

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 превысить 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 программы 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 — программа работ в очистном забое, содержащая шесть производственных процессов. Из программы видно, к каким «крайним» моментам могут быть приурочены начало и конец отдельных процессов с учетом их технологических взаимосвязей.

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



но представить как сумму

$$T = \sum_k t_k + \sum_l \tau_l.$$

Пусть  $z$  означает общую сменную численность комплексной бригады рабочих в очистном забое. Предполагается, что в течение всех смен (т. е. на протяжении всего цикла)  $z = \text{const}$ . Во время добавочных периодов  $\tau_l$  на погашение отставаний процессов может быть направлена почти вся бригада рабочих  $z$ , за исключением опре-

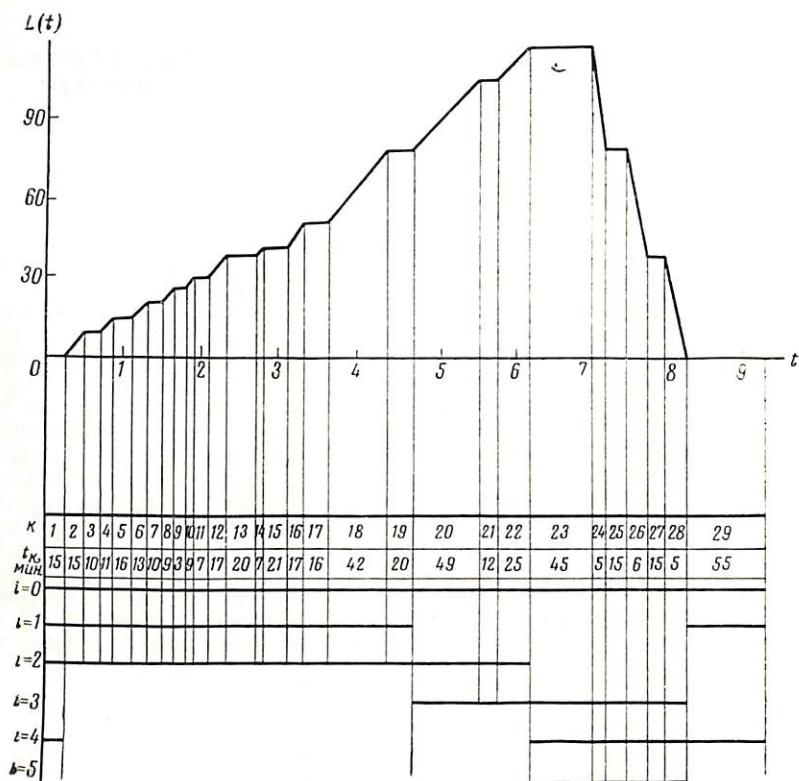


График движения комбайна и планограмма работ:  $L(t)$  — путь, проходимый комбайном;  $k$  — номер периода,  $t_k$  — длительность отдельного периода;  $i$  — номер процесса

деленного количества  $b$ , оставляемого при комбайне для выполнения работ по профилактике машины.

Рассмотрим выемочный цикл, в течение которого надо выполнить работы по  $m$  различным процессам.

Пусть  $v_i$  будет линейная «скорость» выполнения  $i$ -го процесса одним рабочим (т. е. индивидуальная производительность труда рабочего на данном процессе, выраженная в метрах длины выемочного забоя на человеко-минуту). Допустив, что при достаточном фронте работ  $v_i$  не будет зависеть от числа рабочих  $x_{ik}$ , занятых на выполнении данного  $i$ -го процесса, можно записать, что

$$\sum_k v_i t_k x_{ik} + \sum_l v_i \tau_{il} (z - b_{il}) = W_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

где  $W_i$  — объем работ по процессу на цикл, выраженный в метрах очистного забоя.

Работа комбайна в значительной мере определяет общую интенсивность работ в очистном забое. Число рабочих  $a_k$ , занятых на этом процессе (так называемое комбайновое звено), определяется заранее по существующим нормам для каждого  $t_k$  в количестве, необходимом для работы комбайна с заданной скоростью. В результате

для любого периода  $t_k$  будем иметь уравнение

$$\sum_i x_{ik} + x_{пk} + a_k = z, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где  $x_{пk}$  — число рабочих, которые из-за технологически обусловленной неравномерности в распределении объемов работ на протяжении цикла могут периодически представлять в тот или иной период  $t_k$ .

В связи с производственными условиями в ряде случаев для отдельных пар процессов должно быть согласовано расстояние между местами их выполнения.

Ограничения, накладываемые на допустимые взаимные опережения (или отставания) отдельной пары процессов, можно выразить в виде следующих неравенств, которые должны соблюдаться во всех  $t_k$ :

$$\sum_k v_{\alpha} x_{\alpha k} t_k + \sum_l v_{\alpha} (z - b_{\alpha l}) \tau_{\alpha l} - \sum_k v_{\beta} x_{\beta k} t_k \geq d_{\alpha\beta}, \quad (3)$$

где  $d_{\alpha\beta}$  — минимально допустимая дистанция (в м) между процессами  $i = \alpha$  и  $i = \beta$ .

Пусть очистному забою планируется суточная добыча угля  $Q$  т/сутки. Тогда допустимым решением может быть признано лишь то, которое обеспечивает суточную добычу угля, не менее планируемой, т. е. удовлетворяет условию

$$\frac{24 \cdot 60}{\sum_k t_k + \sum_l \tau_l} D \geq Q, \quad (4)$$

где  $D$  — добыча угля с цикла, являющаяся постоянной величиной для данного очистного забоя, т.

В качестве критерия оптимальности при решении данной задачи принимается минимум функции

$$y = \left[ \left( \sum_k t_k + \sum_l \tau_l \right) (p z + c) \right] / DT_{\text{сут}}, \quad (5)$$

являющейся показателем суммарной трудоемкости работ в очистном забое и условно-постоянных работ на обслуживающих забой смежных технологических звеньях.

(Здесь  $c$  — количество рабочих «постоянного штата» на смежных с очистным забоем процессах за сутки;  $p$  — число смен работы в сутки;  $T_{\text{сут}}$  — рабочее время суток, мин.).

Определение оптимального плана  $\{z, x_{ik}, x_{пk}, \tau_{il}\}$  в рассматриваемой нелинейной модели может быть сведено к задаче линейного программирования, решаемой на каждом шаге по мере приближения к  $\min y$ . Сущность этой процедуры заключается в следующем.

Пусть  $z^{(0)}, z^{(1)}, z^{(2)}, \dots$  будут последовательными целочисленными приближениями для оптимального значения  $z$ . Нетрудно видеть, что ограничения (1) и (3), выраженные нелинейными зависимостями, а также оптимизируемая функция становятся при этом линейными.

Решая на каждом шаге для  $z^{(0)}, z^{(1)}, z^{(2)}, \dots$  задачу линейного программирования, где оптимизируемая функция (5) выступает уже в виде линейной формы, мы получаем совокупность наименьших значений  $y^{(0)}, y^{(1)}, y^{(2)}, \dots$ , наименьшее среди которых будет соответствовать оптимальному плану.

Нижней границей поиска оптимальных значений численности бригады служит значение  $z^{(n)}$ , равное численности комбайнового звена  $a_k$ , так как из условия (2) вытекает, что  $z \geq a_k$ . Верхней границей  $z^{(n)}$  оптимальных решений является значение  $z$ , получаемое при условии, что все сбавочные времена  $\tau$  равны 0. Как видим, определение  $z^{(n)}$  является также задачей линейного программирования. В качестве исходного приближения  $z^{(0)}$  можно принять либо  $z^{(n)}$ , либо  $z^{(n)}$ . Это позволяет не рассматривать вопрос о направлении спуска.

В рассматриваемой задаче в силу эквивалентности локального и абсолютного минимума оптимальное решение, если оно не обнаруживается при  $z^{(n)}$  и  $z^{(n)}$ , наступает на предпоследнем шаге перед началом возрастания оптимизируемой функции.

Одно из удобств изложенной процедуры состоит в том, что она обеспечивает целочисленное решение для  $z$ .

Из анализа ограничений и оптимизируемой функции следует, что рассматриваемая модель обладает многообразием равно оптимальных планов. Понятно, что воз-



возможность получения нескольких одинаковых по эффективности решений имеет большое практическое значение.

Практическое определение оптимальной численности бригады и расстановки рабочих по процессам при помощи описанной методики производилось для различных горногеологических и технических условий. В общей сложности в настоящее время уже рассмотрено около 40 примеров для следующих схем механизации: для широкозахватного комбайна ЛГД-2 с разборным и изгибающимся конвейером, с управлением кровлей частичной закладкой выработанного пространства и полным обрушением; для узкозахватного комбайна К-52М и для врубовой машины КМП-3.

В заключение отметим, что рассматриваемая модель позволяет осуществить реализацию ряда дополнительных условий, которые должны удовлетворяться в известных случаях. Отметим, некоторые из них.

1. Среди периодов  $t_k$  могут быть такие, в которых желательно иметь одинаковое распределение рабочих по процессам (например, периоды, где выполняются аналогичные операции). Этот случай предусматривается в модели путем «назначения» одних и тех же неизвестных для различных  $t_k$ .

2. Если продолжительность периода  $t_k$  незначительна и не позволяет осуществить переход рабочих с одного процесса на другой, то выполнение процессов должно происходить в том же составе, что и в предыдущем периоде  $t_{k-1}$ . В модели это может быть достигнуто путем назначения одних и тех же неизвестных в периодах  $t_{k-1}$  и  $t_k$ .

3. Из-за специфики работ в забое иногда бывает необходимо ограничить количество рабочих, занятых на каком-либо процессе в некоторых периодах  $t_k$ . Выполнение этого требования обосновывается введением в систему ограничений неравенств вида

$$c_{ik}^{(n)} \leq x_{ik} \leq c_{ik}^{(a)}$$

4. Оптимизируя по критерию (5) организационную задачу, в которой варьируются параметры работы выемочного комбайна (скорость движения, глубина захвата и др.), можно при помощи рассматриваемой модели рассчитать не только оптимальную численность бригады и расстановку рабочих, но и экономически выгодные режимы работы основного забойного механизма.

Как показывают результаты решения конкретных примеров для различных технологических схем очистной выемки, применение изложенной методики расчета позволяет увеличить производительность труда рабочих, увеличить суточную нагрузку на очистной забой, сократить длительность производственного цикла и получить в конечном итоге заметный экономический эффект.

Поступила в редакцию  
24 I 1966

## ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА \*

С. Я. ЛУЦКИЙ

(Москва)

Задача распределения парка взаимозаменяемых строительных машин по участкам работ приобретает важное значение и имеет ряд специфических особенностей в условиях сложного комплекса строительно-монтажных работ со многими взаимосвязанными организациями-исполнителями. Планирование работ каждого исполнителя не может вестись обособленно; оно должно быть подчинено интересам народнохозяйственного плана и его установкам по строительству всего объекта. В этих условиях эффективность эксплуатации парка машин как одного из исполнителей строительного процесса должна рассматриваться с позиций проблемы целесообразного использования оборудования [1].

В отношении парков машин указанная проблема содержит две основные задачи. К первой относится выбор экономически целесообразного способа производства работ, который будет обусловлен расстановкой машин по участкам в соответствии с критерием оптимальности. Вторая задача носит характер координации работ отдельных организаций. В ее постановке требуется найти такое распределение производственной программы исполнителей, чтобы обеспечить нужный выпуск конечной про-

\* Автор выражает глубокую благодарность С. М. Мовшовичу за ряд ценных советов при работе над данной статьей.

дукции — выполнение этапов строительства всего объекта — и согласовать с ним выпуск продукции отдельными исполнителями (промежуточной продукции). На строительстве сложных объектов обе задачи неразрывно связаны между собой.

Оптимальный вариант расстановки машин по участкам работ определяется в основном решением распределительной задачи [2—4]. Постановка этой задачи предусматривает выбор плана работы парка с минимальными приведенными затратами или другим критерием оптимальности при условиях выполнения полного объема работ в заданное время имеющимися ресурсами. В условия задачи входят параметры, относящиеся только к работе данного парка машин, и, следовательно, его распределение может быть практически реализовано в том случае, если парк работает вне прямой зависимости от других исполнителей, т. е. при решении первой экономической задачи. Зависимая работа нескольких исполнителей требует учета условий второй задачи — критерий оптимальности должен быть достигнут при координированной работе.

Взаимосвязь исполнителей наиболее полно проявляется при поточной и комплексно-поточной организации строительства. Рассмотрим поточную организацию строительства железной дороги. Для сооружения железнодорожного пути организуется комплексный поток, объединяющий ряд специализированных потоков отдельных организаций-исполнителей, в том числе механизированных колонн (парков землеройных машин) и укладочно-балластировочного поезда. Выполнение работ этими исполнителями подчинено единому темпу с тем, чтобы в установленные сроки обеспечить окончание строительства участков дороги и открыть движение поездов [5]. Механизированная колонна возводит земляное полотно участками, которые отличаются условиями производства работ. Экскаваторные, скреперные и другие основные комплекты машин механизированной колонны, передвигаясь вдоль трассы железнодорожной линии, выполняют полный объем работ на участках и сдают их следующему исполнителю — укладочно-балластировочному поезду, в составе которого работает путеукладчик. Для бесперебойной работы данного исполнителя необходимым условием является строго последовательная и ритмичная (в темпе комплексного потока) сдача участков готового земляного полотна. Иначе говоря, время работы парка землеройных машин от начала строительства, исключая подготовку, до сдачи каждого участка должно быть ограничено периодами, величина которых определяется темпом комплексного потока и растет пропорционально удалению участка от начальной станции.

Определение оптимального варианта расстановки комплектов машин взаимозаменяемых типоразмеров по участкам работ с учетом изложенных выше требований отвечает увязке частной и общей задач использования оборудования и составляет цель планирования работы парка машин. Постановка задачи может быть следующей. Требуется найти такой вариант распределения парка взаимозаменяемых строительных машин по участкам работ, который обеспечивает выполнение полного объема работ на участках при ритмичной сдаче их смежному исполнителю и минимальных затратах.

Введем следующие обозначения. Пусть парк состоит из  $m$  взаимозаменяемых типов строительных машин. В  $i$ -й ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) тип включаются комплекты машин, объединенные по условиям эксплуатации и обслуживания.  $B_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) — объем работ на  $j$ -м участке;  $c_{ij}$  и  $p_{ij}$  — соответственно приведенные затраты и выработка в расчете на единицу ресурсов (машиносмену) комплекта машин  $i$ -го типа на  $j$ -м участке;  $x_{ij}$  — искомое число машиносмен работы комплектов машин  $i$ -го типа на  $j$ -м участке;  $d_{ij}$  — ограничение на затраты ресурсов машинами  $i$ -го типа от начала основных работ строительства до сдачи  $j$ -го участка определяется в машиносменах, исходя из темпа потока, числа машин в  $i$ -м типе и принятой сменности работы. Условие ритмичной сдачи участков означает, что суммарные затраты ресурсов машинами  $i$ -го типа на всех предшествующих участках от начала работы парка до окончания работ на  $j$ -м участке не должны превысить величину  $d_{ij}$ .

В такой постановке задача формализуется следующим образом. Требуется обратиться в минимум линейную форму

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

при условиях

$$\left. \begin{array}{l} x_{i1} \leq d_{i1} \\ x_{i1} + x_{i2} \leq d_{i2} \\ \dots \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq d_{in} \end{array} \right\} i = 1, 2, \dots, m,$$