

ОБОРОТНЫЕ МЕЖОПЕРАЦИОННЫЕ ЗАДЕЛЫ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА

Г.А. Калинин

В теории организации производственных процессов имеются серьезные недостатки в части понятий, определений, методики расчета оборотных заделов.

Нельзя, например, согласиться с трактовкой формулы для расчета величины задела в такой редакции:

«Задел между смежными операциями определяется как разность числа обработанных изделий на этих операциях за определенный период времени. Максимальная величина задела Z_{\max} за определенный период T может быть рассчитана по формуле:

$$Z_{\max} = \frac{T \cdot C_i}{t_i} - \frac{T \cdot C_{i+1}}{t_{i+1}} \text{ шт.},$$

где: T – период работы на смежных операциях при неизменном числе работающих станков в мин; C_i, C_{i+1} – число единиц оборудования, работающих на смежных i -й и $i + 1$ -й операциях в течение периода времени T ; t_i, t_{i+1} – нормы времени на этих операциях в мин» [1, с. 81].

Такой трактовки придерживаются многие авторы. В более поздних изданиях приведенная формула трактуется как формула для определения максимального изменения задела за отрезок времени, в течение которого на смежных операциях работает неизменное число единиц оборудования (рабочих мест). Такую же точку зрения высказал автор статьи еще в 1977 г. [2].

Однако до настоящего времени некоторые авторы упорно настаивают на том, что оборотный задел определяется как разность обработанных деталей за определенный отрезок времени на предыдущей и последующей операциях. Например, в изданном в 2000 г. по рекомендации Министерства образования Российской Федерации учебнике для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экономическим и управленческим специальностям, приводится та же формула для расчета оборотных межоперационных заделов [3, с. 582]. Такой же точки зрения придерживаются некоторые отечественные авторы [4, с. 92].

Такое удивительное постоянство в применении некорректной формулы вызвало необходимость ретроспективного анализа, который показал, что доктор технических наук, профессор А. И. Неймарк впервые вывел формулы для расчета оборотных заделов на прямоточных линиях, и именно: привел формулу, которая затем ошибочно интерпретировалась разными авторами. В одной из своих работ А. И. Неймарк пишет: «По каждому частичному периоду T_x максимальное абсолютное значение числа деталей в заделе Z_x определяется, как известно, из разности выпуска по операциям:

$$\pm Z_x = \frac{T}{t_1} - \frac{T}{t_2},$$

где: t_1 и t_2 – ритмы работы соответственно по питающей и потребляющей операциям Знак плюс означает, что это Z_x наступает в конце данного периода T_x . Знак минус означает, что рассчитанное по формуле Z_x имеет место в начале периода T_x при нулевом значении величины задела в конце этого периода» [5, с. 115].

По существу в приведенной формуле показана разность обработанных деталей на смежных операциях за период T_x . И хотя автор объясняет, что означают знаки плюс и минус, все же эти объяснения кажутся неубедительными. Если бы вместо термина «задел» был бы применен термин «изменение задела», то приведенная формула не вызвала бы сомнений в ее корректности. Кроме того, А.И. Неймарк рассматривает частный случай, по его выражению, «при нулевом значении величины задела» в начале или в конце рассматриваемого периода, т. е. отдельно в каждой рабочей фазе независимо от того, какой задел был создан в предыдущие «частичные» периоды. К.Г. Татевосов вводит термин «график образования и расходования оборотного задела», и поясняет: «Результат со знаком (-)... покажет, что на данном отрезке происходит расходование задела, образованного на предыдущем отрезке [6, с. 236].

С целью обоснования основных теоретических положений и иллюстрации методов

расчета оборотных межоперационных заделов обратимся к примеру (см. табл. 1).

Таблица 1

Стандарт-план прямоточной линии (пример)

1	2,6	1,3	2	1	100	А	1,0
				2	30	Б	0,3
2	1,4	0,7	1	1	70	В	0,7
3	1,4	0,7	1	1	70	Б	0,7
4	4,0	2,0	2	1	100	Г	1,0
				2	100	Г	1,0

Согласно правилам построения графиков работы прямоточных линий, принято:

На первой операции первый станок загружен на 100%, а второй – на 30%, что позволило догрузить рабочего *Б* работой на третьей операции, учитывая его способность совмещать профессии на этих операциях (например, токарь-фрезеровщик). Однако второй станок на первой операции простаивает, ибо не представляется возможным загрузить его другими работами.

На второй операции станок и рабочий *В* загружены на 100%, причем 70% времени тратится на изготовление поточной продукции и 30% – на изготовление внепоточной продукции.

На третьей операции работа начинается со сдвигом во времени, что не противоречит правилам построения графиков.

На четвертой операции применяется многостаночное обслуживание, т. е. рабочий *Г* обслуживает два станка-дублера.

В течение укрупненного ритма на всех операциях обрабатывается одинаковое количество деталей, что регламентируется принятым графиком работы. Однако различная производительность, сдвиг во времени работы и изменение количества работающих станков в течение укрупненного ритма приводят к неравномерному потреблению деталей в одни отрезки времени и расходованию – в другие.

Детали, прошедшие обработку на предыдущей операции и не обработанные на

последующей вследствие различной их производительности или сдвига во времени работы, составляют оборотный межоперационный задел.

Расчет и построение графиков движения оборотных межоперационных заделов осуществляется на основании графика работы прямоточной линии.

Следует различать понятия: оборотный задел в какой-то момент времени и изменение оборотного задела за определенный отрезок времени.

Изменение оборотного задела за определенный отрезок времени представляет собой разность количества деталей, обработанных за этот отрезок времени на предыдущей и последующей операциях.

В структуру укрупненного ритма входит определенное количество отрезков времени, характеризующихся неизменными условиями работы, а следовательно, и неизменной производительностью на смежных операциях. Эти отрезки времени называются рабочими фазами, а граничной точкой фаз является момент времени, начиная с которого на смежных операциях меняются организационные условия их выполнения, и работа начинается в новой фазе. Например, на рис. 1 в сочетании первой и второй операций выделено три фазы. Первая характеризуется тем, что на первой операции работают два станка, на второй – один. Во второй фазе на первой операции работает один станок и на второй один. А в третьей фазе на первой операции

работает один станок, а на второй станок не работает по изготовлению поточной продукции. Для других сочетаний смежных операций выделены другие фазы.

В пределах рабочей фазы величина оборотного задела изменяется с одинаковой закономерностью, причем зависимость между величиной изменения задела и временем работы в этой фазе – прямолинейная. Очевидно, что максимального изменения в каждой фазе задел достигает к моменту окончания этой фазы. Это изменение равно разности количества деталей, обработанных на смежных операциях в течение фазы.

Формула для определения максимального изменения задела в фазе может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta Z \max_{(i,i+1)} = \frac{\Phi_j \times c_{i,j}}{t_i} - \frac{\Phi_j \times c_{(i+1),j}}{t_{i+1}}, \quad (1)$$

где: $\Delta Z \max_{(i,i+1)}$ – максимальное изменение задела в j-й фазе между i-й и (i+1)-й операциями, шт.;

Φ_j – продолжительность j-й фазы, мин;
 $t_i, t_{(i+1)}$ – штучное время соответственно на i-й и i+1-й операциях, мин;

$c_{i,j}, c_{(i+1),j}$ – количество единиц оборудования или рабочих мест, функционирующих в соответствии с графиком на i-й и (i+1)-й операциях в j-й фазе.

Уменьшаемое число в формуле (1) представляет собой количество деталей, обработанных на предыдущей операции за отрезок времени Φ_j , а вычитаемое – количество деталей, обработанных на последующей операции за этот же отрезок времени.

Изменение оборотного задела в фазе может быть выражено:

– числом положительным, когда в сочетании смежных операций предыдущая имеет большую производительность в соответствии с количеством работающих станков в фазе, и задел увеличивается;

– числом, равным нулю, когда смежные фазы имеют одинаковую производительность, и задел не изменяется;

– числом отрицательным, когда последующая операция имеет большую производительность, и задел уменьшается.

Оборотный же межоперационный задел не может быть выражен числом отрицательным.

Нами сформулированы и другие теоретические положения относительно оборотных межоперационных заделов:

• алгебраическая сумма изменений оборотного задела в течение укрупненного ритма равна нулю;

• оборотный межоперационный задел равен нулю в граничной точке фаз, в которой алгебраическая сумма изменений задела имеет минимальное значение;

• задел в любой граничной точке фаз равен абсолютному значению алгебраической суммы изменений задела во всех фазах от граничной точки фаз, в которой задел равен нулю, до искомой;

• динамика оборотного межоперационного задела зависит только от сочетания графиков работы на смежных операциях;

• динамика суммарного оборотного задела зависит от сочетания графиков работы на первой и последней операциях.

Для расчета межоперационных оборотных заделов можно применить один из трех методов: аналитический, табличный или графоаналитический.

Аналитический метод заключается в выполнении ряда логических действий, расчете заделов по формулам и включает:

1) определение продолжительности рабочих фаз в сочетании смежных операций согласно графику работы;

2) расчет максимального изменения задела в каждой фазе по формуле (1);

3) округление значения максимального изменения задела, полученного по формуле (1), до ближайшего целого числа;

4) определение алгебраической суммы максимальных изменений заделов к моменту окончания каждой фазы с нарастающим итогом от первой до последней фазы по формуле:

$$\sum_{j=1}^{j=n} \Delta Z_{\max(i,i+1)}^j, \quad (2)$$

где: $\sum_{j=1}^{j=n} \Delta Z_{\max(i,i+1)}^j$ – алгебраическая сумма максимальных изменений заделов от момента начала периода оборота, т. е. начальной точки K_n , до граничной точки j-й и (j+1)-й фаз между i-й и (i+1)-й операциями, шт.;

n – порядковый номер фазы, к моменту окончания которой определяется алгебраическая сумма максимальных изменений заделов;

5) определение задела в начальной точке. Задел в начальной точке равен абсолютному значению минимальной суммы максимальных изменений задела:

$$Z_{K_n}^{(i,i+1)} = \left[\min_{j=1}^n \sum_{j=1}^j \Delta Z_{\max(i,i+1)}^j \right], \quad (3)$$

где: $Z_{K_n}^{(i,i+1)}$ – задел в начальной точке между i -й и $(i+1)$ -й операциями, шт.;

$\min \sum_{j=1}^n \dots$ – минимальная сумма максимальных изменений задела;

б) определение задела в граничных точках фаз:

$$Z_{(j,j+1)}^{(i,i+1)} = Z_{K_n}^{(i,i+1)} + \sum_{j=1}^n \Delta Z_{\max(i,i+1)}^j, \quad (4)$$

где $Z_{(j,j+1)}^{(i,i+1)}$ – задел в граничной точке между j -й и $(j+1)$ -й фазами в сочетании i -й и $(i+1)$ -й операций, шт.;

7) определение задела в любой момент времени:

$$Z_{T(j+1)}^{(i,i+1)} = Z_{(j,j+1)}^{(i,i+1)} + \frac{T_{(j,j+1)}^{(i,i+1)} \cdot C_{(i,j+1)}}{t_i} - \frac{T_{(j+1)}^{(i,i+1)} \cdot C_{(i+1,j+1)}}{t_{(i+1)}}, \quad (5)$$

где: $Z_{T(j,j+1)}^{(i,i+1)}$ – оборотный межоперационный задел в момент времени, характеризующийся отрезком времени T от начала $(j+1)$ -й фазы в сочетании i -й и $(i+1)$ -й операций, шт.;

$C_{(i,j+1)}, C_{(i+1,j+1)}$ – количество станков, работающих в $(j+1)$ -й фазе соответственно на i -й и $(i+1)$ -й операциях;

$t_i, t_{(i+1)}$ – норма штучного времени соответственно на i -й и $(i+1)$ -й операциях;

8) определение суммарного оборотного задела в начальной точке:

$$Z_{K_n}^\Sigma = \sum_{i=1}^{m-1} Z_{K_n}^{(i,i+1)}, \quad (6)$$

где: m – количество операций на линии;

9) определение суммарного оборотного задела в граничных точках фаз в сочетании первой и последней операций:

$$Z_{K_{(j,j+1)}}^\Sigma = Z_{K_n}^\Sigma + \sum_{j=1}^n \Delta Z_{\max(1,m)}^j, \quad (7)$$

или

$$Z_{K_{(j,j+1)}}^\Sigma = \sum_{j=1}^{m-1} Z_{K_n}^{(i,i+1)} + \sum_{j=1}^m \Phi_j^{(1,m)} \left(\frac{C_{j,1}}{t_1} - \frac{C_{j,m}}{t_m} \right), \quad (8)$$

где: $Z_{K_{(j,j+1)}}^\Sigma$ – суммарный оборотный задел в граничной точке j -й и $(j+1)$ -й фаз в сочетании 1 -й и m -й операций, шт.;

$\sum_{j=1}^n \Delta Z_{\max(1,m)}$ – алгебраическая сумма максимальных изменений задела от начальной точки до граничной точки j -й и $(j+1)$ -й фаз, т.е. к моменту окончания j -й фазы;

$\Phi_j^{(1,m)}$ – продолжительность j -й фазы в сочетании первой и последней операций;

$C_{j,1}; C_{j,m}$ – количество единиц оборудования соответственно на первой и последней операциях в j -й фазе;

t_1, t_m – штучное время соответственно на первой и последней операциях;

10) определение суммарного оборотного задела в любой момент времени в $(j+1)$ -й фазе:

$$Z_{T_{j+1}}^\Sigma = Z_{K_{(j,j+1)}}^\Sigma + \Delta Z_{\max(1,m)}^{T_{j+1}} \quad (9)$$

или

$$Z_{T_{j+1}}^\Sigma = Z_{K_{(j,j+1)}}^\Sigma + T_{j+1} \left(\frac{C_{j+1,1}}{t_{um_1}} - \frac{C_{j+1,m}}{t_{um_m}} \right), \quad (10)$$

где: T_{j+1} – отрезок времени от граничной точки j -й и $(j+1)$ -й фаз до момента, в котором определяется задел.

Недостатком аналитического метода является невозможность наглядного представления динамики межоперационных заделов.

Табличный метод позволяет представить в специальных таблицах изменение задела в фазах и уровень задела в граничных точках фаз.

Последовательность действий при применении табличного метода.

1. По графику работы прямооточной линии определяются рабочие фазы в сочетании смежных операций и рассчитывается их продолжительность. Если, например, укрупненный ритм выбран равным продолжительности полусмены, т.е. $4ч=240$ мин, то продолжительность фаз в сочетании первой и второй операций будет: $\Phi_1 = 240 \times 0,3 = 72$ мин; $\Phi_2 = 240 \times 0,4 = 96$ мин; $\Phi_3 = 240 \times 0,3 = 72$ мин. Полученные результаты расчета вносятся в специальную таблицу (см. табл. 2).

2. Рассчитывается изменение задела в фазах (по формуле 1).

$$\Delta Z_{\max_{1,2}}^{\Phi_1} = \frac{72 \times 2}{2,6} - \frac{72 \times 2}{1,4} \approx +4.$$

$$\Delta Z_{\max_{1,2}}^{\Phi_2} = \frac{96 \times 1}{2,6} - \frac{96 \times 1}{1,4} \approx -32.$$

$$\Delta Z_{\max_{1,2}}^{\Phi_3} = \frac{72 \times 2}{2,6} - \frac{72 \times 0}{1,4} \approx +28.$$

Значения изменений задела в фазах вносятся в табл. 2.

Дальнейшие расчеты производятся по таблице.

3. Определяется алгебраическая сумма изменений задела нарастающим итогом к концу каждой фазы и включается в таблицу в каждой граничной точке фаз. В начальной и конечной точках – это нуль (во всех случаях).

Таблица 2

Расчетная таблица для определения оборотного задела между I и II операциями (пример)

№ п/п	Наименование	Значения расчетных величин						
		K_n	Φ_1	K_{1-2}	Φ_2	K_{2-3}	Φ_3	K_k
1	Фазы и граничные точки фаз							
2	Продолжительность рабочих фаз, мин		72		96		73	
3	Максимальное изменение задела в фазе, шт.							
4	Алгебраическая сумма изменений задела, шт.	0	+4	4	-32	-28	+28	0
5	Задел в граничных точках фаз, шт.	28		32		0		28

Далее рассчитывается алгебраическая сумма изменений задела в каждой граничной точке в последовательности, указанной в таблице короткими стрелками.

4. Определяется точка нулевого задела по минимальному значению алгебраической суммы. В нашем примере – это граничная точка между второй и третьей фазами, в которой алгебраическая сумма равна -28. Следовательно, в этой точке в таблице, в строке «Задел в граничных точках фаз» проставляется нуль.

5. По абсолютному значению алгебраической суммы оборотного задела в нулевой точке определяется оборотный задел в начальной и конечной точках фаз и вносится в таблицу. В нашем примере это 28 шт.

6. Определяется задел в других граничных точках фаз путем последовательного прибавления к заделу в начальной точке изменений задела в соответствующих фазах. Последовательность действий показана в таблице длинными стрелками. В нашем примере:

- задел в начальной точке фаз (K_n): +28 шт.;
- задел в граничной точке между первой и второй фазами (K_{1-2}): 28+4=32 шт.;
- задел в граничной точке между второй и третьей фазами (K_{2-3}): 32-32=0 (определен ранее);

– задел в конечной точке фаз (K_k): 0+28=28 шт. (определен ранее).

Аналогично производятся расчеты по определению оборотных заделов между другими смежными операциями.

Суммарный оборотный задел определяется следующим образом.

А. Устанавливаются граничные точки и продолжительность рабочих фаз в сочетании первой и последней операций.

Б. По формуле (1) производится расчет максимального изменения оборотного задела в каждой фазе в сочетании первой и последней операций. Результат вносится в специальную таблицу (см. табл. 3).

В. Определяется суммарный задел в начальной точке фаз путем суммирования заделов в начальной точке между всеми парами смежных операций. В нашем примере он равен сумме 28+0+36=64 шт (см. рис. 1).

Г. Определяется задел в остальных граничных точках путем последовательного прибавления к значению суммарного задела в начальной точке фаз алгебраической суммы изменения задела от начальной точки до окончания соответствующей фазы. Последовательность расчета показана стрелками в табл.3.

Таблица 3

Расчетная таблица для определения суммарного оборотного задела на линии (пример)

№ операции	Наименование	Значения расчетных величин				
		K_n	Φ_1	K_{1-2}	Φ_2	K_k
1	Фазы и граничные точки фаз в сочетании 1-й и 4-й операций					
2	Продолжительность рабочих фаз, мин		72		168	
3	Максимальное изменение задела в фазе, шт.		+19		-19	
4	Задел в граничных точках фаз, шт.	64		83		64

Табличный метод является недостаточно наглядным, но весьма удобным для программирования.

Сущность *графоаналитического* метода состоит в том, что он сочетает в себе расчеты по формуле (1) с графическими построениями.

Расчет графоаналитическим методом производится в следующем порядке.

1. Укрупненный ритм разбивается на рабочие фазы и определяется их продолжительность.

2. Исходя из графика работы, определяют максимальные изменения оборотного задела в каждой фазе в сочетании смежных операций по формуле (1).

3. Строится график изменения оборотного задела между смежными операциями. Для этого на вертикальной оси, соответствующей началу укрупненного ритма, ставится произвольная точка K_n (см. рис. 1). На вертикальной линии, разграничивающей фазы Φ_1 и Φ_2 , от уровня точки K_n в масштабе откладывается отрезок, соответствующий изменению задела в фазе Φ_1 . Затем на вертикальной оси, проведенной аналогично между Φ_2 и Φ_3 , от уровня предыдущей точки откладывается величина изменения задела в фазе Φ_2 и т. д. График изменения задела показывает, как изменяется задел во времени между смежными операциями.

4. Строится график движения оборотного межоперационного задела. Для этого на графике изменения задела через нижнюю точку (точку нулевого задела) проводят горизонтальную ось координат, обозначают начало координат и величину задела в точках перелома.

График движения задела показывает, на каком уровне находится задел в любой момент времени. Чтобы определить величину задела в любой момент времени, необходимо от точки, соответствующей данному моменту и лежащей на нулевой отметке, восстановить перпендикуляр до пересечения с графиком. Длина полученного отрезка и даст необходимое значение, точность которого зависит от точности построения графика.

Чтобы построить график движения суммарного оборотного задела линии, необходимо выполнить следующее:

- установить граничные точки фаз в сочетании первой и последней операций и продолжительность каждой фазы (рис. 1);

- произвести расчет максимального изменения оборотного задела в каждой фазе в сочетании первой и последней операций по формуле (1);

- построить график изменения суммарного оборотного задела на линии в таком же порядке, как и для смежных операций (рис. 1);

- построить график движения оборотного межоперационного задела на линии. Для этого от точки K_n вниз откладывается отрезок, равный величине суммарного задела в начальной точке и отмечается точка начала координат, через которую проводят ось абсцисс. В точках перегиба определяется величина задела (рис. 1).

Построенный таким образом график позволяет определить задел на поточной линии в любой момент времени.

Графоаналитический метод является простым и наглядным, но точность его зависит от точности построения графика.

Таким образом, каждый из изложенных методов имеет как преимущества, так и недостатки. Поэтому каждый из них должен применяться с учетом конкретных условий.

Практическая значимость разработанных методов расчета оборотных межоперационных заделов выражается в нескольких аспектах. Во-первых, по максимальному значению оборотного задела между смежными операциями определяются необходимые производственные площади и средства для накопления и хранения этих заделов, что может повлиять на выбор длительности укрупненного ритма и на построение графиков работы на смежных операциях. Во-вторых, по отклонениям величины оборотного задела от нормативного можно судить о ходе производственного процесса и осуществлять оперативное управление производством. И, наконец, величина оборотных заделов позволяет судить об объеме части незавершенного производства, анализировать его динамику и определять экономические потери, связанные с неэффективным использованием оборотных средств.

ОБОРОТНЫЕ МЕЖОПЕРАЦИОННЫЕ ЗАДЕЛЫ...

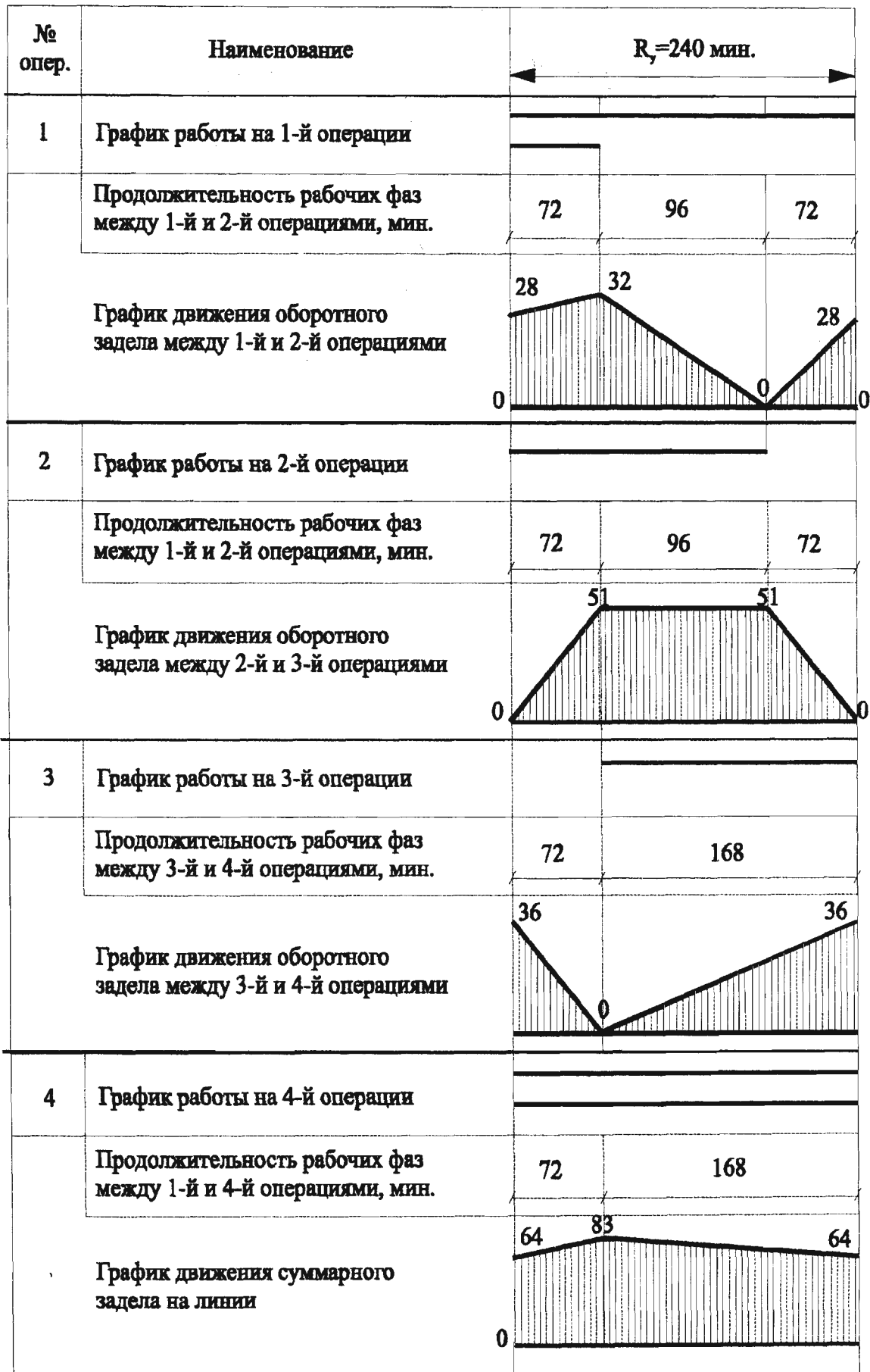


Рисунок 1. Графики движения оборотных заделов

ЛИТЕРАТУРА

1. Разумов И.М., Шухгальтер Л.Я., Летенко В.А. и др. Организация и планирование машиностроительного производства: Учебник для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений. М.: Машиностроение, 1967.
2. Калинин Г.А. Текст лекций по разделу «Организация прямоточных линий». Мн.: БПИ, 1977.
3. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник для вузов. М.: ИНФРА-М, 2000.
4. Золотогоров В.Г. Организация производства и управления предприятием: Учеб. пособие / В.Г.Золотогоров. Мн.: Книжный Дом, 2005.
5. Неймарк А.И. Анализ образования заделов на прямоточных линиях: Организация ритмичного производства в машиностроении // Труды Ленинградской научно-производственной конференции по ритмичности производства в машиностроении / Под общ. ред. А.Г.Бермана. М.;Л.: Машгиз, 1951.
6. Татевосов К.Г. Основы оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии. Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1985.

РЕЗЮМЕ

Показано, что на протяжении десятков лет в учебной литературе применяется некорректная формула для расчета оборотных межоперационных заделов. Сформулированы основные теоретические положения, выведены ключевые формулы и предложены методы расчета оборотных межоперационных заделов на прямоточных линиях.

SUMMARY

It has been shown that over decades the coursebooks have produced the incorrect formula of calculating the circulating interoperational backlog. The basic theoretical provisions have been formulated, the key formulae have been deduced, methods for calculating the circulating interoperational back-log on flow lines have been proposed.