

## **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ**

**Введение.** Внедрение автоматизированного управления предприятиями и технологическими комплексами (ТК), как единым объектом, относится к основным задачам улучшения экономических показателей производства. В этой задаче важнейшей функцией автоматизированной системы является оперативная оптимизация деятельности всего производственного комплекса.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Современный производственный *текстильный комплекс* состоит из большого числа отдельных подсистем (цехов, участков), которые связаны между собой материальными потоками сырья, вспомогательными материалами и т.п. При этом существует проблема оптимизации функционирования комплекса в условиях, когда его подсистемы выполняют свои отдельные локальные задачи [1].

Концепция использования текущего контроля для анализа предыдущего управления обусловлена тем, что обрабатывается один и тот же объект – ткань. Для формирования модели технологического процесса существенное значение имеют структуры моделей ТК [2] с постоянными или изменяющимися во времени технологическими коэффициентами и моделями, в которых в качестве оптимизируемых переменных наряду с неизвестными материальными потоками входят также неизвестные коэффициенты выпуска и затрат.

В составе АСУТП современных систем регулирования присутствует обычно несколько сотен контуров управления. При этом при наладке и эксплуатации таких систем управления возникает ряд причин, обуславливающих плохие статистические и динамические показатели качества систем регулирования. К ним можно отнести следующие:

- многомерность реальных систем регулирования и, как следствие, недостаточная точность настройки контуров управления, настройки которых ослаблены для обеспечения работы при изменении режима работы объекта, например, нагрузки. Но даже если в эксплуатации находятся только одномерные системы, как правило, настройки будут ослаблены, что объясняется зависимостью характеристик объекта от режима его работы (нагрузки, состава топлива, сырья, материалов, используемого оборудования и т.д.);

- недостаточно точная или неправильная настройка в многомерной системе хотя бы одного контура управления приводит к несогласованной работе всех взаимодействующих контуров. Определение такого «плохого» контура является сложной задачей;

- настройка систем управления, где следует учитывать взаимное влияние контуров регулирования за счет перекрестных связей в этих контурах, существенно зависят от характеристик других контуров, в том числе от параметров настройки регуляторов в этих контурах;

- обеспечение ликвидаций возникающих в системе управления предаварийных ситуаций возможно наиболее простыми приемами, заключающимися в ослаблении настройки регуляторов. При этом при допустимом функционировании технологического процесса будет снижаться качество работы системы, т.е. прибыль.

**Постановка задачи.** Повышение эффективности управления комплексом текстильного производства, где задача управления технологическим комплексом сводится к нахождению таких участков контроля на технологических переходах, где управляющие усилия позволяют обеспечить управление технологическим процессом с наибольшей чувствительностью [1].

**Основная часть.** В такой постановке задачи управления комплексом следует учитывать, что:

- технологический комплекс функционирует со значительными транспортными запаздываниями;
- системы контроля качества необходимо распределять по участкам контроля ткани – по технологическим переходам;
- для задач автоматизации контроля качества и управления ТП требуется использовать известные средства контроля и разрабатывать новые системы.

Из основных возмущающих факторов, действующих на объект, можно указать следующие:

- качество сырья, поступающего на первичную переработку;
- значительное влияние на протекание технологических процессов условий внешней среды и климатические факторы вообще;
- нарушения технологического процесса или его неточный (необоснованный) выбор;
- отклонения в технологических процессах производства ткани, вызванные разрегулированностью или потерей настроек оборудования;
- человеческий фактор.

Рассматривая управления, которые воздействуют на объект, можно выделить следующие основные управления:

- выбор технологических параметров и номенклатуры изделий (тканей);
- регламентные плановые и внеплановые работы по обслуживанию технологического оборудования;
- управление материальными потоками по технологическому оборудованию;
- контроль качества (разбраковка), как конечная стадия технологического процесса.

На сегодняшний день большинство существующих систем контроля качества носят, как правило, организационный характер, с применением визуального контроля качества работающим на предприятии персоналом. При этом другие критерии оценки качества ткани до сих пор широко не используются [5]. Таким образом, для своевременного контроля и наблюдаемости системы управления необходимо обеспечить:

- непрерывную работу технологических линий и переходов, которые стабилизированы локальными системами управления (ЛСУ);
- своевременный контроль качества производства на различных технологических переходах, т.к. технологические процессы производства тканей и используемое текстильное оборудование вносят различные дефекты (пороки) ткани;
- контроль перемещения продукции по каждому конкретному технологическому переходу и процессу в целом. Причем, если каждая единица продукции текстильного производства (рулон ткани) сопровождается информацией о станках и персонале, изготовившим эту ткань (смена, время, тип оборудования и т.п.), то можно оперативно осуществлять мероприятия по своевременной ликвидации неисправностей и наладке технологического оборудования.

Относительно редкая сменяемость артикулов ткани и хорошо апробированные, стабильные технологические процессы можно отнести к положительным сторонам процесса управления ТП. Однако большое число технологических переходов и вариативность показателей продукции предполагают частые регламентные работы, что не позволяет обеспечить выпуск качественной продукции в полном объеме, брак будет присутствовать в изделиях (тканях).

Если в технологическом процессе материальный поток описывается как однородный стационарный поток, то при таком подходе к описанию появляется ресурс управления в системе [1-3], а развитие аварийных ситуаций, таких, например, как отклонения от требований режимов технологического процесса, может быть представлено в виде прогноза.

Модель комплекса имеет подсистемную структуру [1, 3], если: а) она состоит из моделей подсистем и связей между ними, где число подсистем  $m \geq 2$ ; б) если имеется критерий всего комплекса, то каждой из систем сопоставлен некоторый критерий оптимальности.

Вопросам расчета параметров модели в области идентификации объектов управления посвящены многочисленные исследования [2, 3], а по выбору структуры модели литература почти отсутствует. Для построения модели комплекса без специального обоснования ее структуры о бычно рекомендуемый подход заключается в задании последней в виде зависимости вектора выходных координат комплекса  $\mathbf{Y}$  от вектора его входных координат  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Y} = \mathbf{F}(\mathbf{X})$ , где  $\mathbf{F}$  – вектор-функция. Часто при моделировании отдельных технологических процессов расчет параметров функции  $\mathbf{F}$  выявляет и рабочую структуру модели, используемую далее для управления. Но если при управлении комплексом модель должна отражать подсистемную структуру объекта, подобный способ становится малоэффективным, а в отдельных постановках задачи управления, например, при оптимизации производственной программы комплекса, и вовсе неприменимым.

Математическая модель комплекса образуется из моделей подсистем и связей между подсистемами, а, следовательно, структура моделей подсистем определяет собой и структуру модели комплекса [5]. Модели связей обычно не нарушают характера модели комплекса и если модели подсистем линейные или нелинейные выпуклые, то и модель технологического комплекса (ТК), как правило, линейная или выпуклая.

Множество различных по структуре и назначению моделей комплексов может быть сведено к нескольким видам [2].

На рис. 1 показана схема типовой подсистемы ТК для статической оптимизации абсолютных значений материальных потоков. Материальный поток  $\mathbf{X}_v$  с компонентами  $\mathbf{X}_v = (x_{v1}, x_{v2}, \dots, x_{v\varphi_v})$  преобразуется в поток  $\mathbf{Y}_v = (y_{v1}, y_{v2}, \dots, y_{v\varphi_v})$  с вектором управляющих воздействий  $\mathbf{U}_v = u_{v1}, u_{v2}, \dots, u_{v\varphi_v}$ .

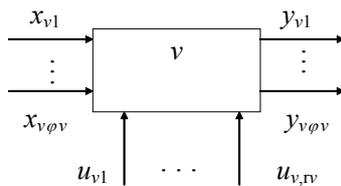


Рис. 1. Схема подсистемы технологического комплекса

В линейной модели реакционной подсистемы

$$\mathbf{Y}_v = \mathbf{A}_v \mathbf{X}_v + \mathbf{B}_v \mathbf{U}_v, \quad (1)$$

где  $\mathbf{A}_v$ ,  $\mathbf{B}_v$  – матрицы коэффициентов уравнений. В такой схеме возмущающие воздействия в явном виде не выделены и в моделях оперативного планирования учитываются непосредственно в ограничениях.

На рис. 2 показана подсистема, где сырье  $\mathbf{X}_v$  разделяется на потоки  $\mathbf{Y}_{1v}, \dots, \mathbf{Y}_{mv}$ , при этом каждый продукт является смесью из нескольких компонентов.

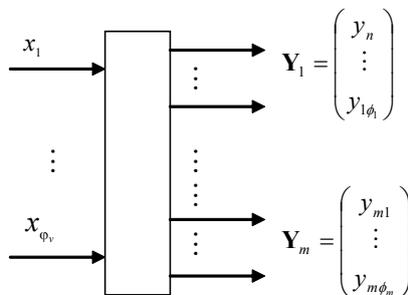


Рис. 2. Схема подсистемы разделения технологического процесса

Если компонент продукта состоит из нескольких компонентов, то продукт  $\mathbf{Y}_i$  связан с образующими его компонентами уравнением (2):

$$\mathbf{A}_i \mathbf{X} = \mathbf{Y}_i, \quad (2)$$

где  $\mathbf{A}_i = \|a_{i\phi\varphi}\|$ ;  $\phi = 1, \dots, \phi_i$ ;  $\varphi = 1, \dots, \varphi_i$  – матрица коэффициентов;  $\mathbf{X} = (x_1, \dots, x_{\varphi v})$ ,  $\mathbf{Y}_i = (y_{i1}, \dots, y_{i\varphi v})$  – векторы-столбцы.

В подсистеме смешения из отдельных частей потоков  $x_1, x_2, \dots, x_{\varphi v}$  образуются продукты  $\mathbf{Y}_1, \dots, \mathbf{Y}_m$ , компоненты которых являются смесями из входных компонентов. Выход продукта  $\mathbf{Y}_1 = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1\phi_i})$ :

$$(a_{11}, \dots, a_{1\varphi v}) \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{\varphi v} \end{pmatrix} = (1, \dots, 1) \begin{pmatrix} y_{11} \\ \vdots \\ y_{1\phi_i} \end{pmatrix}.$$

Введя коэффициенты  $\lambda_{i\phi}$ , характеризующие содержание  $y_{i\phi}$  в потоке  $\sum_{\phi} y_{i\phi}$ , уравнению выхода  $i$ -го продукта  $\mathbf{Y}_i$  можно придать векторно-матричную форму (2).

$$\lambda_{i\phi} = \frac{y_{i\phi}}{\sum_{\phi} y_{i\phi}}; \lambda_{i\phi} \geq 0; \sum_{\phi} \lambda_{i\phi} = 1.$$

Тогда для  $Y_i$  имеем:

$$\begin{pmatrix} \lambda_{i1} a_{i1} & \lambda_{i1} a_{i2} & \dots & \lambda_{i1} a_{i\phi_v} \\ \lambda_{i2} a_{i1} & \lambda_{i2} a_{i2} & \dots & \lambda_{i2} a_{i\phi_v} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{i\phi_i} a_{i1} & \lambda_{i\phi_i} a_{i2} & \dots & \lambda_{i\phi_i} a_{i\phi_v} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{\phi_v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{i1} \\ y_{i2} \\ \vdots \\ y_{i\phi_i} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

На рис. 3 показана подсистема массообмена между встречными потоками (абсорбция, экстракция) и смешения.

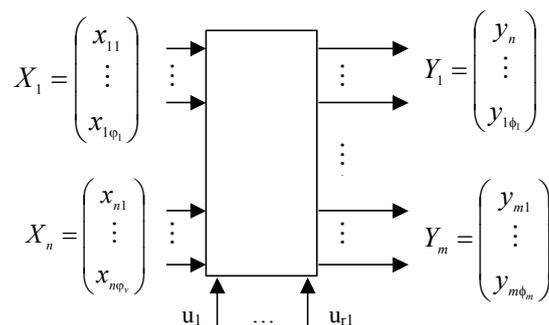


Рис. 3. Схема подсистемы массообмена технологического комплекса

Выход первого компонента с первым продуктом  $Y_1$ :

$$y_{11} = a_{11,1}x_{11} + a_{11,2}x_{12} + \dots + a_{11,\phi_1}x_{1\phi_1} + \dots + a_{11,n1}x_{n1} + a_{11,n2}x_{n2} + \dots + a_{11,n\phi_n}x_{n\phi_n} + b_1u_1 + \dots + b_{1r1}u_{r1}.$$

Подсистема в векторно-матричной форме (4):

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}_{11} & \dots & \mathbf{A}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{A}_{m1} & \dots & \mathbf{A}_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{X}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{X}_n \end{pmatrix} + \mathbf{B}\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{Y}_m \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Для приведенных подсистем общая модель ТК определяется обобщенной системой уравнений (5):

$$\mathbf{Y}_v = \mathbf{A}_v^0 + \mathbf{A}_v\mathbf{X}_v + \mathbf{B}_v\mathbf{U}_v, \quad v = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Критерий оптимальности

$$Q = f(\mathbf{X}_v, \mathbf{Y}_v, \mathbf{U}_v) = \max \quad (6)$$

при системе (5) обеспечивает оптимизацию значений материальных потоков.

Если в составе комплекса присутствуют нелинейные подсистемы вида

$$\mathbf{Y}_v = f_v(\mathbf{X}_v, \mathbf{U}_v), \quad (7)$$

то модель тоже будет нелинейной.

Обеспечение оптимальности критерия качества технологического комплекса является сложной задачей оперативного оптимального управления. Этому способствуют изменяющиеся производственные условия и изменяющиеся допустимые режимы управления (рис. 4).

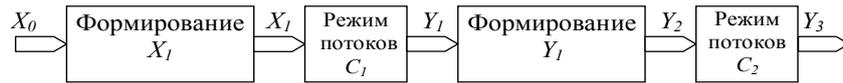


Рис. 4. Структурная схема технологического процесса как объекта управления

При этом критерий нестационарный и зависит от внешних возмущений. Основные параметры формирования критерия управления состоят из:

$$J_O = J_K\sigma_1 + J_N\sigma_2 + J_T\sigma_3 + J_\xi\sigma_4, \quad (8)$$

где  $J_K$  – количество выпускаемой продукции;  $J_N$  – затраты на выпуск продукции;  $J_T$  – время технологического цикла;  $J_\xi$  – качество продукции.

Естественно, что ограничения строятся на тех же принципах:

$$\begin{aligned} (J_K - J^*)\bar{\sigma}_1 &= 0; \\ (J_N - J^*)\bar{\sigma}_2 &= 0; \\ (J_T - J^*)\bar{\sigma}_3 &= 0; \\ (J_\xi - J^*)\bar{\sigma}_4 &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Следовательно, при  $\sigma = \sigma(\xi)$  обеспечивается связь с задачей оптимизации верхнего уровня, т.е. при условии неотрицательности задания.

$$\begin{vmatrix} J_1^* = \bar{\sigma}_{1i} \bar{J}_{1j} \\ \dots\dots\dots \\ J_n^* = \bar{\sigma}_{ni} \bar{J}_{nj} \end{vmatrix} \quad (10)$$

Матрица  $\sigma$  определяется задачей производства при заданных ограничениях  $\bar{J}^o_i$ . Матрица  $\bar{\sigma}$  имеет ограничения

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{1j}(\bar{J}_{1j} - \bar{J}_{1i}^o) &\leq 0 \\ \bar{\sigma}(\bar{J} - \bar{J}^o) &\leq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Собственно, система оптимальна  $\bar{\sigma}(\bar{J} - \bar{J}^o) = 0$  при использовании всех ресурсов при оптимальных ограничениях, т.е. в оптимальном смысле в глобальном оптимуме ограничения оптимальны. Таким образом  $\bar{J}^* \rightarrow opt$ ,  $\bar{J}^o \rightarrow opt$ .

Сформулируем следующую задачу управления. Пусть заданы матрицы:  $J_N \rightarrow \min$  – общие затраты, а  $J_T$  – время технологического цикла,  $J_K$  – количество выпускаемой продукции;  $J_\xi$  – качество продукции. При этом для системы управления время технологического цикла и количество выпускаемой продукции регламентируется рабочими планами предприятия. Критерий качества продукции определяется на выходе технологического процесса.

Для формализации задачи выделим соотношения  $x$  и  $U$ , два естественных параметра, и возмущения, которые зададим как  $U, x \rightarrow \min J$ , причем  $T = T_o$ ,  $N = N_o$ ,  $\xi = \xi_o$  – постоянные параметры. Эти условия являются основной задачей стабилизации технологического процесса.

Однако обобщенный показатель качества обладает следующей особенностью: при известном качестве входного сырья любые нарушения  $\Delta x = (x^* - x)$  и  $\Delta U = (U^* - U)$  оказывают влияние на конечное качество выпускаемой продукции:

$$\xi = \xi_o^* - \sum_{i=1}^n \eta(\Delta x, \Delta U). \quad (12)$$

Если критерий качества ограничен сверху, то, при оптимальном ограничении  $\xi - \xi_o^* = 0$ , как следствие, следует отметить постепенное снижение качества продукции по всем технологическим переходам. С другой стороны, задача управления имеет ограничения в виде:

$$J = \lambda_0 J^* + \lambda_T (T - T_0^*) + \lambda_N (N - N_0^*) + \lambda_\xi (\xi - \xi_o^*). \quad (13)$$

Если параметры  $\bar{T}$  и  $N$  в технологическом процессе выдерживаются, а параметры  $\xi$  нестабильные, тогда  $\lambda_\xi = \frac{\partial J}{\partial \xi}$  является чувствительностью функции цели к изменению качества продукции.

В данной задаче наиболее целесообразно выделить участки технологического процесса с максимальной чувствительностью  $\lambda_\xi = \max$ , что позволит наиболее существенно влиять на функцию цели.

**Выводы.** Таким образом, можно сформулировать следующие общие задачи оптимального управления технологическим комплексом:

- формирование динамики модели системы управления качеством с функционалом цели, определяется как управление, доставляющее максимальную чувствительность по скорости изменения состояния;
- оптимальное управление для многомерной задачи определяет распределение ресурса управления по компонентам вектора управления;
- следует разрабатывать совершенные методы и средства оценки и контроля качества продукции;
- разработка методов и средств формирования управления  $\Delta U = \Delta U(\xi)$  на существующих комплексах.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Рожков С.А. Оптимизация управлением сложными технологическими процессами / С.А. Рожков // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ ХПИ. – 2005. – № 54. – С. 118 – 123.
2. Плискин Л.Г. Оптимизация непрерывного производства / Лев Гаврилович Плискин. – М.: Энергия, 1975. – 336 с.
3. Фомин Б.Ф. Моделирование производственных систем: в 11 кн. – Кн. 3 / Б.Ф. Фомин, В.Б. Яковлев; под ред. В.Б. Яковлева. – К.: Вища шк., 1992. – 191 с.
4. Штейнберг Ш.Е. Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем регулирования / Ш.Е.Штейнберг, Л.П. Серезин, И.Е. Залуцкий, И.Г. Варламов//Промышленные АСУ и контроллеры, 2004. –№7. –С. 1-7.
5. Рожков С.А. Информационные аспекты управления комплексом технологических процессов в текстильном производстве / С.А. Рожков // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2007. – № 4(27). – С. 405 – 410.

РОЖКОВ Сергей Александрович – д.т.н., доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

Научные интересы

- автоматизированное управление в сложных системах, автоматизированные системы идентификации.