machines. IFAC-PapersOnline, 49(12), 23-28. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.544>.
6. Петунин А.А., Полищук Е.Г. Расчет тепловых полей при термической резке заготовок из листовых материалов Информационные технологии и системы. научн. изд.: труды. 5-й междунар. научн. конф. ИТиС-2016 - Челябинск: ЧелГУ, 2016. - С.142-144.
7. Petunin, A. A., Polishuk, E. G., Chentsov, A. G., Chentsov, P. A., & Ukolov, S. S. (2016). About some types of constraints in problems of routing. B Pasheva, N. Popivanov, & G. Venkov (Ред.), APPLICATIONS OF MATHEMATICS IN ENGINEERING AND ECONOMICS (AMEE'16) (Том 1789). [060002] (AIP Conference Proceedings; Том 1789). American Institute of Physics Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.4968494>
8. Петунин, А. А. Оптимальная маршрутизация инструмента машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением. Математические модели и алгоритмы : монография / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов ; научный редактор А. Н. Сесекин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020. — 247 с. — ISBN 978-5-7996-3016-4.
9. Chentsov, A.G., Chentsov, P.A., Petunin, A.A., Sesekin, A.N.: Model of megalopolises in the tool path optimisation for CNC plate cutting machines. International Journal of Production Research (IF=2.623, Q1 SJR), 2018, 56(14), pp. 4819-4830. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1421784>
10. Khachay M., Kudriavtsev A., Petunin A. (2020) PCGLNS: A Heuristic Solver for the Precedence Constrained Generalized Traveling Salesman Problem. In: Olenov N., Evtushenko Y., Khachay M., Malkova V. (eds) Optimization and Applications. OPTIMA 2020. Lecture Notes in Computer Science (IF=0.432, Q2 SJR), vol 12422. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62867-3_15
11. Petunin, A. A., Polishchuk, E. G., & Ukolov, S. S. (2019). On the new Algorithm for Solving Continuous Cutting Problem. IFAC-PapersOnline (IF=0.332, Q3 SJR) , 52(13), 2320-2325. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.552>
12. А.А. Петунин, Е.Г. Полищук, С.С. Уколов (2021). Новый алгоритм построения кратчайшего пути обхода конечного множества непересекающихся контуров на плоскости. Известия ЮФУ. Технические науки. №1 (218). 2021 г., С.149-

165. http://www.izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/456
13. Petunin, A., Tavaeva, A. The Dependence of Actual Laser Cutting Speed on CNC Sheet Equipment on Number of NC Program Commands for Metal Grades 1.0114 and AWAIMg3 (2020) Journal of Physics: Conference Series (IF=0.227, Q4 SJR), 1527 (1), 012013, DOI: 10.1088/1742-6596/1527/1/012013
14. Tavaeva, A.F., Petunin, A.A., Polishchuk, E.G. Methods of Cutting Cost Minimizing in Problem of Tool Route Optimization for CNC Laser Machines (2020) Lecture Notes in Mechanical Engineering (IF=0.15, Q4 SJR), pp. 447-455, DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_48
15. Tavaeva, A., Petunin, A., Ukolov, S., & Krotov, V. (2019). A Cost Minimizing at Laser Cutting of Sheet Parts on CNC Machines. B I. Bykadorov, V. Strusevich, & T. Tchemisova (Ред.), Mathematical Optimization Theory and Operations Research - 18th International Conference, MOTOR 2019, Revised Selected Papers (стр. 422-437). (Communications in Computer and Information Science; Том 1090 CCIS). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33394-2_33
16. Tavaeva, A.F., Petunin, A.A. The cutter speed determination of CNC laser cutting machines for precise calculation of objective function of tool path problem (2016) 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings, 7911618, DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911618
17. Таваева, А. Ф., & Петунин, А. А. (2017). НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МАШИН ФИГУРНОЙ ЛИСТОВОЙ РЕЗКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, (9), 147-153. https://doi.org/10.12737/article_59a93b0b29fa13.40976330.
18. Tavaeva, A. F., & Petunin, A. A. (2017). Investigation of Cutting Speed Influence on Optimality of the Tool Path Route for CNC Laser Cutting Machines. В 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings [8076452] Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2017.8076452>
19. Таваева, А. Ф., Петунин, А. А. (2018). Точное вычисление стоимости резки заготовок из листового материала на машине лазерной резки с числовым программным управлением в задаче оптимизации маршрута перемещения режущего инструмента. Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 6(4 (23)), 298-312. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.022>
20. Petunin, A., Khalyavka, A., Khachay, M., Kudriavtsev, A., Chentsov, P., Polishchuk, E., Ukolov, S. Library of Sample Image Instances for the Cutting Path Problem (2021) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) (IF=0.25, Q3 SJR), 12665 LNCS, pp. 227-233. DOI: 10.1007/978-3-030-68821-9_21

4.8. Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов, имеющихся у научного коллектива для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

У двух участников проекта (Петунин А.А. и Таваева А.Ф.) имеется по 2 современных персональных компьютера (домашний и по основному месту работы), которые будут использованы в проекте. Третий участник (Халявка А.П.) имеет современный ноутбук. Руководитель проекта имеет возможность проводить вычисления на суперкомпьютере УРАН в Институте математики и механики УрО РАН.

4.9. План работы на первый год выполнения проекта (в том числе указываются запланированные командировки (экспедиции) по проекту)

1. Математическая формализация интегрированной задачи 2D раскроя и маршрутизации (INRP)
2. Разработка методики вычисления интегрированной целевой функции INRP на основе концепции сегментной резки.
3. Формирование библиотеки 2D объектов INRP1Lib в векторной форме на основе разработанной ранее и находящейся в открытом доступе библиотеки тестовых примеров CPPLib для оценки эффективности алгоритмов решения задачи маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ. Каждый объект из библиотеки должен соответствовать по геометрической форме стандартной типовой детали, изготавливаемой из листового материала, и при этом позволять на этапе раскроя объединять его с любым конечным числом таких же объектов в группу, для которой на этапе проектирования траектории перемещения инструмента машины с ЧПУ существует по крайней мере один способ применения техники мульти-контурной резки одновременно с применением техники совмещенного реза.
4. Разработка и реализация алгоритмов построения групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib для 5-ти представителей. В качестве целевой функции при оптимизации размещения групп деталей будет выбрана площадь описанного прямоугольника, содержащего группу.
5. Разработка алгоритмов формирования допустимых вариантов траектории инструмента машины листовой резки с ЧПУ для групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib с использованием техники "совмещенный рез" и "мульти-контурная резка" и с учетом эвристических правил "жесткости детали" и "жесткости листа". Реализация разработанных

алгоритмов для 5-ти представителей из библиотеки.

6. Разработка модуля расчета тепловых полей при лазерной резке материала на основе САПР "Рapid"

7. Проведение тестовых расчетов в САПР "Сириус".

8. Реализация алгоритма построения групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib для 5-ти представителей

9. Подготовка к публикации 4 статей.

Планируемые командировки в 2022 г.:

1. Всероссийская Мультиконференция по проблемам управления (МКПУ); МКПУ - 2022, сентябрь, Дивноморское, Россия - один участник

2. International Conference "Optimization and applications" (OPTIMA); Optima - 2022, октябрь, Петровац, Черногория - один участник.

4.10. Планируемое на первый год содержание работы каждого исполнителя проекта (включая руководителя проекта)

Петунин А.А.:

1. Математическая формализация интегрированной задачи 2D раскроя и маршрутизации (INRP)

2. Разработка методики вычисления интегрированной целевой функции INRP на основе концепции сегментной резки.

3. Разработка алгоритма построения групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib для 5-ти представителей. В качестве целевой функции при оптимизации размещения групп деталей будет выбрана площадь описанного прямоугольника, содержащего группу.

4. Подготовка к публикации 2 статей

5. Общее руководство проектом.

Таваева А.Ф.:

1. Разработка алгоритмов формирования допустимых вариантов траектории инструмента машины листовой резки с ЧПУ для групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib с использованием техники "совмещённый рез" и "мульти-контурная резка" и с учетом эвристических правил "жесткости детали" и "жесткости листа".

2. Реализация разработанных алгоритмов для 5-ти представителей из библиотеки. Проведение тестовых расчетов в САПР "Сириус".

3. Разработка модуля расчета тепловых полей при лазерной резке материала на основе САПР "Рapid"

4. Подготовка к публикации 1 статьи

Халявка А.П.

1. Формирование библиотеки 2D объектов INRP1Lib в векторной форме на основе разработанной ранее и находящейся в открытом доступе библиотеки тестовых примеров CPPLib для оценки эффективности алгоритмов решения задачи маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ.

2. Реализация алгоритма построения групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib для 5-ти представителей

3. Подготовка к публикации 1 статьи.

4.11. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты (форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы)

Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты

1. Математическая формализация интегрированной задачи 2D раскроя и маршрутизации (INRP)

2. Методика вычисления интегрированной целевой функции INRP на основе концепции сегментной резки.

3. Вычислительные алгоритмы построения групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib.

4) Вычислительные алгоритмы формирования допустимых вариантов траектории инструмента машины листовой резки с ЧПУ для групп конгруэнтных деталей из библиотеки INRP1Lib с использованием техники "совмещённый рез" и "мульти-контурная резка" и с учетом эвристических правил "жесткости детали" и "жесткости листа"

5) Программное обеспечение для моделирования тепловых полей при лазерной резке.

6) Программное обеспечение, реализующее разработанные алгоритмы.

7) Описание форматов файлов данных а также программное обеспечение для конвертации данных в САПР "Сириус".

8) 4 подготовленных к публикации статьи.

4.12. Перечень планируемых к приобретению за счет гранта оборудования, материалов, информационных и других ресурсов для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

В связи с необходимостью дистанционного режима работы по проекту, участия в конференциях в онлайн-формате и обеспечения мобильности участников проекта планируется приобрести 2 ноутбука с мультимедийными аксессуарами со следующими характеристиками.

1. Ноутбук

- дисплей с диагональю в диапазоне не менее 17 дюймов;
- разрешение дисплея не менее 1920x1080;
- Процессор Intel Core i5 не ниже восьмого поколения;
- базовая частота процессора – не менее 1,6 GHz;
- максимальная частота – не менее 3,9 GHz;
- количество ядер – не менее 4;
- количество потоков – не менее 8;
- кэш-память не менее 6 Mb;
- встроенное графическое ядро;
- расчетная мощность - не более 15 Вт.
- оперативная память - не менее 8 ГБ;
- Тип видеокарты: дискретная, дискретная и встроенная;
- SSD накопитель объемом не менее 256 Гб;
- Встроенный микрофон и веб-камера;
- Предустановленная Операционная система семейства Microsoft Windows

2. Привод DVD+/-RW -встроенный или внешний

Скорость чтения:

- Скорость чтения CD не менее 24x
- Скорость чтения DVD не менее 8x
- Скорость записи
- Скорость записи CD-R не менее 24x
- Скорость записи CD-RW не менее 24x
- Скорость записи DVD-R не менее 8x
- Скорость записи DVD+R не менее 8x
- Скорость записи DVD-RW не менее 6x
- Скорость записи DVD+RW не менее 8x

3. Мышь лазерная

- интерфейс подключения к ПК – USB;
- технология – лазерная;
- разрешение сенсора не менее 1000 dpi;
- количество кнопок (не считая колеса прокрутки) – не менее 2;
- длина кабеля не менее 1,8 м.

4. Веб-камера

- интерфейс подключения – не младше спецификации USB2.0;
- разрешение матрицы не менее 1920x1080;
- наличие микрофона

5.Stereo гарнитура проводная

- Тип наушников: накладные с оголовьем

4.13. Файл с дополнительной информацией 1

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Текст в файлах с дополнительной информацией должен приводиться на русском языке. Перевод на английский язык требуется в том случае, если руководитель проекта оценивает данную информацию существенной для эксперта.

4.14. Файл с дополнительной информацией 2 (если информации, приведенной в файле 1 окажется недостаточно)

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Подпись руководителя проекта _____/А.А. Петунин/

Форма 5. Запрашиваемое финансирование на 2022 год

5.1. Планируемые расходы по проекту

№ п.п.	Направления расходования средств гранта	Сумма расходов (тыс.руб.)
	ВСЕГО	1500
	Вознаграждение членов научного коллектива (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды, без лиц категории «вспомогательный персонал»)	950
	Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	0
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды)	950
2	Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта (не более 15 процентов от суммы гранта)	0
3	Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (включая обучение работников, монтажные, пуско-наладочные и ремонтные***** работы) ***** Не связанные с осуществлением текущей деятельности организации.	200
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования	0
5	Иные расходы для целей выполнения проекта	200
6	Накладные расходы организации (не более 10 процентов от суммы гранта)	150

5.2. Расшифровка планируемых расходов

№ п.п.	Направления расходования средств гранта, расшифровка
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов во внебюджетные фонды) (указывается сумма вознаграждения (включая руководителя и иных исполнителей, привлекаемых к выполнению работ по проекту), включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний) 1. Петунин Александр Александрович - 550 тыс. руб. 2. Таваева Анастасия Фидагилевна - 250 тыс. руб. 3. Халявка Александр Павлович - 150 тыс. руб.
2	Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта (приводится перечень планируемых договоров (счетов) со сторонними организациями с указанием предмета и суммы каждого договора) 0
3	Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (представляется перечень планируемых к закупке оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (в соответствии с п. 4.12 формы 4)) Ноутбук с аксессуарами (2 шт.) - 200 тыс. руб.
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования (представляется расшифровка запланированных материалов и комплектующих (в соответствии с п. 4.12 формы 4)) 0
5	Иные расходы для целей выполнения проекта (приводятся иные затраты на цели выполнения проекта, в том числе на командировки, оплату услуг связи, транспортных услуг, расходы <u>не</u>

расшифровываются)

200 тыс. руб.

Подпись руководителя проекта _____ /А.А. Петунин/

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), **печать** (при ее наличии) **организации.**

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____/

М.П.