

DOI: 10.18721/JCSTCS.12404
УДК 004.896

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА С ЭЛЕМЕНТАМИ СППР

А.В. Улитин¹, А.А. Смирнов²

¹ Вологодский государственный университет,
Вологда, Российская Федерация;

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

На машиностроительных предприятиях, где существенную долю материальных затрат занимают затраты на листовую металл, рациональное использование материальных ресурсов листового металла влияет на технологические затраты и на другие технические и экономические показатели операционной деятельности предприятия. Именно поэтому на машиностроительных предприятиях актуален вопрос увеличения коэффициента использования листового металла. В целях решения данного вопроса в статье изучено применение методов рационального раскроя листового металла и использование остатков листового металла после раскроя в последующих технологических процессах. Задача данного исследования – разработка методики сортировки остатков раскроя листового металла и построение программного комплекса управления материальными ресурсами листового металла на базе предложенной методики. Разработанный программный комплекс включает в себя систему поддержки принятия решений. Предлагаемая СППР помогает в оперативном формировании рациональных карт раскроя и в оперативной и обоснованной сортировке остатков после раскроя по группам деловых и неделовых остатков. Разработанный программный комплекс позволяет увеличить коэффициент использования листового металла. В статье перечислены функции программного комплекса, описана его структура, сформулированы особенности его построения на базе взаимодействующих CAD/CAM и ERP-систем, предложены алгоритмы работы и практическая реализация отдельных программных модулей.

Ключевые слова: раскрой листового металла, коэффициент использования материала, деловые остатки листового металла, СППР, CAD, CAM, ERP.

Ссылка при цитировании: Улитин А.В., Смирнов А.А. Программный комплекс управления материальными ресурсами листового металла с элементами СППР // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 4. С. 45–57. DOI: 10.18721/JCSTCS.12404

Статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

SOFTWARE PACKAGE FOR MANAGING MATERIAL RESOURCES OF SHEET METAL WITH ELEMENTS OF DSS

A.V. Ulitin¹, A.A. Smirnov²

¹ Vologda State University,
Vologda, Russian Federation;

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

At engineering enterprises, where a significant share of material costs are the sheet metal costs, the rational use of the sheet metal material resources has an influence on the technological costs and other technical and economic indicators of the enterprise

operating activities. That is why the question of increasing a sheet metal utilization rate is relevant at the engineering enterprises. In order to solve this question, the using of rational cutting methods of sheet metal and the using of sheet metal residues after cutting in following technological processes are researched in the work. The objective of the research is to develop a software package, which includes a decision support system, for managing of sheet metal material resources. The DSS will help in operational making of rational cutting cards and in operational and substantiated sorting of the cutting residues into business and non-business ones. The software package will allow increasing the sheet metal utilization rate. Requirements for the software are presented, its structure is described, the features of its construction based on interacting CAD/CAM and ERP-systems are formulated, the algorithms of individual software modules and these practical implementation are proposed in the article.

Keywords: sheet metal cutting, material utilization rate, business residues of sheet metal, DSS, CAD, CAM, ERP.

Citation: Ulitin A.V., Smirnov A.A. Software package for managing material resources of sheet metal with elements of DSS. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2019, Vol. 12, No. 4, Pp. 45–57. DOI: 10.18721/JCSTCS.12404

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Одной из основных технологических операций на машиностроительных предприятиях является раскрой листового металла на определенные заготовки. При этом использование остатков материала после раскроя влияет на значение технологических затрат производимой продукции, а также на другие экономические и технические показатели операционной деятельности предприятия. Поэтому задача увеличения коэффициента использования листового металла актуальна для машиностроительных предприятий.

Коэффициент использования листового металла определяется как численное отношение массы металла в готовом изделии к массе металла, израсходованного на производство этого изделия. Задача его увеличения может решаться применением методов рационального раскроя исходного листового материала и использованием остатков листового металла после раскроя в последующих технологических процессах. Рациональное управление деловыми остатками в совокупности с освоением методов рационального раскроя имеет большое значение и в области ресурсосберегающих технологий, поскольку его применение

напрямую ведет к экономии исходного материала и к сокращению отходов технологических процессов.

Постановка и описание задачи исследования

Под раскроем листового металла понимают принятое расположение контуров заготовок на исходном листе материала. При этом для повышения коэффициента использования металла лица, ответственные за раскрой, стараются организовать раскрой таким образом, чтобы он обеспечивал минимальный расход исходного материала.

Математически задача рационального раскроя является NP-трудной задачей, под которой понимается наиболее выгодное в определенных условиях расположение геометрических объектов в заданных областях.

Задачу раскроя как задачу оптимизации можно определить следующим образом. Пусть A_1, A_2, \dots, A_n – это заготовки, а B_1, B_2, \dots, B_m – области их размещения. При этом расположение каждой конкретной заготовки A_i определяется тремя координатами x_i, y_i, ϕ_i , где x_i, y_i – это абсцисса и ордината фиксированной точки, а ϕ_i – угол поворота заготовки на плоскости. Тогда задача раскроя сводится к определению параметров размещения заготовок, при ко-

торых некоторая целевая функция $F(x_1, y_1, \varphi_1, x_2, y_2, \varphi_2, \dots, x_n, y_n, \varphi_n)$ достигает своего экстремума. При этом должны выполняться условия размещения заготовок внутри одной из областей размещения B_1, B_2, \dots, B_m , условия взаимного непересечения заготовок и условия, определяемые технологическими особенностями процесса раскроя, т. е.

$$F(x_1, y_1, \varphi_1, x_2, y_2, \varphi_2, \dots, x_n, y_n, \varphi_n) \rightarrow \text{extr}, \quad (1)$$

$$f1_{ij}(x_i, y_i, \varphi_i, x_j, y_j, \varphi_j) \geq 0; \quad (2)$$

$$i \neq j; \quad i, j = 1, 2, \dots, n,$$

$$f2_i(x_i, y_i, \varphi_i) \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$f3_l(x_1, y_1, \varphi_1, x_2, y_2, \varphi_2, \dots, x_n, y_n, \varphi_n) \geq 0; \quad (4)$$

$$l = 1, 2, \dots, L,$$

где (2) – условия взаимного непересечения объектов, (3) – условия расположения в области размещения, (4) – прочие условия. В нашем случае целевой функцией F является функция, значение которой равно коэффициенту использования металла k :

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{P}, \quad (5)$$

где S_i – площадь i -й заготовки; P – суммарная площадь использованного листа металла.

Ограничения (2)–(4) в аналитическом виде неизвестны, по этой причине для решения задачи раскроя не существуют аналитические методы решения. При решении такого рода задач используются в основном приближенные вычислительные методы. Точные методы в данном случае применимы лишь к задачам с небольшой размерностью n и с сильными ограничениями на геометрию заготовок.

Существует множество теоретических трудов и практических разработок, посвященных применению алгоритмов рационального раскроя промышленных материалов. Первыми отечественными работами, положившими начало исследованиям в области методов рационального раскроя, были работы Л.В. Канторовича и В.А. Залгалера. На заре научных поисков в области

рационального раскроя многие предлагаемые способы оптимизации были основаны на линейных моделях и методах линейного программирования [1]. Позже были разработаны точные методы, с использованием методологии «ветвей и границ», описанные в работах И.В. Романовского. Сеточный метод генерирования раскроев с максимальной оценкой предложен Э.А. Мухачевой. В настоящее время для решения задач раскроя чаще применяются простые однопроходные и многопроходные эвристики, а также метаэвристические алгоритмы, такие как генетический алгоритм или алгоритм поиска с запретами. Исследованием задачи раскроя-упаковки занимается научная группа ESICUP – Euro Special Interest Group on Cutting and Packing (Европейская специальная группа по задачам в области раскроя упаковки), которая проводит ежегодные международные конференции [2–6].

Поскольку по вопросам рационального раскроя исследователями накоплен большой теоретический материал, то это привело к тому, что на сегодняшний день рынок информационных технологий предлагает удобное программное обеспечение (ПО) с широким функционалом, способствующее оптимизации фигурного раскроя с помощью различных математических алгоритмов. Такого рода ПО предназначено для создания карт раскроя и вывода управляющих программ. Оно относится к классу CAD/CAM-систем, позволяющих проектировать на ЭВМ карты раскроя и формировать управляющие программы для оборудования с ЧПУ. Примерами таких программных средств являются: Техтран, Интех-Раскрой, Сириус, Астра Раскрой, T-Flex, Lantek Expert, Wrykrys, Aptia Solutions, ProNest, Mazak Smart System и др. Многие из этих программных продуктов позволяют сохранить остаток раскроя, но ни один из них не оказывает помощи специалисту, ответственному за раскрой, в принятии решения по отнесению остатка раскроя в группу деловых или неделовых остатков, т. е. не реализуют СППР. Актуальность данного вопроса и предложения по организаци-

онно-экономическим особенностям его решения отмечены в статьях [7, 8]. Актуальность разработки СППР также подтверждена работами [9–15].

При производстве продукции из деловых остатков целесообразно определенным образом организовать процессы маркировки, хранения, учета и поиска остатков. По этой причине для выработки решения по отнесению остатка раскроя в группу деловых или неделовых материальных ресурсов необходимо взаимодействие применяемой CAD/CAM-системы и учетной системы предприятия, которая относится к классу ERP-систем. ERP-системы располагают достаточной информацией о ресурсах предприятия для формирования решения по сортировке остатков раскроя листового металла на деловые и неделовые. Многие CAD/CAM-системы и ERP-системы имеют общие интерфейсы взаимодействия для обмена информацией. Но интеграция этих программных средств, позволяющая решать более сложные задачи, связанные с формированием оперативных решений в условиях единичного и серийного производства, как правило, отсутствует. Поэтому задача исследования заключается в разработке методики сортировки остатков раскроя листового металла и построении программного комплекса на базе разработанной методики. Программный комплекс включает в себя систему поддержки принятия решений, помогающую в оперативном формировании оптимальных карт раскроя и оперативной и обоснованной сортировке остатков раскроя по группам деловых и неделовых остатков с целью увеличения коэффициента использования листового металла.

Основные функции программного комплекса в части управления материальными ресурсами листового металла

Программный комплекс, объединяя в себе CAD\CAM-систему, ERP-систему и СППР сортировки остатков раскроя, выполняет ряд функций. Типовой функционал CAD\CAM-системы позволяет:

- оптимальным образом размещать изделия задания на раскрой на листах метал-

ла, при этом учитывая технологические ограничения раскроя, например, расстояния до края листа и между деталями;

- осуществлять автоматическое программирование обработки листа за счет встроенного постпроцессора;

- сохранять в базу данных неиспользованную часть листа для проверки на возможность его дальнейшего использования;

- формировать выходные документы (карту раскроя листа, спецификацию раскроя листа, спецификацию задания на раскрой).

Подсистема «Управление заготовительным производством», входящая в состав ERP-системы, расширяет базовый функционал программного комплекса и позволяет:

- производить штрихкодирование изделий и деловых остатков;

- организовывать учет остатков листового металла после раскроя и материальных затрат на производство продукции;

- оценивать затраты на резку листового металла;

- автоматически подбирать цельные листы металла и деловые остатки, подходящие для задания на раскрой;

- проводить анализ процесса раскроя за произвольный период средствами специализированных отчетов.

Как СППР по сортировке остатков раскроя, подсистема «Управление заготовительным производством»:

- оказывает помощь пользователям в принятии решения по сортировке остатков на деловые и неделовые;

- производит переоценку деловых остатков на складе с целью выявления остатков, хранение которых становится экономически не выгодно.

Реализация программного комплекса

Методика сортировки остатков раскроя листового металла в группы деловых и неделовых остатков раскрывается далее в статье через описание алгоритмов функционирования программных модулей, составляющих программный комплекс и реализующих предложенную методику [7, 8].



Рис. 1. Структурная схема программного комплекса
 Fig. 1. The structural diagram of the software package

С функциями, связанными с рациональным раскроем, справляется CAD/CAM-система, входящая в программный комплекс. Реализация оперативного, управленческого и бухгалтерского учета, реализация соответствующей отчетности и планирования легла на ERP-систему. Причем качество предоставляемой пользователю отчетности зависит от данных, собираемых ERP-системой, интерфейсов взаимодействия, входящих в состав комплекса систем, а также от алгоритмов работы СППР. Общая структурная схема программного комплекса представлена на рис. 1.

Графическое изображение взаимодействия информационных систем и пользователей в рамках процесса идентификации и сортировки остатков раскроя листового металла с помощью UML Activity diagram представлено на рис. 2 [8, 9].

Взаимодействие систем осуществляется с учетом экономических аспектов сортировки и хранения остатков раскроя. Итоговое отнесение остатков раскроя в группу деловых или неделовых материальных ресурсов осуществляется на основании сравнения изменения чистого дохода в зависимости от производства продукции из остатков раскроя или их реализации внешним организациям.

Далее более подробно рассмотрим входящие в программный комплекс системы. На рис. 3 представлена структурная схема CAD/CAM-системы в рамках реализованного программного комплекса.

Структура CAD/CAM-системы

Структуру типовой CAD/CAM-системы составляют отдельные программные модули. Модуль проектирования изделий позволяет создавать детали и заготовки на основе шаблонов или полностью ручным формированием контуров. База данных CAD/CAM-системы синхронизируется с базой данных разрабатываемой подсистемы «Управление заготовительным производством» ERP-системы. В базе данных CAD/CAM-системы хранятся изделия, которые могут быть импортированы из других систем, комплекты изделий, цельные листы исходного материала, возвратные остатки. Модуль раскроя листового металла позволяет осуществить рациональное размещение деталей и заготовок на цельном листе металла или листе возвратного остатка по заданию на раскрой. После того как изделия размещены на листе, модуль САМ программирует обработку. По завершении обработки CAD/CAM-система формирует выходные документы: карту раскроя, спецификацию раскроя и спецификацию задания на раскрой.

Структура ERP-системы

Структура ERP-системы значительно сложнее. Для более подробной отчетности и более точного прогнозирования в части использования деловых остатков, чем могут предложить методы, представленные в существующих ERP-системах, типовой функционал используемой ERP-системы был доработан.

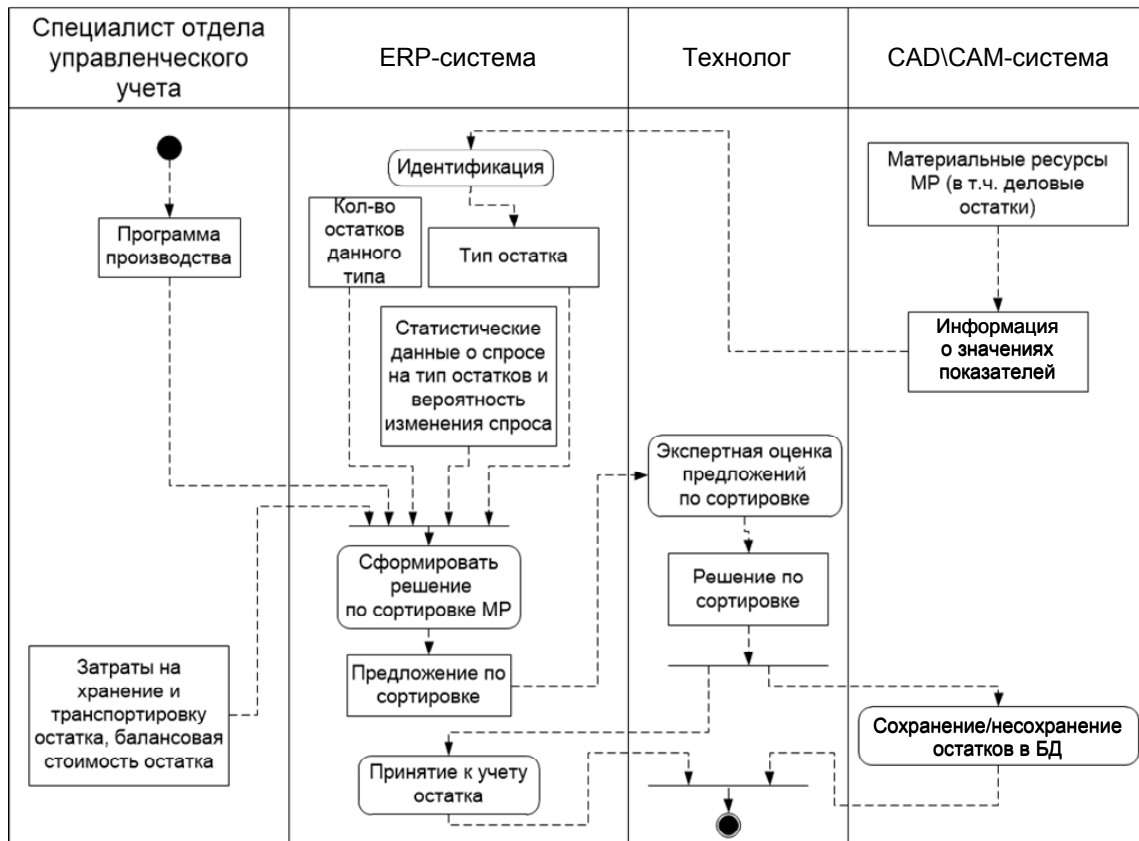


Рис. 2. Процесс идентификации и сортировки остатков раскроя листового металла
Fig. 2. The process of identification and sorting of sheet metal cutting residues

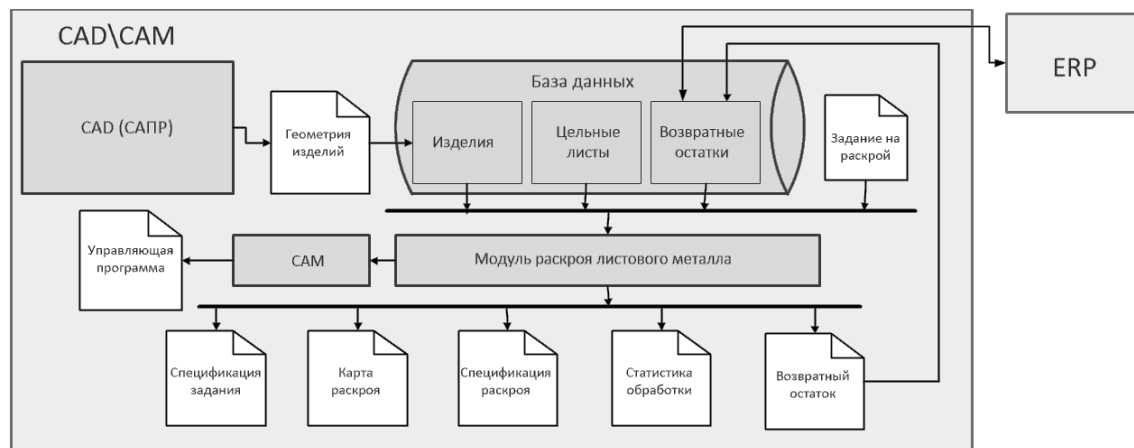


Рис. 3. Структурная схема CAD\CAM-системы в рамках разрабатываемого программного комплекса
Fig. 3. The structural diagram of the CAD\CAM-system in the framework of the developed software package

Многие ERP-системы имеют возможность конфигурирования, т. е. возможность разработки прикладных решений и модулей на базе платформы, на которой построена сама ERP-система. Состав прикладных механизмов платформы ERP-систем, как прави-

ло, ориентирован на решение задач автоматизации учета и управления предприятием и позволяет разработчику решать самый широкий круг задач складского, бухгалтерского, управленческого учета, анализа данных и управления на уровне бизнес-процессов.

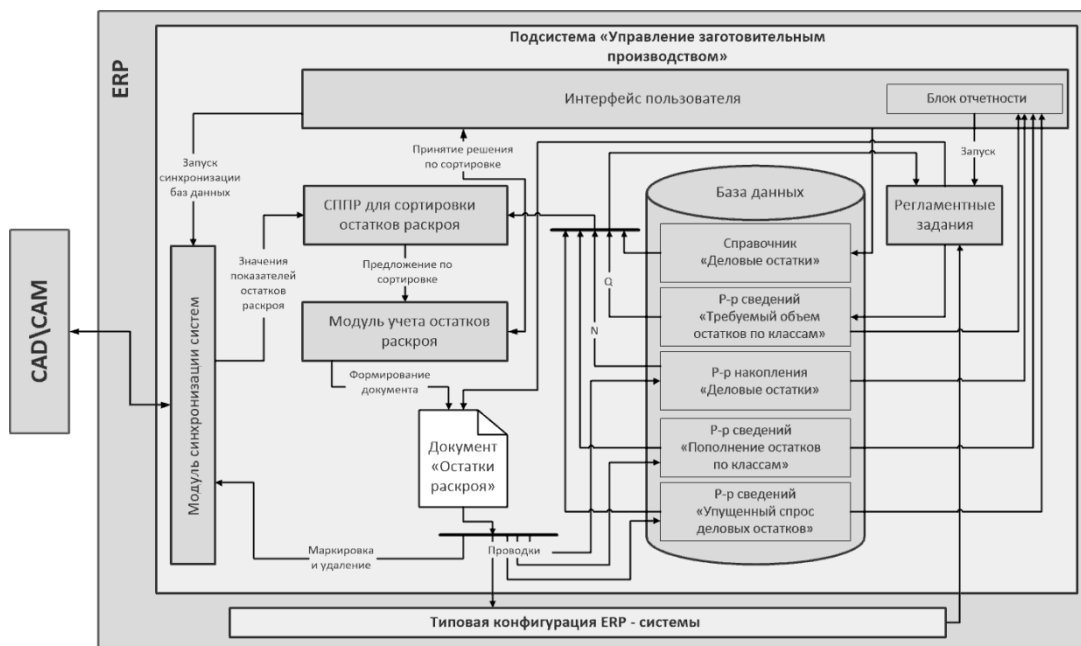


Рис. 4. Структурная схема ERP-системы в рамках разрабатываемого программного комплекса
 Fig. 4. The structural diagram of the ERP-system in the framework of the developed software complex

ERP-система данного программного комплекса строится на базе технологической платформы «1С: Предприятие 8». Для реализации предложений, в целях повышения коэффициента использования листового металла, типовая структура ERP-системы дополнена подсистемой, реализующей управление заготовительным производством. Дополнительная подсистема «Управление заготовительным производством» позволяет расширить функциональные возможности программного комплекса в части реализации СППР сортировки остатков раскроя листового металла на деловые и неделовые, переоценки остатков, хранящихся на складах, а также взаимодействия CAD/CAM и ERP-систем. Структурно подсистема «Управление заготовительным производством» строится из взаимодействующих программных модулей, каждый из которых выполняет свою собственную функцию. Структура подсистемы «Управление заготовительным производством» и ее место в ERP-системе представлены на рис. 4.

Рассмотрим модули, из которых строится подсистема «Управление заготовительным производством».

Модуль синхронизации систем. Назначение модуля синхронизации систем сводится к обеспечению взаимодействия между CAD/CAM-системой и ERP-системой, путем реализации двусторонней синхронизации и обеспечения копирования актуальных изменений из одной системы в другую. Данный модуль позволяет обратиться к базе данных CAD/CAM-системы и выбрать из нее значения показателей тех возвратных остатков, по которым еще не принято решение: являются ли они деловыми или неделовыми. Значения показателей таких остатков модуль синхронизации передает модулю СППР для дальнейшей обработки и формирования рекомендации по сортировке. С помощью модуля синхронизации также осуществляется удаление из базы данных CAD/CAM-системы тех возвратных остатков, которые были признаны СППР неделовыми, и производится маркировка деловых остатков в CAD/CAM-системе в соответствии с их маркировкой в ERP-системе. С помощью данного модуля по запросу пользователя производится сравнение данных в информационных системах программного комплекса, что позволяет

выявить и своевременно обработать обнаруженные расхождения данных в CAD/CAM- и ERP-системах.

Распространенный и достаточно простой способ взаимодействия систем – использование общей базы данных. В условиях реализуемого программного комплекса наиболее подходящим является совместное использование базы данных CAD/CAM-системы самой CAD/CAM-системой и ERP-системой. Такой способ реализации взаимодействия характеризуется простотой реализации, не требующей включения в разрабатываемый комплекс дополнительных программных средств, надежностью и пропускной способностью канала связи информационных систем.

База данных. База данных подсистемы «Управление заготовительным производством» входит в состав базы данных ERP-системы. Рассмотрение базы данных можно провести, проанализировав только логические элементы базы, доступные пользователю, не вдаваясь в подробности относительно способа хранения данных, т. к. структуру данных на физическом уровне определяет сама платформа, на которой строится конфигурация ERP-системы. Множество таблиц и полей таблиц базы данных определяется типом объекта метаданных верхнего уровня (константы, справочники, документы, перечисления, регистры и др.), а также составом и типами подчиненных им объектов метаданных.

Для учета и регистрации хозяйственных операций на предприятиях применяют разнообразные по форме, содержанию и способу отображения информации учетные регистры. Обычно под регистром понимают различные виды таблиц, в которые записываются данные с первичных документов. В дальнейшем данные регистров используются для анализа хозяйственной деятельности предприятия. По данным регистров строятся отчеты, которые суммируют эти данные и показывают пользователю. В некоторых ERP-системах, в частности, построенных на платформе «1С: Предприя-

тие», документы записывают свои данные в такие регистры, которые сами суммируют результаты, чтобы отчет отобразил заранее посчитанные итоги. Существуют различные виды реализации регистров. Остановимся лишь на видах, реализующихся в базе данных подсистемы «Управление заготовительным производством». Регистры сведений позволяют хранить произвольные данные в разрезе нескольких измерений. Периодические регистры сведений позволяют хранить данные не только в разрезе указанных измерений, но и в разрезе времени. Регистры накопления реализуют учет движения средств, позволяют накапливать числовые данные в разрезе нескольких измерений. В разрабатываемом программном комплексе в регистре сведений накапливается информация об остатках товаров в разрезе номенклатуры и склада.

В рамках реализации подсистемы «Управление заготовительным производством» в состав конфигурации ERP-системы добавляется регистр накопления «Деловые остатки», который служит для определения количества деловых остатков определенного класса на определенный момент времени. Кроме того, по данному регистру можно узнать статистику потребления остатков определенного класса за выбранный период. Записи в данном регистре осуществляются в разрезе классов остатков раскроя, периода и вида движения по регистру: приход или расход.

Кроме регистра накопления в систему добавляются регистры сведений. В периодическом регистре сведений «Упущенный спрос деловых остатков» регистрируются те случаи, когда рациональнее использовать остаток определенного класса вместо цельного листа металла. Решение о рациональности использования остатка принимает САМ/CAD-система. Измерениями регистра являются период и класс остатка, а ресурсом – количество.

В периодическом регистре сведений «Пополнение классов остатков» фиксируется получившееся в результате раскроя количество остатков каждого класса.

Периодический регистр сведений «Требуемый объём остатков» необходим для определения требуемого в конкретный момент времени количества деловых остатков каждого класса. Состав измерений и ресурсов у регистров «Пополнение классов остатков» и «Требуемый объём остатков по классам» такой же, как у регистра «Упущенный спрос деловых остатков».

Помимо регистров в базу данных подсистемы «Управление заготовительным производством» входит справочник «Остатки раскроя», который служит для связи классов остатков с исходными листами металла и для хранения диапазона значений показателей, характеризующих конкретный класс остатков.

Модуль СППР подсистемы «Управление заготовительным производством». Предназначен для сортировки остатков раскроя в группы деловых и неделовых остатков. Данный модуль с помощью встроенного алгоритма формирует предложение по сортировке, с которым пользователь может согласиться или не согласиться. На вход СППР от модуля синхронизации систем поступают значения параметров возвратных остатков. На основании этих значений СППР осуществляет деление возвратных

остатков на определенные классы. Далее для определения того, является ли остаток деловым, анализируется класс остатков, к которому принадлежит данный остаток. СППР принимает решение о том, что остаток является деловым в том случае, если требуемое количество остатков данного класса больше, чем имеющийся на складе запас. Требуемый объём остатков конкретного класса и количество остатков на складах модуль СППР получает, обратившись к базе данных модуля «Управление заготовительным производством». В базе данных копится статистика пополняемости склада остатками по классам и статистика упущенного спроса на остатки.

Также база данных подсистемы «Управление заготовительным производством» содержит таблицу значений требуемого объёма остатков каждого класса на определенную дату (регистр сведений «Требуемый объём остатков по классам»). Модуль СППР соотносит значение этой таблицы со значением количества остатков на складах и однозначно определяет, является ли возвратный остаток в настоящий момент времени деловым. Блок-схема формирования предложения по сортировке остатков раскроя представлена на рис. 5.

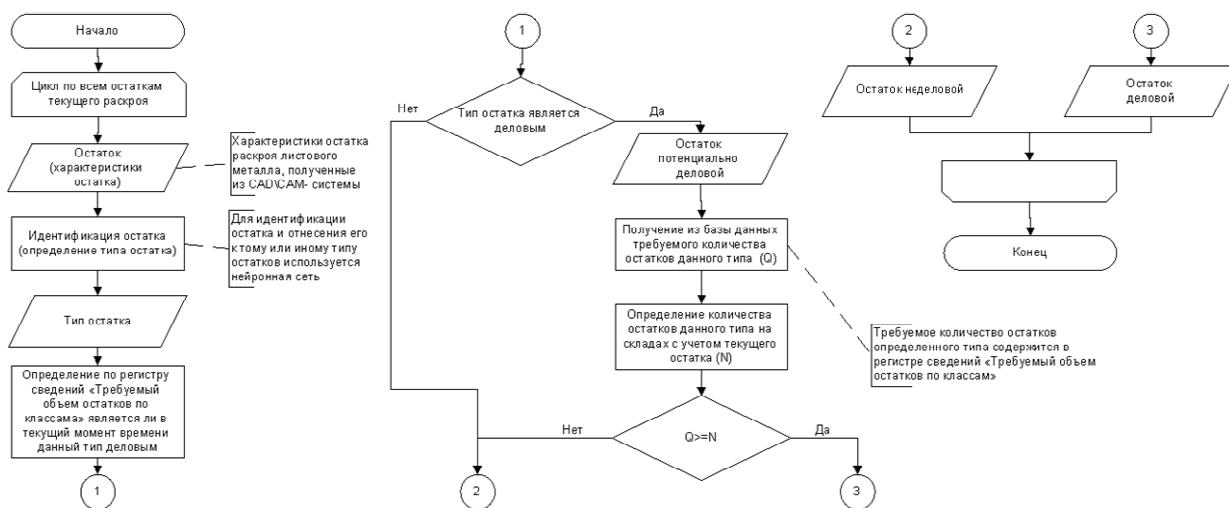


Рис. 5. Блок-схема формирования предложения по сортировке остатков раскроя модулем СППР

Fig. 5. The block diagram of the proposal for sorting residual cutting module DSS

После того как предложение по сортировке остатков сформировано СППР и одобрено пользователем, решение поступает в модуль учета остатков раскроя, где информация по остаткам обрабатывается дальше на основании принятого решения. Следует отметить, что при отнесении остатка в группы деловых и неделовых материальных ресурсов, итоговое решение необходимо принимать с учетом изменения чистого дохода предприятия.

Для отнесения остатков раскроя к тому или иному классу, СППР может использовать различные методы интеллектуального анализа данных: ассоциативные правила, деревья решений, генетические алгоритмы, системы обработки экспертных данных, искусственные нейронные сети и др. В реализуемом программном комплексе, в условиях нечеткости геометрических параметров делового остатка, подходящим методом классификации является использование нейронных сетей [9–12].

Модуль учета остатков раскроя. Служит для сохранения в системе остатков, признанных деловыми, и удаления неделовых остатков. Сначала одобренное пользователем решение по сортировке остатков поступает в данный модуль из модуля СППР. Результатом работы модуля учета остатков раскроя в ERP-системе является документ «Остатки раскроя», на основании которого в дальнейшем создаются типовые учетные документы для оприходования остатков раскроя. Документ «Остатки раскроя» входит в состав подсистемы «Управление заготовительным производством» и делает записи в регистр накопления «Деловые остатки», фиксирует в регистре сведений «Пополнение классов остатков», какое количество остатков каждого класса получилось в результате раскроя. После записи перечисленных регистров деловые остатки маркируются в базе данных CAD/CAM-системы в соответствии со своим классом, а неделовые остатки удаляются из CAD/CAM-системы. Маркировка и удаление в CAD/CAM-системе осуществляется при помощи модуля синхронизации систем.

На основании документа «Остатки раскроя» пользователь в дальнейшем создает учетные документы для принятия к учету деловых и неделовых остатков. Создание типовых учетных документов на основании документа «Остатки раскроя» избавляет пользователя от повторного ввода данных, которые уже хранятся в информационной базе. Кроме того, документ «Остатки раскроя» позволяет сделать подсистему управления заготовительным производством независимой от типовой конфигурации ERP-системы, что значительно облегчает интегрирование данной подсистемы в ERP-систему за счет минимальных изменений типовых механизмов и объектов конфигурации ERP-системы. Используемый принцип минимального вмешательства в типовую конфигурацию позволяет внедрять подсистему управления заготовительным производством в ERP-системах различных предприятий. Таким образом обеспечивается тиражирование данного программного решения.

Модуль регламентных заданий. Помимо перечисленных модулей, в состав подсистемы «Управление заготовительным производством» входит модуль регламентных заданий. Регламентные задания – это процедуры, которые выполняются по заданному расписанию, либо по запросу пользователя.

В подсистеме «Управление заготовительным производством» реализуется два регламентных задания. Первое регламентное задание – это «Расчет потребности в остатках каждого класса». Его целесообразно выполнять при планировании производства. Данное задание делает запись в регистр сведений «Требуемый объем остатков по классам». Второе регламентное задание – «Переоценка хранящихся деловых остатков». Переоценка хранящихся остатков необходима, поскольку может изменяться номенклатура производимых заготовок, а также затраты на хранение остатка. Данное регламентное задание формирует отчет об экономической целесообразности хранения остатков различных классов.

Интерфейс пользователя. Возможность централизованного администрирования подсистемы «Управление заготовительным производством» предоставляет интерфейс пользователя. Он позволяет пользователю запускать регламентные задания, настраивать расписание их выполнения, реализует диалоговый режим работы модуля СППР и формирование документа «Остатки товаров». В интерфейс пользователя также входит блок отчетности, позволяющий производить анализ операций заготовительного производства на основании записей регистров.

Заключение

В результате исследования рассмотрены способы увеличения коэффициента использования листового металла.

Предложена методика сортировки остатков раскроя листового металла в группы деловых и неделовых материальных ресурсов, которая предполагает идентификацию остатков на основе оценки значений показателей, характеризующих остатки раскроя.

На основе предложенной методики спроектирован программный комплекс

управления материальными ресурсами листового металла с элементами СППР, помогающий снизить удельные технологические затраты и оптимизировать структуру затрат машиностроительного предприятия. Входящая в состав программного комплекса СППР позволяет принимать оперативные и обоснованные управленческие решения при отнесении остатков раскроя листового металла в группу деловых или неделовых остатков. Апробация методики сортировки материальных ресурсов после раскроя показала увеличение коэффициента использования листового металла в среднем с 0,8 до 0,9. Следовательно, при производстве одинакового объема продукции исходных материальных ресурсов листового металла требуется меньше примерно на 11 %, а удельные операционные затраты на листовую металл снижаются примерно на 10 % (при учете неделовых материальных ресурсов по цене металлолома). Подобные значения показателей эффективности ожидаются и при промышленной эксплуатации программного комплекса в условиях машиностроительных предприятий по производству емкостного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Новосибирск: Наука, 1971. 300 с.
2. Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В. Модели и методы расчета раскроя упаковки геометрических объектов. Уфа: УГАТУ, 1998. 216 с.
3. Мухачева Э.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение АСУ. М.: Машиностроение, 1984. 176 с.
4. Kartak V.M., Mesyagutov M.A., Mukhacheva E.A., Filippova A.S. Local search of orthogonal packings using the lower bounds // Automation and Remote Control. 2009. Vol. 70(6). Pp. 1054–1066.
5. Валиахметова Ю.И., Филиппова А.С. Теория оптимального использования ресурсов Л.В. Канторовича в задачах раскроя-упаковки: обзор и история развития методов решения // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. № 1. С. 186–197.
6. Петунин А.А. Автоматический выбор метода расчета фигурного раскроя с использованием сравнительного анализа алгоритмов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2010. № 5 (316). С. 169–171.
7. Смирнов А.А. Экономические аспекты принятия управленческих решений при идентификации материальных ресурсов листового металла на машиностроительном предприятии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2017. № 6. С. 195–204. DOI 10.18721/JE.10618
8. Смирнов А.А., Шичков А.Н. Организация раскроя листового металла с учетом деловых материальных ресурсов на машиностроительном предприятии // Вестник ЮРГТУ (НПИ). 2017. № 4. С. 22–35. DOI: 10.17213/2075-2067-2017-4-22-35
9. Швецов А.Н., Суконщиков А.А., Кочкин Д.В., Андрианов И.А. Ситуационные интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Курск: Университетская книга, 2018. 250 с.
10. Дохтаева И.А., Суконщиков А.А. Современные методы интеллектуального анализа данных в СППР // Информатизация инженерного

образования: Труды Междунар. науч.-практ. конф. М.: Изд. дом МЭИ, 2016. С. 312–315.

11. **Курейчик В.М., Сафроненкова И.Б.** Разработка архитектуры СППР по выбору методов решения задач компоновки // Информационные технологии. 2017. № 10(23). С. 42–48.

12. **Задорожный А.М., Чуваков А.В.** Положительные аспекты использования СППР, принципы работы и классификация // Теория и практика современной науки. 2017. № 6(24). С. 306–309.

13. **Skorodumov P.V.** Modelling of economic systems with Petri nets // Economic and Social

Changes: Facts, Trends, Forecast. 2014. No. 4. Pp. 253–259.

14. **Wascher G., Haubner H., Schumann H.** An improved typology of cutting and packing problems // European Journal of Operational Research. 2007. Vol. 183(3). Pp. 1109–1130.

15. **Улитин А.В., Суконщиков А.А.** Применение аппарата нейро-нечетких сетей Петри для моделирования СППР // Сб. науч. трудов XII Междунар. науч. конф. Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Курск: Университетская книга, 2015. С. 160–163.

Статья поступила в редакцию 27.01.2019.

REFERENCES

1. **Kantorovich L.V., Zalgaller V.A.** *Ratsionalnyy raskroy promyshlennykh materialov [Rational cutting of industrial materials]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1971, 300 p. (rus)

2. **Mukhacheva E.A., Verkhoturov M.A., Martynov V.V.** *Modeli i metody rascheta raskroya upakovki geometricheskikh obyektov [Models and calculation methods for cutting packaging of geometric objects]*. Ufa: UGATU Publ., 1998, 216 p. (rus)

3. **Mukhacheva E.A.** *Ratsionalnyy raskroy promyshlennykh materialov. Primeneniye ASU [Rational cutting of industrial materials. ACS application]*. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1984, 176 p. (rus)

4. **Kartak V.M., Mesyagutov M.A., Mukhacheva E.A., Filippova A.S.** Local search of orthogonal packings using the lower bounds. *Automation and Remote Control*, 2009, Vol. 70(6), Pp. 1054–1066.

5. **Valiakhmetova Yu.I., Filippova A.S.** Teoriya optimalnogo ispolzovaniya resursov L.V. Kantorovicha v zadachakh raskroya-upakovki: obzor i istoriya razvitiya metodov resheniya [Theory of optimum resource utilization by L.V. Kantorovich in cutting-packing problems: overview and history of development of solving methods]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No. 1, Pp. 186–197. (rus)

6. **Petunin A.A.** Avtomaticheskii vybor metoda rascheta figurnogo raskroya s ispolzovaniyem sravnitel'nogo analiza algoritmov [Automatic selection of a method for calculating shape cutting using a comparative analysis of algorithms]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2010, No. 5 (316), Pp. 169–171. (rus)

7. **Smirnov A.A.** Ekonomicheskiye aspekty prinyatiya upravlencheskikh resheniy pri identifikatsii materialnykh resursov listovogo metalla na

mashinostroitel'nom predpriyatii [Economic aspects of making managerial decisions in the identification of material resources at an engineering enterprise]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskiye nauki [St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics]*, 2017, No. 6, Pp. 195–204. (rus) DOI: 10.18721/JE.10618

8. **Smirnov A.A., Shichkov A.N.** Organizatsiya raskroya listovogo metalla s uchetom delovykh materialnykh resursov na mashinostroitel'nom predpriyatii [Organization of sheet metal cutting taking into account business material resources at a machine-building enterprise]. *Vestnik YuRGU (NPI)*, 2017, No. 4, Pp. 22–35. (rus) DOI: 10.17213/2075-2067-2017-4-22-35

9. **Shvetsov A.N., Sukonshchikov A.A., Kochkin D.V., Andrianov I.A.** *Situatsionnyye intellektualnyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy [Situational Intelligent Decision Support Systems]*. Kursk: Universitetskaya kniga Publ., 2018, 250 p. (rus)

10. **Dokhtayeva I.A., Sukonshchikov A.A.** Sovremennyye metody intellektual'nogo analiza dannykh v SPPR [Modern methods of data mining in DSS]. *Informatizatsiya inzhener'nogo obrazovaniya: trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Proceedings of the Intern. Scientific and Practical Conference on Informatization of Engineering Education]*. Moscow: MEI Publ., 2016, Pp. 312–315. (rus)

11. **Kureychik V.M., Safronenkova I.B.** Razrabotka arkhitektury SPPR po vyboru metodov resheniya zadach komponovki [Decision support system development for the choice of problem-solving procedure of commutation circuit partitioning]. *Informatsionnyye Tekhnologii [Information Technology]*, 2017, No. 10(23), Pp. 42–48. (rus)

12. **Zadorozhnyy A.M., Chuvakov A.V.** Polozhitel'nyye aspekty ispolzovaniya SPPR,

printsipy raboty i klassifikatsiya [Positive aspects of DSS usage, method of procedure and classification of DSS]. *Teoriya i Praktika Sovremennoy Nauki* [Theory and Practice of Modern Science], 2017, No. 6(24), Pp. 306–309. (rus)

13. **Skorodumov P.V.** Modelling of economic systems with Petri nets. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2014, No. 4, Pp. 253–259.

14. **Wascher G., Haubner H., Schumann H.** An improved typology of cutting and packing problems.

European Journal of Operational Research, 2007, Vol. 183(3), Pp. 1109–1130.

15. **Ulitin A.V., Sukonshchikov A.A.** Primeneniye apparata neyro-nechetkikh setey Petri dlya modelirovaniya SPPR [Application of the apparatus of neuro-fuzzy Petri nets for modeling DSS]. *Proceedings of the 12th International Scientific Conf. on Modern Instrumental Systems, Information Technology and Innovation*. Kursk: Universitetskaya kniga Publ., 2015, Pp. 160–163. (rus)

Received 27.01.2019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

УЛИТИН Анатолий Вячеславович

ULITIN Anatoly V.

E-mail: ulitko_onotole@mail.ru

СМИРНОВ Артём Алексеевич

SMIRNOV Artem A.

E-mail: smirnov.artem.a@yandex.ru