

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л. Ш. ГАФТ, Л. Ф. ЛУЧИНА, Л. З. КОВАРСКИЙ

(Донецк)

Осуществление решений сентябрьского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС делает жизненно необходимым просчет выпуска продукции завода по нескольким вариантам. Когда в результате экономических преобразований новые условия хозяйствования начинают действовать в полную силу, когда план выпуска продукции формируется главным образом в результате непосредственного изучения самим предприятием спроса на его изделия и установления прямых связей с потребителями, когда прибыль и рентабельность становятся определяющими факторами производственно-хозяйственной деятельности, тогда предприятие не может существовать без многовариантных расчетов и выбора оптимальной производственной программы.

В этой общей задаче следует различать две части: экономическую и математическую. Первая формирует конкретную задачу, вторая дает метод ее решения.

При оптимизации производственной программы необходимо учитывать интересы народного хозяйства и отдельного промышленного предприятия — интересы, между которыми существуют известные противоречия. В постановке задачи должны быть заложены возможности разрешения этого противоречия.

В излагаемых ниже расчетах интересы народного хозяйства представлены номиналтурой и количеством изделий, установленных заводу вышестоящей организацией в качестве обязательной программы (обязательный минимум).

Завод может формировать производственную программу, исходя из различных критериев оптимальности, но при условии выполнения обязательной программы. К числу этих критериев могут быть отнесены: 1) максимальный выпуск продукции в стоимостном выражении; 2) максимальная прибыль; 3) максимальная загрузка оборудования и др. По каждому критерию рассчитывается один вариант производственной программы. Для всех трех вариантов вводится одно общее ограничение: количество изделий (в штуках) по каждому наименованию, которое обеспечено сбытом (максимально необходимая программа). Кроме того, для двух первых вариантов вводится дополнительное условие: максимальное использование оборудования.

Формирование годовой производственной программы может осуществляться методами линейного программирования на ЭВМ.

Введем следующие обозначения.

Пусть n видов изделий обрабатываются на m группах оборудования. Трудоемкость обработки единицы изделия i -го вида на j -й группе оборудования обозначим через a_{ij} . Фонд времени работы каждой группы оборудования в планируемый период A_j ; b_i' и b_i'' — соответственно верхний и нижний пределы объема выпуска i -го вида изделий в планируемом периоде. Нижний предел объема выпуска изделий обусловлен директивными указаниями вышестоящих организаций (обязательная программа). Верхний предел объема выпуска определяется спросом на изделия каждого вида со стороны народного хозяйства (максимально необходимая программа). Разность между этими пределами ($b_i = b_i' - b_i''$) назовем сверхобязательной программой.

Пусть c_i — отпускная цена; s_i — плановая себестоимость единицы изделий. Тогда разность $c_i - s_i = \gamma_i$ определяет прибыльность ($\gamma_i > 0$) или убыточность ($\gamma_i < 0$) каждого изделия. Уровень производства каждого вида изделия из сверхобязательной программы обозначим через x_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

В результате расчета того или иного варианта получается определенный набор этих величин, который в совокупности с обязательной программой определяет производственную программу предприятия на планируемый период.

Вариантным расчетам производственной программы должно предшествовать исключение из годовых лимитов по каждой группе оборудования времени, затраченного на обработку изделий обязательной программы. Разность

$$A_j' = A_j - \sum_{i=1}^n a_{ij} b_i''$$

определяет оставшиеся после этого фонды времени. Затем определяются узкие места по группам оборудования, что достигается сравнением фонда времени A_j с величиной

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} b_i'.$$

Наличие отрицательных значений разностей $A_j - \sum_{i=1}^n a_{ij} b_i'$ свидетельствует о существовании «узких» мест по определенным группам оборудования.

После этого переходим к расчетам производственной программы по отдельным вариантам с различными критериями оптимальности.

Следует отметить, что объемы производства по каждому виду изделий не должны превышать уровня сверхобязательной программы, а загрузка оборудования не должна превышать годового лимита времени, оставшегося по каждой группе оборудования после выполнения обязательной программы.

В варианте I критерием оптимальности является максимальный выпуск продукции в стоимостном выражении.

Математическая постановка этого варианта будет выглядеть так: при линейных ограничениях

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq A_j', \quad j = 1, \dots, m; \quad 0 \leq x_i \leq b_i, \quad i = 1, \dots, n \quad \text{максимизировать} \quad F_1 = \sum_{i=1}^n c_i x_i.$$

В варианте II минимизируются суммарные затраты на производство, т. е. целью расчета является включение в программу изделий из сверхобязательной ее части, суммарная себестоимость которых минимальна.

Для получения в этом варианте ненулевых решений одно из линейных ограничений

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq A_j',$$

заменяется строгим равенством $\sum_{i=1}^n a_{ik} x_i = A_k'$. В качестве та-

кой k -й группы оборудования выбирается та, которая является «узким» местом и где проходит обработку вся номенклатура изделий сверхобязательной программы или большая ее часть.

Математическая модель этого варианта будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq A_j' \quad \text{для всех } j \neq k,$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ik} x_i = A_k', \quad 0 \leq x_i \leq b_i, \quad F_2 = \sum_{i=1}^n s_i x_i \rightarrow \min.$$

Расчет по варианту III позволит дополнить обязательную программу изделиями из сверхобязательной ее части по критерию максимальной прибыли. При линейных ограничениях

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq A_j', \quad 0 \leq x_i \leq b_i \quad \text{максимизируется} \quad F_3 = \sum_{i=1}^n \gamma_i x_i.$$

Суммирование

распространяется на те i , для которых $\gamma_i > 0$.

После решения этой задачи мы получаем лимиты времени по группам оборудования, оставшиеся после введения в программу прибыльных изделий из сверхобязательной программы.

Эти лимиты A_j'' используются при расчете следующего варианта программы. В варианте IV оставшиеся лимиты времени A_j'' используются на производстве убыточных изделий, для которых $\gamma_i < 0$. Критерием оптимальности является минимальный суммарный убыток. Для получения ненулевых решений ($x_i \neq 0$) мы, как и в варианте 2, ограничения по лимитирующей группе оборудования записываем в виде строгого равенства.

Математическая модель этого варианта будет иметь вид: при линейных ограничениях $\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \leq A_j''$ для всех $j \neq k$, $\sum_{i=1}^n a_{ik}x_i = A_k''$, $0 \leq x_i \leq b_i$ минимизи-

руется $F_i = - \sum_{i=1}^n \gamma_i x_i$ для всех $\gamma_i < 0$.

Целью расчетов по *варианту 5* является максимальное использование производственных мощностей, оставшихся после выполнения обязательной программы.

Если через y_j обозначить время, не используемое при расчете производственной программы (имеется в виду сверхобязательная ее часть), т. е. $y_j = A_j' - \sum_{i=1}^n a_{ij}x_i$,

тогда требуется минимизировать функцию $F_s = \sum_{j=1}^m y_j$ при следующих условиях:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i + y_j = A_j', \quad 0 \leq x_i \leq b_i, \quad y_j \geq 0.$$

Изложенный метод был опробован в выпускном механосборочном цехе одного из машиностроительных заводов Донбасса, а затем применен для расчета проекта производственной программы на 1967 г. В качестве исходных данных были использованы контрольные цифры на 1967 г. по обязательной и максимально-необходимой программам, фонды времени работы оборудования и трудоемкости изделий, распределенные по группам оборудования.

В связи с тем, что завод не имеет своей электронно-вычислительной машины, расчеты производились на ЭВМ «Урал-4», находящейся в г. Донецке. Вся исходная информация и результаты расчетов передавались по телетайпу.

Максимально необходимая программа, как видно из расчетов, не может быть выполнена в целом потому, что этого не позволяет наличный парк производственного

Таблица 1

| Изделие, № | Обязательная программа | Сверхобязательная программа | Максимально необходимая программа | Номер варианта и его критерий оптимальности | | | | |
|---|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|--|--------------------------|--|--------------------------------------|
| | | | | I максимальный выпуск продукции в стоимостном выражении | II минимальные затраты на производство | III максимальная прибыль | IV максимальная прибыль и минимальный убыток | V максимальная загрузка оборудования |
| выпуск изделий, шт. | | | | | | | | |
| 1 | 444 | 89 | 533 | 533 | 533 | 533 | 533 | 533 |
| 2 | 624 | 125 | 749 | 749 | 624 | 624 | 624 | 749 |
| 3 | 276 | 55 | 331 | 331 | 276 | 276 | 331 | 331 |
| 4 | 360 | 72 | 432 | 432 | 360 | 360 | 360 | 432 |
| 5 | 216 | 43 | 259 | 259 | 259 | 216 | 216 | 259 |
| 6 | 192 | 38 | 230 | 230 | 230 | 192 | 192 | 230 |
| 7 | 180 | 36 | 216 | 180 | 180 | 180 | 180 | 216 |
| 8 | 60 | 12 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| 9 | 300 | 60 | 360 | 360 | 300 | 360 | 360 | 360 |
| 10 | 240 | 48 | 288 | 288 | 240 | 288 | 288 | 288 |
| 11 | 600 | 100 | 700 | 654 | 678 | 600 | 626 | 644 |
| 12 | 72 | 28 | 100 | 72 | 100 | 100 | 100 | 72 |
| 13 | 36 | 4 | 49 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Показатели: | | | | | | | | |
| Выпуск продукции в оптовых ценах, тыс. руб. | 1777 | 360 | 2137 | 2032 | 1916 | 1936 | 1975 | 2031 |
| Прибыль, тыс. руб. | 4,5 | 5,4 | 9,9 | 16,3 | 6,6 | 41,9 | 37,4 | 15,8 |
| Использование оборудования, % | 47,3 | — | 56,7 | 54,2 | 50,4 | 50,2 | 51,4 | 54,5 |

оборудования. Все остальные варианты могут быть осуществлены, но при этом будут достигнуты различные результаты (табл. 1).

Если исходить из того, что в 1967 г. завод, а следовательно, и цех еще не перейдут на новые условия планирования и материального стимулирования, то следует отдать предпочтение первому или пятому вариантам. По сравнению с третьим и четвертым вариантами они обеспечивают больший выпуск товарной продукции (2032 тыс. и 2031 тыс. руб. против 1936 тыс. и 1975 тыс. руб.) и лучшее использование оборудования (54,2 и 54,5% против 50,2 и 51,4%). Однако применительно к новым условиям хозяйствования следовало бы скорей всего рекомендовать третий или четвертый варианты. При незначительной потере в товарной продукции (менее 5%) они позволяют повысить сумму прибыли в 2,3—2,8 раза.

Таблица 2

| Изделие, № | Обязательная программа | Номер варианта и его критерий оптимальности | | |
|---|------------------------|--|-----------------------------|---|
| | | I максимальный выпуск продукции в стоимостном выражении | III максимальная прибыль | V максимальная загрузка оборудования |
| | | выпуск изделий, шт. | | |
| 1 | 444 | 444 | 944 | 444 |
| 2 | 624 | 624 | 624 | 624 |
| 3 | 276 | 276 | 276 | 276 |
| 4 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| 5 | 216 | 216 | 216 | 716 |
| 6 | 192 | 192 | 192 | 192 |
| 7 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| 8 | 60 | 370 | 60 | 145 |
| 9 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| 10 | 240 | 240 | 632 | 240 |
| 11 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 12 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| 13 | 36 | 235 | 36 | 164 |
| Показатели: | | | | |
| Выпуск продукции в оптовых ценах, тыс. руб. | 1777 | 2267 | 2144 | 2124 |
| Прибыль, тыс. руб. | 4,5 | -39,7 | 163,9 | -62,6 |
| Использование оборудования, % | 47,3 | 57,8 | 55,0 | 57,9 |

Несмотря на существенные различия между вариантами в части объема произведенной продукции и прибыли, все они характеризуются низким уровнем использования оборудования (от 50,2 до 54,5%). Это объясняется ограниченной пропускной способностью отдельных видов оборудования, т. е. наличием узких мест. При этом узкие места единственно сдерживают использование других видов оборудования. Такие места «максимальная загрузка оборудования» узким местом являются протяжные станки. При использовании их по времени на 100% группа токарных станков используется на 71%, зубофрезерных — на 57%, продольно-фрезерных на 49%, расточных — на 48%.

Если ликвидировать узкое место, то загрузка оборудования возрастает до 56,7%. Дальнейший рост ее сдерживается ограничениями, накладываемыми максимально необходимой программой. Если же исходить из имеющегося в цехе парка станков, но снять ограничения по количеству изделий, то получим результаты, которые представлены в табл. 2.

Рассматривая данные таблицы, видим, что при безграничном спросе на продукцию, изготавливаемую цехом, объемы производства по варианту I по сравнению с обязательной программой увеличены за счет изделий № 8 и 13, а увеличение прибыли по варианту III достигается за счет изделий № 1 и 10. Во всех отмеченных случаях выпуск изделий увеличивается значительно: от 2,1 раза (№ 1) до 6,5 раза (№ 13). На первый взгляд может показаться, что такое резкое увеличение производства отдельных изделий делает практически неосуществимыми все расчеты, так как возникает сомнение в возможностях реализации такого большого количества этих изделий.

Эти сомнения могут быть рассеяны или подкреплены только в результате изучения спроса на эти изделия, а также производственных возможностей не только данного завода, но и всех предприятий, производящих эти изделия.

Но предположим, что возросшее количество изделий №№ 1, 5, 10 и 13 будет обеспечено заказами. Тогда снова возникает вопрос: какой из вариантов следует принять в качестве плана? Из показателей, приведенных в табл. 2, видно, что следует остановиться без колебаний на варианте III. Хотя он позволяет произвести товарной продукции по сравнению с первым вариантом меньше на 5,6%, но при этом он обеспечивает 164 тыс. руб. прибыли, в то время как по первому варианту предполагается около 40 тыс. руб. убытка.

Однако и при отсутствии ограничений со стороны спроса процент использования оборудования увеличивается незначительно и в общем не превышает 58%. В то же время отдельные группы станков используются во времени крайне неравномерно.

Таблица 3

| Группа оборудования | Остаток фонда времени после выполнения производственной программы в пределах максимально необходимой программы, тыс. шт. | | |
|---------------------|--|----------------------|------------------------------------|
| | максимальный выпуск продукции в стоимостном выражении | максимальная прибыль | максимальная загрузка оборудования |
| Токарная | 24,9 | 30,0 | 24,6 |
| Продольно-фрезерная | 15,4 | 16,3 | 15,3 |
| Зубофрезерная | 52,1 | 57,2 | 51,5 |
| Шпоночно-фрезерная | 12,1 | 12,2 | 12,1 |
| Наружношлифовальная | 7,9 | 8,4 | 7,9 |
| Агрегатно-расточная | 16,2 | 16,4 | 16,2 |

По варианту V, рассчитанному на максимальную загрузку оборудования, протяжные и сверлильные станки используются на 100%, токарные — на 75%, зубофрезерные — на 61%, расточные — на 54%, продольно-фрезерные — на 49% и т. д.

Возникает вопрос: что следует сделать для того, чтобы улучшить явно неудовлетворительное использование оборудования? Такой низкий уровень его сказывается и особенно скажется при новых условиях планирования на экономике цеха и завода и, в частности, на показателе рентабельности производства, на величине платы за фонды, на сумме отчислений в поощрительные фонды.

Очевидно, надо либо состав выпускаемой продукции привести в соответствие со станочным парком, либо, наоборот, изменить соответствующим образом его структуру.

Произведенные выше многовариантные расчеты показали, что при наличном оборудовании цеха и установленной номенклатуре изделий невозможно подобрать такой их ассортимент, который позволил бы превзойти процент использования оборудования, равный 54,5%. Его можно превзойти в том случае, если изменить номенклатуру изделий, а это уже затрагивает вопросы специализации цеха. Полное решение этого вопроса находится за пределами интересов и возможностей данного цеха и завода.

Таким образом, для того чтобы значительно повысить использование оборудования, остается один путь: изменить его структуру и привести ее в соответствие с установленной в качестве планового задания производственной программой. Руководствоваться при этом можно данными об излишках фонда времени, остающихся после выполнения той или иной программы (табл. 3).

Понятно, что сведения об остатках фондов времени работы оборудования (в таблице помещены данные не по всем, а только по некоторым группам станков) могут служить лишь ориентирами. Чтобы принять окончательное решение, необходимо учесть такие факторы, как сохранение определенных рациональных резервов станков, возможность дополнительной их загрузки изготовлением запасных частей для основной продукции, заказами со стороны и др.

Таким образом, выполненные многовариантные расчеты позволяют проанализировать производственные возможности цеха и предполагаемые результаты его будущей деятельности и установить ему задание, руководствуясь лучшим из вариантов, а также условиями планирования и материального стимулирования. Попутно с этим могут быть сформулированы основные пути улучшения использования производственного оборудования.

Поступила в редакцию
13 VIII 1966

ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИКЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ)

А. С. АСТАХОВ, Э. И. ГОЙЗМАН

(Москва)

Экономико-математическое моделирование циклических производственных процессов представляет широкие возможности их оптимизации. Особое значение это имеет для таких трудоемких отраслей, как угольная промышленность.

Для интенсификации производства на угольных шахтах важна правильная организация работ в очистных забоях. Участок угольного месторождения, на котором непосредственно производится добыча угля, называется очистным забоем. Очистные забои являются основным производственным звеном на шахте. В очистном забое в течение цикла выполняется несколько технологических процессов, в том числе по управлению и обслуживанию комбайна, конвейера, креплению кровли и ряд других.

Развитие техники и организации добычных работ на шахтах за последние годы характеризуется возрастающим совмещением во времени отдельных рабочих процессов в забое. Задачей организации работ при этом становится разработка оптимальных технологических графиков выполнения производственных процессов для конкретных горногеологических и технических условий. Такой график отражает целый комплекс организационных решений: рациональную степень совмещения процессов, оптимальную длительность производственного цикла, экономически наиболее выгодную нагрузку забоя, наиболее выгодную численность комплексной бригады рабочих, их расстановку по рабочим местам и перераспределение между процессами на протяжении цикла.

Излагаемые ниже методы решения данной задачи могут представить интерес и для более широкого круга задач по моделированию циклических производственных процессов в других отраслях.

Производственный цикл в очистном забое характеризуется определенным составом рабочих процессов с известным объемом работ по каждому из них. В рассматриваемом нами случае последовательность циклов является однородной, поскольку во всех циклах мы имеем одинаковый состав производственных процессов с одним и тем же объемом работ.

Длительность T производственного цикла в очистном забое может быть разделена на последовательные периоды времени $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_n$, являющиеся периодами движения и остановки основного забойного механизма — выемочного комбайна. Во время остановок комбайна рабочие, освободившиеся от его обслуживания, могут переходить на выполнение других процессов. Ввиду непродолжительности периодов t_k переход рабочих в каждом из t_k имеет смысл осуществлять не более одного раза. Близость расположения мест выполнения процессов позволяет, как правило, пренебречь временем переходов.

Суммы последовательных значений t_k будут составлять время выполнения процессов, предусмотренных данной технологией. Начало и конец возможного осуществления каждого процесса связаны определенным образом между собой и с работой комбайна.

На рисунке представлен пример графика движения комбайна и планограммы работ. В верхней части рисунка изображен пример графика движения комбайна («путь — время»), который задает последовательность периодов движения и остановки комбайна t_k ; в нижней части — планограмма работ в очистном забое, содержащая шесть производственных процессов. Из планограммы видно, к каким «крайним» моментам могут быть приурочены начало и конец отдельных процессов с учетом их технологических взаимосвязей.

Будем рассматривать также добавочные периоды времени τ , которые необходимо вводить тогда, когда требуется ликвидировать отставание того или иного процесса, остановив при этом выемку угля комбайном. В результате длительность цикла мож-