

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСКРОЯ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

О.М. Демиденко¹, Е.А. Якимов², Д.А. Денисевич²

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

²Белорусско-Российский университет, Могилев

THE RESEARCH OF RATIONAL CUTTING ALGORITHMS OF SHEET MATERIAL

O.M. Demidenko¹, E.A. Yakimov², D.A. Denisevich²

¹F. Scorina Gomel State University

²Belarusian-Russian University, Mogilev

Рассматривается исследование алгоритмов раскроя листового материала. Представлены результаты исследования трех алгоритмов: первый подходящий, первый подходящий с упорядочиванием и генетический алгоритм. Предложен способ сравнения алгоритмов при решении задач одномерного раскроя по критерию «бесполезный материал».

Ключевые слова: рациональный раскрой материала, алгоритмы раскроя.

The study of rational cutting algorithms of sheet material is considered. The results of the study of three algorithms are presented: the first suitable, the first suitable with ordering and the genetic algorithm. A method for comparing algorithms for solving problems of one-dimensional cutting by the criterion of “useless material” is proposed.

Keywords: rational cutting of material, cutting algorithms.

Введение

Раскрой материалов – технологический процесс получения изделий из листовых материалов (стекло, фанера, металл и др.). Выполняется с учетом наиболее эффективного использования площади листового материала и минимизации отходов производства. В качестве объекта исследования выбран процесс изготовления продукции из листового материала в условиях предприятий с единичным или мелкосерийным типом производства.

Как известно, при раскрое листового материала важным показателем, как для переработчиков, так и для заказчиков их продукции является оптимизация производственных процессов на предприятии, которая заключается в сокращении отходов материала, уменьшении трудоемкости продукции (отсутствии дополнительных операций).

При организации раскроя перед технологами, конструкторами, специалистами управленческого учета стоит задача увеличения коэффициента использования материала с целью снижения технологических затрат, оптимизации структуры затрат (увеличении доли оплаты труда за счет снижения материальных затрат), увеличения объема производства и реализации продукции.

Технология раскроя часто регламентируется специальной технической документацией в виде раскройных карт. При разработке карт раскроя необходимо использовать резервы экономии материалов путем сокращения отходов.

Технологический процесс раскроя происходит следующим образом: на станок подается листовая материал, а в программу управления станком загружается карта раскроя листа (в виде файла в специальном формате).

Общая постановка задачи формулируется следующим образом: имеется прямоугольный листовый материал определенных размеров и прямоугольные изделия с индивидуальными размерами. Для получения изделий лист необходимо раскроить с минимальными отходами.

Математическая постановка задачи заключается в размещении прямоугольных изделий различных размеров на листовом материале заданного размера с минимальными остатками исходного материала при определенных ограничениях, например, геометрические ограничения:

- проверка принадлежности объектов (изделий) к области размещения;
- отсутствие пересечения объектов.

Для оценки эффективности методов решения задачи раскроя необходимо применить ряд количественных критериев. В классической постановке задачи основным критерием оценки эффективности алгоритмов получения карт раскроя является максимальное значение коэффициента использования материала – отношение суммы площадей полученных изделий к сумме площади исходного листового материала [1].

Другими критериями являются: коэффициент делового остатка, коэффициент расхода материала, коэффициент относительной плотности

размещения. Деловым остатком является остаток производства с заданным минимальным линейным размером, который определяется из технологии производства [2]. Коэффициент делового остатка – отношение площади делового остатка к общей площади листового материала; коэффициент расхода материала – дополнение до единицы коэффициента делового остатка; коэффициент относительной плотности размещения – отношение суммарной площади изделий к разности между общей площадью листа и площадью делового остатка.

Также имеют место некоторые частные случаи, для оценки эффективности которых необходимо учитывать, например, дополнительный критерий минимизации площади прямоугольника, который охватывает все изделия на листовом материале. Решение задачи состоит в том, чтобы минимизировать сумму площадей между изделиями внутри этого прямоугольника. Сумма таких площадей считается «бесполезным материалом», поскольку она небольшая и из нее невозможно изготовить какие-либо изделия [3].

1 Формализация задачи исследования

Пусть $N = \{N_1, N_2, \dots, N_n \mid n = |N|\}$ – множество изделий, которое требуется изготовить из листового материала площадью S . Каждое изделие N_i , $i = 1, \dots, |N|$ имеет ширину W_i , длину L_i , площадь $s_i = W_i \cdot L_i$, $0 < s_i \leq S$, $i = 1, \dots, |N|$.

Множество изделий имеет ограничение по площади:

$$\sum_{i=1}^{|N|} s_i \cdot x_i \leq S, \quad (1.1)$$

где x_i – количество изделий i -го типа, $i = 1, \dots, |N|$, размещаемых на листовом материале.

Ограничение на переменные:

$$s_i \geq 0, x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, |N|. \quad (1.2)$$

Целевая функция для минимизации отходов листового материала имеет вид:

$$S - \sum_{i=1}^{|N|} s_i \cdot x_i \rightarrow \min, \quad i = 1, \dots, |N|.$$

Критерий «бесполезный материал» P – разница площади прямоугольника, охватывающего все изделия на листовом материале, и суммы площадей изделий (рисунок 1.1).

При этом множество изделий имеет ограничение по площади:

$$\sum_{i=1}^{|N|} s_i \cdot x_i \leq D, \quad i = 1, \dots, |N|,$$

где D – площадь прямоугольника, охватывающего все изделия на листовом материале (рисунок 1.1).

Ограничение на переменные совпадает с (1.2). Тогда критерий «бесполезный материал» P вычисляется по формуле:

$$P = D - \sum_{i=1}^{|N|} s_i \cdot x_i \rightarrow \min, \quad i = 1, \dots, |N|. \quad (1.3)$$

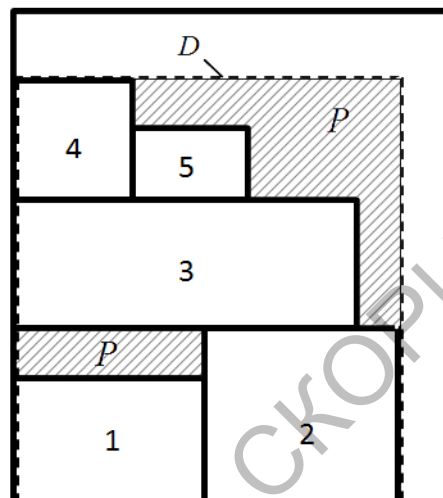


Рисунок 1.1 – Карта раскроя листового материала: P – «бесполезный материал»; D – прямоугольник, охватывающий все изделия на листовом материале

2 Алгоритмы рационального раскроя листового материала

Алгоритм «Первый подходящий». В соответствии с алгоритмом «Первый подходящий» изделия добавляют в карту раскроя по следующему правилу: первое изделие добавляют на листовой материал, начиная с левого нижнего угла. На шаге k пытаются добавить изделие N_i в листовой материал, начиная с нижнего правого угла N_{i-1} изделия. Если изделие входит по ширине листа, то добавляют его, иначе пытаются добавить по длине листа, начиная от верхнего левого угла изделия N_{i-1} . Если же изделие не помещается по ширине и по длине листового материала, его добавляют в список неподходящих изделий [4].

Шаги решения задачи:

Шаг 1. Вводят значения ширины и длины для листового материала.

Шаг 2. Вводят значения ширины W_i и длины L_i для каждого изделия N_i .

Шаг 3. Проверяют, помещается ли изделие N_1 по ширине листового материала. Если да, то добавляют первое изделие на листовой материал в левый нижний угол, если нет – добавляют в список неподходящих изделий.

Шаг 4. Добавляют следующее изделие на листовой материал и проверяют, помещается ли изделие по ширине листового материала, начиная с нижнего правого угла N_{i-1} изделия.

Шаг 5. Если изделие помещается, то добавляют, иначе – пробуют добавить по длине, начиная с левого верхнего угла изделия N_{i-1} .

Шаг 6. Проверяют, помещается ли изделие по длине и по ширине листового материала, если

да, то добавляют в карту раскроя, иначе – в список неподходящих изделий.

Шаг 7. Возврат к шагу 4, пока не будут добавлены все изделия.

Алгоритм «Первый подходящий с упорядочиванием». По алгоритму «Первый подходящий с упорядочиванием» изделия сортируются по убыванию их площади. Шаги решения задачи совпадают с выполнением алгоритма «Первый подходящий». Однако после шага 2 следует дополнительный шаг 2.1, который сортирует изделия в порядке убывания их площади.

Генетический алгоритм – это алгоритм, который позволяет найти рациональное решение аналитически неразрешимых или сложно решаемых проблем. Алгоритм использует естественный отбор и изменения при эволюции, напоминающие биологическую эволюцию, что позволяет отыскать наилучшее решение проблемы [5].

Шаги работы алгоритма:

Шаг 1. Формирование случайной начальной популяции возможных решений.

Шаг 2. Оценка «приспособленности особей» – вычисление целевой функции. Приспособленность каждой особи оценивается с помощью функции приспособленности. В задаче раскроя приспособленность определяется количеством свободного места на листовом материале, поэтому функцией приспособленности будет являться целевая функция для минимизации отходов листового материала.

Шаг 3. Проверяется, было ли получено оптимальное решение (или достаточно хорошее) или выполнены ли другие условия останова. Если да, то алгоритм заканчивается. Если нет – переход к четвертому шагу.

Шаг 4. Размножение путем случайной рекомбинации частей геномов двух особей. Особи в популяции сортируются по убыванию значения целевой функции. Вся популяция разбивается на подгруппы и из каждой подгруппы берутся пары лучших особей-родителей для скрещивания.

Шаг 5. Затем происходит генерация потомков. Генерация потомков означает появление новых особей в процессе кроссинговера, при котором два родителя обмениваются генами для получения новой особи.

Шаг 6. Мутация – это, фактически, процесс клонирования, при котором происходят различные изменения при передаче информации от родителя к потомку. Уменьшают размер популяции до заданного сортировкой по значению целевой функции и отсечением «лишних», наименее приспособленных. Вычисляют целевые функции для мутировавших особей.

Шаг 7. Проверяют сходимость решения и количество поколений. Если условие прекращения алгоритма достигнуто – выход и возврат лучшей «особи». Если нет – переход к шагу 4. В проводимых исследованиях критерием останова является формирование того поколения [6].

В области раскроя особыми выступают изделия. Они, в свою очередь, делятся на две взаимосвязанные хромосомы, первая из которых включает в себя размеры изделия, вторая – параметр взаимосвязанности с соседним изделием. Гены – это данные первой и второй хромосомы вместе для одного изделия.

3 Методика и результаты исследования

Для исследования алгоритмов «Первый подходящий», «Первый подходящий с упорядочиванием» и генетического алгоритма требуется ввод исходных данных, которые могут быть сгенерированы как случайная выборка или описаны вручную. В ходе исследования данные предложено описывать вручную в соответствии с ограничением (1.1). Размеры заказанных изделий и листового материала представлены целыми числами. Если заказаны два одинаковых изделия, то имеется возможность указать их количество для размещения на листовом материале. Условия проведения экспериментов для всех алгоритмов одинаковые. Полученные таким образом в результате исследований экспериментальные данные позволяют провести анализ решения задачи раскроя по критерию (P, m^2) «бесполезная площадь» (1.3) и времени (T, c) ее решения каждым алгоритмом. Предложено провести три эксперимента с каждым алгоритмом.

Эксперимент 1. Заказаны изделия с одинаковыми размерами: $W_i = 1$ м, $L_i = 1$ м, $i = 1, \dots, 10$. Площадь каждого изделия $s_i = 1$ м², $i = 1, \dots, 10$. Изделия укладываются на листовом материале шириной $W = 2$ м и длиной $L = 5$ м без отходов. Эксперимент используется для тестирования программного обеспечения, реализующего алгоритм раскроя.

Эксперимент 2. Размеры изделий изменяются по ширине в пределах от 0,7 м до 1,2 м и по длине от 1,0 м до 1,5 м. Площадь изделий, расположенных на листовом материале шириной $W = 2$ м и длиной $L = 5$ м составляет

$$\sum_{i=1}^7 s_i = 8,25 \text{ м}^2.$$

Эксперимент 3. Размеры изделий изменяются по ширине в пределах от 0,4 м до 1,5 м и по длине от 0,5 м до 1,3 м. Площадь изделий, расположенных на листовом материале шириной $W = 2$ м и длиной $L = 5$ м составляет

$$\sum_{i=1}^{15} s_i = 7,26 \text{ м}^2 \dots$$

В эксперименте 2 заказаны 7 изделий с размерами, отличающимися не более, чем в 2 раза. В эксперименте 3 заказаны 15 изделий со значительными отличиями по размерам до 5 раз (таблица 3.1).

Программное обеспечение алгоритмов реализовано на языке JavaScript. Эксперименты выполнены на компьютере с процессором Intel Core i5 3230M 2,6 ГГц, ОЗУ 6 ГБ (таблица 3.2).

Таблица 3.1 – Исходные данные для второго и третьего экспериментов

Эксперимент 2				Эксперимент 3			
№ изделия (кол-во)	W_i , м	L_i , м	s_i , м ²	№ изделия (кол-во)	W_i , м	L_i , м	s_i , м ²
1–2 (2)	1,0	1,5	1,5	1–5 (5)	0,4	0,5	0,2
3 (1)	0,7	1,5	1,05	6–10 (5)	0,4	0,5	0,2
4 (1)	0,8	1,5	1,2	11–12 (2)	1,0	1,0	1,0
5 (1)	1,2	1,0	1,2	13 (1)	1,5	0,7	1,05
6 (1)	0,8	1,0	0,8	14 (1)	1,0	1,3	1,3
7 (1)	1,0	1,0	1,0	15 (1)	0,7	1,3	0,91

Таблица 3.2 – Результаты исследования алгоритмов раскроя

Алгоритм	Эксперимент 1		Эксперимент 2		Эксперимент 3	
	T , с	P , м ²	T , с	P , м ²	T , с	P , м ²
Первый подходящий	0,004	0	0,006	1,75	0,006	2,29
Первый подходящий с упорядочиванием	0,006	0	0,006	1,75	0,006	1,74
Генетический алгоритм	12,77	0	7,99	1,12	78,81	1,07

4 Обсуждение результатов

В первом эксперименте алгоритмы уложили все изделия на листовом материале без отходов. При этом генетический алгоритм значительно проигрывает по времени, $T = 12,77$ с (таблица 3.2).

Во втором эксперименте алгоритмы «Первый подходящий» и «Первый подходящий с упорядочиванием» уложили изделия на листовом материале за одинаковое время. При этом площадь D (рисунок 1.1) совпадает с площадью S листового материала:

$$S - \sum_{i=1}^7 s_i = 1,75 \text{ м}^2.$$

Генетический алгоритм укладывает изделия более плотно и $D < S$. При этом значительно уступает другим алгоритмам по времени ($T = 7,99$ с).

В третьем эксперименте алгоритм «Первый подходящий» по критерию «бесполезный материал» уступает двум другим: $P = 2,29 \text{ м}^2$ (таблица 3.2). Генетический алгоритм дает лучший результат по критерию «бесполезный материал» ($P = 1,07 \text{ м}^2$) и на порядок худший результат по времени по сравнению со вторым экспериментом ($T = 78,81$ с).

Следует отметить, что с ростом сложности задачи раскроя генетический алгоритм находит лучшее решение в сравнении с остальными алгоритмами, но значительно проигрывает по времени.

Заключение

Выполненные исследования показывают, что генетический алгоритм по быстродействию уступает исследуемым алгоритмам «Первый подходящий», «Первый подходящий с упорядочиванием» и превосходит их по критерию «бесполезный материал». Однако в производственных условиях критерий быстродействия в поиске лучшего решения не является приоритетным для раскроя листовых материалов.

Практическая значимость выполненного исследования заключается в их использовании при организации рационального раскроя листового материала на предприятиях с целью снижения технологических затрат, оптимизации структуры затрат, увеличения объема производства и реализации продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исследование бизнес-процесса учета делового остатка при раскрое листовых материалов* / Р.А. Файзрахманов [и др.] // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – № 7. – С. 143–148.
2. *Марков, В.Н. Критерии эффективности методов решения задачи раскроя-упаковки плоских материалов* / В.Н. Марков, Е.А. Руденко // Научные труды КубГТУ. – 2014. – № S6. – С. 316–322.
3. *Rodríguez, I.S. Aplicación de Algoritmos Genéticos para la optimización del corte de material* / I.S. Rodríguez // Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica Universitat Politècnica de València. Trabajo Fin de Grado. Grado en Ingeniería Informática. – 2015. – P. 14.
4. *Кошлаков, Н.В. Задача геометрического покрытия* / Н.В. Кошлаков // Политехнический молодежный журнал. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2018. – № 1 (18). – С. 3.
5. *Клименко, А.В. Методика динамического ценообразования на основе использования нейросетевого моделирования* / А.В. Клименко, М.В. Яцковец, Ю.С. Карась // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2018. – № 3 (108). – С. 104–108.
6. *Ковалевич, А.А. Исследование стохастических алгоритмов оптимизации для применения в имитационном моделировании систем* / А.А. Ковалевич, А.И. Якимов, Д.М. Албкейрат // Информационные технологии. – 2011. – № 8. – С. 55–60.

Поступила в редакцию 03.02.20.