

М.В. Волкова

Организация планирования уровня оборотных запасов на прямоточных линиях

M.V. Volkova

The Organization of Planning of Level of Turnaround Stocks on Direct-Flow Lines

Рассматривается методика минимизации уровня оборотных запасов на прерывно-поточных линиях. В целом, как показано на практическом примере инструментального производства, рассмотренный подход дает хорошие результаты.

Ключевые слова: производственный процесс, прерывно-поточные линии, процесс планирования.

Применение высокопроизводительных методов обработки деталей приводит в ряде случаев к различию производительности на разных операциях, в результате чего не может быть обеспечена полная непрерывность процесса, обусловливаемая непрерывностью движения объекта производства и непрерывностью работы оборудования и рабочих. Нарушение непрерывности в любых случаях вызывает потери в виде заделов или простоев. Представление о том, что при организации прямоточных линий достаточно расставить оборудование по порядку операций технологического процесса, является ошибочным. Для уменьшения указанных потерь необходимо после использования всех технологических возможностей упорядочить организационную структуру производственного процесса. Организация производственного процесса линии и режим ее работы определяются нормальным планом (стандарт-планом), составляемым на определенный период (например, на смену). Работа по этому плану повторяется из периода в период. Разработка такого плана ритмичной работы и нахождение его оптимального варианта является существенной частью устройства и организации прямоточной линии [1].

На прямоточных линиях к основным календарно-плановым нормативам относятся: средний ритм выпуска (запуска) единицы продукции r , межоперационные запасы (заделы) – внутренние и переходящие (например, из одной смены в другую), период одного оборота T .

Примером образования на прямоточных линиях внутренних и переходящих запасов может служить следующий график выполнения двух смежных операций [1–2].

Через a_i обозначена длительность i -й операции в часах, N – сменное задание (выпуска деталей, узлов, изделий, которые производятся на данном участке),

The work considers the technique to minimize level of turnaround stocks on direct-flow lines. As a whole, as is shown in a practical example of tool manufacture the considered approach yields good results.

Key words: production process, discontinuous conveyer, planning process.

$A_i = N \times a_i$ – длительности выполнения i -й операции сменного задания, x_i – время начала выполнения i -й операции (относительно начала смены, продолжительность которой составляет 8 часов). Графики образования оборотных заделов могут быть представлены следующими эпюрами на рисунках 1 и 2.

Первая группа операций. В этой группе более производительная операция предшествует менее производительной. На рисунке 1 показан график, который, как показывает практика организации работы линии, является наиболее важным в этой группе операций. При этом если выполняются условия

$$x_{i+1} \leq x_i, \quad x_i \leq x_{i+1} + A_{i+1}, \quad (1)$$

то между операциями возникает оборотный запас деталей – незавершенное производство Z_i в штуках от нуля до N (и по стоимости – $Z^i = c_i Z_i$), т.е. в указанном интервале времени имеет место линейная зависимость Z_i от величины $(x_i + x_{i+1})$:

$$Z_i = (x_i - x_{i+1})/a_{i+1}, \quad Z^i = c_i(x_i - x_{i+1})/a_{i+1}, \quad (2)$$

где c_i – себестоимость детали после выполнения операции i .

Если $x_i \leq x_{i+1}$, то к концу смены оборотного запаса между операциями не будет.

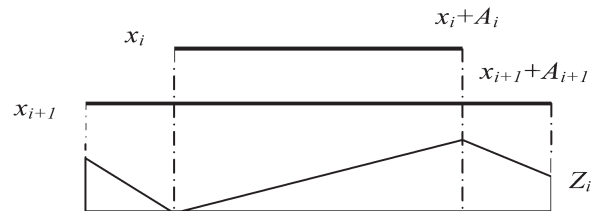


Рис. 1. Схема образования оборотных запасов для первой группы операций

Вторая группа операций. В этой группе менее производительная операция предшествует более производительной. При этом если

$$x_i \leq x_{i+1} + A_{i+1}; \quad x_{i+1} + A_{i+1} \leq x_i + A_i \quad (3)$$

то между операциями возникает оборотный запас деталей – незавершенное производство Z_i (в штуках) (рис. 2).

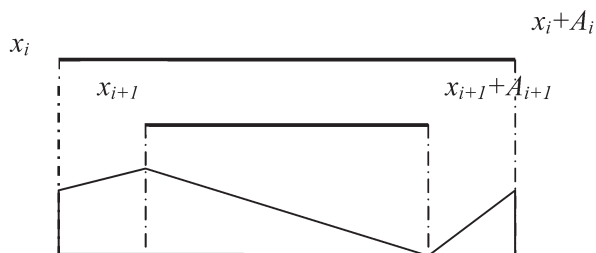


Рис. 2. Схема образования оборотных запасов для второй группы операций

При этом

$$\begin{aligned} Z_i &= (x_i + A_i - x_{i+1} - A_{i+1})/a_i \\ Z_i' &= c_i(x_i + A_i - x_{i+1} - A_{i+1})/a_i \end{aligned} \quad (4)$$

Если $x_i + A_i \leq x_{i+1} + A_{i+1}$, то к концу смены оборотного запаса между операциями не будет.

Таким образом, как показано на рисунках 1 и 2, величина незавершенного производства (часть оборотных активов предприятия) зависит от графиков двух типов, от времени начала и окончания выполнения сменного задания по смежным операциям [2].

При решении задачи уменьшения переходящего запаса происходит высвобождение оборотных средств.

Представим построение пооперационного плана-графика для прямоточной линии на следующем примере (использованы данные о прерывно-поточной линии производства двухсторонних ключей на Новосибирском инструментальном заводе). Продолжительность смены $T = 480$ мин., сменное задание $N = 800$ шт. Другие данные: a_i, A_i, c_i – себестоимость детали после выполнения операции i ; b_{ig} – расчетный показатель (суть которого будет пояснена далее) для операции i , входящей в группу g ($g = 1, 2$) смежных операций (см. табл.).

Данные по операциям на прямоточной линии

№ операции	a_i мин.	Себестоимость изделия c_i руб.	A_i мин.	b_{ig} руб./мин.
1	0,35	70,3	280	200,86
2	0,203	72,2	163	245,58
3	0,294	75,0	235	255,10
4	0,233	77,2	187	171,55
5	0,45	81,4	360	180,89
6	0,32	84,4	256	143,66
7	0,5875	89,8	470	

Поясним расчет значений c_i . Себестоимость производства деталей на предприятии рассчитывается по цехам нарастающим итогом. Поэтому известна себестоимость рассматриваемой детали (двухсторон-

ний ключ 24×27 мм), которая поступает на линию из кузнечно-прессового цеха, – 67 руб. На линии в механическом цехе средняя основная заработная плата одного рабочего за смену составляет 540 руб. С учетом дополнительной заработной платы (15%), районного коэффициента (20%), страховых отчислений (26%) затраты заработной платы составляют 939 руб. ($540 \times 1,15 \times 1,2 \times 1,26$). Отсюда каждая минута работы рабочего (а на прямоточной линии длительность операций не превосходит даже одну минуту) в среднем обходится в 1,96 руб. ($939/480$). Коэффициент начисления накладных расходов (цеховых и общезаводских) на рубль основной заработной платы с начислениями составляет 3,77. Все эти данные позволяют рассчитать себестоимость детали после каждой операции. Так, на входе себестоимость детали составляет 67 руб. Длительность первой операции – 0,35 мин. Нарастание себестоимости составит 3,3 руб. ($0,35 \times 1,96 \times (1 + 3,77)$). Отсюда после первой операции себестоимость детали составляет 70,3 руб., после второй – 72,2 руб. и т.д. (см. табл.). На выходе с участка себестоимость детали равна 89,8 руб.

Чтобы понять суть проблем, которые возникают при организации работ на прямоточной линии, представим график ее работы (рис. 3), исходя из предположения, что все операции начинаются с начала смены и выполняются без перерывов, а на линии работают 7 человек. Между операциями в этом случае на начало и конец смены, как показано на рисунках 1 и 2, возникают оборотные запасы. Величина их обозначена через Z_i (в штуках деталей) и рассчитана по формулам 2 и 4. Общий объем деталей в запасах – 731 шт. стоимостью 54,735 тыс. руб. Это почти весь объем сменного задания.

Из рисунка 3 видно, что если изменить время начала операций, то можно существенно уменьшить уровень оборотного запаса. Такую задачу можно поставить как оптимизационную [3]. Однако на предприятиях оптимизация принятия решений на основе математического программирования еще не получила широкого распространения.

№ операции	График выполнения операций, время окончания операций	z_i , шт.
1	_____ 280	335
2	_____ 163	0
3	_____ 235	164
4	_____ 187	0
5	_____ 360	232
6	_____ 256	0
7	_____ 470	

Рис. 3. Первый вариант графика работы прямоточной линии

Поэтому в работе [3] рассматривается алгоритм решения этой задачи исходя из ее особенностей. Операции следуют одна за другой. При этом цена детали возрастает от операции к операции. Сдвиг одной операции относительно другой (см. формулы (2) и (4)) на единицу времени (в данном случае на одну минуту) приведет к увеличению оборотных запасов. Это увеличение будет разным. Важной особенностью в данной задаче является то, что только сдвиги смежных операций относительно друг друга изменяют величину оборотных запасов. Именно это обстоятельство позволяет построить эффективную методику уменьшения уровня оборотных запасов на прямоточной линии.

Для первой группы операций сдвиг их (относительно друг друга) на единицу времени, в соответствии с формулой (2), приведет к увеличению оборотного запаса на следующую величину $b_{i1} = c_i / a_{i+1}$ (руб./мин). Для второй группы операций сдвиг их на единицу времени, в соответствии с формулой (2), приведет к росту оборотного запаса на величину $b_{i2} = c_i / a_i$ (руб./мин). Рассчитаем эти параметры (см. табл.). Первая и вторая операции относятся ко второй группе, поэтому $b_{12} = 70,3/0,35 = 200,86$. Третья и вторая операции относятся к первой группе, поэтому $b_{21} = 72,2/0,294 = 245,58$ и т.д.

Как видим, наибольшую оценку имеет параметр для третьей и четвертой операций. Они относятся ко второй группе операций. Для уменьшения оборотных запасов на конец смены в целом для линии оптимальным будет график, в котором третья и четвертая операции заканчиваются почти одновременно и между ними на конец смены не будет оборотных запасов. Наибольшие сдвиги будут в тех парах операций,

для которых параметры b_{ig} наименьшие. Указанные особенности работы прямоточной линии позволили сформировать методику построения плана-графика выполнения операций, приводящей к минимизации уровня оборотных запасов [4–5].

Использование такой методики для решения поставленной задачи (рис. 3) обеспечивает получение оптимального решения (рис. 4). Решение задачи линейного программирования дает тот же результат. Уровень оборотных запасов на конец смены снижается до 464 шт. деталей стоимостью 38,255 тыс. руб.

Как видно из рисунка 4, длительность части операций существенно меньше продолжительности смены. Возникает вторая проблема – занятость рабочих. Так как рабочий получает заработную плату за фактически отработанное время, то необходимо составить план-график работы так, чтобы загрузка (и заработок) рабочих была высокой. В противном случае возникает проблема обеспечения прямоточной линии рабочими. Выходом является организация работы многостаночников.

№ операции	Время начала и окончания операций в графике смены	z_i , шт.
1	280	0
2	117	0
3	352	0
4	165	100
5	120	0
6	224	364
7	10	0

Рис. 4. График работы прямоточной линии при минимальном уровне оборотных запасов на конец смены

Библиографический список

1. Климов А.Н., Оленев И.Д., Соколицын С.А. Организация и планирование производства на машиностроительном заводе. – Л., 1979.
2. Соколицын С.А., Кузин Б.И. Организация и оперативное управление машиностроительным производством. – Л., 1988.
3. Кузин Б.И. Организация поточного производства в условиях научно-технического прогресса машиностроения. – Л., 1977.
4. Волкова М.В. Экономическое обоснование организации производства на прямоточных линиях // Управление инновациями: проблемы, методы и механизмы : сб. науч. тр. / под ред. В.В. Титова, В.Д. Марковой. – Новосибирск, 2008.
5. Волкова М.В. Оптимизация организации производства на прямоточных линиях // Стратегия развития предприятий на основе реализации инновационной политики : сб. науч. тр. / под ред. В.В. Титова, В.Д. Марковой. – Новосибирск, 2009.