

УДК 669 : 004.031.42

Федосеев С.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрены методы оптимизации производственного планирования для метизно-металлургического завода на примере двухниточного сортового стана 250. Показана возможность гибкого реагирования на быстро меняющийся спрос за счет согласованной корректировки плана производства несколькими подразделениями метизно-металлургического завода.

Ключевые слова: метизно-металлургический завод, сортовой стан, оптимизация производственного планирования, гибкое реагирование на спрос.

Methods of optimization of industrial planning for hardware-metal works on an example the rolling mill 250 are considered. Possibility of flexible reaction to quickly changing demand at the expense of the coordinated updating of the plan of manufacture by several divisions hardware-metal works is presented.

Key words: metallurgical plant, rolling mill, optimization of industrial planning, satisfaction of demand

В условиях жесткой конкуренции на рынке сортового проката двумя ключевыми задачами для метизно-металлургического завода (далее ММЗ) являются снижение издержек производства, в частности за счет сокращения простоев сортопрокатного стана, а также максимально гибкое реагирование на быстро меняющийся спрос [1].

В качестве примера рассмотрим процесс планирования производства для двухниточного сортового стана 250 (далее Стан-250), предназначенного для прокатки сортовых и фасонных профилей из углеродистых и низколегированных марок сталей. На Стане-250 производится периодический профиль горячекатаного арматурного проката класса А400, термоупрочненного арматурного проката класса А400С и А500С и высокопрочного арматурного проката класса Ат800 диаметром от 6 до 40 мм. Для получения сортовых и фасонных профилей на Стане-250 служит катаная или непрерывно-литая квадратная заготовка сечением 125x125 мм, длиной от 8,0 до 11,7 м.

План производства для Стана-250 формируется помесечно, т.е. является краткосрочным. Тому есть несколько причин.

Во-первых, спрос на арматуру меняется очень быстро. Потребители продукции ММЗ, как правило, при необходимости имеют возможность существенно корректировать свои ранее согласованные с ММЗ заказы по номенклатуре и объемам.

Во-вторых, длительность производственных циклов для выпуска требуемых партий арматуры для Стана-250 обычно составляет от одного до нескольких дней, для чего достаточен месячный горизонт планирования.

В-третьих, Стан-250 имеет фиксированную производительность, поэтому нет необходимости в долгосрочном, например на год, планировании его загрузки.

В-четвертых, производство Стана-250 относится к поточному типу. Характерной особенностью такого производства является отсутствие необходимости в планировании производства комплектующих, при этом план выпуска готовой продукции напрямую связан с оперативным планом производства.

Процесс планирования производства для Стана-250

можно условно разделить на два этапа:

1. Ежемесячно отдел сбыта ММЗ формирует потребность в продукции на очередной месяц. Отдел производства на основании этой потребности формирует производственное задание на очередной месяц для электросталеплавильного производства, производящего заготовку, и для прокатного производства. Прокатный цех на основании производственного задания формирует план производства для Стана-250 на очередной месяц с разбивкой по дням. При этом прокатный цех учитывает график планово-предупредительных ремонтов Стана-250, который формирует отдел ремонтов.

2. Несколько раз в месяц, иногда по несколько раз в неделю, в соответствии с быстро изменяющимся спросом отдел сбыта ММЗ формирует заявки на корректировку плана производства для Стана-250, которые согласует с отделом производства. На основании этих заявок прокатный цех своевременно осуществляет изменение оперативного плана производства для Стана-250, при этом уточняя потребность в заготовке для электросталеплавильного производства.

Реализация функции формирования плана производства для Стана-250 требует решения следующей задачи оптимизации. Необходимо минимизировать время простоя Стан-250, связанного с перевалкой при смене диаметра профиля и класса арматурной стали, путем подбора соответствующей последовательности запуска партий арматуры в производство.

Математическая постановка данной задачи может быть записана в следующем виде: найти вектор управления, обеспечивающий экстремальное значение целевой функции при ограничениях типа равенств и неравенств.

В рассматриваемом случае:

- целевая функция $\sum_{i=1}^p t_i \rightarrow \min$, где p – количество перевалок Стана-250, t_i – время перевалки;
- параметр управления – кортеж партий арматуры $L \in K^L$, где K^L – множество всех кортежей длиной $|L|$;

- ограничения $\sum_{j=1}^{|L|} q_j / w_j \leq T$, где q_j – объем j -й

партии арматуры, w_j – производительность стана при прокатке j -й партии арматуры; T – эффективное время работы стана в плановом периоде; D_{ij} – матрица времен переavalки между i -й и j -й партиями арматуры при смене диаметра профиля; S_{ij} – матрица времен переavalки между i -й и j -й партиями арматуры при смене класса арматурной стали.

Данная задача является NP-трудной [2], т.е. в общем случае, а именно при значительном количестве номенклатурных единиц в плане производства, не может быть решена полным перебором за конечное время даже с помощью современной вычислительной техники. Однако для ее решения в рассматриваемой функции планирования алгоритм полного перебора был реализован и показал свою эффективность при количестве номенклатурных единиц арматуры в плане производства для Стана-250 не более семи.

Для сокращения времени расчета были исследованы две эвристики, основанные на использовании норм времени на переналадку (переavalку) оборудования Стана-250 при смене диаметра профиля и класса арматурной стали.

В первой эвристике на каждом шаге алгоритма выбирается та арматура, после которой суммарное время перехода на другие виды арматуры является минимальным. Данная эвристика исследовалась на эффективность путем сравнения решений, получаемых с ее помощью, и решений, получаемых полным перебором. К сожалению, данная эвристика оказалась неэффективной, т.к. в большинстве численных экспериментов полученное с ее помощью время простоя Стана-250 было на 40-60% больше того времени простоя, которое позволял получить полный перебор.

В качестве второй эвристики был использован так называемый жадный алгоритм [3], заключающийся в принятии локально оптимальных решений на каждом этапе, исходя из предположения о том, что конечное решение также окажется оптимальным. В рассматриваемой задаче жадный алгоритм на каждом шаге выбирает в качестве следующей ту арматуру, для которой время простоя при переходе от текущей арматуры минимально. Данный алгоритм показал высокую эффективность при сравнении с результатами, полученными полным перебором. Так, при проведении 50 численных экспериментов с произвольно выбираемыми семью видами арматуры:

- в 18 экспериментах было получено минимальное время простоя Стана-250, совпадающее с временем простоя, полученным полным перебором;
- в 30 экспериментах было получено решение с временем простоя, которое не более чем на 10% больше минимального, полученного полным перебором;
- в 2 экспериментах было получено решение с временем простоя, которое не более чем на 12% больше минимального, полученного полным пе-

ребором. Наихудшее решение оказалось большим минимального на 11,53%.

Таким образом, с учетом того, что жадный алгоритм позволяет формировать план производства Стана-250 для реального набора арматуры на персональном компьютере за время, не превышающее 4 мин, именно он и был выбран в качестве основного для решения задачи минимизации времени простоя Стана-250. Дополнительным аргументом в пользу жадного алгоритма послужила легкость, с которой на ММЗ решается задача выбора первой арматуры в последовательности для плана производства. В соответствии с техническими условиями, как правило, это арматура с номинальным диаметром 12 мм.

Дополнительно в функции формирования плана производства для Стана-250 реализована возможность учета реально существующих на ММЗ технологических условий перехода между диаметрами профиля и классами арматурной стали. Примером такого условия может быть принятая на предприятии последовательность переavalки. В этом случае приоритетными при составлении плана производства для Стана-250 будут именно ограничения, связанные с технологическими условиями, даже если они противоречат логике используемого, например жадного, алгоритма.

Также в функции формирования плана производства для Стана-250 реализована возможность не использовать имеющиеся графики планово-предупредительных ремонтов, а генерировать новые графики, чтобы не прерывать ремонтными мероприятиями производство соответствующих партий арматуры, т.к. такой разрыв требует повторной настройки стана на «докатку» незаконченной партии арматуры.

Пример оперативного плана производства для Стана-250 приведен на рисунке.

Своевременная корректировка оперативного плана производства для Стана-250 осуществляется через механизм электронных заявок на корректировку, формируемых отделом сбыта ММЗ. Текущее состояние заявки на корректировку определяется ее статусом:

- сформирована – заявка сформирована заинтересованным сотрудником отдела сбыта и находится на рассмотрении;
- согласована – заявка прошла проверку и будет использована для корректировки оперативного плана производства;
- отклонена – заявка не прошла проверку и не будет использована для корректировки оперативного плана производства.

Сформированная заявка проходит проверку на соответствие имеющимся на ММЗ технологическим и ресурсным ограничениям путем формирования прогнозного плана производства. Сформированный прогнозный план анализируется на соответствие имеющимся объективным ограничениям, в том числе на возможность производства требуемого количества заготовки, и субъективным критериям эффективности специалистов отдела производства. В результате данные специалисты либо согласуют, либо отклоняют заявку на корректировку

ОПЕРАТИВНЫЙ ПЛАН ПРОИЗВОДСТВА СТАН-250 НА АПРЕЛЬ 2011 г.

№	Дата	час.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
п/п	день	пр-ть	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт
		ППР														
		тн/ч														
		Профиль														
1	АРМАТУРА А500С 12 СТЗПС М/Д 11700	144	3081	3081	3081	1807										
2	АРМАТУРА А 400 14 35ГС М/Д 11700	153				1072	928									
3	АРМАТУРА А 400 14 25ГС М/Д 11700	153					300									
4	АРМАТУРА А500С 14 СТЗПС М/Д 11700	145					1866	2320	814							
5	АРМАТУРА АТ800 14 25ГС М/Д 11700	94.2							1000							
6	АРМАТУРА А 400 25 25ГС М/Д 11700	175							400							
7	АРМАТУРА А 400 25 35ГС М/Д 11700	175							182	1318						
8	АРМАТУРА А500С 25 СТЗПС М/Д 11700	166							2191	3309						
9	АРМАТУРА А 400 32 25ГС М/Д 11700	170								106	194					
10	АРМАТУРА А 400 32 35ГС М/Д 11700	170									1000					
11	АРМАТУРА А500С 32 СТЗПС М/Д 11700	165									2289	211				
12	АРМАТУРА А500С 36 СТЗПС М/Д 11700	169										1200				
13	АРМАТУРА А 400 18 25ГС М/Д 11700	165										300				
14	АРМАТУРА А 400 18 35ГС М/Д 11700	165										1000				
15	АРМАТУРА А500С 18 СТЗПС М/Д 11700	160										340	3423	137		
16	АРМАТУРА А 400 20 25ГС М/Д 11700	170												500		
17	АРМАТУРА А 400 20 35ГС М/Д 11700	170												1677	523	
18	АРМАТУРА А500С 20 СТЗПС М/Д 11700	168													2994	
19	АРМАТУРА А500С 22 СТЗПС М/Д 11700	168														
20	АРМАТУРА А 400 22 25ГС М/Д 11700	170														
21	АРМАТУРА А 400 22 35ГС М/Д 11700	170														
22	АРМАТУРА А 400 28 25ГС М/Д 11700	150														
23	АРМАТУРА А 400 28 35ГС М/Д 11700	150														
24	АРМАТУРА А500С 28 СТЗПС М/Д 11700	167														
план произ-ва			3081	3081	3081	2879	3094	2320	2396	3509	3415	3483	3051	3423	2314	3517
номинальное время			24	24	24	24	24	16	24	24	24	24	24	24	16	24
фактич. время			21.396	21.396	21.396	19.556	20.895	16	19.556	20.728	20.568	20.895	18.387	21.396	13.662	20.895
Смена класса							0.501		0.501	0.668		0.501	0.501			0.501
Смена сорта						3.34			2.839		2.338	4.008		2.338		
Постоянные простои			1.104	1.104	1.104	1.104	1.104		1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104		1.104
Профилактика			1.5	1.5	1.5		1.5			1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		1.5

Пример оперативного плана производства для Стана-250

Согласованные заявки принимаются к исполнению прокатным цехом. При этом на их основе осуществляется корректировка оперативного плана производства с помощью специальной функции, которая позволяет сформировать план производства на месяц начиная с любой даты этого месяца с учетом:

- партии арматуры, производимой последней в предыдущий день;
- фактического выпуска арматуры, который может отличаться от планового;
- ручных корректировок плана, которые при необходимости может произвести ответственный сотрудник отдела производства.

Таким образом, реализованная функция корректировки плана производства в сочетании с использованием прогнозных планов позволяет специалистам из заинтересованных подразделений ММЗ моделировать возможные изменения в оперативном плане производства и прогнозировать их последствия.

Следует отметить, что корректировка плана производства может осуществляться также на основании изменений графика планово-предупредительных ремонтов для Стана-250.

Перечисленные функции реализованы в виде комплекса программ, использующих справочную информацию о номенклатуре готовой продукции и заготовки, технологических операциях, нормах времени на перевалку, а также данные из плана технического обслуживания и ремонта Стана-250. Применение данного комплекса программ на ММЗ позволило получить следующие результаты:

- удалось снизить планируемые простои на ремонты и обслуживание Стана-250 на 0,3%, что с учетом объемов производства Стана-250 позволяет получить значительный экономический эффект;
- созданы инструменты для адаптации ММЗ к изменению спроса на готовую продукцию путем про-

гнозирования последствий этих изменений и согласованного перепланирования производства Стана-250 всеми заинтересованными подразделениями.

Таким образом, использование математического моделирования и информационных технологий на ММЗ позволило создать дополнительные возможности для снижения издержек производства за счет сокращения простоев стана и максимально гибкого реагирования на быстро меняющийся спрос за счет своевременного перепланирования работы стана.

Выводы

Приведен пример оптимизации плана производства для двухниточного сортового Стана-250 с целью минимизации времени простоя стана, связанного с перевалкой при смене диаметра профиля и класса арматурной стали, путем подбора соответствующей последовательности запуска партий арматуры в производство.

Автоматизация корректировки плана производства для Стана-250 позволила повысить согласованность действий различных подразделений предприятия и тем самым увеличить уровень сервиса для потребителей ММЗ.

Список литературы

1. Федосеев С.А. Управление производством как механизм повышения качества продукции // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. №2 (30). С. 56–60.
2. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи: пер. с англ. М.: Мир, 1982. 416 с.
3. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 2001. 960 с.

Bibliography

1. Fedoseev S.A. Production management as a mechanism of product quality improvement // Vestnik MGTU. 2010. №2 (30). P. 56–60.
2. Michael R. Garey, David S. Johnson. Computers and Intractability. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1979, 416 p.
3. Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L. Introduction to Algorithms. MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England, 2001, 984 p.