

УДК 630*36.004:518.5

В.А.Кузнецов

Кузнецов Владимир Алексеевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Ленинградский государственный университет, кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной математики и кибернетики Петрозаводского государственного университета, заслуженный деятель науки Республики Карелия. Имеет свыше 100 печатных трудов в области математического моделирования систем управления в лесопромышленном комплексе.



ЗАДАЧИ РАСКРОЯ И КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены основные особенности задач раскроя и комплектования материалов, наиболее часто используемые в производственных процессах в ЦБП.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажный комбинат, задачи раскроя материалов, задачи комплектования материалов, математические модели.

Прикладные задачи поиска оптимального плана раскроя и комплектования материалов чрезвычайно разнообразны, поскольку эти технологические операции используются в различных производствах лесного комплекса, особенно часто в ЦБП.

Следуя работам [3, 4], определим задачу раскроя как поиск наиболее выгодного способа размещения определенного набора деталей (предметов раскроя) на объектах материала (объектах раскроя). Но поскольку любой ресурс, включая финансовые средства или промежуток времени, можно считать своеобразным материалом, подлежащим раскрою – делению на части, задачу следует конкретизировать. Исследование объектов и предметов раскроя, способов их размещения, критериев эффективности позволяет точнее сформулировать содержание данных задач и классифицировать по определенным признакам.

Известный способ классификации моделей раскроя и упаковки [7], используемый многими авторами, недостаточно полно отражает специфические особенности ЦБП, в частности связи между объектами и предметами раскроя и многочисленные дополнительные ограничения, обусловленные технологией.

Несмотря на то, что задача раскроя не всегда предполагает физическое деление на части, ее логично связать с определенными геометрическими объектами. Независимо от их реальной формы и физических характеристик, следуя технологии производственного процесса, в математической модели могут рассматриваться один, два или три размера объектов и предметов раскроя (длина, ширина и высота). Сложность и метод решения задачи во многом определяются размерностью объекта: это может быть отрезок (одномерный предмет), плоская (конечная или бесконечная) фигура или

объемное тело. Полезно также уточнить формы объектов и предметов раскроя. Для задач, связанных с планированием раскроев в ЦБП, характерны симметричные фигуры: прямоугольники, круги, параллелепипеды, цилиндры.

Конкретизация задачи означает уточнение размеров фигур, они могут быть фиксированными или переменными, конечными или бесконечными. К примеру, прямоугольник имеет два размера: длину и ширину, хотя при расчете диаметра съема тамбура БДМ длина намотанного на него бумажного полотна – величина переменная. При производстве изделий из гофрокартона или листовой целлюлозы предметы раскроя – прямоугольники заданных размеров, а объект (полотно гофрокартона) – полоса, длину которой удобно считать бесконечной. Размеры плоской или пространственной фигуры соответствуют ее осям. Технология раскроя обычно связана с ориентацией этих осей в некоторой системе координат.

Перечень параметров предмета раскроя не ограничивается описанием его геометрических свойств. В математической модели могут быть использованы и другие числовые характеристики: физические свойства (плотность, масса), экономические показатели (рентабельность продукции, доход от ее продажи и др.).

Можно говорить о раскрое:
единственного объекта;
заданного количества объектов одного типоразмера;
неизвестного количества объектов одного типоразмера;
объектов некоторого множества типоразмеров, причем количество экземпляров объектов каждого вида может быть известным, произвольным или определяться границами.

Математические модели и методы решения задач раскроя существенно зависят от выбранного варианта, каждый из которых сложнее предшествующих, поскольку является их обобщением. При таком подходе расширяется возможность выбора целевой функции.

В первом варианте раскрой единственного объекта можно представить как последовательный процесс поочередного выкраивания предметов или деления этого объекта на части, из которых в дальнейшем будут получены заготовки. Назовем эту задачу построением оптимального плана раскроя. В остальных вариантах планирование раскроя каждого объекта неотделимо от раскроев оставшихся объектов.

В наиболее простом случае для описания способов размещения предметов раскроя достаточно перечислить их допустимые перемещения: сдвиги, повороты, симметрии. В задачах управления ЦБП важна ориентация предметов относительно объектов раскроя, поэтому перемещение заготовок чаще всего означает параллельный перенос, иногда дополненный поворотом на 90° . Определим раскрой множества (одинаковых или разных) объектов как совокупность раскроев каждого из них.

В зависимости от условий задачи, критерий эффективности можно связать с расходом материала в натуральном или стоимостном выражении,

количеством выкроенных предметов (заготовок деталей) или суммарным доходом от их реализации, потерями материала и т. п. Независимо от выбора показателей это обычно линейная функция по отношению к количеству израсходованных объектов и полученных предметов раскроя.

Основное содержание задачи – размещение предметов на объектах раскроя – может быть дополнено условиями:

- комплектности предметов и объектов раскроя;
- массовости производства, которое представляет собой альтернативу: не выкраивать предметы данного вида или выкраивать их в количестве не меньше установленной нижней границы;
- соблюдения установленных границ потерь материала;
- ограничений, связанных с массой или другими показателями выкраиваемых предметов;
- усложнения технологии раскроя по сравнению с указанием группы движений.

При соблюдении дополнительных условий в некоторых случаях количество вариантов сокращается и задача упрощается; иногда, не меняя существенно алгоритм, удается «приспособить» его для решения модифицированной задачи. Однако чаще они усложняют задачу раскроя.

Задачу комплектования можно определить как поиск наиболее выгодного способа составления объекта из заготовок определенного набора (предметов). По физическому содержанию эта операция обратна раскрою. Модели и методы решения обеих задач в многом сходны. Условия же прикладных задач весьма разнообразны.

Примером является классическая задача раскроя тамбура БДМ на форматы в предположении линейной зависимости дохода от количества заготовок каждого вида или длины используемой части тамбура. Предполагается, что потери материала пренебрежимо малы, а доход не зависит от очередности кроя, что не всегда верно. Задача эффективно решается средствами динамического программирования.

Иногда постановка и содержание задачи меняются по причинам технологического характера. Например,

- необходимо учитывать толщину среза при крое;
- количество предметов каждого вида в плане раскроя ограничено сверху;
- план раскроя может содержать ограниченное количество предметов различного вида (обычно 2-3 или по числу ножей продольной резки);
- длина остатка раскроя не должна превышать заданного значения;
- материал, из которого состоит объект раскроя, неоднородный, существует шкала оценок качества предметов, выкроенных из его частей. Именно так происходит в случае снижения качества части полотна бумаги из-за технологических неполадок.

Задачи раскроя, связанные с планированием и управлением производственными процессами, включают все перечисленные модификации и их

произвольные комбинации. Изменение условий, как правило, усложняет алгоритмы их решения.

Более сложным является поиск комбинации планов раскроя, сочетание которых обеспечивает все необходимые предметы в количествах, заданных точно или границами. Такие модели часто возникают при разработке систем планирования и управления предприятиями ЦБП и других отраслей промышленности, о чем свидетельствуют следующие примеры.

1. В задаче планирования раскроев и распределения заявок между БДМ объектами являются съемы тамбуров продукции, а предметами – ее форматы. Производительность каждой БДМ, а следовательно, выработка в течение периода планирования, считаются ограниченными, так же как и потребность в разных форматах. Необходимо составить планы раскроя, которые обеспечат выпуск продукции заданного ассортимента и объема с минимальными отходами. Могут рассматриваться БДМ, однотипные или неодинаковые по длине тамбура и другим производственным характеристикам. Наиболее сложный вариант задачи предусматривает учет скорости работы БДМ, плотности и качества продукции.

2. Задача усложняется, если учитывается формат и диаметр рулона бумаги или картона. В этом случае объектом раскроя является прямоугольник, ширина которого равна длине тамбура, а длина ограничена снизу и сверху, пропорциональна объему продукции и определяется скоростью и продолжительностью намотки тамбура. Предметами служат прямоугольники, ширина каждого из них определяется форматом продукции, а длина – диаметром рулона. Содержание задачи можно сформулировать как поиск длины прямоугольника, который кроится на полосы, составляющие приблизительно размер тамбура (но не больше его), а длина по возможности кратна длинам присутствующих в раскрое форматов.

3. В задаче планирования выпуска продукции цеха гофротары предметы раскроя – прямоугольные заготовки деталей тарных ящиков или листы гофрокартона, вырабатываемые гофроагрегатом. В построении планов раскроя существуют некоторые проблемы:

предметами раскроя могут служить не только исходные заготовки, но и их комбинации, подлежащие дальнейшему раскрою;

в состав гофроагрегата входит несколько столов (минимум два), гильотинные ножи которых с собственной фиксированной частотой рассекают направленные на эти столы полосы продольно разрезанного гофрополотна.

4. Трехмерная задача размещения грузов возникает при составлении планов погрузки продукции бумажного производства в транспортные средства (контейнеры, вагоны, трюмы теплоходов). Объектом раскроя является пространство внутри транспортного средства. Для контейнера это параллелепипед, вагона – закругленная сверху фигура, трюма теплохода – многогранная невыпуклая область. Единицей продукции бумажного производства обычно является параллелепипед (кипа бумаги, картона или листовой целлюлозы, упаковка сложенных ящиков или мешков) или круговой цилиндр

(рулон бумаги или картона). Задачу усложняют многочисленные ограничения технологического характера, включая жесткость конструкции, условия погрузки и крепления последних единиц, балансировку груза, обеспечение удобства разгрузки.

5. К числу трехмерных можно отнести также задачу формирования поддонов, на которые слоями укладывают пачки листов или сложенных ящиков. Прочность конструкции обеспечивается чередованием слоев, подобных кирпичной кладке. Слои могут несколько выходить за пределы площади поддона, иметь внутренние пустоты и неодинаковые размеры. Размеры кипы определяются наибольшими размерами слоев. Цель задачи – поиск способа укладки наибольшей объемной плотности. Структура слоя необязательно соответствует гильотинному раскрою. Важный показатель плана размещения – плотность заполнения пространства, занятого поддоном на площади склада. Рассматриваемая задача существенно усложняется требованием устойчивости кипы изделий на поддоне, что возможно только при наличии связей между ними. На практике это достигается чередованием двух взаимно перекрывающихся планов раскроя.

6. В задаче компоновки ячеек на складе готовой продукции требуется не только плотно разместить единицы продукции запланированной номенклатуры, но и обеспечить очередность доступа к каждой из них.

7. Современные системы управления качеством обеспечивают непрерывный контроль продольных и поперечных параметров полотна БДМ, что позволяет рассматривать более сложную задачу распределения форматов вдоль ширины тамбура, а «накатов» – рулонов конечной продукции повышенного качества – по длине полотна. Вследствие неоднородности объекта раскроя эта задача оказывается несколько в стороне от рассматриваемого класса задач, однако ввиду очевидного экономического эффекта она заслуживает внимания. Решение этой задачи не является проблемой в отличие от внедрения программной системы на ее основе, что обусловлено сложностями реализации управлений: перенастройки продольно-резательных машин, организации упаковки, маркировки, складирования и учета продукции.

8. Несмотря на большое количество имеющихся программных систем, остается актуальной проблема выбора поставов и планов раскоя круглых лесоматериалов, обеспечивающих требуемые ассортимент и объем пиловочника. Выработка продукции ведется параллельно сортировке древесины в условиях неопределенности имеющегося количества пиловочника. В отличие от задач, характерных для ЦБП, в основе этой модели находятся планы плоского раскроя.

9. Во всех перечисленных задачах рассматривались однородные объекты раскроя: полотно бумаги, картона или свободное пространство. К задачам раскроя близки некоторые проблемы распределения «неоднородных ресурсов» – комплектования оборудования предприятия, которое может выполнять одну или несколько последовательных операций. Цель подобной

задачи – обеспечить необходимые ресурсы с наименьшими затратами на приобретение или эксплуатацию оборудования.

10. Другая задача характеризует процесс комплектования фанеры из листов шпона. Физическое содержание операции раскроя при этом инвертируется, поскольку объект – лист фанеры – не режется, а составляется из листов шпона различной толщины в соответствии с планами комплектования, строго регламентированными технологией процесса. Цель задачи заключается в определении планов комплектования, обеспечивающих требуемые ассортимент и количество продукции из имеющихся листов шпона.

Для решения перечисленных задач автором разработаны достаточно эффективные алгоритмы [1, 2, 5, 6] и программные комплексы, которые внедрены на Архангельском, Котласском, Кондопожском ЦБК и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов А.Ф. и др. Оптимизация в планировании и управлении предприятиями регионального лесопромышленного комплекса / А.Ф. Булатов, А.В. Воронин, В.А. Кузнецов и др. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – 228 с.
2. Воронин А.В., Кузнецов В.А. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятием ЦБП. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.
3. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. – Новосибирск: Наука, 1972. – 300 с.
4. Канторович Л.В., Романовский И.В. Математические методы в управлении экономикой. – М.: Знание, 1977. – 337 с.
5. Кузнецов В.А. Задачи раскроя в целлюлозно-бумажной промышленности. – СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2000. – 132 с.
6. Кузнецов В.А. Планирование погрузки готовой продукции целлюлозно-бумажного комбината в транспортные средства // Лесн. журн. – 2003. – № 2-3. – С. 133–140. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Dickhoff H. A Typology of Cutting and Parcking Problems // European Journal of Operations Research. – 1995. – Vol. 44. – P. 145–159.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 10.02.04

V.A. Kuznetsov

Tasks of Cutting and Gathering Materials in Production Processes Simulation

Main features of tasks of cutting and gathering materials most often used in the production processes in pulp-and -paper industry are considered.
