*Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIII, вып. 1, 1972 г.*

# ПРОБЛЕМА ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУХООБМЕНОМ В КАРЬЕРАХ

*Ю. В. Гуль*

Периодически в атмосфере карьерного пространства накапливаются пыле-газовые примеси, концентрация которых в отдельных случаях оказывается настолько высокой, что на длительное время прекращается производственный процесс в карьере и предприятие терпит огромные убытки [4]. Нужны значительные затраты на нормализацию чистоты атмосферы в моменты ее устойчивых состояний [2].

При решении конкретных задач, связанных с функционированием современных производственных систем, успешно применяется системный подход. Предупреждать и ликвидировать массовые загрязнения атмосферы карьера в соответствии с выбранным системным подходом целесообразно в рамках современной теории управляемых систем [3]. В качестве управляющего параметра примем количество подаваемого в карьер чистого воздуха или, иначе говоря, количество воздуха, выносящего вредные примеси из атмосферы карьера,

$$Q = Q_1 + Q_2, \tag{1}$$

где $Q_1$ и $Q_2$ — количество воздуха, подаваемого в карьер соответственно при искусственном проветривании и за счет естественных сил.

Управляемым параметром (фазовой координатой) объекта управления будет концентрация вредных примесей $C$ в атмосфере карьера. $Q_1$, $Q_2$ и $C$ в каждый из моментов управления находятся в определенной, очень сложной функциональной связи (см. рисунок):

$$C = f(t, Q_1, Q_2). \tag{2}$$

Выявление этой связи требует знания физической модели карьерного пространства, которая может быть определена в результате теоретических и экспериментальных исследований. Математическая модель данной системы выражается в форме дифференциального уравнения

$$C' = f(t, C, Q_1, Q_2), \tag{3}$$

описывающего изменение фазового вектора системы $C(t)$ во времени $t$ под действием управляющих воздействий $Q_1$ и $Q_2$ при условии

$$Q_1 + Q_2 \geqslant kQ_{\min}, \tag{4}$$

$$Q_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^{n} g_i}{C_{\text{доп}}} = \frac{G_1}{C_{\text{доп}}}, \tag{5}$$

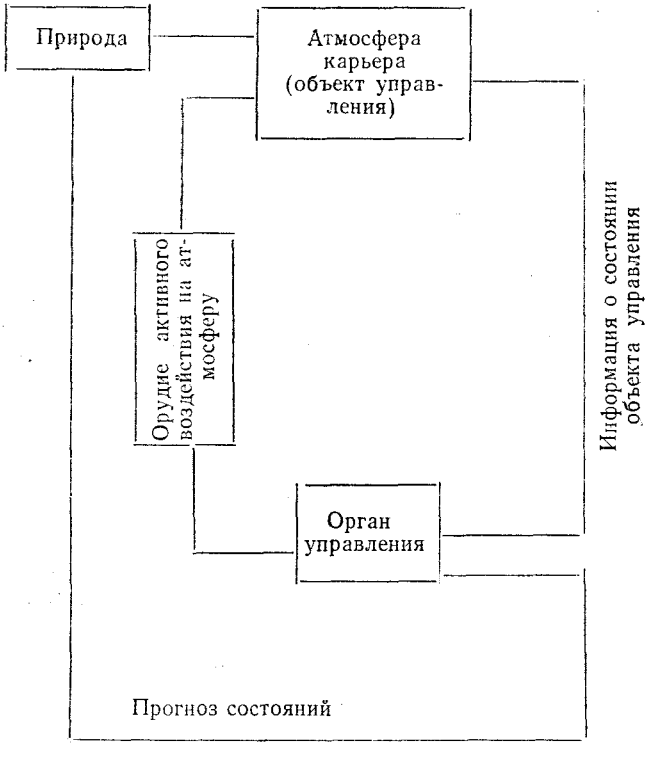



Схема управления воздухообменом в карьерном пространстве

где $G_1 = \sum_{i=1}^{n} g_i$ — суммарная интенсивность $n$ источников пылеобразования, *мг/сек*; $C_{доп}$ — предельно допустимая концентрация примесей, *мг/м*$^3$; $k$ — коэффициент, учитывающий особенности физической и геометрической модели карьера, способов искусственной интенсификации воздухообмена (коэффициент $k$ непостоянен при изменении метеорологической ситуации и должен находиться в результате специальных исследований).

Введем обозначения: $G_2$ — интенсивность выноса вредных примесей из карьера, *мг/сек*, и $M$ — содержание вредных примесей в карьерном пространстве, *мг*. Тогда

$$G_2 = (Q_1 + Q_2)\, C; \tag{6}$$

$$M = C_{ср} V; \tag{7}$$

$$C_{ср} = \frac{1}{V} \iiint_V C dx dy dz,$$

где $C_{ср}$ — средняя запыленность воздуха в карьере, *мг/м*$^3$; $V$ — объем карьера, *м*$^3$; $x$, $y$, $z$ — принятые оси координат.

Нормальным состоянием атмосферы в карьере следует считать случай, когда содержание примесей в нем

$$M \leqslant M_{кр} = C_{доп} V, \ мг. \tag{8}$$

Основным уравнением состояния атмосферы в карьере будет уравнение материального баланса

$$\frac{dM}{dt} + G_2 = G_1, \tag{9}$$

или

$$V = \frac{dC}{dt} + (Q_1 + Q_2)C = G_1. \tag{10}$$

При этом текущий вынос зависит от изменения запаса примесей в атмосфере карьера $M$, т. е.

$$G_2 = G_2'(M). \tag{11}$$

Тогда

$$\frac{dM}{dt} + G_2'(M) = G_1,$$

или

$$\frac{dC}{dt} = \frac{G_1 - G_2'(M)}{V}. \tag{12}$$

Последнее уравнение определяет изменение $C$ при изменении $G_2'(M)$, если $G_1 = \text{const}$.

Для нахождения переходного оптимального процесса от $C$ к $C_{доп}$ уравнение (12) нужно проинтегрировать:

$$C_{доп} = C_0 + \frac{1}{V}\int_{t_0}^{t} [G_1 - G_2'(M)]\,dt = C_0 + \frac{[G_1 - G_2'(M)]\,(t_1 - t_0)}{V} =$$

$$= C_0 + \frac{\Delta G \Delta t}{V}, \; мг/м^3, \tag{13}$$

или

$$\Delta C = C_{доп} - C_0 = \frac{\Delta G \Delta t}{V}, \; мг/м^3, \tag{14}$$

где $C_0$ — начальная концентрация пыли, $мг/м^3$; $t_0$ и $t_1$ — соответственно начальный и конечный моменты проветривания, $ч$.

Если $G_2 > G_1$, процесс соответствует уменьшению концентрации вредных примесей в атмосфере, если $G_2 < G_1$, то процесс соответствует росту концентрации. При регистрации отклонения концентраций вредных примесей в атмосфере от предельно допустимых на $\Delta C$ (обратная связь) определяется оптимальная интенсивность выноса $\Delta G$. В качестве критерия оптимальности в данном переходном процессе может быть минимум интервала времени

$$\Delta t = \int_{t_0}^{t} dt = t_1 - t_0, \tag{15}$$

непосредственно входящего в формулу (13). Другим критерием может быть минимум дополнительно затрачиваемой энергии $\Delta E$ в переходном процессе на искусственный воздухообмен. При соответствующем выборе оптимальных траекторий воздухообмена, средств проветривания и т. д.

$$\Delta E = \int_{E_п}^{E} dE = E - E_п, \tag{16}$$

где $E$ — затраты энергии в переходном процессе; $E_п$ — затраты энергии при установившемся процессе, т. е. при

$$C \leqslant C_{доп} \text{ и } \frac{dC}{dt} = \frac{G_1 - G_2(M)}{V} = 0.$$

Минимизация по $\Delta t$ обеспечивается в пределах заданного энергетического ресурса предприятия на искусственное проветривание, так как требует возрастания мощности средств проветривания. Минимизация же по $\Delta E$ может быть произведена при заданном экономически обоснованном интервале времени на проветривание.

В зависимости от сезона, времени суток и метеорологической ситуации взаимная ориентация естественных физических полей в пространстве карьера различна. Сложность задачи и необходимость быстро принять решение обусловливают целесообразность использования ЭВМ. В проблеме управления воздухообменом, где, помимо уровня концентрации загрязнений в атмосфере, определяющими параметрами являются также скорость воздушных потоков и температурный градиент, каналы информации обратной связи должны обеспечивать соответствующий поток информации. Это можно обеспечить системой телеметрического контроля, которая разработана в ЛГИ.

Воздухообмен в карьерном пространстве определяется воздействием управляющих параметров со стороны природы и предприятия. Воздействия со стороны предприятия целесообразны, когда

$$Q_2 < kQ \text{ min.} \qquad (17)$$

При этом ситуацию при решении проблемы следует рассматривать, с одной стороны, как результат внешних помех, с другой — как конфликтную, где в деле участвуют два партнера, влияющие на состояние данной системы. Такие ситуации трактуются как дифференциальная игра двух сторон. Игра считается законченной в некоторый момент $t = \tau$, когда фазовая координата объекта попадает в заданное многообразие. В нашем случае это концентрация вредных примесей от 0 до $C_{доп}$.

Поскольку отражаемые зависимостью (17) моменты эпизодические и часто неожиданные, значительную ценность для предприятия представляет надежное их прогнозирование. Длительные наблюдения и изучение архивных материалов по району карьера, сопоставление их с состоянием атмосферы в карьере могут служить основой для определения климатологических вероятностей наступления указанных метеорологических условий в определенное время года и суток, которые на заданный момент должны дополняться данными прогнозирования [1, 5]. При альтернативном прогнозе устойчивого состояния атмосферы допускается две реализации, или фазы: $\Phi_1$ — устойчивое состояние атмосферы; $\Phi_2$ — неустойчивое состояние атмосферы.

Прогнозист, обслуживающий карьер, на основе получаемой им информации делает выбор определенного текста прогноза из $П_1$ или $П_2$ ($П_1$ следует рассчитывать на наступление фазы $\Phi_1$, $П_2$ — на наступление фазы $\Phi_2$). При наличии прогноза $П_j$ осуществление фаз следует ждать не с климатологическими вероятностями $p_{i_0}$, а с условными вероятностями

$$P(\Phi, П_j) = \frac{p_{i_j}}{p_{i_0}}.$$



108509

Л Г И
Библиотека

Вид матрицы этих вероятностей:

| | $П_1$ | $П_2$ |
|---|---|---|
| $Ф_1$ | $p_{11}$ | $p_{21}$ |
| $Ф_2$ | $p_{12}$ | $p_{22}$ |

Элементы матрицы с одинаковыми индексами указывают на вероятность осуществления той фазы, на которую указывает прогноз.

Кроме знания матрицы вероятностей наступления метеорологических условий, способствующих возникновению устойчивых состояний атмосферы, руководство предприятием должно иметь в своем распоряжении еще одну особую матрицу — платежную:

| | $П_1$ | $П_2$ |
|---|---|---|
| $Ф_1$ | $s_{11}$ | $s_{21}$ |
| $Ф_2$ | $s_{12}$ | $s_{22}$ |

Элементы этой матрицы с одинаковыми индексами характеризуют ожидаемые убытки предприятия при решениях, отвечающих прогнозу: боковые — когда имеет место пренебрежение прогнозами.

Имея в распоряжении прогноз, матрицу условных вероятностей и платежную матрицу, предприятие выбирает стратегию из условия наименьших потерь. В случае двухфазного прогноза им выбирается одно из двух возможных решений.

Математическое ожидание потерь при различных прогнозах и стратегиях определится элементами матрицы $C$, получающейся из произведения $C=PS$,

| | $П_1$ | $П_2$ |
|---|---|---|
| $Ф_1$ | $c_{11}$ | $c_{21}$ |
| $Ф_2$ | $c_{12}$ | $c_{22}$ |

Минимальное значение элемента в каждой строке матрицы $C$ определяет наивыгоднейшую стратегию предприятия. При верном прогнозе этим элементом будет тот, который имеет равные индексы. Ожидаемые потери при прогнозе устойчивого состояния: $c_{11}$ — затраты на борьбу или предотвращение устойчивых состояний при фазе $Ф_1$ (электроэнергия, топливо, транспортные расходы и т. д.); $c_{21}$ — затраты при неверном прогнозе устойчивого состояния атмосферы, когда фактически осуществилась фаза $Ф_2$ (транспортные и организационные расходы); $c_{12}$ — затраты при простое людей и карьерного оборудования в момент фазы $Ф_1$, когда предсказывалась фаза $Ф_2$; $c_{22}$ — затраты при верном прогнозе неустойчивого состояния атмосферы (близкие к нулю, если пренебречь текущими расходами на содержание оборудования и работников по организации искусственного проветривания карьера).

Следуя указанным подходам к вопросу прогнозирования устойчивых состояний атмосферы в карьере, предприятие получает возможность

так организовать свою деятельность, чтобы математическое ожидание расходов по фактору воздействия метеорологических условий на интенсивность воздухообмена было минимальным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Багров Н. А. Об экономической полезности прогнозов. Метеорология и гидрология, 1966, № 2.

2. Вершинин А. А. и др. Определение с помощью ЭРЦМ рациональных по энергетическим затратам способов искусственного проветривания карьеров, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1970, № 1.

3. Гуль Ю. В. Системо-экономический подход при решении проблемы проветривания карьеров. Тезисы научно-техн. конф. по проблемам Севера. Изд. ЛГИ, 1969.

4. Лидин С. Г. Условия, приводящие к загазованию Коркинского карьера. В сб. «Проблемы борьбы с рудничными газами и пылью». Наука, 1969.

5. Монин А. С. Прогноз погоды как задача физики. Наука, 1969.