

УДК 004.9

**Р.Т. Мурзакаев, В.С. Шилов, А.А. Брюханова**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ФИГУРНОГО РАСКРОЯ  
МАТЕРИАЛА ITAS NESTING**

Статья посвящена проектированию программного комплекса фигурного раскроя листовых материалов ITAS Nesting. Рассмотрены особенности CAD/CAM-систем, предназначенных для формирования карт раскроя и генерации управляющих программ для технологического оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Выявлены общие недостатки существующих систем. На основе этого были обозначены основные функции, которыми должен обладать программный комплекс раскроя листовых материалов, а также обоснована актуальность его разработки. Приведена структура взаимодействия модулей программного комплекса фигурного раскроя ITAS Nesting и описан их функционал. В статье также рассмотрена обобщенная модель данных проектируемого программного комплекса в виде диаграммы классов. Приведены результаты работы алгоритмов раскроя-упаковки для деталей сложной формы, реализованных в программном комплексе, дано сравнение с аналогичными программными системами раскроя листового материала.

**Ключевые слова:** ЧПУ; фигурный раскрой; программный комплекс; листовый материал.

**R.T. Murzakaev, V.S. Shilov, A.A. Brjuhanova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**SOFTWARE PACKAGE FOR SHAPED MATERIAL  
NESTING ITAS NESTING**

The paper deals with design of nesting software package of sheet material ITAS Nesting. The paper considers features of CAD/CAM systems intended for formation of nesting and generation of control program for technological equipment with computer numerical control (CNC). We identified common shortcomings of existing systems. On this base, main features which nesting program complex should have were designated, as well as actuality of its development was proved. The structure of interaction of nesting software complex ITAS Nesting modules is shown and functional of this modules was described. The paper consider common data model of projected software complex as class diagram. The results of the cutting-packing algorithms work, implemented in the software package, for details of complex shape were designated. Comparison with similar software systems of cutting sheet material is given.

The paper analyzes the features of CAD/CAM systems for design nesting of sheet material on personal computers and preparation of control programs for CNC manufacturing equipment. Shortcomings of such systems reviewed. The paper presents the structure of the software nesting system ITAS Nesting, intended to form nesting and generate control programs for machine tools with numerical control (CNC). The modules interaction reviewed. The class diagram of software modules of ITAS Nesting is presented. The examples of cutting-packing algorithms used in the software package are shown.

Thus, automated systems for cutting materia is reviewed, software package architecture is designed, data model and software package that allows to form nesting for cutting materials with high coefficients of installation is developed.

**Keywords:** CNC; shape nesting; software package; sheeting.

Современный рынок предлагает большой ассортимент CAD/CAM систем, предназначенных для проектирования на персональных компьютерах карт раскроя листового материала и подготовки управляющих программ для машин лазерной, плазменной, газовой и гидроабразивной резки материала, а также другого технологического оборудования с ЧПУ. Наиболее известны программные комплексы: Artia Solutions, Astra S-nesting, JetCam, САПР Сириус, PaneCut, Тхтран, Винтех RCAM-Pro, Интех-Раскрой W/L, NestLib (Geometric Software Solutions), Orion, Nesting Intelligent Software, Mazak Smart System, Lantek Expert, Wrykrys, и др.

Известные программные комплексы раскроя-упаковки листового материала обладают широкими и схожими функциональными возможностями, но и существенными общими недостатками:

1. Недостаточно высокое качество укладки деталей, карты раскроя далеки от оптимальных.

2. Во многих случаях реализованные алгоритмы упаковки не берут в расчет общее количество материала (листов) для всего заказа, когда необходимо более равномерно распределить раскрой на заданном заранее количестве листов.

3. При создании программ резки (управление перемещением рабочего инструмента) слабо учитываются физико-механические свойства материала, что может привести к температурным деформациям, вибрации заготовки, смещению листа и другим эффектам, связанным с появлением брака, не учитывается форма самого реза в зависимости от толщины материала.

4. Как правило, небольшие детали при формировании карт раскроя располагаются компактно в конце листа материала, что при резке может привести к появлению бракованных изделий из-за деформации.

5. Каждый производитель режущего оборудования разрабатывает свое программное обеспечение (отсутствует взаимозаменяемость программ для станков с ЧПУ).

6. Отсутствует возможность работы с листами сложной формы, в том числе с деловым остатком.

Поэтому остается актуальной разработка программного комплекса раскроя листовых материалов, позволяющего формировать карты с высоким коэффициентом раскроя для широкого класса станков с ЧПУ [1].

Целью данной статьи является проектирование структуры программного комплекса и модели данных.

Выделим основные характеристики, которыми должна обладать разрабатываемая система для раскроя материалов:

- модульная организация программного комплекса;
- формирование задания на раскрой;
- автоматическое составление карт раскроя;
- ручное редактирование карт раскроя;
- учет технологических ограничений и особенностей производства (точки входа-выхода, перемычки, петли, расстояния между деталями и краями листа, учет направления проката и др.);
- модуль работы с деловым остатком;
- экспорт/импорт карты раскроя в популярных форматах (DXF, DFG и др.);
- подготовка и генерация управляющих программ;
- расчет стоимости резки, времени.

На основе выделенных характеристик была спроектирована структура программного комплекса фигурного раскроя материалов ITAS Nesting (рис. 1).

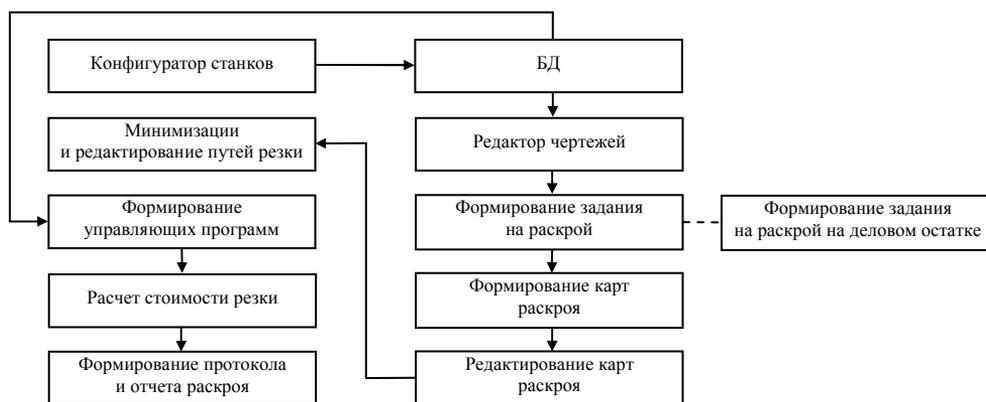


Рис. 1. Структура программного комплекса ITAS Nesting

Программный комплекс ITAS Nesting включает в себя следующие модули:

- конфигуратор станков – модуль для настройки таких параметров станков, как технологические ограничения (зазоры между деталями и расстояния от края листа, перемычки, длины врезки и выхода), конфигурирование параметров резки;

- формирование задания на раскрой – настройка параметров для формирования карты раскроя (выбор станка, деталей и сортамента листа или делового остатка);

- формирование задания на раскрой на деловом остатке – модуль формирования карт раскроя с использованием делового остатка, является расширением модуля формирования задания на раскрой;

- формирование карт раскроя – модуль, формирующий карты раскроя для выбранного станка, деталей и сортамента листа;

- редактирование карт раскроя – модуль интерактивного (ручного) редактирования карт раскроя, автоматически сформированных программой;

- редактор чертежей – модуль интерактивного (ручного) редактирования чертежей деталей;

- формирование управляющих программ – модуль формирования управляющих программ для выбранного станка (нахождение путей резки, холостых ходов, точек врезки и точек выхода и др.);

- минимизация и редактирование путей резки – модуль формирования оптимального порядка и путей резки с учетом особенностей технологии резки по критерию минимума перемещений, времени, стоимости и др.;

- расчет стоимости резки – модуль, рассчитывающий стоимость резки на основе времени;

- формирование протокола и отчета раскроя – формирование отчета, содержащего рисунок карты раскроя, перечень используемых деталей, расход материала, стоимость, время резки и др.;

- база данных (БД) – база данных, содержащая информацию, необходимую для работы комплекса (чертежи, детали, параметры станков, сортамент, деловой остаток, карты раскроя, протоколы и пр.).

Рассмотрим взаимодействие модулей. В конфигураторе станков настраиваются параметры для станков, которые сохраняются в базе данных. При формировании задания на раскрой из базы данных загру-

жаются детали для задания, сортамент для них. По заданию на раскрой формируется карта раскроя с учетом технологических ограничений для выбранного станка и сортамента. Сформированная карта раскроя доступна для ручного редактирования. Для готовой карты раскроя вычисляется оптимальный порядок резки, пути резки, которые также доступны для ручного редактирования. По рассчитанным путям резки вычисляется время. Далее происходит формирование управляющей программы для станка. После выполнения всех перечисленных операций формируются протокол и отчет.

Для функционирования модулей использованы следующие наборы данных:

- GroupMaterials – справочник групп материалов;
- List – сортамент используемых материалов, габариты листов;
- Details – справочник деталей изделий;
- Products – справочник изделий;
- Primitives – справочник примитивов, из которых состоят детали;
- Design – справочник чертежей деталей;
- Reminder – справочник деловых остатков;
- Machine – справочник используемых на предприятии станков

для резки;

- Instruments – справочник используемых станком инструментов;
- Bridge и Gap – технологические ограничения для станков.

Вышеперечисленные наборы данных представлены в виде диаграммы классов на рис. 2.

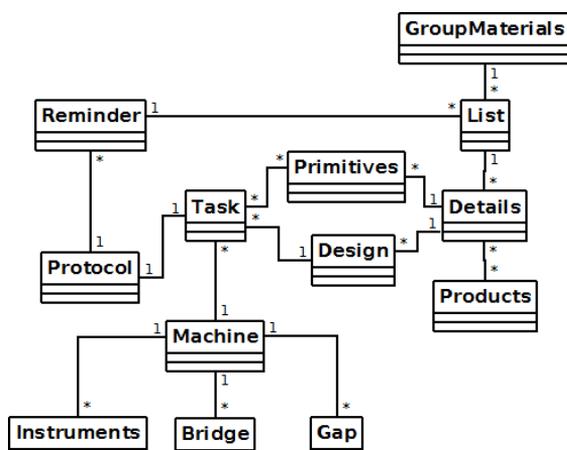


Рис. 2. Диаграмма классов программного комплекса ITAS Nesting

Для разработки программного комплекса используются объектно-ориентированный язык программирования Java и технология Hibernate для работы с данными.

Наиболее интересными при формировании карт раскроя являются различные алгоритмы стыковки, которые позволяют уменьшить занимаемую деталями площадь [2, 3, 4, 5]. Например, группировка деталей и попарная стыковка одинаковых деталей, а также размещение деталей в областях произвольной формы (внутренних контурах деталей и деловом остатке) (рис. 3). Такие алгоритмы позволяют экономить используемый материал и уменьшить стоимость заказа [6, 7, 8, 9, 10].

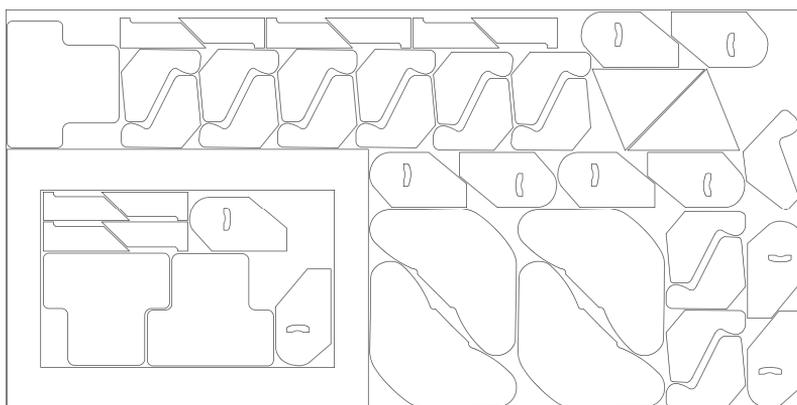


Рис. 3. Карта раскроя

Модуль формирования управляющих программ устанавливает пути резки и положение точек врезки и выхода. На рис. 4 представлен результат работы модуля, на котором обозначены холостые перемещения инструмента, порядок и пути резки.

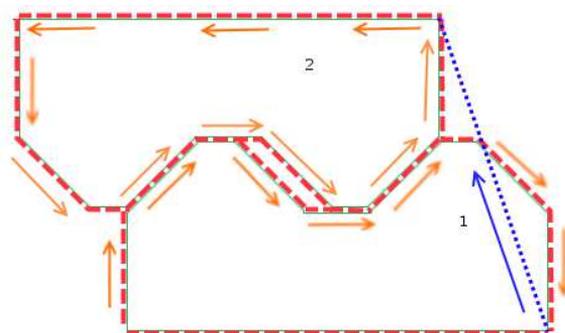


Рис. 4. Пути резки

Рассмотрим результаты тестирования работы программного комплекса по методике, описанной в [11, 12]. Используем тот же самый набор данных, что в [11], и дополним таблицу строкой с итогами тестирования. Полученные результаты приведены в таблице.

#### Сравнение результатов

Наименование системы	Коэффициенты раскроя материалов (K1), % по листам			Длина делового остатка, ед.
	1	2	3	
«AccuFab» (США)	73,1	60,7	56,2	6,8
«Expert» (Испания)	73,4	60,9	59,0	12,2
«SigmaNest» (США)	74,3	65,9	60,3	20,2
«NestCAD» (Россия)	74,6	67,2	61,5	21,8
<b>«ITAS Nesting»</b>	<b>82,5</b>	<b>72,1</b>	<b>36,2</b>	<b>56,1</b>

В целом программный комплекс ITAS Nesting успешно справился с данным тестом, показав ожидаемые результаты. Коэффициент раскроя второго листа ниже, чем у первого, что объясняется наличием незанятого пространства на листе, которое образовалось из-за отсутствия мелких деталей, уже оптимальным образом уложенных во внутренние контуры, но выше, чем у конкурентов. Благодаря более плотной укладке на третьем листе осталось больше свободного места, поэтому коэффициент раскроя у третьего листа самый низкий.

Таким образом, рассмотрены основные характеристики и недостатки существующих автоматизированных систем раскроя листового материала, спроектирована структура программного комплекса, разработана модель данных. Приведен пример работы программного комплекса, демонстрирующий результаты работы наиболее интересных алгоритмов укладки деталей. Проведено сравнение с аналогичными программными системами раскроя материалов, показавшее достаточно высокую эффективность работы ITAS Nesting.

#### Библиографический список

1. Мурзакаев Р.Т., Шилов В.С., Буркова А.В. Основные методы решения задачи фигурной нерегулярной укладки плоских деталей. [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2013 – №. 4. – URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2043> (дата обращения: 26.01.2015).

2. Fayzrakhmanov R.A. Application of the Group Decoder for Solving the Orthogonal Materials Cutting Problem // *World Applied Sciences Journal*. – 2013. – Т. 10. – № 28. – С. 1361–1365.

3. Петунин А.А., Мухачева Э.А., Филиппова А.С. Метод прямоугольной аппроксимации для решения задач нерегулярного фигурного раскроя-упаковки // *Информационные технологии*. – 2008. – № 1. – С. 28–31.

4. Алгоритм группировки геометрических объектов при автоматическом раскрое листового материала с использованием локальных характеристик формы / М.А. Чертов, Г.Е. Руденский, С.Г. Псахье, А.В. Скворцов // *Вычислительные технологии*. – 2006. – Т. 11. – № 2. – С. 93–102.

5. Lamousin H. Nesting of two-dimensional irregular parts using a shape reasoning heuristic // *Computer-Aided Design*. – 1999. – Vol. 29. – № 8.

6. Мурзакаев Р.Т., Лялин Д.А. Алгоритм уплотнения карты раскроя на основе двумерной гравитационной имитационной модели // *Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»*. – 2013. – № 9–10. – С. 34–41.

7. Исследование бизнес-процесса учета делового остатка при раскрое листовых материалов / Р.А. Файзрахманов, Р.Т. Мурзакаев, В.С. Шилов, А.В. Буркова // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2013. – № 7. – С. 143–148.

8. Мухачева А.С. Задачи упаковки прямоугольников: рандомизированная эвристика на базе двойственной схемы локального поиска оптимума // *Информационные технологии*. – 2003. – № 5. – С. 18–22.

9. Мухачева Э. А. Гильотинное размещение контейнеров в полосе: комбинирование эвристических технологий // *Информационные технологии*. – 2009. – № 11. – С. 8–13.

10. Chen K.Y., Chao K.M. On the range maximum-sum segment query problem // *Discrete Applied Mathematics*. – 2007. – Т. 155. – № 16. – С. 2043–2052.

11. Логинов Е.В. Проектирование нерегулярного раскроя листовых материалов на заготовки сложных форм с использованием дискретно-логического представления информации: дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2002.

12. Верхотуров М.А., Тарасенко П.Ю. Математическое обеспечение задачи оптимизации пути режущего инструмента при плоском фигурном раскрое на основе цепной резки // Вестник Уфимского авиационного технического университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – Уфа, 2008. – Т.10, № 2 (27). – С. 123–130.

### **References**

1. Murzakaev R.T., Shilov V.S., Burkova A.V. Osnovnye metody resheniia zadachi figurnoi neregularnoi ukladki ploskikh detalei [Main methods of compound details irregular optimal packing on sheet material problem solving]. *Engineering journal of Don*, 2013, no. 4, available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2043> (accessed: 25 October 2014).

2. Fayzrakhmanov R.A., Murzakaev R.T., Mezentsev A.S., Shilov V.S. Application of the Group Decoder for Solving the Orthogonal Materials Cutting Problem. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 28, no. 10, pp. 1361-1365, available at: [http://www.idosi.org/wasj/wasj28\(10\)13/4.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj28(10)13/4.pdf) (accessed: 10 November 2014).

3. Petunin A.A., Mukhacheva E.A., Filippova A.S. Metod priamougol'noi approksimatsii dlia resheniia zadach neregularnogo figurного raskroia-upakovki [Rectangular approximation method for solving irregular shape nesting packaging]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2008, no. 1, pp. 28-31.

4. Chertov M.A., Rudenskii G.E., Psakh'e S.G., Skvortsov A.V. Algoritm gruppировки geometricheskikh ob"ektov pri avtomaticheskome raskroe listovogo materiala s ispol'zovaniem lokal'nykh kharakteristik formy [Clusterization algorithm for automatic nesting of sheet material using local shape characteristics]. *Vychislitel'nye tekhnologii*, 2006, vol. 11, no. 2, pp. 93-102.

5. Lamousin H. Nesting of two-dimensional irregular parts using a shape reasoning heuristic. *Computer-Aided Design*, 1999, vol. 29, no. 8.

6. Murzakaev R.T., Lialin D.A. Algoritm uplotneniia karty raskroia na osnove dvumernoi gravitatsionnoi imitatsionnoi modeli [Seal nesting layout algorithm based on two-dimensional gravitational simulation model]. *Sovremennaiia nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki*, 2013, vol. 9, no. 10, pp. 34-41.

7. Faizrakhmanov R.A., Murzakaev R.T., Shilov V.S., Burkova A.V. Issledovanie biznes-protssessa ucheta delovogo ostatka pri raskroe listovykh materialov [Investigation of business process of useful remains accounting in sheet material cut-out]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2013, no. 7, pp. 143-148.

8. Mukhacheva A.S., Shirgazin R.R. Zadachi upakovki priamougol'nikov: randomizirovannaia evristika na baze dvoistvennoi skhemy lokal'nogo poiska optimuma. [Retangle pakcking problems: randomized heuristics based on dual scheme of optimum local search]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2003, no. 5, pp. 18-22.

9. Mukhacheva E.A., Khasanova E.I. Gil'otinnoe razmeshchenie konteinerov v polose: kombinirovanie evristicheskikh tekhnologii [Guillotine placement of containers in the band: a combination of heuristics]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2009, no. 11, pp. 8-13.

10. Chen K.Y., Chao K.M. On the range maximum-sum segment query problem. *Discrete Applied Mathematics*, 2007, vol. 155, no. 16, pp. 2043-2052.

11. Loginov E.V. Proektirovanie nereguliarnogo raskroia listovykh materialov na zagotovki slozhnykh form s ispol'zovaniem diskretnologicheskogo predstavleniia informatsii [Irregular design cutting sheet materials into shapes of complex shapes using discrete logical representation of information]. *Dissertatsii na soiskanie stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Ufa*, 2002.

12. Verkhoturov M.A., Tarasenko P.Iu. Matematicheskoe obespechenie zadachi optimizatsii puti rezhushchego instrumenta pri ploskom figurnom raskroe na osnove tsepnoi rezki [Mathematical software optimization problem with the path of the cutting tool flat shape nesting based chain cutting]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, vol. 10, no. 2 (27), pp. 123-130.

### **Сведения об авторах**

**Мурзакаев Рустам Талгатович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и автоматизированных систем Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: rustmur@gmail.com).

**Шилов Вадим Сергеевич** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры информационных технологий и автоматизированных систем Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vadim.shilov@gmail.com).

**Брюханова Анастасия Александровна** (Пермь, Россия) – магистрантка кафедры информационных технологий и автоматизированных систем Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: a.bryuhanova@gmail.com).

### **About the authors**

**Murzakaev Rustam Talgatovich** (Perm, Russian Federation) is Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Information Technologies and Computer-Aided Systems, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: rustmur@gmail.com).

**Shilov Vadim Sergeevich** (Perm, Russian Federation) is a post-graduate of the Department of Information Technologies and Computer-Aided Systems, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: vadim.shilov@gmail.com).

**Brjuhanova Anastasiya Aleksandrovna** (Perm, Russian Federation) is the Master's Degree Student of the Department of Information Technologies and Computer-Aided Systems, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: a.bryuhanova@gmail.com).

Получено 20.02.2015