

ЗАДАЧА ФОРМАЛИЗАЦИИ ПЕРЕМЕННЫХ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЛИСТОПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Косилов С.А.

Донецкий институт автомобильного транспорта, г. Донецк

Abstract

Kosilov S.A. The problem formalization of the sheet rolled metal production planning. The sheet rolled metal output technology on the rolling-mill of «DMZ l.l.c.» (Donetsk metallurgical plant) is analyzed in the article. In given work is considered first stage of the sheet rolled metal production planning as closed system of the service, is formalized its structure as operational procedure, executed machine. The general statement of the problem, including purposes of the planning, is realized by methods and in term of the theories of the timetables. The metal transformation in the process of rolling is formalized by set theory methods.

Общая постановка проблемы. Одной из целей планирования прокатного производства является выработка такой последовательности выполнения заказов (составление расписания), при которой время выполнения всех заказов минимально. Разнообразие факторов, влияющих на время получения прокатного листа и сложные взаимосвязи между типами исходных заготовок и типами промежуточного и конечного продукта, существенно усложняют планирование. Многофакторность процесса и технологические особенности каждого конкретного прокатного стана приводят к тому, что существующие исследования проблемы не предлагают универсального решения задачи планирования для любого прокатного стана. Однако после создания обобщённой модели производства и её исследовании можно говорить о приемлемости полученных результатов и для других промышленных объектов.

Постановка задач исследования. В данной работе рассматривается первый этап планирования листопрокатного производства как замкнутой системы обслуживания, формализуется его структура как последовательность операций, выполняемых машинами (группами устройств). Затем определяется зависимость между характеристиками прокатного производства (типоразмерами исходного, промежуточного и конечного продукта) и установленные взаимосвязи формализуются методами теоретико-множественного анализа. Общая постановка задачи, включающая цели планирования, осуществляется методами и в терминах теории расписаний.

Анализ исследований и публикаций. Технология процесса прокатки, описание устройств прокатного стана и исследование факторов, влияющих на производительность стана излагается в [1]. В [2] изучаются теоретические основы процесса прокатки, которые могут быть использованы в задаче планирования прокатного производства. Основные задачи и методы теории расписаний для систем с детерминированными характеристиками представлены в [3].

Решение задач и результаты исследований. На первом этапе исследуемый объект управления разбивается на БЛОКИ - основные группы технологических устройств процесса прокатки, определяется последовательность прохождения металла по устройствам (конвейерная или случайная), характер поступления исходных заготовок на вход объекта управления (статический или динамический), выделяются основные характеристики процесса и взаимосвязи между ними, которые формализуются в виде теоретико-множественной конструкции.

На рис.1 приведена обобщенная схема листопрокатного производства.

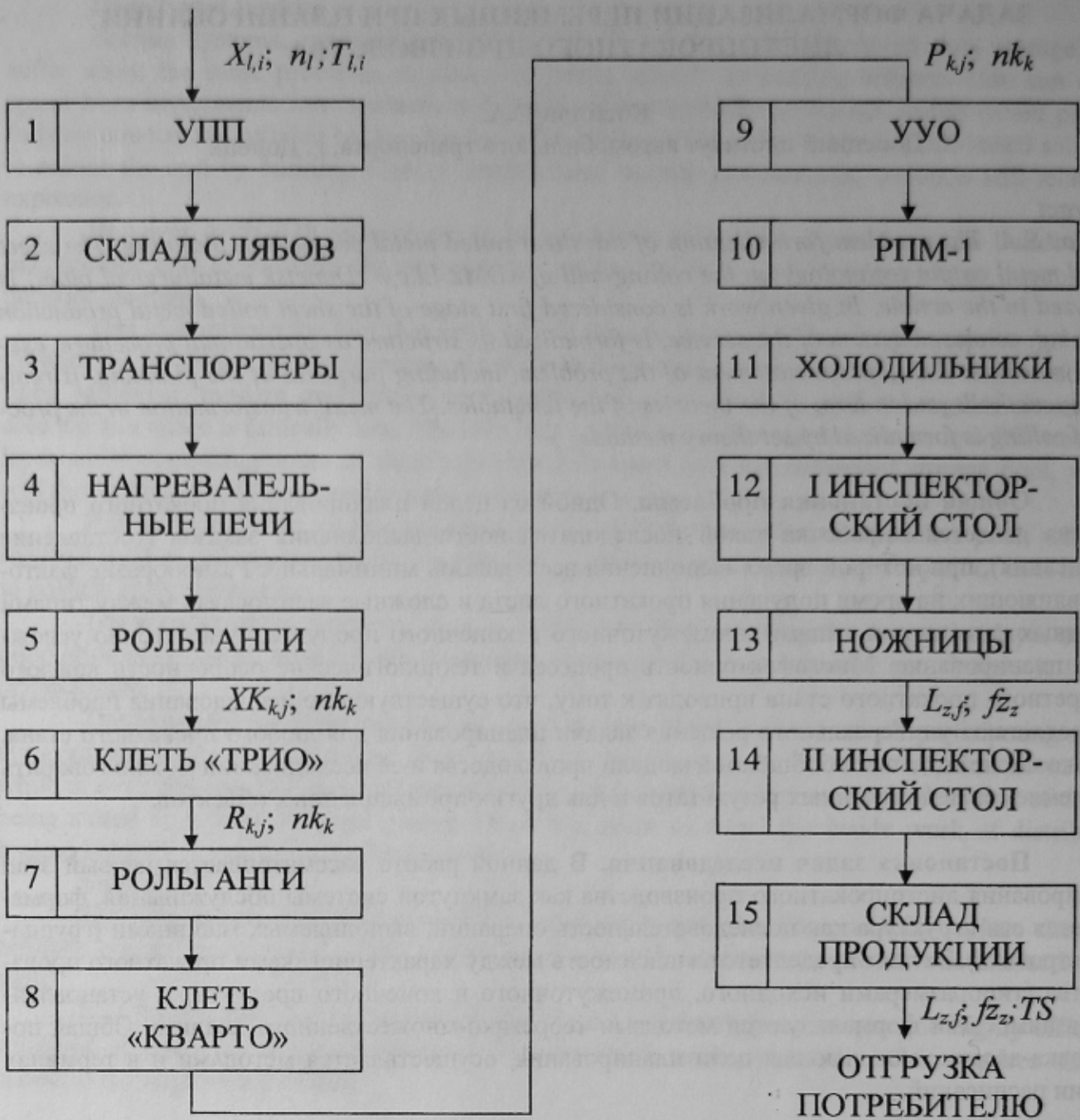


Рисунок 1- Схема процесса выпуска листового проката

Для классификации данной задачи в терминах теории расписаний будем исходить из классического общего вида задачи составления расписания (1):

$$A | B | C | D | \tag{1}$$

Определим величины A – функцию времени поступления работ (исходных заготовок) на объект, B – количество машин (блоков) в объекте управления, C – порядок выполнения работ машинами, D – критерий оценки расписания.

Исходные заготовки поступают на вход объекта и проходят последовательную обработку на 15 группах технологических устройств (на БЛОКАХ рис.1, $B=15$). Последовательность прохождения групп устройств (машин) одинакова для всех заготовок, поэтому система машин является конвейерной.

На вход объекта управления - Участок Подготовки Производства (УПП, БЛОК 1) поступают исходные заготовки – партии мерных слябов $X_{l,i}$ мартеновского производства (где l – номер партии мерного сляба, i – номер сляба в партии), обладающие набором характеристик (2), одинаковым для всех слябов одной партии:

$$X_{l,i} = \{MS_{l,i}; H_{l,i}; B_{l,i}; L_{l,i}; MAS_{l,i}\} \quad l = \overline{1; l}; i = \overline{1; n_l} \quad (2)$$

Марка стали $MS_{l,i}$, толщина $H_{l,i}$, ширина $B_{l,i}$, длина $L_{l,i}$ сляба и количество n_l слябов в $l^{\text{й}}$ партии указывается в наряд-задании №1. Масса $MAS_{l,i}$ сляба вычисляется по (3):

$$MAS_{l,i} = H_{l,i} \times B_{l,i} \times L_{l,i} \times 7,85 \cdot 10^{-6} \quad (\text{кг}) \quad (3)$$

Поскольку мерные слябы одной партии прокатываются по одинаковой схеме, то сгруппируем слябы по партиям, образовав из слябов $X_{l,i}$ $l^{\text{й}}$ партии множества XM_l :

$$XM_l = \{X_{l,i}\}, \quad l = \overline{1; l}, \quad i = \overline{1; n_l}; |XM_l| = n_l \quad (4)$$

Тогда объединение множеств XM_l образует множество X всех мерных слябов, поступающих в прокат:

$$X = \bigcup_{l=1}^{l_1} XM_l = \bigcup_{l=1}^{l_1} \bigcup_{i=1}^{n_l} X_{l,i}, \quad |X| = \sum_{l=1}^{l_1} n_l \quad (5)$$

На УПП мерные слябы $X_{l,i}$ разрезаются по длине на кратные слябы. Длины $L1_l, L2_l$ кратных слябов и количество $C1_l(L1_l), C2_l(L2_l)$ кратных слябов этих длин, получаемых при резке одного мерного сляба $X_{l,i}$, указываются в наряд-задании №2. Затем кратные слябы направляются на СКЛАД СЛЯБОВ (БЛОК 2), где группируются по типам так, что в один тип группируются кратные слябы $XK_{k,j}$ (где k – номер типа кратных слябов, j – номер кратного сляба $k^{\text{го}}$ типа), обладающие одинаковым набором характеристик (6):

$$X_{k,j} = \{MSK_{k,j}; HK_{k,j}; BK_{k,j}; LK_{k,j}; MASK_{k,j}\}, \quad k = \overline{1; k}; j = \overline{1; n_k} \quad (6)$$

где характеристики $MSK_{k,j}$ – марка стали, $HK_{k,j}$ – толщина, $BK_{k,j}$ – ширина, $LK_{k,j}$ – длина и $MASK_{k,j}$ – масса кратного сляба, а также время $T2_{k,j}$ поступления кратного сляба на СКЛАД СЛЯБОВ определяются по (7) и (8):

$$(MSK_{k,1} = MS_{l,1}) \wedge (HK_{k,1} = H_{l,1}) \wedge (BK_{k,1} = B_{l,1}) \wedge (LK_{k,1} = L_{l,1}) \wedge (T2_{k,j} = F2(T1_{l,i})) \\ (K = K1_l \wedge L1_l = L1_l) \vee (K = K2_l \wedge L1_l = L2_l) \quad (7)$$

$K1_l, K2_l$ – номера типов кратных слябов, получаемых при резке слябов $X_{l,i}$ $l^{\text{й}}$ партии, которые указываются в наряд-задании №2, $F2(t)$ – функция, определяющая время доставки кратного сляба на склад слябов.

$$MASK_{k,1} = HK_{k,1} \times BK_{k,1} \times LK_{k,1} \times 7,85 \cdot 10^{-6} \quad (\text{кг}) \quad (8)$$

Так как в прокат последовательно направляются партии кратных слябов одного типа, то образуем из кратных слябов $XK_{k,j}$ $k^{\text{го}}$ типа множества KS_k :

$$KS_k = \{XK_{k,j}\}, \quad k = \overline{1; k}, \quad j = \overline{1; n_k}; |KS_k| = n_k \quad (9)$$

Определим характер (динамический или статический) поступления на вход объекта управления мерных слябов. Время $T_{l,i}$ поступления на УПП мерного сляба $X_{l,i}$ для первого сляба $X_{l,1}$ указывается в наряд-задании №1, а для остальных слябов представляет собой функцию F от времени $T1_{l,i-1}$ окончания обработки на УПП (БЛОК1) предыдущего сляба:

$$T_{l,i} = F(T1_{l,i-1}), \quad T1_{l,i-1} = T1_{l,i-2} + TR \quad (10)$$

где TR – время резки одного мерного сляба на УПП.

Поскольку время $T1_{l,i-1}$ может меняться в зависимости от загруженности машины резки слябами предыдущих партий, то значение $T_{l,i}$ до начала выполнения работ точно не известно, следовательно, мы имеем динамическую задачу замкнутого процесса обслуживания.

После группировки по типам кратные слябы $XK_{k,j}$ k^{20} типа направляются в прокат и поступают на транспортеры (БЛОК 3) подачи к нагревательным печам (БЛОК 4). Последовательность задания типов кратных слябов в прокат указывается в наряд-задании №3, при этом учитывается, что вес сляба и толщина сляба k -й и $(k+1)$ -й партий во избежание кострения в нагревательных печах должны удовлетворять ограничениям (11):

$$|MASK_{k,1} - MASK_{k+1,1}| \leq 700(\text{кг}), |HK_{k,1} - HK_{k+1,1}| \leq 25(\text{мм}) \quad (11)$$

В трех печах кратные слябы нагреваются до температуры прокатки, при этом масса нагреваемого кратного сляба уменьшается за счет угара металла в печи (см. (12)), а время нагрева $TVP_{k,j}$ должно удовлетворять ограничению (13), что также учитывается при составлении наряд-задания №3:

$$MASK_{k,1} = 0,985 \times MASK_{k,1} \quad (12)$$

$$TN1_k \leq TVP_{k,j} \leq TN2_k \quad (13)$$

где $TN1_k$ и $TN2_k$ - минимальная и максимальная продолжительность нагрева сляба в печи, зависящая от номера $MSKR_{k,l}$ марки стали и толщины $HKR_{k,l}$ сляба (см. таблицу 1).

Таблица 1. Область значений продолжительности нагрева $TVP_{k,j}$

Значение $MSKR_{k,l}$	Минимальная $TN1_k$ и максимальная $TN2_k$ при толщине сляба $HKR_{k,l}$, мм							
	[125;135]		[140;150]		[155;180]		[185;200]	
	$TN1_k$	$TN2_k$	$TN1_k$	$TN2_k$	$TN1_k$	$TN2_k$	$TN1_k$	$TN2_k$
$MSKR_{k,l} \in [1;36]$	105	1000	120	1000	135	1000	150	1000
$MSKR_{k,l} \in [37;56]$	120	170	135	185	165	215	180	230
$MSKR_{k,l} \in [57;95]$	120	150	135	165	165	195	180	210
$MSKR_{k,l} \in [96;107]$	135	165	150	180	180	210	195	225

где $TN2_k = 1000$, если максимальная продолжительность нагрева сляба не ограничена.

По окончании нагрева кратный сляб выдается на рольганги (БЛОК 5) доставки к черновой клети «трио» (БЛОК 6), где кратные слябы $XK_{k,j}$ прокатываются до получения черного раската. Выдача сляба производится по сигналу оператора клети «трио» в момент окончания прокатки на клети предыдущего сляба. Поэтому время $T4_{k,j}$ окончания нагрева сляба в печи зависит от времени $T2_{k,j}$ поступления сляба на склад слябов, времени $TVP_{k,j}$ нагрева сляба в печи и времени $T6_{k,j-1}$ окончания обработки на клети «трио» предыдущего сляба:

$$T4_{k,j} = F4(T2_{k,j}, TVP_{k,j}, T6_{k,j-1}) \quad (14)$$

После прокатки на клети «трио» из слябов $XK_{k,j}$ получают раскаты $R_{k,j}$. Из слябов одного типа получают раскаты с одинаковым набором характеристик (15):

$$R_{k,j,p} = \{MSR_{k,1}; HR_{k,j,p}; BR_{k,j}; LR_{k,j,p}; MASR_{k,1}\} \quad (15)$$

Марка стали $MSR_{k,1}$, толщина $HR_{k,j,p}$, ширина $BR_{k,j}$, длина $LR_{k,j,p}$ и масса раската $MASR_{k,1}$ (где $p = 1; p1_k$ - номер прохода раската через клеть «трио») до начала прокатки совпадают со значениями соответствующих характеристик кратного сляба $XK_{k,j}$, допуская, что угар в печи меняет лишь длину сляба:

$$\begin{aligned} MSR_{k,1} &= MSK_{k,1}; HR_{k,j,p} = HK_{k,1}; BR_{k,j} = BK_{k,1}; \\ LR_{k,j,p} &= LK_{k,1} \cdot 0.985; MASR_{k,1} = MASK_{k,1}; \end{aligned} \quad (16)$$

Во время прокатки размеры раската изменяются при каждом пропуске через клеть, p – номер прохода. Количество $p1_k$ проходов сляба через клеть «трио» и величины обжатий $OB_{k,p}$ на p -м пропуске через клеть устанавливаются в наряд-задании №4. Величины обжатий $OB_{k,p}$ на каждом пропуске указаны в таблице 2.

Таблица 2. Область значений $OB_{k,p}$ при прокатке на клетях «трио»

Толщина раската $HR_{k,j,p}$ (мм)	Допустимые обжатия $OB_{k,p}$ при $BR_{k,j,p}$ раската, мм		
	менее 1400	от 1400 до 1700	от 1700 до 2000
160-200	25	21	16
140-160	24	20	15
120-140	23	18	14
100-120	22	18	13
80-100	20	15	12
60-80	16	13	9
40-60	10	8	5
20-40	6	5	3

При прокатке ширина $BR_{k,j}$ раската практически не изменяется, а толщина $HR_{k,j,p}$, длина $LR_{k,j,p}$ раската и время $TTR_{k,p}$ p -го прохода через клеть «трио» определяется по (17):

$$LR_{k,j,p} := LR_{k,j,p-1} \times \left(\frac{HR_{k,j,p-1}}{HR_{k,j,p-1} - OB_{r,p}} \right), HR_{k,j,p} := HR_{k,j,p-1} - OB_{r,p}, \quad (17)$$

$$TTR_{k,p} = \frac{LR_{k,j,p}}{VT} \quad \forall p = 1; p1_k$$

где VT – скорость вращения валков клетки.

Общее время $DT_{k,j}$ прокатки раската $R_{k,j}$ на клетях «трио» определяется по (18):

$$DT_{k,j} = \sum_{p=1}^{p1_k} TTR_{k,p} \quad (18)$$

Время $T6_{k,j}$ окончания обработки раската $R_{k,j}$ на клетях «трио» зависит от времени $T4_{k,j}$ выдачи сляба из печи, времени $DT_{k,j}$ прокатки раската на клетях «трио» и времени $T8_{k,j-1}$ окончания обработки на клетях «кварто» предыдущего раската $R_{k,j-1}$ (если он ещё не прокатан, то раскат $R_{k,j}$ ожидает очереди на рольганге между клетями):

$$T6_{k,j} = F6(T4_{k,j}, DT_{k,j}, T8_{k,j-1}) \quad (19)$$

Поскольку все раскаты одного типа после клетки «трио» обрабатываются по одинаковой схеме, то образуем из раскатов $R_{k,j}$ k -го типа множества RS_k :

$$RS_k = \{R_{k,j}\}, k = 1; kk, j = 1; nk_k; |RS_k| = nk_k \quad (20)$$

Далее раскаты через рольганги (БЛОК 7) направляются на клеть «кварто» (БЛОК 8), где прокатываются до получения прокатных листов (аналогично прокатке на клетях «трио»). Для определения количества полученных прокатных листов каждого типоразмера сгруппи-

руем их по типам. В один тип сгруппируем прокатные листы $P_{k,j}$, обладающие одинаковым набором характеристик (21):

$$P_{k,j} = \{MSP_{k,1}; HP_{k,j}; BP_{k,j}; LP_{k,j}; MASP_{k,1}\} \quad (21)$$

Из прокатных листов $P_{k,j}$ k^{20} типа образуем множества PS_k :

$$PS_k = \{P_{k,j}\}, k = \overline{1;kk}, j = \overline{1;nk_k}; |PS_k| = nk_k \quad (22)$$

Время $T8_{k,j}$ окончания обработки раската $R_{k,j}$ на клетки «трио» определяется по (23):

$$T8_{k,j} = F8(T6_{k,j}, DK_{k,j}) \quad (23)$$

где $DK_{k,j}$ – время прокатки раската на клетки «кварто».

После клетки «кварто» прокатные листы охлаждаются в Устройстве Ускоренного Охлаждения (БЛОК 9), затем правятся на Ролико-Правильной Машине (БЛОК 10), охлаждаются на стеллажах-холодильниках (БЛОК 11), исследуются на наличие дефектов на I Инспекторском Столе (БЛОК 12) и поступают на порезку (БЛОК 13). Здесь на дисковых ножницах обрезается боковая кромка прокатного листа, при этом уменьшается ширина листа:

$$BP_{k,j} = KP_k \cdot P_{k,j} \quad (24)$$

где KP_k – коэффициент припуска на боковую обрезь. Затем на лобовых ножницах обрезается торцевая кромка, при этом уменьшается длина листа:

$$LP_{k,j} = Kt_k \cdot P_{k,j} \quad (25)$$

где Kt_k – коэффициент припуска на торцевую обрезь.

Коэффициенты KP_k и Kt_k используются при планировании в наряд-задании №1 массы мерных слябов, необходимых для получения готового проката. Для этого вычислим коэффициент KM_z отношения массы всего готового проката z^{20} типа к массе исходного металла в виде мерных слябов l^{20} типа:

$$KM_z = Kt_k \times KP_k \times 0,985 \cdot \left(15 - \frac{15}{C1_l + C2_l}\right) \quad (26)$$

где k – номер типа прокатных листов, из которых получен готовый прокат z^{20} типа.

После этого на лобовых ножницах прокатные листы $P_{k,j}$ k^{20} типа разрезаются на готовый листовой прокат, который группируется по типам и укладывается в штабеля. В один тип группируется листовой прокат $L_{z,f}$ ($z = \overline{1;zz}$ – номер типа листового проката, $f = \overline{1;fz_z}$ – номер готового листа z^{20} типа), обладающие одинаковыми характеристиками (27):

$$L_{z,f} = \{MSL_{z,1}; HL_{z,1}; BL_{z,1}; LL_{z,1}; MASL_{z,1}\} \quad (27)$$

Длины $LL_{z,1}$ листового проката z^{20} типа, полученных из прокатных листов k^{20} типа, указываются в наряд-задании №5 в виде таблицы 3.

Значения остальных характеристик проката z^{20} типа (марки стали $MSL_{z,1}$, толщины $HL_{z,1}$ и ширины проката $BL_{z,1}$), полученного из прокатных листов k^{20} типа, определяются по (28):

$$MSL_{z,1} = MSP_{k,1} \wedge HL_{z,1} = HP_{k,1} \wedge BL_{z,1} = BP_{k,1}, \quad (28)$$

Масса одного готового листа вычисляется по (29):

$$MASL_{z,1} = HL_{z,1} \times BL_{z,1} \times LL_{z,1} \times 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ (кг)} \quad (29)$$

Таблица 3. Длины готового листового проката при порезке

Номер типа прокатного листа, из которого получен готовый лист	Длина готового листа	Количество готовых листов
k	$LL_{z,1}$	CLI_k

где $(Z = Z1_k \wedge CLI_k = CL1_k) \vee \dots \vee (Z = ZN_k \wedge CLI_k = CLN_k)$.

Для определения количества полученных готовых листов каждого типоразмера образуем из готовых листов $L_{z,f}$ Z -го типа множества GL_z :

$$GL_z = \{L_{z,f}\}, z = \overline{1;zz}, f = \overline{1;fz_z}; |GL_z| = fz_z \quad (30)$$

Время получения готового листа $T15_{z,f}$ определяется по (31):

$$T15_{z,f} = F15(T8_{k,j}) \quad (31)$$

Тогда общее время TS прокатки всех слябов и получения готового листового проката определяется по (32):

$$TS = \sum_{z=1}^{zz} \sum_{f=1}^{fz_z} T15_{z,f} \quad (32)$$

Итак, с учётом проведенного анализа процесса, можно сделать вывод, что имеем следующую задачу планирования листопркатного производства:

$T_{l,i} | 15 | F | TS_{min} |$: Упорядочить время $T_{l,i}$ поступления $l_1 \bullet n_l$ мерных слябов $X_{l,i} l = \overline{1;l_1}; i = \overline{1;n_l}$ в конвейерную систему из 15 машин (блоков) так, чтобы минимизировать общее время TS_{min} прокатки всех $l_1 \bullet n_l$ слябов и получения из них готового листового проката (F – обозначение конвейерной системы обслуживания).

Выводы.

Методика исследования замкнутой системы обслуживания для прокатного производства, предлагаемая в работе, может использоваться для формализации в виде множеств других объектов управления со сложной структурой. При этом связи между характеристиками объекта моделируются как отношения между множествами. Эти формализованные представления впоследствии станут основой для представления базы данных процесса. На их основе будут разработаны алгоритмы оптимального планирования выпуска проката.

Литература

1. Клименко В.М. Технология прокатного производства. – К.: Высшая школа, 1989. – 311с.
2. Бахтинов В.Б. Технология прокатного производства. – М.: Металлургия, 1983. – 483с.
3. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. – М.: Наука, 1975. – 360с.