

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

$$c_{ik}^{(H)} \leq x_{ik} \leq c_{ik}^{(B)}.$$

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 наличными 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 ($j = 1, 2, \dots, n$) — 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 ресурсов машинами i -го типа от начала на j -м участке; d_{ij} — ограничение на затраты ресурсов машинами i -го типа на 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 образовать в минимум линейную форму

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

при условиях

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

$$\sum_{i=1}^m p_{ij} x_{ij} = B_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Данная задача, кроме условий (3) распределительного вида, содержит ограничение (2). Решение задачи может быть получено общими методами линейного программирования, если матрица условий (2), (3) имеет небольшие размеры. В противном случае задачу можно решать методом разложения [6]. Условия (3) включаются в матрицу $A^{(0)}$. Матрица $A^{(1)}$ условий (2) имеет специальную блочно-диагональную структуру, причем матрица условий каждого блока является треугольной, что существенно упрощает решение задачи.

В качестве приложения изложенной задачи рассмотрен выбор оптимального распределения комплектов машин пяти типоразмеров экскаваторной механизированной колонны по семи участкам среднехолмистой местности.

Протяженность участков земельного полотна в порядке возрастания их номеров в таблице составляет: на I, II и IV участках 4,5 км; на III, V, VI и VII участках — 3 км.

Типоразмерность машин	Разновидности участков земельного полотна							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
	объемы работ на участках, м ³							
	80 000	40 000	70 000	120 000	80 000	80 000	90 000	
Э-1004А (2 комплекта)	1	60 133,2	60 100,2	40 102,4	60 88,2	40 70,6	40 71,2	40 71,8
		60	120	160	220	260	300	340
		51		108	31	69	40	
Э-801 (2 комплекта)	2	64	464	404	464	490	490	430
		60 126	31 94,4	69 96,6	82,4	63,6	71 64,2	109 64,8
		60	120	160	220	260	300	340
Э-652 (3 комплекта)	3	94	394	310	394	420	420	340
		80 20	88,4	137 90,4	93 76,8	62,2	62,6	39 63
		190	180	240	330	390	450	510
Д-357 г (2 комплекта)	4	90	360	5	360	240	240	150
		92,4	92,6	92,8	73,4 93			
		60	120	160	220			
Д-374 (2 комплекта)	5	160	210	170	480			
					134 44	110 44,2	56 44,4	40 44,6
					220	260	300	340
			250	49 544	111 544	180 500		

Пусть в соответствии с темпом комплексного потска темп земляных работ принят 0,3 км/сутки. Для выполнения заданного темпа участки должны быть сданы последовательно через 15, 30, 40, 55, 65, 75 и 85 дней после начала основных работ. В (i, j) -й клетке таблицы цифры в колонке справа означают соответственно c_{ij} , d_{ij} (при двухсменной работе) и p_{ij} . Решение распределительной задачи с такими данными предусматривает на первых двух участках 270 машино-смен работы комплектов машин только первого типа, что нарушает условия потока.

Приближенное решение задачи (1) — (4) с использованием аналога метода минимального элемента (в клетках таблицы вверху слева) обеспечивает выполнение работ на всех участках, в том числе и на четвертом, имеющем большой объем работ, в заданном темпе и затратами 110 140 руб. Суммарные затраты при оптимальном решении этой задачи (оптимум в таблице выделен) составляют 103 365 руб.

Отметим один частный случай данной задачи, а именно: работа парка строительных машин ограничена определенным временем лишь на некоторых участках. Такие случаи возникают на реконструкции железных дорог, когда производство земляных работ в пределах путепроводной развязки железнодорожной линии и автомобильной магистрали связано с перерывом в движении поездов. При этом комплекты машин

i -го типа могут затратить на таких участках ограниченное число машиночмен, что формально означает двусторонние ограничения на переменных x_{ik} . В задаче (1) — (4) вместо условий (2) и (4) следует записать:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2')$$

$$0 \leq x_{ik} \leq d_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad k \in I, \quad (4')$$

где a_i — наличное число машиночмен работы машин i -го типа на объекте в планируемый период; I — множество номеров участков с ограничением времени производства работ. Задача сводится к распределительной с двусторонними ограничениями на переменные [7].

Постановка изложенной задачи распределения парка строительных машин целесообразна только при наличии разработанных перспективных планов и проектов организации строительства, осуществляемого непрерывным потоком [8]. При проектировании долгосрочных потоков строительства промышленных комплексов, железных дорог, застройки районов и т. д. заблаговременно определяется номенклатура участков работ и объектов строительства, планируются ритмичная загрузка и темпы производства работ на этих объектах для всех организаций-исполнителей, включая парки машин механизированных колонн и трестов строймеханизации. Решение поставленной задачи позволит составить оптимальный план использования основных фондов этих организаций.

Распределение парков строительных машин в процессе оперативного планирования и управления ходом работ по сетевому графику осуществляется следующим образом. При сетевом планировании и управлении сбор и обработка информации о меняющейся обстановке на стройплощадке ведутся периодически. Обработанная информация содержит данные о частично или полностью выполненных объемах работ и сведения об отставаниях или опережениях хода работ на отдельных участках. Эти данные позволят в периоды обработки сети откорректировать параметры B_j и d_{ij} в условиях задачи (1) — (4). Решение задачи с обновленными условиями следует также производить периодически.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Канторович. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов М., Изд-во АН СССР, 1959.
2. А. Л. Лурье. Алгоритм решения распределительной задачи. В сб. Применение математики в экономических исследованиях. Под ред. акад. В. С. Немчинова. Т. 2. М., Соцэкгиз, 1961.
3. С. С. Лебедев. Алгоритм решения распределительной задачи. В сб. Экономика и мат. методы, т. I, вып. 2. М., «Наука», 1961.
4. У. Х. Малков. Алгоритм решения распределительной задачи. Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1962, т. 2, № 2.
5. Указания по организации и технологии поточного строительства новых железных дорог. Мин-во транспортн. строит. М., Оргтрансстрой, 1960.
6. Е. Г. Гольштейн, Д. Б. Юдин. Новые направления в линейном программировании. М., «Советское радио», 1966.
7. С. Я. Луцкий. Выбор оптимального распределения парка машин. Экономика строительства, 1967, № 2.
8. В. И. Рыбальский. Кибернетика в строительном производстве. Киев, «Будивельник», 1965.

Поступила в редакцию
8 VII 1966