

Раздел IV. Автоматизированные системы управления

УДК 621.3.019.3

Л.В. Бондаренко

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Одной из сфер производства, в которой применяются методы исследования операций, является сфера управления запасами энергоресурсами, например запасами угля. Система управления запасами энергоресурсами представляет особый интерес из-за сложности задач и их экономической значимости. Особенности моделей управления запасами энергоресурсов является то, что результирующие оптимальные решения могут быть реализованы в режиме быстрой смены ситуации (когда, например, условия на складах запасов энергоресурсов меняются ежедневно). Применительно к управлению запасами энергоресурсов суть оптимального решения состоит в том, чтобы обеспечить выполнение двух правил:

- правило, позволяющее определить, когда и при наличии каких условий запасы подлежат пополнению;

- правило, позволяющее определить объем пополнения запасов.

Эта стратегия дает возможность рассчитывать время и объем каждого очередного пополнения запасов, т.е. основные параметры управляющего решения. Целесообразно разрабатывать информационно-управляющие системы, позволяющие с применением ЭВМ постоянно следить за текущим уровнем запасов и в надлежащее время заполнять бланк заказа на поставку энергоресурсов с указанием точных количественных параметров.

В соответствии со сложившимися традициями, критерием оптимальности для классических моделей управления запасами считается не ожидаемая прибыль, а ожидаемые затраты [1].

Применительно к энергоресурсам, оптимальной является такая стратегия управления запасами, которая позволяет надлежащим образом сбалансировать затраты на обеспечение поставок, расходы, связанные с содержанием энергоресурсов на складе, и экономические потери от неудовлетворенного (или несвоевременно удовлетворенного) спроса. Каждый из этих трех экономических показателей оказывает влияние как на выбор объема пополнения запасов энергоресурсов, так и на определение сроков оформления соответствующей заявки. Решение относительно сроков пополнения запасов равносильно определению некоторого критического уровня: всякий раз, когда объем запасов, падает ниже этого уровня, предприятие принимает меры для пополнения своих запасов. Изменение количественного показателя, характеризующего критический уровень запасов энергоресурсов, сказывается на взаимозависимости затрат на содержание запасов и потерь от неудовлетворенного спроса.

Задачи управления запасами представляет собой довольно трудный для решения класс задач, где необходимо учитывать большое количество параметров, которые в общем случае имеют сложную зависимость. Отыскание оптимума целевой функции относится к решению задач нелинейного программирования.

Будем рассматривать многопериодную детерминированную однопродуктовую модель управления запасами энергоресурсов с периодическим контролем и непропорциональной (в общем случае) целевой функцией. В качестве математического аппарата применим метод динамического программирования [2], позволяющий на основе рекуррентных соотношений получить оптимальную производственную программу. Данная программа на основе входных параметров, таких как спрос на энергоресурсы, затраты на создание запаса, затраты на хранение, длины планового периода позволяет рассчитать оптимальный объем поставки энергоресурсов, который способен удовлетворить существующий спрос и минимизировать издержки.

Предприятие должно разработать календарную программу выпуска энергоресурсов на плановый период, состоящий из N отрезков. Предполагается, что для каждого из этих отрезков имеется точный прогноз спроса на энергоресурсы.

Время выпуска партии энергоресурсов мало и им можно пренебречь. Получаемые в течение отрезка t энергоресурсы могут быть использованы для полного или частичного покрытия спроса в течение этого отрезка. Для разных отрезков спрос неодинаков. На экономические показатели производства влияют размеры выпуска энергоресурсов. Предприятию бывает выгодно изготовлять в течение некоторого месяца энергоресурсы в объеме, превышающем спрос в пределах этого отрезка, и хранить излишки, используя их для удовлетворения последующего спроса. Хранение возникающих запасов связано с определенными затратами. Затраты обусловлены такими факторами, как проценты на капитал, взятый в займы для создания запасов, арендная плата за складские помещения, страховые взносы и расходы по содержанию запасов. Эти затраты необходимо учитывать и при установлении программы выпуска.

Цель предприятия – разработать такую программу, при которой общая сумма затрат на производство энергоресурсов и на содержание запасов минимизируется при условии полного и своевременного удовлетворения спроса на энергоресурсы.

Введем переменные: x_t – выпуск энергоресурсов в течение отрезка t ; i_t – уровень запасов на конец отрезка t . Спрос на продукцию для отрезка t обозначим D_t . Предполагается, что величины D_t для всех t отображаются неотрицательными целыми числами и что к началу планового периода все D_t известны. Предположим также, что для каждого отрезка t затраты зависят от выпуска энергоресурсов x_t , уровня запасов i_t на конец отрезка t и, кроме того, от значения t . Обозначим затраты на отрезке t $C(x_t, i_t)$. Целевую функцию можно записать в следующем виде:

$$\min_x \sum C_t(x_t, i_t). \quad (1)$$

На значения переменных x_t и i_t наложено несколько ограничений. Во-первых, предполагается целочисленность объемов выпуска энергоресурсов:

$$x_t = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (t=1, 2, \dots, N). \quad (2)$$

Во-вторых, предполагается, что для предприятия желателен нулевой уровень запасов на конец отрезка N :

$$I_N = 0 \text{ (конечный запас равен нулю)}. \quad (3)$$

В-третьих, ставится условие полного и своевременного удовлетворения спроса в пределах каждого месяца, т.е. справедливо линейное ограничение, которое можно будет записать в следующем виде:

$$i_t = i_{t-1} + x_t - D_t,$$

или в более удобном виде:

$$i_{t-1} + x_t - i_t = D_t \quad (t=1, 2, \dots, N), \quad (4)$$

где i_0 – заданный уровень запасов на начало планового периода. Согласно второму вводимому ограничению, обеспечивающему своевременное выполнение предприятием своих обязательств, уровень запасов на начало каждого отрезка и объем выпуска энергоресурсов в течение этого отрезка должны быть достаточно велики для того, чтобы уровень запасов на конец отрезка был бы неотрицательным. На самом же деле требуется не только неотрицательность, но и целочисленность уровней запасов (если предположить целочисленность объемов спроса и выпуска энергоресурсов, то предположение о целочисленности уровней запасов не создает дополнительных трудностей). Таким образом, требуется, чтобы

$$i_t = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (t=1, 2, \dots, N-1). \quad (5)$$

В большинстве практических случаев применения производственных моделей функция затрат $C(x, i_t)$ нелинейна. Для того чтобы решить задачу при нелинейности каждой из величин $C(x, i_t)$, сформулируем ее в терминах динамического программирования.

Будем строить вычислительный процесс от конечного состояния (сделаны все шаги многошагового процесса) к исходному. Конечным состоянием будет начало последнего отрезка планового периода, а исходным – начальный момент первого отрезка (впереди еще N отрезков). При составлении математической модели удобно использовать систему индексов, при которой подстрочный индекс «1» соответствует конечному, а « N » – *начальному* состоянию. Применим следующие обозначения:

d_n – спрос на энергоресурсы на отрезке n , отстоящем от конца планового периода на n отрезков (включая рассматриваемый);

$c_n(x, i)$ – затраты на отрезке n , связанные с выпуском x единиц энергоресурсов и с содержанием запасов, уровень которых *на конец* отрезка равен i единиц.

В этой системе обозначений $d_1 = D_N$ и $d_N = D_1$, а $c_1(x, i) = C_N(x, i)$.

Для принятия текущего решения об объеме выпуска не нужно знать, каким образом достигнут начальный уровень. Учитывая это обстоятельство, введем следующие обозначения:

$f_n(i)$ – стоимость, отвечающая стратегии минимальных затрат на n оставшихся отрезках при начальном уровне запасов i ;

$x_n(i)$ – выпуск, обеспечивающий достижение $f_n(i)$. Согласно (3), уровень запасов на конец планового периода равен нулю, поэтому можно записать, что

$$f_0(0) = 0, \quad (n=0). \quad (6)$$

Затем перейдем к $n = 1$. Начальный уровень запасов i может определяться любым неотрицательным целым числом, не большим, чем d_1 , вне зависимости от значения i для полного удовлетворения потребности в пределах последнего отрезка объем выпуска должен быть равен $(d_1 - i)$. Следовательно,

$$f_1(i) = c_1(d_1 - i, 0), \quad i = 0, 1, \dots, d_1. \quad (7)$$

Перейдем к $n=2$. Если начальный уровень запасов равен i , а объем выпуска – x , то общие затраты для двух месяцев составляют

$$c_2(x, i+x-d_2) + f_1(i+x-d_2),$$

причем предполагается, что выбранная стратегия для $n=1$ была оптимальной. Заметим, что величина $(i+x-d_2)$ есть уровень запасов на конец отрезка 2. Величина i может принимать любые неотрицательные целочисленные значения, не превышающие $(d_1 + d_2)$. При заданном i целочисленное значение x должно быть не меньше, чем $(d_2 - i)$, что обеспечивает полное удовлетворение потребности на отрезке 2, но не больше, чем $(d_1 + d_2 - i)$, так как конечный запас равен нулю. Оптимальному объему выпуска энергоресурсов соответствует такое значение x , при

котором минимизируется указанная выше сумма. Выполненный анализ ситуации для $n=2$ можно выразить следующим общим выражением:

$$f_2(i) = \min [c_2(x, i+x-d_2) + f_1(i+x-d_2)],$$

где $i=0, 1, \dots, d_1+d_2$, причем для отыскания минимума перебираются все неотрицательные целые значения x , заключенные в пределах $d_2 - i \leq x \leq d_1 + d_2 - i$.

Значения $f_3(i)$ можно вычислить, если известны значения $f_2(i)$, и т. д. В конце концов, в данной задаче можно вычислить $f_N(i_0)$ где i_0 – уровень запасов на начало планового периода. Общее рекуррентное соотношение записывается в следующем виде:

$$f_n(i) = \min [c_n(x, i+x-d_n) + f_{n-1}(i+x-d_n)], \quad n=1, 2, \dots, N, \quad (8)$$

где $i=0, 1, \dots, d_1+\dots+d_n$, причем для отыскания минимума перебираются все неотрицательные целые значения x , заключенные в пределах

$$d_n - i \leq x \leq d_1 + d_2 + \dots + d_n - i.$$

Поскольку начальный уровень запасов i рассматривается как переменная величина, полностью характеризующая состояние системы, единственной независимой управляющей переменной в рекуррентном соотношении (8) является x , так как уровень запасов на конец отрезка равен $(i+x-d_n)$. Заметим также, что, поскольку $f_0(0)$ и $f_1(i)$ без труда вычисляются по формулам (6) и (7), можно непосредственно и поочередно вычислить значения $f_2(0), f_2(1), \dots, f_2(d_1)$, а затем $f_3(0), f_3(1), \dots, f_3(d_1+d_2)$. Последовательно переходя ко все большим значениям n , дойдем до вычисления $f_{N-1}(0), \dots, f_{N-1}(1), \dots, f_{N-1}(d_1+d_2+\dots+d_{N-1})$ и, наконец, до $f_N(i_0)$.

Для отыскания оптимальной производственной программы определим, какой объем выпуска энергоресурсов $x_N(i_0)$ позволяет достичь полученного значения $f_N(i_0)$; соответствующее решение о выпуске является оптимальным решением для начального отрезка планового периода. Уровень запасов на начало следующего отрезка равен $(i_0+x_N(i_0)-d_N)$; найдем объем выпуска, позволяющий достичь полученного значения $f_{N-1}(i_0+x_N(i_0)-d_N)$ и т. д.

В рекуррентном соотношении (8) последовательность операций обратна их последовательности во времени. Однако можно также разработать и прямой алгоритм, при котором вычислительный процесс направлен от первого отрезка к последнему. В этом случае необходимо задаться некоторым значением исходного уровня запаса i_0 . Предположим, что $i_0=0$. В случае прямого алгоритма подход основывается на вычислении $g_n(i)$, где $g_n(i)$ – минимальные затраты с первого по n -й отрезок при условии, что уровень запасов на *конец* отрезка n от начала планового периода равен i . При этом

$$g_0(0)=0, \quad (9)$$

$$g_1(i) = C_1(D_1 + i, i) \quad (i=0, 1, \dots, D_2 + D_3 + \dots + D_N + i_N), \quad (10)$$

$$g_n(i) = \min [g_{n-1}(i-x+D_n) + C_n(x, i)], \quad n=1, 2, \dots, N, \quad (11)$$

где $i = 0, 1, \dots, D_{n+1} + \dots + D_N + i_N$ и для отыскания минимума перебираются все неотрицательные целые значения x , не превышающие $(D_n + i)$. Конечной целью вычислений является определение значения $g_N(i_N)$, где i_N – заданный уровень запаса на конец планового периода.

В выражении (11) $(i-x+D_n)$ есть уровень запаса на начало отрезка n . Оптимальное значение x в соотношении (8), позволяющее достичь $f_n(i)$ в течение n последних отрезков планового периода, относится к выпуску первого отрезка.

Оптимальное значение x , позволяющее достичь $g_n(i)$ в соотношении (11), относится к выпуску на отрезке n .

Следовательно, после представления g_n для всех n и i в табличном виде получим решение, для чего придется начать со значения i_N для отрезков N , затем определить соответствующее оптимальное значение x_N , зафиксировать отвечающий ему уровень запасов на начало последнего отрезка, отыскать соответствующее оптимальное значение x_{N-1} и т.д.

Для решения задачи автоматизации управления запасами энергоресурсов разработано программное приложение, в котором имеются следующие основные подсистемы:

- подсистема ввода данных;
- подсистема контроля и коррекции данных;
- подсистема моделирования;
- подсистема вывода результатов;
- справочная подсистема.

Подсистема ввода представляет собой интерактивный пользовательский интерфейс, позволяющий посредством элементов управления (меню, окна ввода, кнопки) вводить необходимую для работы программы информацию.

Задачей подсистемы контроля и коррекции заключается в проверке вводимой пользователем информации с целью устранить возможность проведения процесса моделирования при некорректных входных параметрах. Коррекция производится непосредственно в процессе ввода данных.

Подсистема позволяет отследить и не допустить ввод данных несоответствующего формата, например, в окна, предназначенные для ввода строго численной информации, исключена возможность ввода каких бы то ни было символов, кроме цифр. Проверка и коррекция производится после утверждения пользователем введенной информации.

Проверяется соответствие данных допустимым пределам, а также их полнота (т.е. вся необходимая информация должна быть введена до начала моделирования).

Коррекция заключается в установлении вышедших за пределы параметров в допустимые границы.

Подсистема моделирования является основной подсистемой. Ее задачей является алгоритмическая реализация математической модели нахождения оптимального производственного плана.

Входными данными в подсистему являются:

- продолжительность планового периода;
- максимальный объем производства энергоресурсов на каждом отрезке;
- максимальный объем остаточных запасов на каждом отрезке;
- затраты на производство энергоресурсов;
- затраты на хранение энергоресурсов;
- спрос на каждом участке.

Выходная информация – оптимальный размер производимого объема энергоресурсов и затрат на производство и хранение энергоресурсов на каждом отрезке планового периода.

Результатом моделирования является оптимальная производственная программа производства энергоресурсов на определенное количество отрезков времени (месяцев), т.е. оптимальные объемы производства в зависимости от уровня остатков на начало рассматриваемого планового периода, а также размер издер-

жек при данном объеме. Окно для отображения результатов работы программного приложения показано на рис. 1.

Результаты моделирования							
Оптимальный размер партии и соответствующие минимальные затраты на каждом отрезке при каждом уровне остатков							
Начальный запас	n=1	n=2		n=3		n=4	
	x1(i)	f1(i)	x2(i)	f2(i)	x3(i)	f3(i)	x4(i)
0	3	19	3	38	4	48	3
1	2	17	5	26	5	45	5
2	1	15	4	24	4	43	5
3	0	0	0	19	0	38	0
4	0	1	0	18	0	27	0

Рис. 1. Пример результатов работы программного приложения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вагнер Г. Основы исследования операций. – М.: «Мир».1973.
2. Исследование операций / Под ред. Моудера Дж.
3. Иванов В.Б., Куликов Г.Г., Речкалов Я.А. Автоматизированное управление запасами. – Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2.

УДК 621.37/.39:658.011.56

В.В. Игнатьев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОЗЖИГОМ ГОРЕЛОК ПРИ РАБОТЕ КОТЛА НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

При реконструкции системы газопотребления котла необходимо обеспечить достаточный уровень автоматизации.

Предлагается автоматизированная система управления работой (АСУР) горелок. Возможны два варианта исполнения: базовый и расширенный (рис. 1).

В базовом исполнении АСУР представляет собой комплект шкафов управления горелками (ШУГ).

Для одной горелки предназначен один шкаф управления. ШУГ размещается на площадке обслуживания горелки (согласно РД 12-529-03).