

## Вероятностный подход в моделировании производственных систем в полиграфии

П.К. Иванов,  
к.т.н., доцент кафедры АПП

В работах М.В. Ефимова рассматриваются несколько задач оптимизации работы производства полиграфического предприятия [1, 3]:

- 1) задачи оптимизации распределения ресурсов;
- 2) задачи оптимизации загрузки производственного оборудования;
- 3) задачи оптимизации обработки информации.

Все эти задачи могут быть сведены к оптимизации затрат определенного вида ресурсов, связанного с производственно-технологическим процессом.

Можно выразить все перечисленные затраты к их денежному эквиваленту. В этом случае перечисленные выше задачи могут быть объединены и сводятся к задаче оптимизации затрат при выполнении технологической операции.

### Модель полиграфического заказа

Производственные особенности предприятия определяются парком используемого оборудования. С другой стороны, технологические особенности производства зависят от спектра полиграфических заказов, производящихся на данном конкретном предприятии. Каждый полиграфический заказ является множеством составляющих его технологических операций, представляемых в виде направленного графа, рис. 1 и 2.

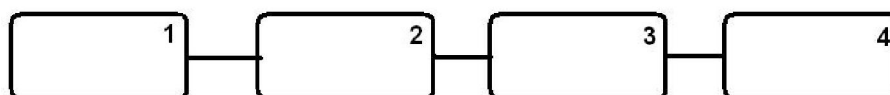


Рис. 1. Модель линейного полиграфического заказа

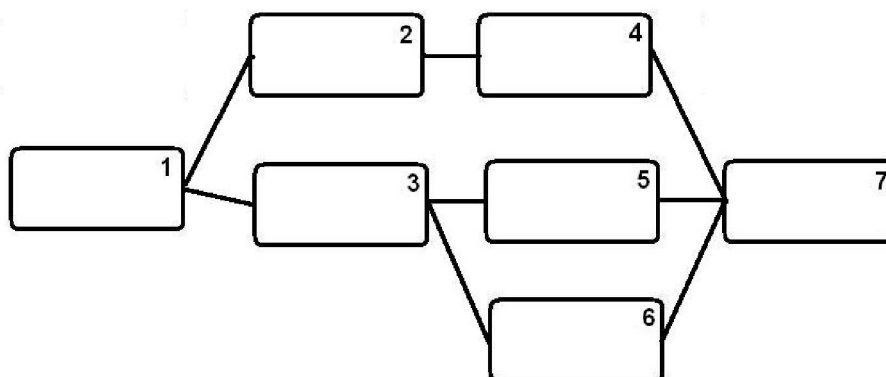


Рис. 2. Модель разветвленного полиграфического заказа

Проведенные ниже описания полиграфических заказов страдают определенной условностью и не отражают точных технологических особенностей изготовления продукции. Это связано с тем, что в данном случае ставится задача показать внутреннюю структуру заказа и уменьшить объем описания технологии, а не корректность технологического описания изготовления продукции.

Полиграфический заказ по изготовлению плаката формата А1 с лакированием офсетным УФ-лаком на мелованной бумаге на рис. 1 состоит из 4 технологических операций, использующих 4 центра затрат предприятия:

- 1) заказ материалов для производства продукции;
- 2) изготовление печатных форм (СТР);
- 3) офсетная печать;
- 4) подрезка плаката.

Заказ использует 4 центра затрат предприятия:

- 1) подразделение снабжения материалами;
- 2) участок СТР;
- 3) 5-секционная офсетная печатная машина формата А1 с лаковой секцией;
- 4) участок резки.

Полиграфический заказ по изготовлению брошюры формата А4 с обложкой с УФ-лакированием и блоком из 2-х частей: 32 полосы на мелованной бумаге и 16 полос на офсетной бумаге со скреплением на скрепку (рис. 2) состоит из 7 технических операций, использующих четыре центра затрат предприятия:

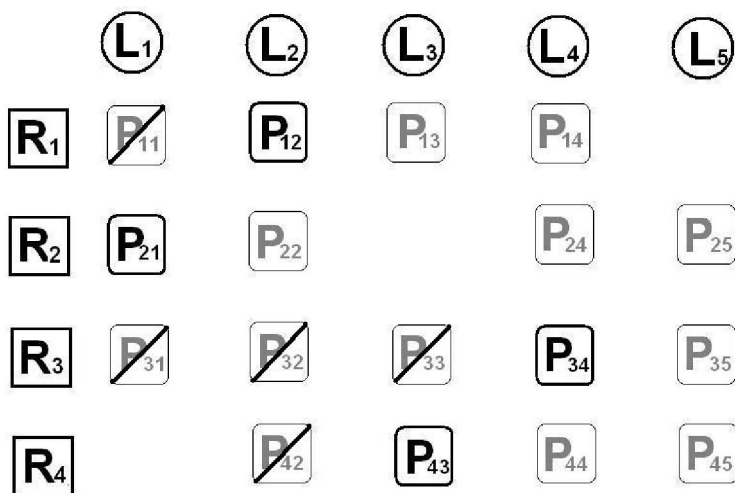
- 1) заказ материалов для производства продукции;
- 2) изготовление печатных форм обложки;
- 3) изготовление печатных форм блока;
- 4) офсетная печать обложки;

- 5) офсетная печать блока на мелованной бумаге;
  - 6) офсетная печать блока на офсетной бумаге;
  - 7) скрепление брошюры на скрепку.
- Заказ использует 5 центров затрат предприятия:
- 1) подразделение снабжения материалами;
  - 2) участок СТР;
  - 3) 5-секционная офсетная печатная машина формата А1 с лаковой секцией;
  - 4) 4-секционная офсетная печатная машина формата А2;
  - 5) ВШРА.

### Модель полиграфического заказа

В произвольный момент времени на предприятии может быть занято несколько единиц оборудования (в некоторых случаях – все) и в стадии производства будут находиться несколько заказов, но не более чем количество оборудования на предприятии.

Модель предприятия можно представить в виде динамически изменяющейся двухмерной матрицы. Столбцы матрицы соответствуют оборудованию предприятия, а строки – портфелю заказов предприятия, находящемуся в процессе производства. Множество центров затрат предприятия –  $\{L\}$  и текущий портфель заказов  $[6]$  предприятия, находящихся в стадии производства –  $\{R\}$ .



Состояние при  $T=t_i$

Рис. 3. Матрица состояния полиграфического предприятия в момент времени  $T = t_i$

Всякая технологическая операция  $S_{ij}$  полиграфического заказа  $R_j$ , выполняемая на «оборудовании»  $L_i$  требует затрат для своего осуществления и приносит доход предприятию. Доход от выполнения операции  $S_{ij}$  является, в общем случае, случайной величиной, не зависящей от управления производством на предприятии, но зависит от состояния рынка, квалификации сотрудника подразделения продаж и других непроизводственных факторов. Затраты, возникающие при выполнении технологической операции  $S_j$  на «оборудовании»  $L_i$  зависят от управляющих воздействий модели производства полиграфического предприятия на объект управления – производственное подразделение предприятия.

Таким образом, управляющая система (рис. 1) позволяет достичь прибыли  $P_{ij}$  выполнения технологической операции  $S_{ij}$  полиграфического заказа  $R_j$  портфеля полиграфических заказов предприятия  $\{R\}$  на «оборудовании»  $L_i$  парка «оборудования» предприятия  $\{L\}$  за счет снижения затрат при выполнении операции. В общем случае  $P_{ij}$  – величина случайная, зависящая от параметров выполнения данной технологической операции в конкретный момент времени, от параметров работы оборудования, навыков и квалификации операторов оборудования, качества сырья, материалов, полуфабрикатов и оснастки, параметров выполнения предыдущих и последующих технологических операций на данном оборудовании.



Рис. 4. Матрица состояния полиграфического предприятия в момент времени  $T = t_{i+1}$

Предположим, парк «оборудования» (центров затрат)  $\{L\}$  моделируемого предприятия состоит из 5 единиц и в текущий момент времени в производстве находятся 4 полиграфических заказа из портфеля полиграфических заказов предприятия  $\{R\}$ . Модель предприятия можно представить в виде динамически изменяющейся двухмерной матрицы.

Столбцы матрицы соответствуют «оборудованию» производственного парка предприятия, а строки – заказам из портфеля заказов предприятия  $\{R\}$ . Предположим что  $L_1$  – подразделение снабжения предприятия полиграфическими материалами,  $L_2$  – изготовление формных пластин на оборудовании СТР,  $L_3$  – цех офсетной печати,  $L_4$  – подразделение резки,  $L_5$  – ВШПА.

Размещение технологических операций  $S_{ij}$  полиграфического заказа  $R_j$  на «оборудовании»  $L_i$  в предыдущий момент времени представлено на рис. 3. В текущий момент времени технологические операции будут находиться в производстве в соответствии с матрицей состояния производства полиграфического предприятия, представленной на рис. 4.

Таким образом, в текущий момент времени прибыль предприятия при производстве продукции будет равна сумме прибылей  $P_{ij}(t_n)$  всех операций, находящихся в стадии выполнения. В каждый момент времени состояние производства предприятия определяется вектором эффективности производства  $\{P_{ij}(t_n)\}$ .

### Вероятностные модели производственных систем

Модель идеальной производственной системы полиграфического предприятия, созданной для решения конкретной производственной задачи, идентична модели идеального газа в термодинамике. В табл. 1 приводится сравнение некоторых свойств идеальной производственной системы и идеального газа. В идеальной производственной системе каждая единица «оборудования» (центр затрат) обладает фондом рабочего времени и при постоянном (идеальном) потоке заказов (идеальном портфеле полиграфических заказов) система будет стремиться к статистическому равновесию: равномерной загруженности центров затрат [4].

Таблица 1

#### Сравнение моделей идеальной производственной системы и идеального газа

Идеальное производство	Идеальный газ
Однотипные центры затрат, составляющие производственную структуру предприятия	Однотипные частицы, составляющие газ
У каждого центра затрат есть фонд рабочего времени $m_i$	У каждой частицы есть энергия $m_i$

Окончание табл. 1

Идеальное производство	Идеальный газ
Общий фонд рабочего времени $M$ постоянный	Общая энергия $M$ постоянна
При перемещении операции с одного оборудования на другое приведенное время выполнения сохраняется	При столкновениях энергия сохраняется
Загрузка производства входит в статистическое равновесие	В газе устанавливается статистическое равновесие
Распределение загрузки производства по Больцману-Гиббсу $P(x)_{\infty} = \lambda e^{-\lambda m}$	Распределение загрузки производства по Больцману-Гиббсу $P(x)_{\infty} = \lambda e^{-\lambda m}$
$1/\lambda$ – средний фонд рабочего времени	$1/\lambda$ – средняя температура

В каждой системе (объекте) и событии в экономике содержится неопределенность, количество которой оценивается обобщенной энтропией ( $E$ ) [5]. Количественную оценку  $E$  можно рассчитать с различной точностью, в зависимости от цели, условий и допущений. В общем случае плотности распределения случайного события в непрерывном варианте:

$$E(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \lg_2 f(x) dx,$$

где  $f(x)$  – плотность ее распределения;  $x$  – случайная величина критерия цели.

В задачах моделирования полиграфического производства необходимо считаться с зависимостью критериев цели центров затрат, так как результат зависит от полноты учтенных взаимосвязей между центрами затрат. Условная энтропия критерия цели  $B$  при условии исполнения критерия цели  $A_i$ :

$$E(B / A_i) = - \sum_{j=1}^N P(B / A_i) \ln_2 P(B / A_i).$$

Переход к моделям, базирующимся на обобщенной энтропии, дает возможность использовать уравнения не только материального и финансового баланса, но также балансы обобщенной энтропии и обобщенной негэнтропии системы. Уравнения для определения ОЭ можно часто приближенно считать линейными, состоящими из суммы отдельных членов условных энтропий. Вероятность достижения целевых критериев должна быть выражена для достаточной степени размерности и под одной координатой можно объединить большое число влияющих на систему факторов. Поэтому принципиально можно составить модель на любую производственную систему или на любой эле-

мент такой системы. Обобщенная энтропия системы может быть рассчитана только относительно какой-то конкретной цели. Например, можно определить обобщенную энтропию через нее условную вероятность того, что общая прибыль после выполнения намеченных операций превышает прогнозируемую величину. Метод баланса обобщенной энтропии/неэнтропии является средством для оценки надежности и эффективности создаваемых производственных систем.

Общее правило метода баланса энтропии/неэнтропии по технико-экономическому прогнозу следующее: обобщенная энтропия заданного критерия цели через данный период времени не может быть меньше суммы умноженных на коэффициент технико-организационного увеличения условных энтропий, рассчитанных отдельно по всем влияющим факторам. Для прогноза эффективности системы (или для отсеивания неэффективных экономических решений) в качестве упрощенного математического выражения баланса энтропии/неэнтропии может применяться неравенство, которое будет составлено отдельно для каждого фактора, влияющего на критерии эффективности системы:

$$-\lg_2 P^t B^t > \sum_i [K_i \lg_2 (B_i^t / x_i)] + \sum_j [K_j \lg_2 (B_j^t / y_j)] + \sum_q [K_q \lg_2 (B_q^t / x_q)],$$

где  $B^t$  – величина требуемого критерия эффективности системы через время  $t$ ;  $K$  – коэффициент технико-организационного увеличения  $E$ , определенный априори или экспериментально;  $x$  – исходные факторы;  $y$  – управляющие факторы;  $z$  – факторы возмущения.

#### Библиографический список

1. *Ефимов М.В.* Автоматизированное управление полиграфическим производством / М.В. Ефимов. – М. : Мир книги, 1998. – 416 с.
2. *Ефимов М.В.* Теоретические основы переработки информации в полиграфии / М.В. Ефимов. – Кн. 1. – М. : МГУП, 2001. – 340 с.
3. *Ефимов М.В.* Теоретические основы переработки информации в полиграфии / М.В. Ефимов. – Кн. 2. – М. : МГУП, 2001. – 416 с.
4. *Кокшот П.* Информация, деньги, стоимость / П. Кокшот, М. Коттрелл, И. Райт, Р. Майкельсон. – М. : Изд. экономической информации, 2008. – 324 с.
5. *Liiv E.* Infodynamics. Generalized entropy and negentropy. – Tallinn: Uhiselu, 1998. – 200 p.
6. *Чертовской В.Д.* Теоретические основы автоматизированного управления. Процедурное представление / В.Д. Чертовской. – М. : МГУП, 2004. – 218 с.