

**Волкова М.В.,**  
ст. преподаватель,  
Рубцовский индустриальный институт  
(филиал) ГОУ ВПО «Алтайский  
государственный технический университет  
им. И.И.Ползунова»

### **Построение плана-графика выполнения операций на прямоточной линии**

*В работе рассматривается комплексный подход к экономическому обоснованию организации производственного процесса на прерывно-поточных линиях, основанный на приближении формирования производства как на поточных линиях с учетом работы многостаночников.*

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

Организация поточного производства обеспечивает рост экономического эффекта за счет:

- повышения производительности труда из-за сокращения затрат времени на обработку каждой единицы продукции. Это достигается за счет применения более совершенных технологии и организации труда, внедрения механизации и автоматизации. В таких условиях достигается рост навыков у рабочих в выполнении операций и сокращаются непроизводительные простои;

- уменьшения технологического времени обработки изделий, путей и времени транспортировки изделий, пролеживания предметов труда, применение параллельного или параллельно-последовательного видов движения изделий по операциям приводит к сокращению длительности производственного цикла, а следовательно, к сокращению незавершенного производства;

- сокращения оборотных активов приводит к ускорению их оборачиваемости;

- улучшения использования основных фондов, так как растет выпуск продукции с единицы оборудования и с одного квадратного метра площади;

- повышения качества продукции и снижение брака за счет использования новых совершенных технологий;

- снижения себестоимости, а также за счет относительного снижения накладных расходов на единицу продукции.

Здесь, конечно, следует учесть, что организация поточного производства требует определенных капитальных вложений. Однако, если рассматривать подобные проекты как инвестиционные, то они имеют, как правило, положительный чистый дисконтированный доход и внутреннюю норму доходности [1,7 и др.], существенно превышающую текущую норму

прибыли, не велик срок окупаемости. Такой эффект возникает, как уже отмечалось, за счет существенного снижения себестоимости выпускаемой продукции (в разы).

Таким образом, учитывая, что поточные непрерывные линии в условиях массового производства обеспечивают снижение затрат в 3-4 раза по сравнению с единичным и мелкосерийным производством, многие предприятия стараются использовать поточные методы. При этом основные трудности приходится на согласование, синхронизацию длительностей всех операций на линии. Это удается сделать за счет использования новейших технологий и повышения качества продукции, высокопроизводительного оборудования, должной организации труда и технологических процессов, механизации и автоматизации производства, значительных капитальных вложений. Однако эффект такая линия дает только в условиях значительного платежеспособного спроса на продукцию. Только в этом случае могут быть полностью загружены высокопроизводительное оборудование и рабочие, получена экономия на накладных расходах.

В условиях крупносерийного и серийного машиностроения объемы выпуска продукции не столь велики как в массовом производстве. Поэтому эффект от использования поточной линии снижается. Не удается согласовать длительности операций между собой и с ритмом линии. Поточная линия превращается в поточную прерывную (прямоточную) линию.

На прерывных поточных линиях движение изделий по технологическим операциям происходит с перерывами именно из-за того, что длительности операций разные. В этом случае предметы труда некоторое время пролеживают. Так как на подобных линиях характер прямоточности процесса сохраняется, то они называются еще и прямоточными. Формирование непрерывной поточной линии на базе прямоточной во многих случаях экономически не целесообразно, то прямоточные линии еще долгое время сохраняются при организации производства.

Итак, для организации непрерывной поточной линии необходимо, чтобы выполнение каждой операции происходило примерно с одинаковой продолжительностью, равной среднему ритму линии (ритму выпуска одного изделия). Такое условие можно записать так:

$$r \times Q_j - a_j \approx 0, \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad (1)$$

где  $a_j$  – время выполнения (штучное) операции  $j$ ;

$r$  – ритм поточной линии;

$Q_j$  – число рабочих мест, установленных на операции  $j$ ;

$m$  – число операций на поточной линии.

Ритм поточной линии определяется спросом на продукцию и эффективным временем ее работы. Здесь варьировать можно сменностью работы (одна – три смены) и количеством параллельно работающих одинаковых поточных линий.

Указанное ограничение (1) означает, что если время выполнения операции больше длительности ритма, то для синхронизации операций следует операцию  $j$  разбить на  $Q_j$  подопераций и выполнять их

последовательно (тогда число операций на линии возрастет) либо параллельно. Если это сделать нельзя по технологическим причинам, то следует на операции  $j$  параллельно обрабатывать  $Q_j$  изделий.

В этом случае рабочие снимают изделие с распределительного конвейера (а он в таком случае называется распределительным), пришедшее с предыдущей операции, а на освободившее место ставят изделие, по которому текущая операция уже выполнена. Когда на разных операциях неодинаковое количество рабочих мест, то вводится специальный режим снятия с конвейера изделий. Если на операции два рабочих места, то каждый рабочий снимает изделие через одно. При трех рабочих местах каждый рабочий пропускает два изделия, а третье берет в работу. Отсюда на распределительном конвейере определяется число периодов (длительность периода равна ритму линии), равное наименьшему кратному числу рабочих мест по всем операциям. Этому числу на конвейере ставится в соответствие определенная разметка – общая длительность данного числа периодов и по одному периоду с номерами (с первого до числа периодов). Тогда каждый рабочий снимает с конвейера изделие, находящееся на месте конвейера с определенным номером. Длительность места конвейера с номером определяется ритмом линии и скоростью движения ленты конвейера. Для устранения сбоя в работе такого распределительного конвейера на каждом рабочем месте создается еще небольшой запас изделий. На рабочих конвейерах без снятия изделий рабочим приходится в ходе выполнения операции двигаться вместе с конвейером, а после завершения операции возвращаться на то место, откуда можно начать выполнять свою операцию.

Таким образом, процесс синхронизации операций по всей линии достаточно сложен, но выполним. К отмеченным элементам синхронизации могут быть добавлены и другие организационно-технические и экономические мероприятия: подбор оборудования, оснастки, технологических режимов обработки, рациональной планировки рабочих мест, использование материального стимулирования рабочих на операциях, где имеет место перегруженность рабочих мест. Наиболее проста синхронизация работы поточной линии, где осуществляются монтажно-сборочные работы.

Прерывные поточные линии работают только как линии со свободным ритмом. Изготовление изделий (на проточных линиях это, как правило, детали, узлы изделия) по операциям идет непрерывно в течение некоторого времени в пределах изготовления запущенной в производство партии изделия размером  $n$ . При этом  $n$  может быть равно сменному, суточному, декадному или месячному (это длительности периода оборота, через который повторяется запуск изделия в производство) заданию. После обработки  $n$  штук изделий производство на операции прекращается до следующего запуска. Продолжительность перерыва по операции  $j$   $T_{перj}$  определяется так [4]:

$$T_{пер.j} = n \cdot (r - a_j), \quad (2)$$

при этом ритм линии может находиться в определенных пределах:

$$\max(a_j / Q_j) \leq r \leq (F_j / n); \quad (3)$$

где  $F_j$  – эффективный фонд времени за период оборота работы оборудования (рабочих мест), на котором выполняется операция  $j$ ;

$n$  – производственная программа выпуска продукции за определенный плановый период.

Из (3) видно, что значение  $\max(a_j / Q_j)$  определяет минимально возможный ритм линии, а  $F_j / n$  – максимально допустимый. При фиксированных  $a_j$  и  $n$  можно минимизировать количество рабочих мест (оборудования), необходимых для выполнения производственной программы.

Общее время перерывов  $T_{перj}$  по операции  $j$  может состоять из нескольких перерывов. Так, сменное задание по операции  $j$  рабочий может сделать частично, уйти на другую операцию, а потом вернуться на то рабочее место, где была не выполнена работа. Такая схема выполнения операций на прямоточной линии осуществляется за счет организации работ многостаночников, т.е. работников освоивших смежные профессии.

Итак, на прямоточной линии продолжительности выполнения операций  $na_j$  не равны из-за того, что длительности операций по одному изделию  $a_j$  не равны ритму линии  $r$ . Движение изделий по операциям происходит по параллельно-последовательному виду. Передача изделий с одной операции на другую осуществляется, как правило, поштучно (но может и частями партии  $n$ ). Между операциями происходит периодическое накопление изделий, оборотных заделов (запасов), величина которых изменяет от нуля до  $n$  штук [4,6 и др.], переходящих оборотных заделов из одного периода оборота в последующий. За одним рабочим при организации работ многостаночников может закрепляться 2-3 операции. При этом необходимо, чтобы сумма длительностей данных операций не превосходила величину  $r$ , т.е. средний ритм, такт линии.

Для эффективной работы линии, полной загрузки рабочих и оборудования устанавливается наиболее целесообразный регламент прерывной линии: период оборота (смена и т.д.), время работы каждого рабочего по всем им выполняемым операциям, последовательность перехода рабочего с одной операции на другую, размер оборотных запасов, в том числе и переходящих оборотных заделов. Все это представляется в виде плана-графика работы прямоточной линии, составление которого существенно усложняется из-за организации работы многостаночников [4,6 и др.].

Таким образом, осуществление организации работ на прямоточной линии существенно усложняется. Если на поточной линии основная проблема заключается в согласовании длительности каждой операции с ритмом линии, т.е. синхронизации длительностей всех операций на линии (фактически это техническая задача проектирования поточной линии), то на прямоточной линии необходимо решить задачу построения плана-графика выполнения работ по операциям так, чтобы полнее загрузить оборудование и

рабочих, минимизировать оборотные запасы деталей между операциями. Такая задача является задачей производственного менеджмента.

Как показано в работах [1,3–6], величина незавершенного производства (часть оборотных активов предприятия) зависит от графиков двух типов, от времени начала и окончания выполнения сменного задания по смежным операциям. При этом, если построенный план-график обеспечивает минимум запасов на конец смены, то достигается и минимум средних запасов [6].

При решении первой задачи, уменьшения переходящих запасов, что дает высвобождение оборотных средств, возникает вторая проблема – занятость рабочих. На прямоточной линии длительность части операций может быть существенно меньше продолжительности смены. Так как рабочий получает заработную плату за фактически отработанное время, то следует составить план-график работы так, чтобы загрузка (и заработок) рабочих была высокой. В противном случае возникает проблема обеспечения прямоточной линии рабочими. При этом необходимо учитывать и изменение запасов.

Рассмотрим построение пооперационного плана-графика для прямоточной линии и возможности решения вышеуказанных проблем на следующем примере (использованы данные о прерывно-поточной линии инструментального производства)[2]. 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 для операции  $i$ , входящей в группу  $g$  ( $g = 1, 2$ ) смежных операций, представлены в табл. 1.

Чтобы понять суть проблем, которые возникают при организации работ на прямоточной линии, представим график (рис. 2) ее работы, 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 возникают оборотные запасы. Величина их обозначена через  $z_i$  (в штуках деталей). Общий объем деталей в запасах – 731 шт. стоимостью 54,735 тыс. руб. Это почти весь объем сменного задания.

Таблица 1

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	89,9	470	

Из рис. 2 видно, что если изменить время начала операций, то можно существенно уменьшить уровень оборотного запаса. Такую задачу можно поставить как оптимизационную [6,10]. Однако на предприятиях оптимизация принятия решений на основе математического программирования еще не получила широкого распространения. Поэтому в работе [2] 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 (1) и (2)) 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 прямооточной линии.

№ 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. 2. Первый вариант графика работы прямооточной линии

Для первой группы операций сдвиг их (относительно друг друга) на единицу времени в соответствии с формулой (1) 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 и представим их в табл. 1. 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. Наибольшими 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 [2].

Использование такой методики для решения поставленной задачи (на рис. 2) обеспечивает получение оптимального решения (рис. 3). Решение задачи линейного программирования дает тот же результат. Уровень оборотных запасов на конец смены снижается до 464 шт. деталей стоимостью 38,255 тыс. руб. По стоимости снижение оборотных активов составляет 30%.

№ 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. 3. График работы прямоточной линии при минимальном уровне оборотных запасов на конец смены

Однако в обоих графиках работы линии (рис. 2 и рис. 3) использование эффективного времени работы бригады составляет 58%. Это значит, что три человека из семи не загружены почти полностью. Минимальная оплата труда (с начислениями) одного работника за простой в смену составляет 620 руб. Если не оплачивать простой, то на такой прямоточной линии работать никто не будет. Выходом является организация работы многостаночников. Из рис. 3 видно, что можно поручить одному рабочему выполнять 2-ю и 6-ю операции, 1-ю и 4-ю операции. В этом случае на участке могут работать

только пять человек. В работе [2] использование приближенного алгоритма организации работы многостаночников позволило сократить число рабочих на участке до 4 человек. В этом случае загруженность рабочих вырастет до 101,6% (за счет сверхурочных). При этом общее количество оборотных запасов увеличится до 1048 деталей стоимостью 81,656 тыс. руб. Прирост оборотных активов составит 43,6 тыс. руб. Финансовые затраты на пополнение оборотных активов за счет кредита при 14% годовых равны 6,08 тыс. руб. Экономия же заработной платы с начислениями, которую надо бы выплатить трем рабочим за простой, только за смену составит 1,86 тыс. руб., а за 240 рабочих дней – 446,4 тыс. руб. Существенный эффект налицо.

Следовательно, здесь можно сделать следующий вывод о том, что затраты на увеличение запасов на прямоточной линии не идут ни в какое сравнение с экономией заработной платы. Главное здесь, чтобы сменное задание было выполнено, а занятость рабочих прямоточной линии приближалась к 100%, так как за этим стоит уровень оплаты их труда. При этом резко возрастает и производительность труда.

Таким образом, решение представленной здесь проблемы предлагается осуществить в два этапа. Сначала строится график работы прямоточной линии с минимизацией уровня оборотных запасов на конец смены, а затем этот график корректируется организацией работы многостаночников для более полной загрузки рабочих и оплаты их труда.

Однако если на первом этапе удалось формализовать процесс принятия решений, приводящий к оптимизации уровня запасов на прямоточной линии на конец смены, то при решении задачи организации работы многостаночников используется приближенный алгоритм. Трудность решения второй задачи заключается в том, что все значения  $A_i$  различны, возникает множество возможных решений и не все они сразу просматриваются. Только благодаря небольшой размерности представленной на рис. 4 задачи достаточно просто получено ее решение. Поэтому далее рассмотрим один из подходов к совершенствованию алгоритма решения поставленной задачи.

Воспользуемся схемой организации технологического процесса на поточных линиях, где длительности всех операций примерно выравнены технологически и равны ритму  $r$ . Как уже отмечалось, на прямоточных линиях делать это нецелесообразно. Поэтому для прямоточной линии введем понятие локального ритма, такта  $d$  длительности обработки определенного количества деталей на различных операциях. При этом ставится условие примерной кратности  $d$  всем значениям  $A_i$  и  $T$  – длительности смены. В идеальном случае  $d$  – это наименьшее общее кратное. Однако на поточных

линиях различие длительностей операций все-таки может достигать 10 %, поэтому и на прямоточных линиях возьмем данный параметр за основу.

Определение  $d$  представим на уже рассмотренном примере. Исходные параметры  $A_i$  и  $T$  заданы в минутах: 280, 163, 235, 187, 360, 256, 470 и 480.

Первый шаг расчетов. Пусть  $d_1 = 163 = \min \{A_i\}, i = 1, 2, \dots, m$ . Возьмем первые два числа:  $A_1 = 280$  и  $A_2 = 163$ . Отклонение значения 280 от  $d_1$  равно 117, а от  $2d_1 = 326$  – составляет 46. Среднее минимальное отклонение равно 23 ( $46 / 2$ ). Такое отклонение не должно превышать 10 % от величины  $d_1$ , т. е. от значения 16. Как видим, данное условие не выполняется, поэтому  $d_1$  не может быть взято за локальное значение ритма.

Второй шаг расчетов. Полагаем  $d_2 = d_1 / 2 = 81$ , округляя до ближайшего целого числа. Сравниваем его с параметром  $A_1 = 280$ . Наиболее близкое к 280 является число 243, кратное 81 ( $243 = 3 * 81$ ). Среднее отклонение  $(280 - 243) / 3 = 12,3$  больше чем 10 % от 81. Поэтому значение 81 не может быть взято за локальный ритм линии. Рассматривать другие параметры  $A_i$  не имеет смысла.

Третий шаг расчетов. Полагаем  $d_3 = d_1 / 3 = 54$ , округляя до ближайшего целого числа. Сравниваем его с параметром  $A_1 = 280$ . Наиболее близкое к 280 является число 270, кратное 54. Среднее отклонение  $(280 - 270) / 5 = 2$  меньше, чем 10 % от 54. Здесь  $5 = 270 / 54$ . Следовательно, значение 54 может быть локальным значением ритма, но только для первых двух операций. Рассматриваем другие значения  $A_i$ . Для третьей операции продолжительность  $A_3 = 235$ . Наиболее близкое к этому значению число 216, кратное 54. Среднее отклонение  $(235 - 216) / 4 = 4,75$  меньше, чем 10 % от 54. Для четвертой операции продолжительность  $A_4 = 187$ . Наиболее близкое к этому значению число 162, кратное 54. Среднее отклонение  $(187 - 162) / 3 = 8,3$  больше, чем 10 % от 54. Следовательно, значение 54 не может быть взято за локальное значение ритма.

Четвертый шаг расчетов. Полагаем  $d_4 = d_1 / 4 = 41$ , округляя до ближайшего целого числа. Расчеты выполняются аналогично предыдущим шагам. Значение 41 выполняет условие возможных предельных средних отклонений трудоемкости выполнения части операций от локального ритма, такта прямоточной линии. Так, для первой операции такое отклонение составляет -2,4 %; для 2-й – -0,6 %; для 3-й – -4,5 %; для 4-й – -0,9 %; для 5-й – -2,4 %; для 6-й – 4,1 %; для 7-й – 4,2 %. Как видим, отклонения далеко не превышают допустимый 10 % рубеж. Продолжительность смены составляет 480 минут. Наиболее близкое число, кратное значению 41, составляет 492 минуты. Это 12 локальных ритмов, тактов  $d = d_4$ , по

длительности равных 41 минуте. При этом отклонение составляет 2,5 % от продолжительности смены.

Длительность всех работ на прямоточной линии составляет 1951 минуту. Если предположить, что будут работать 4-ро рабочих, то в среднем они должны отработать по 488 минут, что несколько больше смены. Поэтому продолжительность смены зафиксируем в 492 минуты, состоящей из 12 тактов по 41 минуте каждый, т. е. с учетом сверхурочных работ. Продолжительность сверхурочных работ может быть ограничена, что ограничит и количество тактов, определяющих возможное время работы сверх длительности смены. Когда рабочему за время какого-то такта придется выполнить объем работ несколько больший, чем длительность ритма, то здесь следует иметь ввиду, что технологические нормы  $a_i$  задаются с учетом определенного запаса. Кроме этого, всегда существует перевыполнение норм. При формировании параметра  $d$  учтено предельно возможное отклонение от норм. Разбиение смены на такты, ритмы позволяет любому рабочему, выполнив работу в текущем такте, уйти на любую другую операцию, если это целесообразно. Подобная ситуация упрощает построение плана-графика выполнения работ с учетом работы многостаночников, когда на прямоточной линии необходимо выполнить не менее 10–15 операций.

Далее представим методику построения плана-графика, рис. 5, выполнения работ по 7-и операциям 4-я рабочими, объем работ 48 чел.тактов.

№ оп.	Локальные ритмы, такты (время окончания такта, мин.); график выполнения операций на прямоточной линии												$z_i$ , шт.		
	1(41)	2(82)	3(123)	4(164)	5(205)	6(246)	7(287)	8(328)	9(369)	10(410)	11(451)	12(492)			
1	—													0	
2				—										0	
3					—									0	
4							—							384	
5	—							—						116	
6	—									—				254	
7	—										—				

Рис. 5. Построение плана-графика выполнения операций на прямоточной линии с учетом работы многостаночников

На основании проведенных расчетов определено, что первая операция может быть выполнена за 7 тактов, 2-я – за 4, 3-я – за 6, 4-я – за 5, 5-я – за 9, 6-я – за 6, 7-я – за 11 тактов. Общая длительность работ – 48 тактов.

Так как 7-я операция длится почти всю смену, то она и ставится в график первой, начиная с начала смены. В соответствии с приоритетами (табл. 1) далее ставим в график выполнение 3-й и 4-й операций, 3-я операция выполняется за первые 6 тактов, а 4-я операция со 2-го такта по 6-й. Далее необходимо согласовать работу 2-й и 3-й операций. 2-я операция может быть начата с начала смены, тогда переходящий запас между 2-й и 3-й операциями станет нулевым. Для того чтобы переходящий запас деталей между 1-й и 2-й операциями стал нулевым необходимо 1-ю операцию начать с начала смены, а 2-ю операцию сдвинуть на три такта вправо, так как 1-я операция может быть выполнена только за 7 тактов времени. Однако с начала смены все 4-ро рабочих уже задействованы. Чтобы освободить 7 тактов времени можно сдвинуть вправо до конца смены 4-ю операцию, при этом по-прежнему между 3-й и 4-й операциями на конец смены не будет переходящих запасов. Поэтому 1-я операция начинается с начала смены, а чтобы сохранить нулевые запасы деталей на конец смены, необходимо сдвинуть вправо на три такта и время выполнения 2-й и 3-й операций.

Следующим приоритетом является согласование работ между 5-й и 6-й операциями. Так как все четверо рабочих уже задействованы в графике, то выполнение оставшихся операций будут выполнять они же, но в свободное от основных работ время. Так, 5-я операция длительностью в 9 тактов может быть начата с начала смены и выполняться в течение 4-х тактов, а далее рабочий с этой операции уходит на 3-ю, где работы сдвигаются на один такт (от этого сдвига переходящие запасы не возрастут). Продолжает же 5-ю операцию рабочий, закончивший работы по 2-й операции. Между 4-й и 5-й операциями возникает переходящий запас в размере 384 шт. деталей стоимостью 29,645 тыс. руб. 6-я операция начинается с начала смены, продолжается 3-и такта, а далее рабочий переходит на 2-ю операцию. Продолжает работу рабочий, закончивший 3-ю операцию, но только в 11-м и 12-м тактах. В 10-м такте работы по 6-й операции выполняет рабочий с 7-й операции, а затем он снова возвращается на 7-ю операцию. Между 5-й и 6-й операциями возникает переходящий запас в 116 шт. деталей стоимостью 9,442 тыс. руб. Между 6-й и 7-й операциями переходящий задел равен 254 шт. деталей стоимостью 21,438 тыс. руб.

Таким образом, новое решение также основано на работе только 4-х рабочих, но переходящий запас деталей уменьшается с 1084 шт. до 754 шт. Стоимость этого запаса уменьшается с 81,656 до 60,525 тыс. руб. При этом использование локальных ритмов, тактов на прямоточной линии упрощает

построение плана-графика выполнения операций на основе организации работы многостаночников.

#### Список литературы

1. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика. М.: Дело, 2001. 832с.
2. 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: ИЭОПП СО РАН, 2008. – С. 308–316.
3. Думлер С.А. Поточные методы производства в машиностроении. М.: Машгиз, 1947. 58с.
4. Климов А.Н., Оленев И.Д., Соколицин С.А. Организация и планирование производства на машиностроительном заводе. Л.: Машиностроение, 1979. 583с.
5. Козловский В.А., Маркина Т.В., Макаров В.М. Производственный и операционный менеджмент. СПб: Специальная литература, 1998. 366с.
6. Кузин Б.И. Организация поточного производства в условиях научно-технического прогресса машиностроения. Л.: Машиностроение, 1977. 184с.
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2000. 421с.
8. Поточные методы производства в серийном машиностроении и приборостроении / Под. Ред. А.Г. Бермана, А.И. Неймарка. М.-Л.: Машгиз, 1958. 326с.
9. Производственный менеджмент / Под ред. В.А. Козловского. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 574 с.
10. Соколицын С.А., Кузин Б.И. Организация и оперативное управление машиностроительным производством. – Л.: Машиностроение, 1988. – 527 с.
11. Старр М. Управление производством. М.: Прогресс, 1968. 398с.
12. Ткалин И.М. Прогрессивные формы поточного производства. М.-Л.: Энергия, 1977. 247с.
13. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе. – СПб.: Изд. С-Петербургского ун-та, 1997. – 224с.