

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ БЕЗПОИСКОВЫХ САУ ЭНЕРГОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Луценко И.А., канд. техн. наук, Тытюк В.К., канд. техн. наук,
Криворожский технический университет.

Рассмотрен вопрос, связанный с синтезом систем автоматического управления энергоемкими технологическими процессами, модели которых представляют собой композиции типовых звеньев. Получены аналитические выражения для оценки эффективности использования ресурсов технологических процессов, модель которых может быть представлена в виде аperiodического звена при ступенчатом управляющем воздействии.

The considered question connected with syntheses of the system automatic management, which model presents itself composition of standard links. Analytical expressions are received for estimation effectiveness of technological processes, which model can be presented in the manner of aperiodic link under step-like controlling influence.

Проблема и её связь с научными или практическими задачами. Снижение ресурсоемкости технологических процессов в горнорудной промышленности является важной, актуальной научной проблемой, для которой отсутствует общее направление решения.

Анализ исследований и публикаций. Универсальной чертой, объединяющей все огромное разнообразие и физическую сложность технологических процессов горнорудных предприятий, является тот факт, что в ходе всех технологических процессов происходит преобразование ресурсов. В [1, 2] рассмотрены наиболее общие вопросы процесса преобразования ресурсов, получены выражения для определения ресурсоемкости и показателя эффективности преобразования ресурсов в ходе технологического процесса, момента логического завершения операции и др.

Постановка задачи. Практическое применение общей теории эффективности, развитой в [1], к технологическим процессам в горнорудной промышленности требует проведения анализа состава и времястоимостных характеристик входных и выходных продуктов этих технологических процессов.

Следует отметить, что значительная часть технологических процессов и агрегатов, используемых в горнорудной промышленно-

сти, в особенности в обогащении полезных ископаемых, могут быть смоделированы в виде апериодического звена, [3]. Поэтому анализ эффективности преобразования ресурсов технологическим процессом, обладающим свойствами апериодического звена, имеет важное научное и прикладное значение. В данной работе поставлена задача анализа эффективности технологического процесса, модель которого может быть описана апериодическим звеном при ступенчатом управлении.

Изложение материала и результаты. Учитывая, что параметры выходного продукта определены на интервале $\Delta t_f \in [0, t_f]$, где t_f - момент физического завершения технологического процесса (ТП), а определение показателя эффективности использования ресурсов осуществляется на интервале $\Delta t_l \in [0, t_l]$, где t_l - момент логического завершения ТП, причем $t_l > t_f$, при подаче управления в виде ступенчатого сигнала выходной продукт будет иметь вид нелинейной функции

$$pq'(t) = \begin{cases} pq'(t) = k_3(1 - e^{-t/k_2}), & t \leq t_f \\ 0, & t \in [t_f, t_l] \end{cases}$$

где $pq'(t)$ - функция, описывающая количественную характеристику выходного сигнала ТП;

k_3 - определяет максимальное значение величины выходного продукта.

k_2 - постоянная времени апериодического звена.

Применительно к электроприводу постоянного тока в качестве входного продукта будем рассматривать потребленную им электроэнергию, а в качестве выходного продукта целесообразно использовать угол поворота вала привода. Это не сложно сделать, проинтегрировав функцию $pq'(t)$. Тогда, для выходного продукта можно записать

$$pq(t) = \begin{cases} k_3 t + k_2 k_3 e^{-t/k_2} + C_{u1}, & t \leq t_f \\ 0, & t \in [t_f, t_l] \end{cases},$$

где $pq(t)$ - функция, описывающая количественную характеристику выходного целевого продукта ТП.

Определив постоянную интегрирования $C_{u1} = -k_2 k_3$ и подставив ее выражение для сигнала регистрации выходного продукта, получим

$$pq(t) = \begin{cases} k_3 t - k_2 k_3 (1 - e^{-t/k_2}), & t \leq t_f \\ 0, & t \in [t_f, t_l] \end{cases}$$

Отмасштабировав величину сигнала регистрации входного продукта с учетом стоимостного тарифа, получим выражение для входного продукта в сопоставимых стоимостных единицах $re(t) = rs \cdot k_1 e^{-t/k_2}$, где $re(t)$ - функция, описывающая стоимостную характеристику входного целевого продукта технологического процесса; rs - коэффициент приведения входного продукта к сопоставимым стоимостным величинам.

Соответственно, отмасштабировав величину сигнала регистрации выходного продукта с учетом стоимостного тарифа, получим выражение для выходного продукта в сопоставимых стоимостных единицах

$$pe(t) = \begin{cases} ps \cdot k_3 (t - k_2 (1 - e^{-t/k_2})), & t \leq t_f \\ 0, & t \in [t_f, t_l] \end{cases}$$

где $pe(t)$ - функция, описывающая стоимостную характеристику выходного продукта ТП.

ps - коэффициент приведения выходного продукта к сопоставимым стоимостным величинам.

Получив аналитические выражения для стоимостных оценок входного и выходного продуктов преобразования, можно, в соответствии с [2], определить момент логического завершения (МЛЗО) переходного процесса

$$t_l = \frac{\int_0^{t_f} [t \cdot pe(t)] dt - \int_0^{t_f} [t \cdot re(t)] dt}{\int_0^{t_f} [pe(t)] dt - \int_0^{t_f} [re(t)] dt} = \frac{D - C}{B - A},$$

После выполнения интегрирования получим окончательное выражения для момента логического завершения ТП

$$t_1 = \left(ps \cdot k_3 \left[\frac{t_f^3}{3} - \frac{k_2 t_f^2}{2} - k_2^2 \left(t_f e^{-\frac{t_f}{k_2}} + k_2 e^{-\frac{t_f}{k_2}} - k_2 \right) \right] + \right. \\ \left. + rs \cdot k_1 k_2 \left[t_f \cdot e^{-t_f/k_2} + k_2 e^{-t_f/k_2} - k_2 \right] \right) \div \\ \div \left[ps \cdot k_3 \left(\frac{t_f^2}{2} - k_2 t_f - k_2^2 e^{-t_f/k_2} + k_2^2 \right) - rs \cdot k_1 k_2 \left(1 - e^{-t_f/k_2} \right) \right].$$

Теперь можно получить аналитическое выражение для величины потока ресурсопотребления

$$fre(t) = \int re(t) dt = rs \cdot k_1 (-k_2) e^{-t/k_2} + C_{u5}.$$

Определив постоянную интегрирования $C_{u5} = rs \cdot k_1 k_2$ и подставив ее в выражение для ресурсопотребления получим

$$fre(t) = -rs \cdot k_1 k_2 e^{-t/k_2} + rs \cdot k_1 k_2 = rs \cdot k_1 k_2 \left(1 - e^{-t/k_2} \right).$$

Текущее значение величины потока ресурсопотребления имеет вид

$$wre(t) = \int fre(t) dt = rs \cdot k_1 k_2 t + rs \cdot k_1 k_2^2 e^{-t/k_2} + C_{u6}.$$

После определения постоянной интегрирования $C_{u6} = -rs \cdot k_1 k_2^2$ и подстановки в выражение ее значения, получим

$$wre(t) = rs \cdot k_1 k_2 t + rs \cdot k_1 k_2^2 e^{-t/k_2} - rs \cdot k_1 k_2^2 = -rs \cdot k_1 k_2 \left(k_2 - k_2 e^{-t/k_2} - t \right)$$

Интегрирование сигнала регистрации выходного продукта приведенного к сопоставимым стоимостным величинам дает возможность получить выражение для потока ресурсоотдачи. Поскольку сигнал регистрации определен на интервале $\Delta t_f \in [0, t_f]$, а функция сигнала регистрации выходного продукта является нелинейной, величину потока ресурсоотдачи необходимо определять как сумму потоков: потока интервала Δt_f и интервала Δt_1

$$fpe(t) = \begin{cases} ps \cdot k_3 \left[\frac{t^2}{2} - k_2 \left(t + k_2 e^{-t/k_2} - k_2 \right) \right], & \text{при } t \in [0, t_f], \\ C_{n1}, & \text{при } t \in [t_f, t_1] \end{cases},$$

$$\text{где } C_{n1} = ps \cdot k_3 \left[\frac{t_f^2}{2} - k_2 \left(t_f + k_2 e^{-t_f/k_2} - k_2 \right) \right].$$

Та же ситуація обстоїт с величинами потоків.

Для величини потоку ресурсоотдачі получим

$$wpe(t) = \begin{cases} wpe_1(t), & \text{при } t \in [0, t_f] \\ wpe_2(t), & \text{при } t \in]t_f, t_1] \end{cases}$$

где $wpe_1(t) = ps \cdot k_3 \left(\frac{t^3}{6} - \frac{k_2 t^2}{2} + k_2^3 e^{-t/k_2} + k_2^2 t - k_2^3 \right)$;

$$wpe_2(t) = C_{H1}t + C_{u7} + C_{H2}; C_{u7} = -C_{H1}t_f;$$

$$C_{H2} = ps \cdot k_3 \left(\frac{t_f^3}{6} - \frac{k_2 t_f^2}{2} + k_2^3 e^{-t_f/k_2} + k_2^2 t_f - k_2^3 \right).$$

Поскольку исследуемые функции являются кусочно - непрерывными, удобнее определить ресурсоемкость на последнем этапе как разность

$$r(t) = res_1(t) - res_2(t) = rre_1(t) - [rpe_1(t) + rpe_2(t)],$$

Тогда

$$rre_1(t) = rs \cdot k_1 k_2 \int_0^{t_f} (k_2 - k_2 e^{-t/k_2} - t) dt,$$

$$rpe_1(t) = ps \cdot k_3 \int \left(\frac{t^3}{6} - \frac{k_2 t^2}{2} + k_2^3 e^{-t/k_2} + k_2^2 t - k_2^3 \right) dt,$$

$$rpe_2(t) = ps \cdot k_3 \int (C_{H1}t + C_{u7} + C_{H2}) dt.$$

После интегрирования получим

$$rre_1(t) = -rs \cdot k_1 k_2 (k_2 t + k_2^2 e^{-t/k_2} - t^2/2 + C_{u2}),$$

$$rpe_1(t) = ps \cdot k_3 \left(\frac{t^4}{24} - \frac{k_2 t^3}{6} - k_2^4 e^{-t/k_2} + \frac{k_2^2 t^2}{2} - k_2^3 t + C_{u3} \right),$$

$$rpe_2(t) = C_{H1} \frac{t^2}{2} - C_{u7} t + C_{H2} t + C_{u8} + C_{H3},$$

$$C_{H2} = -k_2^2, C_{H3} = k_2^4, C_{u8} = -C_{H1} \frac{t^2}{2} + C_{u7} t - C_{H2} t,$$

$$C_{H3} = ps \cdot k_3 \left(\frac{t_f^4}{24} - \frac{k_2 t_f^3}{6} - k_2^4 e^{-t_f/k_2} + \frac{k_2^2 t_f^2}{2} - k_2^3 t_f + k_2^4 \right).$$

После подстановки выражения для момента логического завершения операции получим выражение для определения ресурсоемкости технологического процесса

$$R = C_{н1} \frac{t_1^2}{2} - C_{у7} t_1 + C_{н2} t_1 + C_{у8} + C_{н3} + rs \cdot k_1 k_2 \left(k_2 t_1 + k_2^2 e^{-t_1/k_2} - t_1^2 / 2 - k_2^2 \right).$$

Величину абсолютного значения потенциального эффекта можно определить из выражения

$$A = \frac{ps \cdot k_3 \left[\frac{t_1^2}{2} - k_2 \left(t_1 + k_2 e^{-t_1/k_2} - k_2 \right) \right] - rs \cdot k_1 k_2 \left(1 - e^{-t_1/k_2} \right)}{2}$$

Показатель эффективности преобразования ресурсов технологического процесса может быть вычислен по формуле, [2]

$$E = \frac{A}{R}$$

Выводы и направления дальнейших исследований. Полученные выражения позволяют аналитически определять эффективность технологических процессов, моделируемых с использованием апериодического звена со ступенчатым входным сигналом управления. Численные эксперименты показывают, что при увеличении постоянной времени апериодического звена момент логического завершения операции увеличивается, также увеличивается ресурсоемкость технологического процесса, что при постоянном значении эффекта приводит к снижению показателя эффективности технологического процесса. При относительном увеличении стоимостной оценки выходного продукта по сравнению со стоимостной оценкой входного продукта ресурсоемкость технологического процесса уменьшается, а его показатель эффективности увеличивается.

Список источников

1. Луценко И.А. Технологии эффективного управления. – Кривой Рог: ЧП «Видавничий дім», 2004. – 152с.
2. Луценко И.А. Показатель ресурсоемкости технологического процесса.// Інформаційні системи і моделювання. - Кременчук. КДПУ, - Вип.2(11).
3. Гончаров Ю.Г., Давидкович А.С. и др. Автоматический контроль и регулирование процессов на железорудных обогатительных фабриках. Изд-во "Недра", 1968 г., 227 стр.

Дата поступления статьи в редакцию: 20.10.06