



зования систем трехмерного геометрического моделирования // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : материалы VI всерос. науч.-практ. конф. / гл. ред. С. Н. Летуца. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С. 46-51.

4. Кульга К.С., Кривошеев И.А. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным и машиностроительным производством: монография. М.: Машиностроение, 2011. – 377 с.

5. Wanlong Wang, Henry W. Stoll, James G. Conley. Rapid Tooling Guidelines For Sand Casting. New York; Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2010. - 164 p.

6. Арлоу Д., Нейштадт И. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование, 2-е издание. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2007. – 624 с., ил.

К.С. Кульга, П.В. Меньшиков

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ОБЕЧАЙКИ<sup>1</sup>

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

**Актуальность проблемы.** Одной из самых ответственных и дорогостоящих корпусных деталей емкостного оборудования (например, теплообменные и колонные аппараты), изготавливаемых предприятиями нефтегазового и химического машиностроения, является обечайка. Обечайка имеет значительные габаритные размеры (например: 60600x3200x18мм), поэтому эта деталь сваривается из нескольких листов или лент. В большинстве случаев (кроме самых простых изделий) требуется решать задачу расчёта карты раскроя обечайки. В этом случае определяется конфигурация корпусных сварных швов обечайки, при которой выполняются все конструкторско-технологические ограничения, учитываются технические возможности оборудования и обеспечивается минимизация норм расхода основных и вспомогательных материалов, а также норм времени на заготовительные, сварочные и сборочные операции. Задача расчета карты раскроя обечайки в общем случае сводится к задаче покрытия ортогональной области с препятствиями прямоугольниками заданных размеров. Результаты исследований показали, что задачи покрытия относятся к *NP(Non-deterministic Polynomial)*-сложным, т.е. алгоритм точного решения таких задач за полиномиальное время не найден.

Для решения практических задач оптимального раскроя обечайки целесообразно использовать эвристические методы поиска оптимального

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках научного проекта №15-07-00928 при финансовой поддержке ФГБУ РФФИ



решения. Однако в отличие от постановки задачи покрытия ортогональной области с препятствиями [1-3], задача оптимального раскроя обечайки имеет существенные новые особенности:

- учёт конструкторско-технологических ограничений и технических возможностей оборудования для размещения деталей и сборочных единиц (ДСЕ) ёмкостного оборудования;
- препятствия в рассматриваемой задаче являются запретами на расположение сварных швов, т.е. границ покрываемых элементов, и не исключены из плана покрытия;
- препятствия являются разнородными, существуют отдельные запреты на расположение кольцевых или продольных сварных швов, а также запреты с комплексными условиями «срабатывания» (например, для горизонтального аппарата разрешено расположение кольцевого сварного шва под одной из его опор, но не под обеими одновременно);
- использование элементов задач двухмерного гильотинного раскроя и плотного размещения объектов (раскрой исходных листов на заготовки);
- необходимость решения прямой и обратной задач оптимального раскроя обечайки, включая предварительные расчёты плановой себестоимости изделий на основе опросных листов (для тендеров);
- целевая функция должна включать в себя группу ограничений (критериев оптимальности): норма расхода основных и вспомогательных материалов, периметры сварных швов, количество деловых и технологических отходов материалов, себестоимость и др.

Введем наименование нового вида препятствий – «граничные препятствия», и классифицируем исследуемую задачу как задачу покрытия ортогонального многосвязного полигона с граничными препятствиями.

**Цель научного исследования:** разработка моделей и методов создания автоматизированной информационной системы (АИС) для решения задачи геометрического покрытия ортогонального многосвязного полигона с граничными препятствиями, включая программное взаимодействие на уровне наборов данных и управления в едином информационном пространстве (ЕИП) с интегрированной АИС (ИАИС) предприятия *Stalker PLM v7.x* [4].

Создания программного обеспечения (ПО) АИС основывалось на методологии, разработанной в монографии [4]. Данная методология предусматривает поэтапное решение задачи создания АИС на основе реинжиниринга существующих бизнес-процессов (БП), разработку объектно-ориентированной функциональной, а затем информационно-математической модели с последующим созданием на их основе ПО базовых информационных технологий АИС.

*1. Реинжиниринг БП.* Анализ существующих АИС оптимального раскроя листового сортамента и результатов их применения на предприятиях выявил отсутствие комплексного применения критериев для решения задачи геометрического покрытия многосвязного ортогонального полигона (обечайки).



В свою очередь, решение этой задачи на основе опыта квалифицированных инженеров предприятия требует значительных затрат времени (от трёх до семи дней по данным фотографии дня), при этом не гарантируется оптимальность полученного решения и отсутствие ошибок. На основе результатов реинжиниринга БП заготовительного производства ёмкостного оборудования разработана объектно-ориентированная функциональная модель (ФМ), отличающаяся тем, что формализовано описывает взаимодействие БП технической подготовки производства обечайки, а также интегрирует этапы функционального моделирования и создания ПО АИС [5].

2. *Единая информационно-математическая модель (ИММ) АИС.* Предлагаемая ИММ АИС отличается реализацией модифицированного метода ветвей и границ для решения прямой и обратной задач двумерного геометрического покрытия ортогонального многосвязного полигона с граничными препятствиями на основе определения конструкторско-технологических ограничений для размещения геометрических объектов, применением обобщённого критерия оптимальности, а также новым методом автоматического формирования параметрических 3D геометрических моделей карт раскроя обечайки с применением *API (Application Programming Interface)*-функций *CAD (Computer Aided Designer)*-систем. Геометрическая модель карты обечайки создаётся в препроцессоре АИС *Stalker ROB* [5]. Группы ограничений относятся к расположению кольцевых и продольных сварных швов, ортогональных друг по отношению к другу. Это позволяет преобразовать любые ограничения, независимо от их формы, в прямоугольные боксы, стороны которых параллельны направлениям кольцевых и продольных сварных швов. Было выделено три основных группы ограничений – на расположение кольцевых, продольных и Т-образных сварных швов. Для каждой ДСЕ и геометрических объектов карты обечайки производится преобразование ограничений в прямоугольники, именуемые запретными зонами. Разработанный эвристический алгоритм, основанный на предлагаемом методе, отличается тем, что на каждом шаге отбирается  $N$  лучших вариантов по локальному критерию оптимальности, и для каждого из них определяются все возможные варианты следующего шага. Производится отсечение заведомо неудачных вариантов, включая одинаковые варианты раскроя, полученные разными путями.

При нахождении варианта покрытия обечайки имеющимися заготовками, учитываются следующие критерии:

- условие полного покрытия площади;
- взаимное неперекрывание заготовок на развёртке;
- непересечение кольцевых и продольных сварных швов с соответствующими запрещёнными зонами, а также отсутствие Т-образных сварных швов внутри зон с запретом на такие швы;
- отсутствие крестообразных сварных швов.

Оптимальность полученного варианта оценивается значением целевой функции (критерия оптимальности), которая является свёрткой частных крите-



риев оптимальности на основе метода относительного отклонения от идеальной точки [6].

3. На основе предложенных моделей разработано и экспериментально исследовано ПО АИС *Stalker ROB*, реализующее задачу оптимального геометрического покрытия обечайки ёмкостного оборудования на стадиях предварительных расчётов и технической подготовки производства, а также программное взаимодействие на уровне данных и управления с ИАИС предприятия *Stalker PLM v7.x* [4]. На рисунке 1 приведены результаты решения *прямой задачи* оптимального геометрического покрытия обечайки в виде 2D и 3D геометрической модели развёртки корпусной детали ёмкостного оборудования (карта раскроя). Для решения *обратной задачи* оптимального геометрического покрытия обечайки необходимо найти множество поставок заготовок, которое должно удовлетворять условиям: на этом множестве возможно решение *прямой задачи* покрытия; обеспечение поставки заготовок в заданный срок, определенный планом производства предприятия.

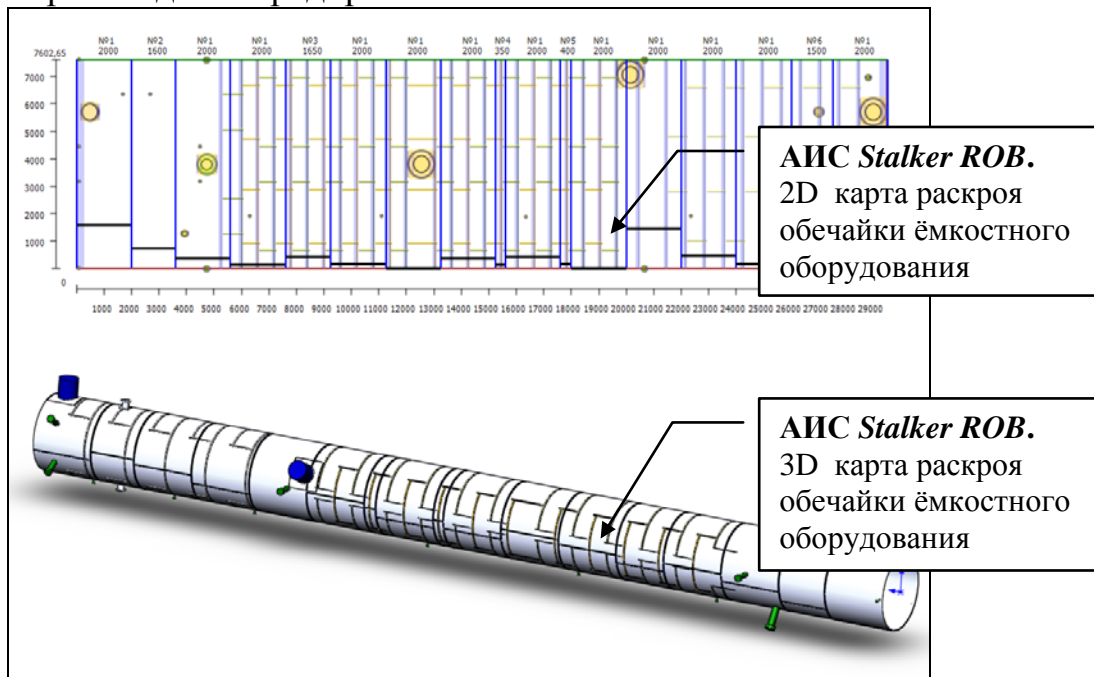


Рис. 1. Результаты оптимизации геометрического покрытия обечайки

**Заключение.** На основе предложенных моделей и методов разработано и экспериментально апробировано ПО АИС *Stalker ROB* [5], реализующее прямую и обратную задачи оптимального геометрического покрытия ортогонального многосвязного полигона с граничными препятствиями на основе определения конструкторско-технологических ограничений на стадиях предварительных расчётов, технической подготовки, а также информационную интеграцию в ЕИП с ИАИС предприятия *Stalker PLM v7.x* [4].



### Литература

1. Мухачева Э.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение АСУ. – М.: Машиностроение. – 1984. – 176 с.
2. Хасанова Э. И. Проектирование размещения геометрических объектов на многосвязном ортогональном полигоне [Текст]: дис. ...канд. тех. наук: 05.13.12: Уфа. – 2010. – 188 с.
3. Телицкий С. В. Оптимизация многокритериального геометрического покрытия полигона на основе условных оценок с учетом технологических ограничений [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.01: Уфа. – 2013.– 179 с.
4. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным и машиностроительным производством/Кульга К.С., Кривошеев И.А. // М. : Машиностроение. – 2011. – 377 с.
5. К.С. Кульга, П. В. Меньшиков. Оптимизация геометрического покрытия многосвязного ортогонального полигона с граничными препятствиями с учётом конструкторско-технологических ограничений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. №4. (выпуск 50). Часть 2. – 2014. – с. 75-82.
6. Гольдштейн А.Л. Метод отклонений для многокритериальных задач // Пермь: зд. ПГТУ. – 2010. – 27 с.

К.С. Кульга, А.В. Половинкин

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

**Актуальность проблемы.** Детали авиационных двигателей характеризуются сложностью и разнообразием конструкций, что приводит к необходимости разработки значительного количества станочных приспособлений (СП). К конструкции СП предъявляются высокие требования по точности изготовления и качеству базовых поверхностей.

Системный анализ существующих бизнес-процессов (БП) проектирования СП, основанных на применении стандартной функциональности программного обеспечения (ПО) САД (*Computer Aided Design*)-систем, выявил следующие недостатки:

- создание нового СП основано на экспертных оценках конструкции, включает значительные затраты времени на изучение проектной и справочной информации, а также на проектирование СП;
- учитываются только общие вопросы базирования заготовок с профильными посадочными поверхностями;
- не учитываются особенности проектирования и технологичности базовых деталей СП, что приводит к снижению качественного уровня конструкции СП;