

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РЕАЛИЗУЕМОСТИ ОПЕРАТИВНЫХ ПЛАНОВ В ЕДИНИЧНОМ И МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВАХ

Ю.Л.ЛУСТГАРТЕН, Е.А.ДЕМЧИНОВА

(Костромской государственной технологической университет)

Спецификой современного рынка, в том числе и текстильной продукции, являются многоассортиментные разновеликие по объему заказы. Гибкость ассортиментной политики выступает одним из главных требований в работе современных предприятий. Таким образом, даже производства, которые раньше позиционировались как крупносерийные, сегодня все больше приобретают черты мелкосерийного и даже единичного производства.

Календарное планирование единичного и мелкосерийного производств (ЕМП) имеет свою специфику (например, [1]). Эта специфика не позволяет эффективно использовать такие современные методологии как, например, ERP или JIT [2]. При этом существенно осложняется не только процесс планирования, но и процесс непосредственного выполнения производственного задания, так как добавляются риски, влияние которых в серийном и массовом производстве не так заметно. Прежде всего, речь идет об отсутствии отлаженного техпроцесса, в связи с чем возникают угрозы отклонения от запланированного времени обработки, а также появления неисправимого брака, который приводит к необходимости либо менять производство смежных элементов, либо вообще начинать изготовление этого элемента заново.

Формальные критерии оценки оперативного календарного планирования были рассмотрены в [3]. В данной статье предлагается вероятностный подход к оценке выполнимости плана на основе вероятностных характеристик выполнимости отдельных операций.

Известно, что минимальным периодом планирования в ЕМП является сменное задание. Отклонения от плана внутри сменного задания могут быть компенсированы двумя способами:

– действиями мастера или цехового

плановика;

– перепланированием задания на последующие периоды.

Чтобы исключить или по крайней мере снизить влияние отклонений возникают требования повышения надежности реализации кратковременного (сменного) плана.

Рассмотрим формализованную постановку и подходы к вероятностной оценке реализуемости оперативных планов.

Введем обозначения: множество  $R = \{R_i\}$  – работы (операции), включенные в план;  $T_i$  – плановая длительность работы  $i$ ;  $t_i$  – плановый момент начала работы  $i$ ;  $P_i$  – вероятность успешного выполнения работы  $i$ , при этом под успехом подразумевается выполнение работы даже с превышением запланированного времени  $T_i$ .

Характеристика  $T$  – является нормируемой величиной, а  $t$  выступает уже результатом нормирования. Что касается значений величины  $P_i$ , то в данной работе исходим из того, что эта характеристика определяется на основе априорной информации (предыдущего опыта) и интуитивно-логического мнения экспертов.

Для каждой работы, в соответствии с технологическим процессом, определены два множества:  $R_{pr}(i)$  – множество работ, предшествующих работе  $i$ , и  $R_{pos}(i)$  – множество работ, последующих за работой  $i$ .

При невыполнении (неисправимом браке) какой-либо работы  $i$  автоматически следует невозможность выполнения всех работ из множества  $R_{pos}(i)$ .

При переходе к периоду планирования, обозначим:

$S_j \subset R$  – множество работ, включенных в смену  $j$ ,  $\sum_{i: R_i \in S_j} T_i$  – объем работ, запланированных на смену  $j$ .

Тогда  $S_j \cap R_{pos}(i)$  – множество работ, зависящих от работы  $i$  в смене  $j$  и

$\sum_{k:R_i \in S_j \cap (R_{\text{pos}(i)} \cup i)} T_k$  – объем работ в смене  $j$ ,

зависящий от работы  $i$ .

Оценим возможные отклонения от плана. Рассмотрим цепочку последовательных работ внутри одной смены. Хотим определить вероятность отклонения общего фактического времени, затраченного на выполненные операции в смене, от планового времени. Можно задать случайную величину  $X$  – величину отклонения от плана одной цепочки работ, то есть задается:

$$P_i = P\left(X = \sum_{i \in R_{\text{pos}(i)} \cup i} T_i\right) = \prod_{k \in R_{\text{pr}(i)}} P_k(1 - P_i),$$

очевидно, что  $P(X=0) = \prod_{k \in R_{\text{pr}(i)}} P_k$  – веро-

ятность успешного выполнения всей цепочки.

Рассматривая несколько цепочек операций внутри одной смены, получаем несколько случайных величин отклонения от плана. В данной работе будем рассматривать ситуации, когда операции сборки узла и производства составляющих его деталей находятся в разных сменах. Тогда реализации рассматриваемых случайных величин не пересекаются и случайные величины являются независимыми.

Для вычисления полного отклонения от плана требуется найти сумму дискретных случайных величин, при этом количество значений, принимаемых итоговой величи-

ной, имеет порядок  $\prod_{i=1}^k n_i$ , где  $n_i$  – количе-

ство значений, принимаемых  $i$ -й случайной величиной,  $k$  – количество случайных величин (количество запущенных в смене деталей). Так как значение  $k$  может исчисляться сотнями, а количество значений соответствует количеству необходимых операций, очевидно, что работать с такой огромной величиной невозможно.

Для оценки искомой суммы сделаем упрощения, идея которых состоит в том, что случайные величины будут принимать фиксированное число значений.

Если  $X_i$  – случайные величины отклонения,  $i = 1..N$ ,  $A_i$  – множество значений,

принимаемых  $i$ -й случайной величиной,

$X_\Sigma = \sum_{i=1}^N X_i$  – искомая случайная величина,

характеризующая отклонения от плана,

тогда  $M = \sum_i \max(A_i)$  – максимальное

значение, принимаемое случайной величиной  $X_\Sigma$ .

Введем случайные величины  $Y_i, i = 1..N$ , такие что множество значений, принимаемых случайной величиной  $Y_i$ , будет:

$$B_i = \left\{ \Delta x k \mid k = 1, \left[ \frac{M}{\Delta x} \right] \right\},$$

где  $\Delta x$  – шаг значений итоговой случайной величины. Выбор этого шага достаточно произволен, и связан с получаемым количеством принимаемых значений и их точностью.

Вероятности реализаций величины  $Y_i$  определим следующим образом:

$$p_{ik} = P(Y_i = \Delta x k) = F_i(\Delta x k) - F_i(\Delta x(k-1)), \quad (1)$$

где  $F_i$  – функция распределения случайной величины  $X_i$ .

При введенной системе новых случайных величин достаточно легко можно найти их сумму:  $Y_\Sigma = \sum_{i=1}^N Y_i$ , так как множест-

во значений, принимаемых случайной величиной  $Y_\Sigma$  тоже является множеством  $B$ .

При этом подразумеваем, что значения большие  $M$  не рассматриваются, так как вероятность их реализации заведомо равна 0. Итак:

$$P(Y_\Sigma = b) = \sum_{A_1 + A_2 + \dots + A_n = b} (p_{i1} \times p_{i2} \times \dots \times p_{in}).$$

Формула (1) вносит погрешность в значения, принимаемые случайной величиной  $Y_\Sigma$ . Отклонение каждого значения не превышает  $N\Delta x$ .

Полученная случайная величина  $Y_\Sigma$  отражает вероятность отклонения от пла-

нового объема за исследуемый период, в

частности за смену.

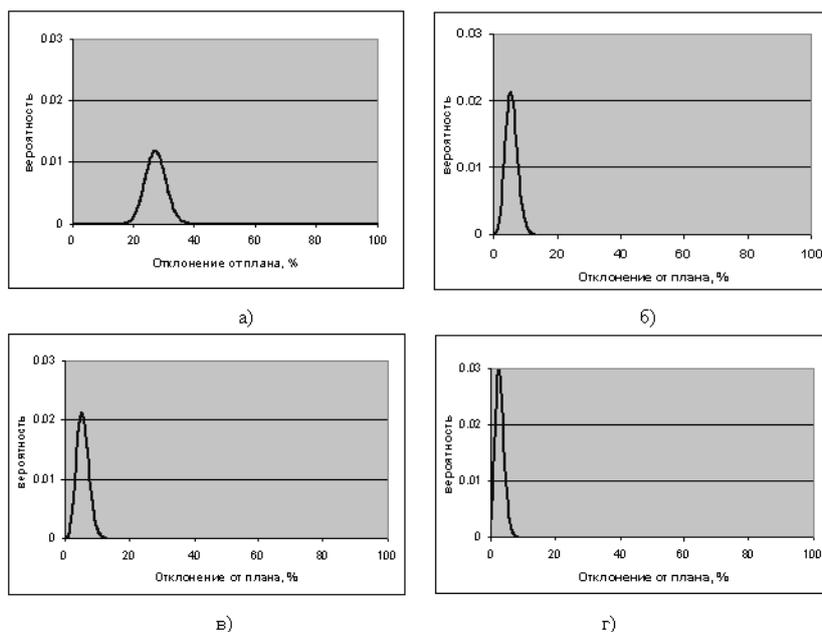


Рис. 1. Распределение вероятностей отклонения от плана

Учитывая большое количество суммируемых величин (доходит до сотен) и исходя из центральной предельной теоремы, можно ожидать, что результирующая дискретная случайная величина будет хорошо аппроксимироваться нормальным распределением. Были проведены вычислительные эксперименты на тестовых данных: исследовалась сумма 100 случайных величин с 10 возможными исходами для каждой. Вероятности брака генерировались случайным образом, с разными параметрами, причем максимальная вероятность неуспеха операции варьировалась от 0,05 до 0,001. Результаты четырех экспериментов представлены на рис. 1. На рис. 1-а представлены результаты эксперимента при минимальной вероятности успеха, равной 0,9, на рис. 1-б и в – минимальная вероятность успеха составляла 0,95, но различались дисперсии, а на рис. 1-г минимальная вероятность составляла 0,99. Для удобства анализа, по оси ординат использована относительная величина отклонения в процентах от плана, а не абсолютные значения. Отметим, что для строго окончательного вывода о нормальности результирующего распределения тре-

буются дополнительные исследования.

Таким образом, получили случайную величину, характеризующую прогнозируемое количественное отклонение от календарного плана, которая может быть использована для сравнения различных версий плана. Отметим, что данная характеристика должна использоваться как составляющая часть комплексного подхода к оценке календарного плана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Костров А.В. Информационный менеджмент. Оперативное управление производством: учеб. пособие / А.В. Костров, А.Н. Соколов, А.А. Фаткин; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2005.
2. Питеркин С.В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем. / С.В.Питеркин, Н.А.Оладов, Д.В.Исаев – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.
3. Лустгартен Ю.Л. Система критериев для оценки календарного планирования единичного и мелкосерийного производств. //Вестник КГТУ. Системный анализ. Теория и практика. – 2006, № 1. С. 21...23.

Рекомендована кафедрой экономики и управления. Поступила 21.06.2006.