Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LII, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.271 + 658.614

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

А. Д. Школьников

При оперативном управлении (ОУ) рассматриваются вопросы, требующие немедленного вмешательства в ход технологического процесса. На открытых горных работах оперативно приходится управлять единым технологическим процессом выемки и транспортирования горной массы. ОУ является частью общего процесса управления горными предприятиями и обеспечивает работу предприятия в течение промежутка времени не более смены или суток.

Задачи ОУ резко отличаются от задач планирования или проектирования малым интервалом времени, в течение которого необходимо принять решение. Так, если на решение задач ОУ отвести хотя бы 1 *мин*, то для крупного карьера (например, Магнитогорского) это равносильно потере одной рабочей недели в год. Из этого отличия вытекают особые требования, предъявляемые к методам ОУ и техническим средствам для их реализации. Поэтому целесообразно вопросы ОУ выделить в особый раздел управления горными предприятиями.

Задача ОУ на карьерах заключается в согласовании режимов работы горных машин, транспорта и приемных устройств (отвалов и фабрик) с целью оптимизации использования оборудования. Решение задачи реализуется путем управления движением транспорта.

В настоящее время ОУ является функцией диспетчерского персонала. Однако трудности решения задачи (быстрота изменения ситуации, очень большое количество учитываемых факторов и т. п.) не дают возможности диспетчеру найти правильное решение. В результате ухудшаются условия ведения горных работ, увеличиваются простои оборудования и холостые пробеги транспортных единиц. По статистическим данным, 15—20% времени простоя основного оборудования происходит по вине диспетчерской службы. На самом деле потери производительности горного оборудования из-за неправильной организации управления еще выше. Характерны данные по одному из железорудных карьеров: коэффициент использования чистого времени смены экскаваторов и электровозов 0,5—0,6. В то же время 46% времени простоя составов происходит из-за отсутствия фронта погрузки и выгрузки, а 48% времени простоя экскаваторов — из-за отсутствия транспорта.

Субъективные методы управления противоречат основным тенденциям развития современного машинного производства и являются тормозом для полного использования преимуществ крупных карьеров, оборудованных мощными горнотранспортными машинами. Для улучшения управления на открытых горных работах целесообразно вводить комплекс техни-

ческих средств, объединенных в систему ОУ. Основным узлом системы является вычислительная машина (ВМ).

Системы оперативного управления технологическими процессами на открытых горных работах являются системами с неполной информацией. Особенностью таких систем для существующей технологии является непосредственное участие человека в процессе регулирования как обязательного элемента системы. Эксперименты, проведенные проблемной лабораторией Ленинградского горного института, показывают, например, что человек как датчик опознавания объекта по комплексу косвенных признаков (при оценке качественного состава рудной массы по внешним признакам) сам имеет вполне определенную характеристику, форма которой зависит от конкретных психофизических факторов. Использование этой характеристики (линейной при малых отклонениях) позволяет значительно увеличить точность управления процессом усреднения качественного состава поставляемой горной массы [Школьников, 1963].

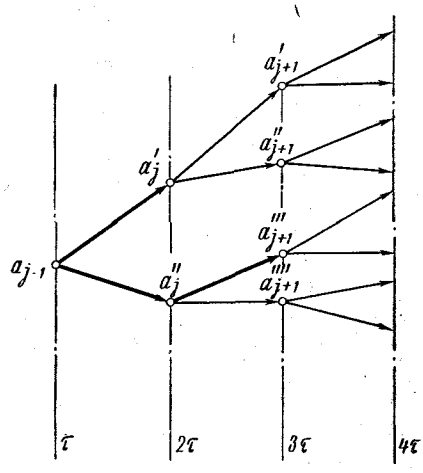

Схема изменений состояний системы.

Общими свойствами технологического процесса открытой разработки с точки зрения управления являются случайный характер изменения как свойств предмета обработки, так и характеристик обрабатывающей системы, гибкость и разнообразие организации, необратимость процесса и невозможность его расчленения на автономно управляемые этапы.

Результаты технологического процесса за смену контролируются по трем основным показателям: производительности, качества поставляемой горной массы и выполнения правил технологии. Поэтому в качестве критерия ОУ в зависимости от горнотехнических условий можно принять оценку, связанную с одним из этих показателей, остальные отражаются в условиях, ограничивающих область допустимых решений. Наиболее широко распространенным критерием является максимум сменной производительности оборудования (или, аналогично, минимум простоев основных горных машин — экскаваторов).

Удовлетворительной математической моделью объекта управления может служить дискретный марковский процесс с непрерывным временем. На основе методов динамического программирования [Беллман, 1960] можно построить оптимальный алгоритм управления с целью максимизации производительности. Для удобства вычислений рассмотрим поведение системы в дискретные моменты времени с интервалом τ.

Пусть, $\xi(a_{j-1}, \quad a'_j)$ — средняя производительность при переходе из состояния a_{j-1} в состояние a'_j (см. рисунок).

Определим оптимальный вариант перехода из состояния a_{j-1}:

$$\xi_1(a_{j-1}) = \max_j \xi(a_{j-1}, \; a_j),$$

$$\xi_2(a_{j-1}) = \max_j \frac{1}{2}[\xi(a_{j-1}, \; a_j) + \xi_1(a_j)],$$

. . . . . .

$$\xi_n(a_{j-1}) = \max_j \frac{1}{n}[\xi(a_{j-1}, \; a_j) + (n-1)\,\xi_{n-1}(a_j)].$$

Так как система вероятностная, то оценку величин ξ_i произведем с учетом достоверности предсказаний поведения системы. Пусть

$$P\left(\tau-\frac{\tau}{2}<t_j<\tau+\frac{\tau}{2}\right)=p_j,$$

где t_j — случайная величина времени перехода из a_{j-1} в a_j.

Полагая $p_j=p_0$, получим оценку

$$\theta(a_{j-1},\ a_j)=p_0\,\xi(a_{j-1},\ a_j),$$

отсюда

$$\theta_n(a_{j-1})=\max_j\frac{1}{n}[\theta(a_{j-1},\quad a_j)+(n-1)\,p_0\theta_{n-1}(a_j)].$$

Преимуществом этого алгоритма является построение оптимальной траектории сразу от начального положения и быстрая сходимость. Так,

$$|\theta_n-\theta_{n-1}|<\frac{p_0^n}{n}\,\xi_0,$$

где ξ_0 — максимальное значение средней производительности за интервал τ.

В общем случае (при появлении требований к качественному составу отгружаемой горной массы) для ОУ следует применять метод, учитывающий специфические особенности технологии [Универсальный способ, 1964]. Этот метод состоит в последовательном решении задачи по этапам с коррекцией условий решения предыдущих этапов по результатам решения последующих.

Для практической разработки алгоритмов управления необходимо учитывать конкретные условия работы карьера, например, качественный состав полезного ископаемого на карьерном поле, тип транспорта, характеристики транспортной схемы, возможность обмена транспортных единиц между грузопотоками, режим работы потребителей и т. п. В соответствии с этими признаками можно разделить карьеры на классификационные группы и отнести к каждой из них определенные блок-схемы алгоритмов.

Такой путь позволит существенно сократить время на разработку системы ОУ, упростить конструкцию ВМ и снизить их стоимость.

Особый интерес представляют ВМ, построенные на принципах объединения комбинационных и тактовых схем. Как показали промышленные испытания, проведенные на Оленегорском карьере Ленинградским горным институтом вместе с организацией-изготовителем, такие ВМ работают очень надежно и не требуют специального обслуживающего персонала.

ВМ могут применяться на карьерах либо в качестве «Советчика» диспетчеру, либо в качестве машины, непосредственно управляющей устройствами СЦБ, т. е. «оператора». Принципиальной разницы между обоими вариантами не существует. Первый вариант проще и может рассматриваться как промежуточный. Если карьер оборудуется системой диспетчерской или маршрутной централизации, то целесообразно сразу предусматривать возможность подключения ВМ в данную систему.

Стоимость системы ОУ существенно зависит от конструкции устройств передачи информации. Так, для карьеров средней производительности затраты на разработку и изготовление системы типа «Советчик» составляют около 100 тыс. руб., из них 40—45% — стоимость средств передачи информации. Для крупных карьеров затраты составляют 180—200 тыс. руб., из них 50—60% — на средства передачи информации.

Для получения фактических данных об эффективности применения ВМ проведен ряд промышленных экспериментов на Пикалевском [Школьников, 1964], Оленегорском и Кингисеппском карьерах. Во время испытаний Оленегорский карьер в течение 7 суток подряд управлялся только с помощью «советов» ВМ. При выдаче «советов» ВМ учитывала обеспеченность фабрики рудой, качество горной массы в забоях (руды или породы), местоположение порожних составов и экскаваторов, ориентировку составов относительно забоя, занятость забоев, отвалов и приемных устройств фабрики, необходимость преимущественной загрузки некоторых экскаваторов (например, при проходке траншеи) и т. п. Изучение результатов испытаний показало, что использование ВМ для оперативного управления позволит увеличить производительность карьера на 7—10%. Такую систему управления предполагается внедрить на карьере в 1966 г.

Кингисеппский карьер в течение 14 смен управлялся с помощью «советов», получаемых от ВМ «Минск-1» Ленинградского горного института. Связь с карьером осуществлялась по телефону. Испытания показали высокую эффективность управления главным образом за счет уменьшения колебаний качества рудной массы, подаваемой на фабрику. Экономия от применения соответствующей системы ОУ только за счет уменьшения потерь реагентов составит (при пуске второй очереди карьера) 150 ÷ ÷ 160 тыс. руб. в год.

Заключение

1. Применение ВМ для оперативного управления технологическими процессами на открытых горных работах позволяет улучшить организацию управления и отказаться от субъективных методов управления, предохраняет диспетчерский персонал от грубых ошибок. Экономическая эффективность применения ВМ основана на улучшении использования оборудования и более строгом выполнении требований горной технологии.

2. Теоретические исследования и промышленные эксперименты подтверждают возможность увеличения производительности основного оборудования за счет улучшения управления на 7—15%. Все затраты на изготовление и внедрение технических средств систем управления окупаются за 1—2 года.

3. Введение ВМ даст возможность перераспределить функции горного надзора и перенести центр тяжести диспетчерского руководства на проведение организационных мероприятий, обеспечивающих нормальный ход технологического процесса.

Управление с участием ВМ целесообразно на карьерах средней производительности и, безусловно, необходимо на крупных карьерах, так как трудности и соответственно число ошибок, резко возрастают при увеличении интенсивности процесса.

ЛИТЕРАТУРА

Беллман Р. Динамическое программирование. ИЛ, 1960.

Школьников А. Д. Применение вычислительной техники для оперативного управления горными работами на карьерах. Изв. вузов, Горный ж., № 7, 1963.

Школьников А. Д. Промышленные испытания макета системы для оперативного управления работой карьера. Горный ж., № 11, 1964.