

УДК 519.8

РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ
РАСКРОЯ

В.А.Залгаллер, Э.А.Мухачева

Одна из широко признанных заслуг Л.В.Канторовича – создание линейного программирования. В 1939 году, уже в первой публикации этого направления Л.В.Канторович связал развитие им методы с решением и экономическим анализом крупных производственных задач. Среди таких задач была и задача оптимального использования комплексного сырья. Ее частным случаем является задача оптимизации раскроя за счет совместного получения разных заготовок при соблюдении их требуемого ассортимента в целом. В 1951 г. вышло первое издание монографии [1], посвященной оптимизации раскроя. В массовом производстве, при наличии полного перечня возможных раскроев составление оптимального плана раскроя оказывается задачей линейного программирования. Но подчас необозримо большое число возможных раскроев, а также специфика реальных производств повлекли необходимость детализации многих типов задач раскроя и развития методов их решения. Обзору этого направления посвящена настоящая заметка.

I. Типична задача раскроя мерного линейного материала на нужный ассортимент длин в массовом производстве. (Примером такой задачи служит продольная резка лент. Здесь раскраиваемым размером является ширина ленты.) Решение возникающей при составлении плана раскроя задачи линейного программирования укладывается в общую схему метода последовательного улучшения. Конкретизация метода, намеченная в [1], позволяет в данном случае вообще не иметь всех возможных раскроев, а на каждом шаге решения генерировать именно раскрой, способный улучшить план. Для этого

в [1] был предложен метод шкалы, предвосхитивший динамическое программирование. В дальнейшем это было реализовано в форме численных алгоритмов сначала В.А.Булавским и М.А.Яковлевой, затем с рядом усовершенствований И.В.Романовским и А.М.Курмангалеевой. Сейчас реальные задачи этого типа решаются стандартными программами в приемлемое время.

2. Аналогичная задача раскроя в массовом производстве мерных прямоугольных листов на гильотинном оборудовании на прямоугольные заготовки в нужном ассортименте при подходе с позиций шкалы оценок рассматривалась Э.А.Мухачевой. В результате испытаний показано, что в общем случае динамическая шкала не реализуема. В реальных задачах нужен слишком большой объем памяти ЭВМ и большое время счета. Даже усовершенствованный И.В. Романовским и А.Б.Грибовым метод склейки все же обладает тем же недостатком. Поэтому здесь развитие численных методов велось по пути создания приближенных алгоритмов генерирования, улучшающих план раскроев. Этот путь оказался весьма эффективным еще потому, что одновременно решалась проблема построения раскроев простой структуры, не выходящих за рамки возможностей заготовительных цехов. Созданный метод условной оптимизации описан в книге [2] и лег в основу используемых программ для ЭВМ.

3. Характерную трехмерную задачу раскроя на параллелепипеде представляет экспортное лесопиление. Здесь ассортимент продукции фиксируется заказом. На эту задачу Л.В.Канторович специально обращал внимание. В этом случае роль отдельного раскроя играет пропуск отсортированной по диаметру партии бревен через раму с одной установкой пил (поставом). При этом выход продукции носит стохастический характер. Возможны десятки тысяч различных поставов. Под руководством И.В.Соболева в КарНИИЛП создан комплект гибких программ, позволяющих не только составлять распиловочные планы. С их помощью решаются и задачи оптимизации договорного ассортимента, задачи распределения заданий между заводами, переключения с оптимизации по кубатуре на оптимизацию по ценам и т.п. (см. [3]). Сопоставление созданных в СССР программ с программами скандинавских фирм (также внедривших методы Л.В.Канторовича) показало преимущества советского математического обеспечения.

4. Свообразные задачи возникают при поступлении на раскрой линейных материалов смешанных длин. Здесь возможны приемы поч-

ти безотходного использования таких материалов. Приемы, описанные в [1] и им подобные, широко используют при настилах тканей. В машиностроении они пока еще используются редко.

5. Особо массовым является раскрой материалов смешанных длин при изготовлении проката в металлургии. Здесь первым шагом оптимизации раскроя было создание автоматизированной системы Сталь-I (конструктор В.Л.Эпштейн). Система осуществляла обмер получаемого раската до его выхода на резку и автоматический раскрой на тот из допустимых (в поле допуска) размер, который не даст потерь на некратность.

Разнообразие технологических цепочек металлургического производства, включающего несколько последовательных станов, промежуточные нагревы и неоднократный раскрой, потребовало сквозной оптимизации раскроя (с учетом влияния выбираемых решений на все этапы последующего металлургического передела). Такие системы АСУ-Прокат разработаны в ИПУ АН СССР (исполнитель А.Б. Лагутин) по совместной тематике СЭВ. Все эти системы имеют высокую окупаемость.

6. Проблемы раскроя в процессе производства материала остро стоят на стекольных заводах, где стекло получают в виде широкой быстро движущейся ленты. Возможен автоматизированный поиск пороков стекла, выбор и исполнение раскроя с минимальными отходами. Такие экспериментальные системы создавались и успешно испытывались В.Ф.Дирковым во Владимирском политехническом институте [4,5], но их внедренных рабочих вариантов пока нет, хотя во Франции и Японии подобные системы функционируют.

7. В машиностроении немассовость (даже средняя серийность) производства налагает на раскрой специфические ограничения. Здесь оказался особенно эффективным "рулонный" принцип построения плана раскроя, предложенный в [1] и [6]. Построенные по этому принципу планы сохраняют за цехом большую маневренность в очередности заготовок, выборе партий раскроя, позволяют объединять листы со значительными колебаниями длины.

8. В единичном производстве, когда заданы не пропорции ассортимента, а количества (небольшие) требуемых именно сегодня заготовок, задача составления плана раскроя становится задачей целочисленного программирования. Обычно она сложна для точного решения даже при линейном или на прямоугольные заготовки рас-

крое. Однако и для этих задач в Уфимском авиационном институте (УАИ) разработаны быстрые приближенные эвристические методы, так называемые "послойные" алгоритмы (см. [2, 6]). В ЛПУ С.Б. Кацевым для решения задач линейного раскроя разработан численный метод с использованием политики ветвей и границ.

9. Таким образом, уже сейчас весь основной комплекс задач линейного и прямоугольного раскроя обеспечивается единым пакетом прикладных программ раскроя, созданным в УАИ под руководством Э.А. Мухачевой. Пакет включает учет многих технологических факторов и предусматривает выдачу технологической документации. Его распространение, приспособление к нуждам конкретного потребителя и сервисное обслуживание ведется также ИПО Центрпрограммсистем.

10. Алгоритмическое и программное обеспечение, осуществляющее эффективный поиск рациональных упаковок различных трехмерных прямых параллелепипедов в прямоугольную емкость, разработано в ИПМаш АН УССР А.Д. Пономаренко.

11. Особое направление в условиях массового производства составляют задачи регулярного (закономерно повторяющегося) размещения фигурных заготовок. Здесь первым было решение задачи о размещении одинаковых кругов в прямоугольном листе [1]. Наибольшую завершенность имеет программное решение задачи о выборе положения фигурных заготовок при однорядной и двухрядной штамповке. Эти задачи решены (разными методами) в НИИ ПМК Горьковского университета под руководством Л.Б. Беляковой и в ИПМаш АН УССР под руководством Ю.Г. Стояна. Решены также задачи оптимального раскроя листа на полосы для подобной штамповки.

Программы оптимизации правильных многорядных упаковок обувных заготовок на рулоне ткани разработаны А.Г. Фесенко.

12. Совместными усилиями НИИ ПМК и УАИ создана система, объединяющая выбор параметров полосы под штамповку с ее оптимальным раскроем вместе с другими прямоугольными заготовками.

13. Значительно сложнее обстоит дело с раскроем фигурных заготовок в единичном производстве. Это — так называемые задачи нерегулярного фигурного раскроя. В этой весьма сложной для полной автоматизации проблеме можно выделить две задачи: построение допустимых (и заслуживающих внимания) вариантов размещения объектов и целенаправленный перебор таких вариан-

тов с целью нахождения рациональных решений. В ИПМаш АН УССР под руководством Ю.Г.Стояна разработано несколько способов построения допустимых вариантов. Эти способы опираются на различные модификации годографа вектор-функции плотного размещения [5,7]. Поскольку составление каждого такого варианта связано с очередностью рассмотрения объектов, то целенаправленный перебор вариантов представляет собой задачу оптимизации функционала на перестановках [7].

Другие подходы исследуются Л.Б.Беляковой в НИИ ПМК.

Прикладные программы этого типа испытываются для конкретных производств В.Д.Высочиним в Ленинграде. Полностью автоматизированной, высоко эффективной и достаточно быстродействующей системы решения задач нерегулярного фигурного раскроя пока не создано.

14. Эффективной оказывается совместная работа человека и ЭВМ. Человек выбирает размещения, вызывая изображения фигурных заготовок и двигая их на экране ЭВМ. После признания выбранного размещения годным ЭВМ автоматически выдает управляющую ленту для реализации раскроя на станке с программным управлением. Такие установки зарубежных фирм успешно эксплуатируются многими нашими заводами. В Свердловске и Москве созданы программы, позволяющие осуществлять такое же составление раскроев с получением управляющей ленты на отечественном оборудовании типа АРМ. На базе ЭВМ СМ 1420 в НПО Центропрограммсистем создан ИПП АРМ Рационального раскроя, который предназначен для автоматизации проектирования и составления управляющих программ для машин тепловой резки металла типа "Кристалл". После предварительного формирования прямоугольников, описывающих одиночные или парные фигуры, следует размещение (без требования сквозных резов) этих прямоугольников на листе. С этой целью используются быстрые эвристические алгоритмы А.И.Липовецкого и А.А.Петунина. Потом осуществляется снятие "прямоугольных рамок" и визуальное уплотнение на экране.

Мы привели лишь часть работ, связанных с обновлением самих методов. Работы по оптимизации раскроя ведутся все более широким фронтом, во многих городах и отраслях производства, и, как и предвидел Л.В.Канторович, их внедрение нарастает с ростом автоматизации самих производств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. - Новосибирск: Наука, 1981.
2. Мухачева Э.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение АСУ. - М.: Машиностроение, 1984.
3. Соболев И.В. Управление производством пиломатериалов. - М.: Лесная промышленность, 1981.
4. Стоян Ю.Г. Размещение геометрических объектов. - Киев: Наукова думка, 1975.
5. Стоян Ю.Г., Гиль Н.И. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов. - Киев: Наукова думка, 1976.
6. Математическое обеспечение расчетов линейного и прямоугольного раскроя// Материалы Всесоюзного семинара. - Уфа, 1981.
7. Стоян Ю.Г., Соколовский В.З. Решение некоторых многоэкстремальных задач методом сужающихся окрестностей. - Киев: Наукова думка, 1980.

Поступила в ред.-изд. отдел
8.08.1986 г.