

Современное производство непрерывного типа представляет собой комплекс технологических объектов, объединенных единой целью функционирования, связанных между собой материальными и энергетическими потоками, а также информационными связями.

Большое количество взаимосвязанных объектов, многочисленность управляющих и возмущающих воздействий характеризуют производство непрерывного типа как сложную управляемую систему.

Управление сложными системами, как известно, связано с трудностями, для преодоления которых необходимы особые методы теории сложных систем, в частности, использование многоуровневых структур принятия решения в системе управления [2].

В соответствии с принципом декомпозиции производство непрерывного типа как сложную управляемую систему можно представить в виде совокупности более простых взаимосвязанных подсистем

$$P = \{P_i\}, i \in \Omega, \quad (1)$$

каждая из которых формально определяется локальной функцией цели

$$\varphi_i = F(\bar{M}_i, \bar{X}_i, \bar{Z}_i) \quad (2)$$

и вектор-функцией выходных координат

$$\bar{Y}_i = \bar{\psi}(\bar{M}_i, \bar{X}_i, \bar{Z}_i, \bar{U}_i), \quad (3)$$

где \bar{M}_i — вектор управляющих воздействий;

\bar{X}_i — входной вектор взаимодействия, отражающий влияние на i -ю со стороны других подсистем;

\bar{Z}_i — вектор возмущающих воздействий, отражающий влияние окружающей среды;

\bar{U}_i — сопутствующий вектор.

Векторы взаимодействия подсистем отражают материальные и энергетические потоки, а также другие связи подсистем. Среди них можно выделить однонаправленные, отражающие влияние одной подсистемы на другую только в одном направлении, и двунаправленные, влияющие на обе взаимодействующие подсистемы.

Сопутствующим будем называть такой вектор взаимодействия, который слабо влияет на ход производственного процесса и который не учитывают при координации подсистем. Компоненты

сопутствующих векторов целесообразно рассматривать как возмущающие воздействия по отношению к подсистемам, для которых они являются входными переменными.

Общая задача управления сложной системой может быть разложена на ряд более простых подзадач оптимизации подсистем P_i по локальным критериям (2) при постоянных взаимодействиях и координации взаимодействия этих подсистем с целью достижения экстремума глобального критерия [1].

Формирование управляемых подсистем P_i следует производить таким образом, чтобы для каждой из подсистем можно было сформулировать локальные критерии эффективности, удовлетворяющие следующим принципам, которые вытекают из методологии системного анализа [4].

1. Локальные критерии должны учитывать все существенные факторы, отражающие влияние подсистем на величину глобального критерия эффективности.

2. Функции цели подсистем соответствующих локальных критериев должны удовлетворять требованиям координируемости и совместимости подзадач (1) оптимизации подсистем по локальным критериям. Этот принцип сводится к условию аддитивности глобального критерия [1, 2],

$$\varphi = \sum_{i \in \Omega} \varphi_i. \quad (4)$$

3. Значения локальных критериев подсистем являются оценкой эффективности функционирования системы на интервалах принятия решения, поэтому переменные, включаемые в критерий, должны быть приведены к соответствующим временным интервалам [3].

4. Величины, включаемые в критерий, должны быть соизмеримы. Поскольку факторы, учитываемые критерием, обычно описываются величинами различной физической природы, при их оценке необходимо использовать весовые (стоимостные) коэффициенты.

На основании изложенных принципов в качестве локальных критериев эффективности целесообразно принять минимум технологической составляющей себестоимости, так как этот критерий удовлетворяет условию (4).

Локальные критерии, построенные на основе технологической составляющей себестоимости, как показано в [5], должны учитывать следующие факторы:

затраты, отражающие сырьевые, товарные и теряемые материальные потоки E_{Π} ;

затраты, связанные с потоками энергий E_{ε} ;

амортизационные затраты E_p с учетом потерь продукции из-за простоя за время ремонта.

Потоки сырья, продукции и потерь в соответствии со вторым принципом должны быть отнесены к единице времени и выражаться в виде соответствующих расходов G_c , G_T , G_{Π} . Используя

весовые коэффициенты, учитывающие соотношение стоимостей включаемых величин, первые два фактора можно оценить:

$$E_{\Pi} + E_{\Sigma} = \sum_{j \in J} G_{Tj} C_{Tj} + \sum_{j \in J} Q_{Tj} C - \sum_{i \in I} G_{ci} C_{ci} - \sum_{i \in L} G_{\Pi i} C_{\Pi i} - \sum_{i \in I} Q_{ci} C - \sum_{i \in L} Q_{\Pi i} C, \quad (5)$$

где I, J, L — соответственно множества порядковых индексов сырьевых, товарных и теряемых потоков;

Q_T, Q_c, Q_{Π} — количества тепловых энергий, которыми обладают соответственно G_T, G_c, G_{Π} ;

C — стоимость единицы тепловой энергии.

Третий из указанных факторов проявляется один раз на протяжении межремонтного срока $T_{\text{мр}}$ или при возникновении аварийных ситуаций. Исходя из третьего принципа, эти затраты необходимо учитывать в виде соотношения $\frac{E_p}{T_{\text{мр}}}$.

Локальные критерии эффективности с учетом всех трех факторов будут иметь вид

$$\varphi_i = \sum_{j \in J} G_{Tj} C_{Tj} + \sum_{j \in J} Q_{Tj} C - \sum_{i \in I} G_{ci} C_{ci} - \sum_{i \in L} G_{\Pi i} C_{\Pi i} - \sum_{i \in I} Q_{ci} C - \sum_{i \in L} Q_{\Pi i} C - E_p / T_{\text{мр}} \quad (6)$$

при $P_{\text{ф}} \geq P_{\text{пл}}$,

где $P_{\text{ф}}, P_{\text{пл}}$ — соответственно фактическая и плановая производительность.

Цель функционирования системы иногда определяется максимальной производительностью при заданной себестоимости продукции. В этом случае локальные критерии целесообразно формировать без учета затрат, отражающих сырьевые потоки

$$\varphi_i = \sum_{j \in J} G_{Tj} C_{Tj} + \sum_{j \in J} Q_{Tj} C - E_p / T_{\text{мр}} \quad (7)$$

при $N_{\text{ф}} \leq N_{\text{пл}}$,

где $N_{\text{ф}}, N_{\text{пл}}$ — фактическая и плановая себестоимости.

Максимальная производительность непрерывного производства обычно лимитируется одной или несколькими подсистемами (узкими местами), поэтому критерий типа (7) целесообразно использовать только для этих подсистем. Остальные же подсистемы должны функционировать по критерию минимизации технологической составляющей себестоимости с целью снижения общей себестоимости продукции.

Как указано выше, общая задача оптимизации системы решается путем решения подзадач оптимизации локальных подсистем $\{R\}$ и координации D .

Систему управления, решающую n -уровневую иерархическую структуру задач, можно представить символическим выражением

$$S = \{D, \{D_i \{D_{ik}, \dots \{D_{ik \dots p_{r1}}, \{R_{ik \dots p_{rk1}}, P_i\} \dots\}\}, \dots\}\},$$

$$i \in I, ik \in I_i, \dots, ik \dots p_{r1} \in I_{ik \dots p_r},$$

$$ik \dots p_{r1j} \in I_{ik \dots p_{r1}},$$
(8)

где $I, I_i, \dots, I_{ik \dots p_r}, I_{ik \dots p_{r1}}$ — множества порядковых индексов,

подсистем n -го, $(n - 1)$ -го \dots , 2-го, 1-го уровней соответственно

Здесь множество управляющих подсистем $\{R_{ik \dots p_{r1j}}\}$, решающих задачи оптимизации $\{P_i\}$ совместно образуют множество подсистем 1-го уровня $\{S_{ik \dots p_{r1}}\}$.

Любая совокупность подсистем $\{S_{ik \dots p_{r1}}\}$ совместно с координатором $D_{ik \dots p_r}$, осуществляющим их согласование, образуют систему 2-го уровня

$$S_{ik \dots p_r} = \{D_{ik \dots p_r}, S_{ik \dots p_{r1}}\}. \quad (9)$$

В свою очередь, множество $\{S_{ik \dots p_r}\}$ совместно с координатором $D_{ik \dots p}$ может рассматриваться как подсистема 3-го уровня

$$S_{ik \dots p} = \{D_{ik \dots p}, S_{ik \dots p_r}\}, \quad (10)$$

и т. д.

Число вариантов, сформированных таким образом структур в общем случае может быть большим, и эффективность функционирования системы будет зависеть от выбора варианта. Рациональную структуру можно получить, если систему сформировать так, чтобы координатор более низкого уровня решал задачу согласования взаимодействий наиболее тесно связанных подсистем.

Оценка связности при этом определяется сложностью решения задач координации, частотой изменения векторов взаимодействий и возмущений, степенью влияния их на значение локальных

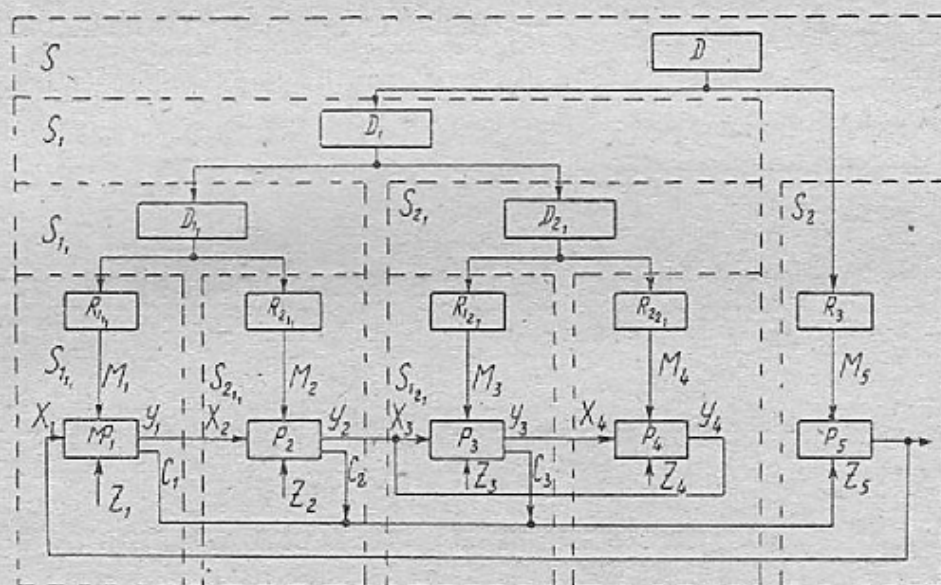
критериев эффективности, а также числом составляющих векторов взаимодействий.

Построенная система обладает преимуществами многоуровневых систем, которые, в частности, позволяют:

большую многомерную задачу представить в виде ряда подзадач, каждую из которых решает отдельная подсистема;

формализовать глобальную функцию цели через локальные;

повысить оперативность управления при изменении состава оборудования или при изменении внешних условий, влияющих на систему;



при решении различных локальных задач оптимизации можно использовать разные методы, наиболее подходящие в том или ином случае.

Изложенная методика использована при разработке многоуровневой структуры системы управления цехом производства аммофоса (см. рисунок) Цех производства аммофоса включает значительное число технологических объектов, подверженных влиянию возмущающих и управляющих воздействий, объединенных единой целью функционирования.

Указанные особенности производственного процесса позволяют рассматривать этот цех как сложную управляемую систему и обуславливают необходимость применения многоуровневой структуры управляющей системы.

В соответствии с принципом декомпозиции цех аммофоса целесообразно представить в виде совокупности управляемых подсистем

$$P = \{P_i\} \quad i = \overline{1,5}. \quad (11)$$

Здесь P_1 — первая ступень нейтрализации, представляющая собой сатуратор-нейтрализатор, в котором в результате реакции фосфорной кислоты и аммиака образуется пульпа;

- P_2 — вторая ступень нейтрализации, служащая для доведения параметров пульпы до заданных;
- P_3 — участок грануляции, объединяющий аммонизатор-гранулятор, в котором происходит формирование гранул заданных размеров, и сушильный барабан, служащий для получения заданных параметров гран — состава аммофоса;
- P_4 — участок подогрева воздушного потока для сушильного барабана;
- P_5 — участок абсорбции, служащий для улавливания аммиака, выделяющегося на участках нейтрализации и грануляции.

Цели функционирования цеха аммофоса могут быть сформулированы в виде двух критериев.

В период увеличенного спроса на аммофос цель функционирования цеха состоит в обеспечении максимальной производительности при себестоимости не ниже плановой. В период, когда выходной продукт в основном поступает на склад, цель функционирования состоит в минимизации технологической составляющей себестоимости продукта при заданной производительности.

Для выделенных подсистем цеха выражения (2), (3), соответствующие критерию оптимизации переменной составляющей себестоимости продукции, будут иметь вид

$$\begin{aligned} \varphi_1 = & G_{п1} H_1 \zeta_{п1} - G_k C_k \zeta_k - G_{A1} \zeta_A - G_{r1} C_{A1} \zeta_A + G_{па} H_a \zeta_{па} + \\ & + (\mathcal{E}_{B1} - \mathcal{E}_{B2}) \zeta_{\mathcal{E}} - E_{p1} / T_{mp1}, \\ & \bar{M}_1 = \{G_k, G_{A1}, t_{A1}\}, \\ & \bar{Y}_1 = \{H_1, G_{п1}, W_1\}, \\ & \bar{X}_1 = \{G_{па}, H_a, W_a\}, \\ & \bar{Z}_1 = \{C_k, t_k\}, \\ & \bar{U}_1 = \{G_{r1}, C_{A1}\}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $G_{па}$, H_a , W_a , $G_{п1}$, H_1 , W_1 — расход, кислотность и влажность пульпы на входе и выходе подсистемы соответственно,

G_{A1} , t_{A1} — расход и температура поступающего аммиака;

C_k , t_k — концентрация и температура фосфорной кислоты;

G_{r1} , C_{A1} — расход и концентрация выделенного аммиака;

$\zeta_{п1}$, ζ_k , ζ_A , $\zeta_{\mathcal{E}}$, $\zeta_{па}$ — весовые коэффициенты, выражающие стоимостные зависимости компонент;

E_{p1} , T_{mp1} — стоимость ремонта и межремонтный срок оборудования;

\mathcal{E}_{B1} , \mathcal{E}_{B2} — расходы входного и выходного потоков тепловой энергии;

$$\begin{aligned} \varphi_2 = & G_{п2} (H_2 - H_1) \zeta_{п} - (G_{A2} + G_{A2}^1) \zeta_A - \\ & - G_{r2} C_{A2} \zeta_A + (\mathcal{E}_{B3} - \mathcal{E}_{B4}) \zeta_{\mathcal{E}} - E_{p2} / T_{mp2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{M}_2 &= \{G_{A2}, G_{A2}^1, t_{A2}\}, \\
\bar{Y}_2 &= \{H_2, G_{п2}, W_2\}, \\
\bar{X}_2 &= \{H_1, G_{п1}, W_1\}, \\
\bar{U}_2 &= \{G_{Г2}, G_{A2}\},
\end{aligned}
\tag{13}$$

где $G_{п2}$, H_2 , W_2 — расход, кислотность и влажность выходной пульпы, соответственно;

C_{A2} , G_{A2}^1 , t_{A2} — расходы и температура аммиака, поступающего на второй и третий сатуратор-нейтрализатор;

$G_{Г2}$, C_{A2} — расход и концентрация выделяемого аммиака;
 $E_{р2}$, $T_{мр2}$ — стоимость и межремонтный срок оборудования второго участка;

$\Theta_{В3}$, $\Theta_{В4}$ — расходы тепловых энергий на втором участке;

$$\begin{aligned}
\varphi_3 &= G_R \zeta_R - G_R^0 \zeta_R^0 - Q_B G_B \zeta_B - \\
&\quad - G_{п2} H_2 \zeta_{п2} - G_{A3} \zeta_A - E_{р3} / T_{мр3}, \\
\bar{M}_3 &= \{G_{A3}, G_{Г4}, G_{R1}\},
\end{aligned}
\tag{14}$$

$$\bar{Y}_3 = \{G_R, G_R^2, G_{R1}\},$$

$$\bar{X}_3 = \{G_B, t_B, W_B, H_2, G_{п2}, W_2\},$$

$$\bar{U}_3 = \{C_{A4}, t_{Г4}\}, \quad \bar{Z} = t_{A3},$$

где G_R , G_R^0 — расходы потоков ретурна товарной фракции и требующего дробления;

G_B , Q_B , t_B — расход, энергия и температура поступающего в сушильный барабан воздушного потока;

ζ_R , ζ_B , ζ_R^0 , $\zeta_{п2}$ — весовые коэффициенты;

$E_{р3}$, $T_{мр3}$ — стоимость и межремонтный срок оборудования;

$$\begin{aligned}
\varphi_4 &= \{G_B \Theta t_B / (G_{Г1} + G_{Г2}) Q_{Г}\} \zeta_{Г}, \\
\bar{M}_4 &= \{G_{Г1}, G_{Г2}, t_B\},
\end{aligned}
\tag{15}$$

$$\bar{Y}_4 = \{G_B, W_B\},$$

где $G_{Г1}$, $G_{Г2}$ — расходы воздушных потоков, поступающие в топку;

$Q_{Г}$ — тепловая энергия, которой обладает $(G_{Г1} + G_{Г2})$;

Θ — теплоемкость G_B ;

$$\varphi_5 = G_{п0} H_0 \zeta_0 - G_{к2} C_{к2} \zeta_k - G_{ав} \zeta_B - G_{из} \zeta_{из} - E_{п5} / T_{мр5},$$

$$\bar{M}_5 = \{G_{ав}, G_{из}, G_{к2}\},$$

$$\bar{Y}_5 = \{G_{п2}, H_0, W_a\}, \tag{16}$$

$$\bar{Z} = \{G_{Г1}, G_{Г2}, C_{A1}, C_{A2}, C_{A4}\}, \tag{17}$$

где $G_{ав}$, $G_{из}$ — расходы воды и известкового раствора на участках абсорбции;

G_{k2} , C_{k2} — расход и концентрация фосфорной кислоты;

Π_k , $\Pi_{па}$, Π_B , $\Pi_{из}$ — весовые коэффициенты;

E_{p5} , T_{mp5} — стоимость и межремонтный срок оборудования.

В соответствии с изложенным методом сформулирована четырехуровневая структура системы управления цехом производства аммофоса, показанная на рисунке, которая представляет собой совокупность подсистем первого уровня:

$$S_{11_1} = \{R_{11_1}, P_1\}, \quad (18)$$

$$S_{21_1} = \{R_{21_1}, R_2\}, \quad (19)$$

$$S_{12_1} = \{R_{12_1}, P_3\}, \quad (20)$$

$$S_{22_1} = \{R_{22_1}, P_4\}, \quad (21)$$

$$S_2 = \{R_2, P_5\}; \quad (22)$$

подсистем второго уровня:

$$S_{11} = \{D_{11}, S_{11}, S_{21_1}\}, \quad (23)$$

$$S_{21} = \{D_{21}, S_{12_1}, S_{22_1}\}; \quad (24)$$

подсистемы третьего уровня

$$S_1 = \{D_1, S_{11}, S_{21}\}; \quad (25)$$

подсистемы четвертого уровня:

$$S = \{D, S_1, S_2\}. \quad (26)$$

Структуру системы управления цехом, используя выражения (20) — (26), можно представить:

$$S = \{D, \{D_1, \{D_{11}, \{R_{11}, P_1\}, \{R_{21_1}, P_2\}\}, \{D_{12}, \{R_{12_1}, P_3\}, \{R_{22_1}, P_4\}\}, \{R_2, P_5\}\}\}. \quad (27)$$

При условии (4) критерии эффективности выделенных подсистем будут иметь вид

$$V_{11} = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (28)$$

$$V_{21} = \varphi_3 + \varphi_4, \quad (29)$$

$$V_1 = V_{11} + V_{21}, \quad (30)$$

$$V = V_1 + \varphi_5, \quad (31)$$

где V_{11} , V_{21} , V_1 , V — критерии эффективности функционирования подсистем S_{11} , S_{21} , S_1 , S соответственно.

Использование описанной структуры позволяет реализовать указанные выше преимущества с целью повышения эффективности функционирования цеха производства аммофоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М., «Мир», 1973. 344 с.
2. Шостак В. Ф. Оптимизация сложных объектов в автоматизированных системах управления с иерархической структурой. — В кн.: Материалы семинара. Децентрализованные методы управления. М., МДНТП, 1972, с. 141—148.
3. Шостак В. Ф. Об информационной оценке сложных систем управления. — В кн.: Материалы II Всесоюз. семинара. Информационные методы в системах управления и контроля. Владивосток, Дальневосточный научный центр АН СССР, 1972, т. I, с. 25—31.
4. Чеснат Г. Техника больших систем. М., «Энергия», 1969. 489 с.
5. Островский Г. М., Волин Ю. М. Методы оптимизации сложных химико-технологических схем. М., «Химия», 1970. 358 с.

УДК 62—50

Многоуровневый подход в создании сложных систем управления производством непрерывного типа. Шостак В. Ф., Левницкий Ю. Б., Борячок М. Д. Сб. «Автоматизированные системы управления и приборы автоматки», вып. 34, 1975, с. 80—88.

Рассматривается методика формального подхода к разработке многоуровневой системы управления производством непрерывного типа. Приводится практический пример построения многоуровневой структуры системы управления цехом по производству аммофоса.

Ил. 1. Библиограф. 5.