ОБ ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА КАРЬЕРЕ

А. И. Тупицын, Э. А. Чернин, В. Г. Легостаев

Харьков

Автоматизированная система управления технологическими процессами на карьере предназначена для повышения производительности работ по добыче и транспортировке горной массы (например, известня-

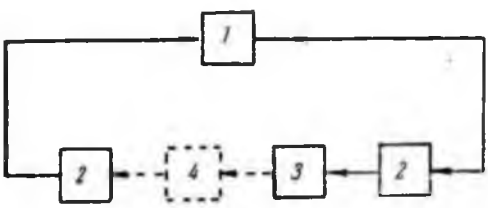


Рис. 1. Структурная схема системы диспетчерского управления технологическими процессами на карьере (*1* — объекты управления; *2* — система передачи информации; *3* — вычислительное устройство, *4* — диспетчер).

ка и породы) на дробильно-обогатительную фабрику (ДОФ) и в отвалы за счет увеличения оборачиваемости транспортных средств и более полного использования горнотранспортного оборудования: максимальной загрузки полустационарной дробилки предварительного дробления (ДПД), сокращения простоев транспорта и экскаваторов, т. е. за счет оптимальных по быстродействию процессов регулирования. Параметры регулирования: количество добытой экскаваторами горной массы, перевезенной породы и количество полезного ископаемого, загруженного в бункеры ДОФ и ДПД автосамосвалами. После дробления в ДПД полезное ископаемое по конвейеру поступает на фабрику для обогащения.

В рассматриваемой системе управления можно выделить два основных функциональных потока — материальный (добыча и транспортировка полезного ископаемого и породы) и информационный (сведения о ситуации на объектах, о погрузке, разгрузке, о наличии свободных транспортных средств и т. д.). Такая система может работать либо как советчик диспетчера (рис. 1) на карьере, если рекомендации вычислительного устройства передаются на добычные участки и транспортные средства через диспетчера, либо как система автоматического управления, если

рекомендации-команды передаются непосредственно. В первом случае система управления разомкнута по материальным потокам, так как для выработки рекомендаций-советов диспетчеру используются только информационные потоки, не учитывающие динамику объектов управления и основных звеньев системы управления, а во втором случае система замкнута. Очевидно, что большим быстродействием процессов регулирования обладает замкнутая система управления.

В обоих возможных вариантах построения автоматизированной системы управления в качестве вычислительного устройства, вырабатывающего рекомендации или команды, можно использовать логическое устройство (ЛУ) [1], либо ЭЦВМ. Применение ЭЦВМ позволяет получить точный алгоритм оптимального по быстродействию процесса регулирования, но при этом значительно снижаются надежность и эксплуатационные качества системы управления, что объясняется значительно большей сложностью ЭЦВМ по сравнению с ЛУ.

При использовании системы управления в режиме советчика диспетчера она разомкнута по материальным потокам, поэтому основное значение имеют информационные потоки. При использовании же системы в режиме САУ необходимо исследовать как материальные, так и информационные потоки.

Таким образом, построение системы передачи информации решает только часть общей задачи управления технологическим процессом на карьере.

Рассмотрим более общую задачу управления технологическим процессом на карьере, когда система работает в режиме САУ. Ее структурная схема приведена на рис. 2. В качестве вычислительного устройства используется ЛУ, т. е. структурная схема рис. 2 представляет собой логическую систему управления [2].

Так как объекты регулирования взаимосвязаны через транспортную сеть и ЛУ, данная логическая система управления является многосвязной, т. е. состоящей из n сепаратных систем, взаимно влияющих друг на друга. Кроме того, в связи с дискретным характером системы передачи информации рассматриваемая логическая система управления является дискретной, чем и отличается от системы, рассмотренной в [2].

Исследованиями [3] установлено, что логическая система управления обладает приближенными свойствами оптимальности процессов регулирования по быстродействию и инвариантности при достаточных запасах устойчивости и высокой точности регулирования при детерминированных и случайных возмущениях. Кроме того, время переходного процесса в логической системе в несколько раз меньше, чем в обычной линейной системе управления, и достаточно близко к времени переходного процесса в оптимальной по быстродействию системе с ЭЦВМ. Если учесть, что ЛУ значительно проще, надежнее и более удобно в эксплуатации, чем ЭЦВМ, то применять логическую систему управления в данном случае более целесообразно, чем систему управления с ЭЦВМ.

Поскольку сведения о логических системах управления технологическими процессами на карьере отсутствуют, при разработке оптимальной по быстродействию автоматизированной системы управления для карьера возникают следующие актуальные задачи: выбор рациональной структурной схемы логической системы управления; анализ целесообразной логической функции ЛУ (логического закона функционирования ЛУ), обеспечивающей устойчивость и другие высокие динамические качества системы управления; исследование областей устойчивости и точности многосвязной логической системы управления при детерминированных и случайных процессах регулирования; исследование степени

приближенности инвариантности и оптимальности по быстродействию процессов регулирования в логической системе; сравнительная оценка надежности, экономичности и эффективности использования логической системы управления технологическими процессами на карьере и системы управления с ЭЦВМ; синтез системы передачи информации в соответствии с выбранной структурной схемой логической системы управления.

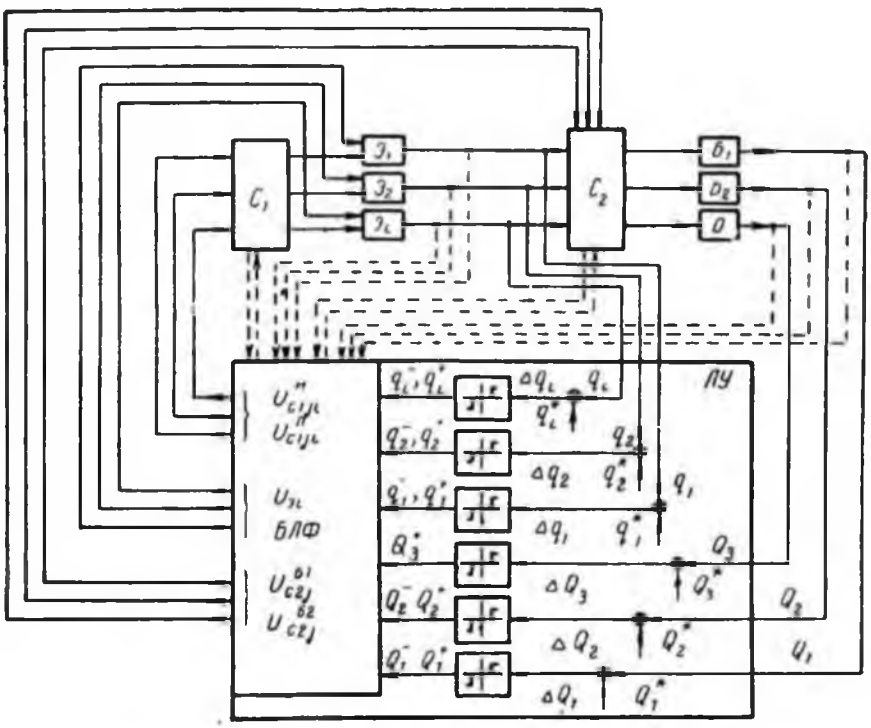


Рис. 2. Структурная схема логической системы управления (пунктирные линии — потоки информации, сплошные линии — материальные потоки и командные сигналы, БЛФ — блок логической функции).

Рассмотрим принцип работы логической системы управления, приведенной на рис. 2. Структурная схема состоит из следующих основных звеньев:

1. Объекты регулирования — бункер ДОФ ($Б_1$), бункер ДПД ($Б_2$) — и множество экскаваторов, $Э_i \in Э$, $(i = 1, 2, ...)$, из которых одна часть ($Э_{иi}$) в течение смены грузит полезное ископаемое, а другая часть ($Э_{пi}$) — породу. С объектов регулирования в ЛУ поступают два типа сигналов: информация об их функциональном состоянии (например, с экскаваторов — работа по выемке полезного ископаемого или породы, простой в ожидании транспорта, окончание погрузки транспорта и т. д., с бункеров — окончание разгрузки транспорта, очередь транспорта при разгрузке, авария и т. д.), характеризуемая векторами

$$X_{Эи}(X^{св}_{Эиi},\ x^{оч}_{Эиi},\ q^{-}_{иi},\ q^{+}_{иi},\ x^{ав}_{Эиi},\ \beta_{иi}),$$

$$X_{Эп}(x^{св}_{Эпi},\ q^{-}_{пi},\ q^{+}_{пi},\ x^{ав}_{Эпi},\ \beta_{пi});$$

$X_{Б1}(Q_1, Q_1^+)$:

$X_{Б2}(Q_2^-, Q_2^-)$,

и представляющие параметры (с экскаваторов — о количестве добычи горной массы, $q_i \in q$, $i = 1,2, \ldots, m$, с бункеров — о количестве загруженного полезного ископаемого Q_l, $l = 1,2$), которые в ЛУ сравниваются с плановыми заданиями (q_i^*, Q_l^*). Элементы сравнения имеют релейные характеристики с зоной нечувствительности (необходимость зоны нечувствительности для обеспечения устойчивости логической системы управления показана в [3]) и вырабатывают сигналы q_i^-, Q_l^- (текущая норма не довыполнена), q_i^+, Q_l^+ (текущая норма перевыполнена). Отсутствие этих сигналов свидетельствует о нахождении отклонений $\Delta q_i = q_i - q_i^*$ и $\Delta Q_l = Q_l - Q_l^*$ — в пределах зоны нечувствительности.

2. Отвалы породы (0), с которых в ЛУ поступают информационные сигналы об окончании разгрузки и сигнал о количестве разгруженной породы Q_3 (в ЛУ величина Q_3 сравнивается с плановым ее значением Q_3^*).

3. Транспортная сеть, которую функционально можно разделить на сеть с порожним транспортом (C_1) и сеть с груженым транспортом (C_2). От транспортной сети в ЛУ поступают информационные сигналы о ее состоянии (например, транспорт находится под погрузкой, порожний и т. д.), характеризуемые векторами

$$X_{c1}(x_{c11}, x_{c12}, \ldots, x_{c1j}) \text{ и } X_{c2}(x_{c21}, x_{c22}, \ldots x_{c2j}).$$

4. Логическое устройство, вырабатывающее командные сигналы транспортным средствам ($u_{cjl} \in u_c$, $j = 1,2, \ldots, k$, $i = 1,2, \ldots, m$, где k — количество транспортных средств в транспортной сети, m — количество экскаваторов) и экскаваторам ($u_{Эl} \in u_Э$) в зависимости от наличия представляющих параметров $q_i^-, q_i^+, Q_l^-, Q_l^+$ с учетом векторов $X_{Эи}, X_{Эп}, X_{Б1}, X_{Б2}, X_{c1}, X_{c2}$, характеризующих информацию о состоянии объектов управления и транспортной сети.

Синтез ЛУ является центральным вопросом при проектировании логической системы управления и осуществляется в соответствии с выбранной логической функцией ЛУ, которая может быть описана системой логических уравнений.

Для получения таких уравнений сначала запишем выбранный алгоритм работы ЛУ словами.

1. С выхода ЛУ командный сигнал $u_{c1jl}^{и}$ для следования к i-у экскаватору под погрузку полезного ископаемого подается на j-й порожний транспорт (есть сигнал x_{c1j}) при выполнении следующих логических условий:

а) i-й экскаватор свободен (есть сигнал $x_{Эиi}^{св}$ об отсутствии транспорта у i-го экскаватора, который работает на погрузке полезного ископаемого),

б) отсутствует сигнал Q_1^- о перевыполнении текущей нормы перевозки полезного ископаемого

или

в) имеется сигнал Q_3^- о перевыполнении текущей нормы перевозки породы в отвал,

или

г) есть сигнал q_{ui}^- о недовыполнении текущей нормы выемки полезного ископаемого;

либо

а) со всех экскаваторов, грузящих полезное ископаемое, поступил сигнал об образовании очереди транспорта — $x^{оч}_{Эиi}$,

б) имеется сигнал $q_{иi}$

или

в) есть сигнал Q_1^- о недовыполнении текущей нормы загрузки бункеров $Б_1$ и $Б_2$,

г) отсутствуют сигналы $x^{св}_{Эпi}$ с экскаваторов, грузящих породу, о том, что есть свободные экскаваторы;

либо

а) есть сигнал $\bigcap_{i=1}^{n} x^{оч}_{Эиi}$,

б) все экскаваторы, грузящие породу, перевыполнили текущую норму погрузки (есть сигнал $\bigcap_{i=1}^{m} q^+_{пi}$).

2. Сигнал $u^{п}_{с1jt}$ на погрузку породой подается на j-й порожний транспорт при выполнении условий:

а) как в п. 1а,

б) отсутствует сигнал Q_1^-,

в) есть сигнал $q^-_{пi}$

или

г) отсутствует сигнал $x^{оч}_{Эиi}$

либо

а) есть сигналы Q_1^+ и $\bigcap_{i=1}^{n} q^+_{иi}$,

б) есть сигнал $q^-_{пi}$ или отсутствует сигнал $q^+_{пi}$.

3. Если имеется сигнал $\bigcap_{i=1}^{m} x^{ав}_{Эпi}$ об аварии всех экскаваторов, грузящих породу, то формируется командный сигнал $u^{н}_{с1jt}$. При появлении сигнала $\bigcap_{i=1}^{n} x^{ав}_{Эиi}$ формируется командный сигнал $u^{п}_{с1jt}$.

4. Сигнал $u^{Б2}_{с2j}$ для следования к бункеру ДПД подается на j-й груженный полезным ископаемым транспорт при выполнении условий:

а) имеется сигнал $x_{с2j}$ об окончании погрузки,

б) есть сигнал $x^{св}_{Б2}$ об отсутствии очереди транспорта к бункеру $Б_2$,

в) есть сигнал Q_2^- о недогрузке бункера $Б_2$

или

г) отсутствует сигнал Q_2^+ о перегрузке бункера $Б_2$.

5. Сигнал $u^{Б1}_{с2j}$ для следования к бункеру ДОФ подается на j-й груженный полезным ископаемым транспорт при условии:

а) есть сигнал $x_{с2j}$,

б) имеется сигнал $x^{оч}_{Б2}$ об очереди у бункера $Б_2$,

или

в) есть сигнал Q_2^+ о перевыполнении нормы загрузки бункера $Б_2$.

6. Если имеется сигнал $x^{ав}_{Б1}$ об аварийном состоянии бункера $Б_1$, то выдается команда $u^{Б2}_{с2j}$, а если сигнал $x^{ав}_{Б2}$, то — команда $u^{Б1}_{с2j}$.

7. Транспорт, груженный породой, направляется на отвалы. При выдаче командных сигналов порожнему или груженому транспорту (сигналы $u^{н}_{с1ji}$, $u^{п}_{с1jt}$, $u^{Б1}_{с2j}$, $u^{Б2}_{с2j}$) ЛУ одновременно выдает транспорту оптимальный маршрут следования к месту назначения с минимальным расстоянием пробега.

8. Сигнал $u_{эi}$ на проведение вспомогательных работ i-м экскаватором выдается ЛУ при условии:

а) есть сигнал q_i^+,

б) имеется сигнал Q_i^+,

в) поступил сигнал β_i о необходимости проведения вспомогательных работ i-м экскаватором.

Используя основные понятия алгебры логики: $\vee$ — дизъюнкцию, $\wedge$ — конъюнкцию, $\bar{}$ (черта над буквой) — отрицание, $\cap$ — логическое произведение, можно записать логическую функцию ЛУ, соответствующую рассмотренному алгоритму работы, в виде следующей системы логических уравнений:

$$u^{\text{н}}_{\text{с1}ji} = x_{\text{с1}j} \wedge \{x^{\text{св}}_{\text{Эн}i} \wedge (\bar{Q}_1^+ \vee q^-_{\text{н}i} \vee Q_3^-) \vee \bigcap_{i=1}^{q} x^{\text{оч}}_{\text{Эн}i} \wedge \left[\bigcap_{i=1}^{m} \bar{x}^{\text{св}}_{\text{Эн}i} \wedge (q^-_{\text{н}i} \vee Q_1^-) \vee \right.$$

$$\left. \vee \bigcap_{i=1}^{m} q^+_{\text{п}i}\right]\} \vee \bigcap_{i=1}^{m} x^{\text{ав}}_{\text{Эн}i}, \qquad (1)$$

$$u^{\text{п}}_{\text{с1}ji} = x^{\text{св}}_{\text{Эп}i} \wedge x_{\text{с1}j} \wedge \left[\bar{Q}_1^- \wedge (q_{\text{п}i} \vee \bar{x}^{\text{оч}}_{\text{Эп}i}) \vee Q_1^+ \wedge \bigcap_{i=1}^{n} q^+_{\text{п}i} \wedge (q^-_{\text{п}i} \vee \bar{q}^+_{\text{п}i})\right] \vee$$

$$\vee \bigcap_{i=1}^{n} x^{\text{ав}}_{\text{Эп}i}, \qquad (2)$$

$$u^{\text{Б2}}_{\text{с2}j} = x_{\text{с2}j} \wedge x^{\text{св}}_{\text{Б2}} \wedge (Q_2^- \vee \bar{Q}_2^+) \vee x^{\text{ав}}_{\text{Б1}}, \qquad (3)$$

$$u^{\text{Б1}}_{\text{с2}j} = x_{\text{с2}j} \wedge (x^{\text{оч}}_{\text{Б2}} \vee Q_2^+) \vee x^{\text{ав}}_{\text{Б2}}, \qquad (4)$$

$$u_{\text{э}i} = q_i^+ \wedge Q_i^+ \wedge \beta_i. \qquad (5)$$

Полученные логические уравнения не исчерпывают всех возможных алгоритмов работы ЛУ и приведены в качестве примера возможной логической функции. Логические уравнения (1)—(5) позволяют осуществить синтез ЛУ, обеспечивающего требуемый алгоритм работы. Совместно с уравнениями, описывающими работу остальных звеньев системы управления, они дают возможность исследовать основные характеристики логической системы управления. При этом для решения первых пяти сформулированных задач, возникающих при проектировании логической системы управления технологическими процессами на карьере могут быть использованы результаты исследований [3], а для решения последней из указанных задач — результаты исследований, приведенные в [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Андреев, В. В. Константиновский. Система оперативного управления горнотранспортными работами на карьере. «Горный журнал», № 12, 1967, Изд-во «Недра».

2. А. А. Волков, Э. А. Чернин. Об одном принципе построения самооптимизирующейся системы авторегулирования проветриванием шахты. «Приборы и системы автоматики», вып. 6, Изд-во ХГУ, Харьков, 1967.

3. Э. А. Чернин. Исследование многосвязной логической системы управления проветриванием шахты. Канд. дисс., Харьков, ХИРЭ, 1968.

4. А. Б. Мархасин. Передача информации в системе оперативного управления технологическим процессом на карьере. «Изв. вузов, Горн. ж.», № 2, 1965.