

**AUTOMATIZACION
DE LOS PROCESOS DE
PRODUCCION DE AZUCAR**

TOMO II

C O N T E N I D O

CAPÍTULO IV

207

PROYECTO DE LOS SISTEMAS DE REGULACIÓN DE LOS PROCESOS TECNOLÓGICOS (SARPT)

CAPÍTULO V

314

AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS TECNOLÓGICOS TÍPICOS Y DE LOS PROCESOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

CAPITULO IV

4. PROYECTO DE LOS SISTEMAS AUTOMATICOS DE REGULACION DE LOS PROCESOS TECNOLOGICOS (SARPT)

4.1 ETAPAS DEL PROYECTO Y ESTRUCTURA DE SU ESTRUCTURA DE SU DOCUMENTACION

Proyecto

Los sistemas de automatización se proyectan de acuerdo con la situación de los planes -- técnicos de las empresas industriales y sobre la base de la experiencia elaborada por las organizaciones científicas y de proyecto.

Para la Industria Azucarera de Cuba, el Departamento de Proyectos de la Empresa de Automatización Industrial "EDAI" es el organismo que realiza los proyectos técnicos de los sistemas de automatización.

Los sistemas de automatización deben proyectarse habitualmente en dos etapas: la del proyecto técnico y la de los planos de trabajo; a veces, el proyecto se realiza en una etapa: la del proyecto de trabajo técnico.

Tarea del Proyecto

Los datos iniciales y los materiales necesarios para la proyección, forman parte de la tarea de proyección, que debe realizarse por la empresa solicitante, pero frecuentemente se realiza de común acuerdo con la empresa de proyecto. Para la elaboración del proyec

to, además de los conocimientos del solicitante, en las condiciones de Cuba tiene gran importancia la obtención directa de los datos iniciales por el organo ejecutor una vez que se ha ratificado el plan de trabajo.

El proyecto debe comprender las siguientes partes:

- una descripción breve y definición de las características fundamentales de las instalaciones tecnológicas y equipos del objeto que será automatizado;
- requisitos para el sistema de dirección del objeto (el grado deseado de centralización, situación de los centros operativos);
- relación de las medidas para construir y mecanizar los procesos de producción (para automatizar los objetos existentes);
- relación de los parámetros de control y regulación, indicando las propiedades del medio regulado, los valores de los parámetros con la exactitud requerida del control y regulación, y las propiedades funcionales de los dispositivos;
- relación de los equipos eléctricos de mando a distancia y de los accionadores eléctricos, con indicación del centro de motores, la frecuencia de trabajo y la ubicación de los equipos.

La tarea de proyecto, además de los esquemas tecnológicos, requiere los esquemas de las -

tuberías tecnológicas, señalando el diámetro de las mismas; los planos de los locales de trabajo; la situación e intercomunicación de los equipos, la recomendación para la ubicación de pupitres y paneles (planos de planta y elevación) y los datos para el cálculo de la eficiencia técnico-económica de la automatización.

Proyecto Técnico

El proyecto técnico realizado por el ejecutor (empresa de proyectos) representa la documentación completa del proyecto, que tiene por finalidad definir las posibilidades técnicas y el objetivo económico de la automatización de dicha producción, su nivel - (etapas), los principios de realización, su estructura y organización, y la eficiencia-económica. Todas estas cuestiones estarán - contenidas en el plan general del proyecto - sin entrar en los detalles, que estarán, en los planos de trabajo.

Planos de Trabajo

Los Planos de trabajo conforman la documentación técnica por la cual se realizan los trabajos de montaje y ajuste, y se fabrican las piezas necesarias, se construyen los -- equipos y se realizan los trabajos electro-técnicos y trabajos auxiliares. Los planos de trabajo deben corresponder completamente y en todos sus detalles al proyecto técnico

aprobado.

Durante la realización de los planos de trabajo se admite incluir algunas variaciones - en el proyecto técnico aprobado, con el fin de racionalizar equipos y partes, y utilizar los medios de automatización más modernos, - sin variar el costo del proyecto.

Estructura del Proyecto Técnico

La estructura del proyecto técnico comprende los siguientes aspectos:

1. Esquemas estructurales del control y dirección del objeto (se realizan para - sistemas complejos con una dirección centralizada).
2. Esquemas funcionales de la automatización de los procesos tecnológicos.
3. Planos de posición de los pupitres.
4. Especificaciones de los instrumentos reguladores, equipos auxiliares, aparatos-eléctricos, paneles, pupitres, cables y tuberías.
5. Trabajos técnicos para la elaboración - de nuevos medios de automatización.
6. Trabajos técnicos para el diseño y construcción de equipos no estandarizados.
7. Presupuesto de los equipos y del montaje.
8. Base técnico-económica de los SARPT.
9. Memoria descriptiva.

Estructura de los Planos de Trabajo

Los planos de trabajo comprenden:

1. Esquemas estructurales de la dirección del objeto.
2. Esquemas funcionales de automatización.
3. Esquema principal eléctrico (por elementos o completo) de la regulación, control, bloqueo, protección y señalización.
4. Esquemas principales neumáticos o hidráulicos de automatización.
5. Esquemas principales eléctricos de alimentación.
6. Esquemas principales neumáticos o hidráulicos de alimentación.
7. Vista de paneles y pupitres.
8. Esquemas de montaje de paneles y pupitres.
9. Esquemas de conexiones exteriores (neumáticos, eléctricos, etc.).
10. Trazado de cables y tuberías.
11. Planos de montaje para los aparatos, dispositivos auxiliares, paneles (en caso de ausencia de documentos técnico-normativos para su instalación).
12. Planos generales de los elementos atípicos.
13. Memoria descriptiva.
14. Cálculo de los elementos finales de regulación y de los dispositivos medidores de flujo.
15. Especificaciones de:
 - a) instrumentos reguladores y equipos auxiliares (técnicos);

- b) equipos eléctricos;
 - c) paneles y pupitres;
 - d) accesorios para tuberías, cables, materiales de montaje, etc.;
 - e) equipos no estandar.
16. Lista de los documentos técnico-normativos - para la instalación de aparatos, dispositivos auxiliares, paneles, etc.

Proyecto de Trabajo Técnico

Se presenta con la autorización de la instancia que aprueba la tarea para proyectar los sistemas de automatización de los objetos típicos o simples en una etapa, que se denomina proyecto del-trabajo técnico.

En la estructura del proyecto de trabajo técnico-entran todos los materiales de los planos de trabajo y, además, el presupuesto para los equipos-y su montaje.

Tareas del Solicitante

En la ejecución del proyecto técnico y del proyecto de trabajo técnico, los ejecutores (proyectistas) coordinan y transmiten a los solicitantes los siguientes trabajos a realizar por ellos:

1. Suministro de energía eléctrica, aire comprimido, energía hidráulica, agentes refrigerantes y de calentamiento, etc., con los parámetros requeridos.
2. Construcción de obras básicas tales como: canales, túneles, centro operativo, plataformas auxiliares, alumbrado etc.

3. Definir los puntos de medición y regulación para ubicar los elementos primarios y finales de regulación instalados en los equipos tecnológicos.
4. Garantizar los soportes y fijaciones de algunos instrumentos en el lugar.

Proyecto de los SARPT que contienen computadoras en línea

Los proyectos para los SARPT con empleo de computadoras en línea, tiene algunas particularidades.

Se elaboran sobre la base de los informes de los trabajos de investigaciones científicas, que comprenderán:

1. Determinación de las tareas básicas y orden de sus soluciones.
2. Especificación de las condiciones de funcionamiento del sistema y del volumen de información necesaria para la dirección óptima.
3. Los resultados del estudio de las características de los equipos y agregados.
4. Determinación de las leyes y criterios de dirección del objeto (construcción del modelo matemático del sistema de dirección).
5. Organización de la tarea de automatización.
6. Elaboración de los esquemas complejos de automatización.

Complemento de la tarea del proyecto

Además de los materiales incluidos en el proyecto, habitualmente con el empleo de las computadoras en

en línea, los SARPT contienen además:

1. Recomendaciones y requisitos para la estructura de los dispositivos de las computadoras en línea.
2. Datos para la priorización y caracterización, temporal de las tareas de automatización.
3. Recomendaciones para la organización de la -- creación e introducción de los SARPT con el - empleo de las computadoras en línea.
4. Resultados de los trabajos de investigación - científica que incluyen planteamientos de todos los trabajos de automatización proyecta - dos por primera vez con el empleo de las com - putadoras en línea, con lenguaje de máquina - y programas (se entrega una breve descripción de las tareas, su planteamiento y esquemas de bloques de los algoritmos.

Complementos del contenido del proyecto técnico - con computadora

En el contenido del proyecto técnico SARPT con - computadora, se incluyen los siguientes complemen - tos:

1. Esquemas de bloques del conjunto de dispositi - vos de la computadora.
2. Esquema tecnológico del funcionamiento del sig - tema de selección, elaboración y entrega de in - formación.
3. Planteamiento de las tareas de automatización - (es un planteamiento breve de las tareas y es - quema de bloque de su algoritmo).

4. Planos de situación de los dispositivos de la computadora.
5. Propuestas para la organización de la información normativa-consultiva.
6. Especificaciones para la instalación de las computadoras en línea.

Complementos de los planos de trabajo con computadora

En la estructura de los planos de trabajo con los materiales e instrucciones para los SARPT, en el caso del empleo de computadoras en línea, se incluyen:

1. Esquema del sistema de selección, elaboración y entrega de la información.
2. Instrucciones para introducir y recibir la información de la computadora.
3. Documentos para organizar la información normativa-consultiva.
4. Algoritmos y programas de trabajo con descripciones e instrucciones.
5. Tablas y datos de distribución de la capacidad de los dispositivos de memoria.
6. Lista de los programas estandar y de test, y subprogramas utilizados.
7. Esquemas de conexiones, de enlaces, y de montaje para la distribución de la alimentación.
8. Especificaciones de los dispositivos de las computadoras.

Estructura del proyecto de trabajo técnico en la EDAI

En la EDAI (Cuba, 1977) el proyecto de trabajo técnico de automatización se realiza en una etapa y con la siguiente estructura:

1. Inventario de los planos.
2. Esquema funcional de automatización.
3. Esquema eléctrico principal.
4. Esquema eléctrico de dirección de los motores eléctricos.
5. Esquema principal de alimentación eléctrica o neumática.
6. Esquemas elementales de los reguladores (conexiones del lazo de regulación).
7. Vistas generales de paneles de control.
8. Esquemas de montaje de los paneles.
9. Esquemas de las instalaciones eléctricas externas y de las instalaciones de tuberías (esquemas de las uniones externas de los paneles).
10. Trazado de cables y tuberías.
11. Tareas de construcción y obra para la instalación de los paneles.
12. Cálculo de los elementos finales de regulación.
13. Especificaciones de los mecanismos, reguladores, piezas de montaje y materiales.

2 PRESENTACION DE LOS ESQUEMAS DE AUTOMATIZACION DE LOS PROCESOS TECNOLOGICOS

4.2.1 Esquemas funcionales de automatización

El esquema funcional de automatización (EFA)

es uno de los documentos fundamentales de los proyectos de automatización. En ellos se reflejan las soluciones principales tomadas en la etapa de diseño del SAR. El esquema funcional de automatización contiene la representación del objeto de regulación, del control, regulación, dirección programada, señalización, protección, bloqueo, y de los medios utilizados en la automatización. La protección, bloqueo y señalización están representados detalladamente en esquemas especiales.

Los esquemas de automatización, incluyendo los funcionales, se realizan según determinadas reglas.

Representación de los aparatos tecnológicos y conductos en los esquemas funcionales de automatización

En los esquemas funcionales es posible incluir un esquema tecnológico, completo o simplificado, con el sistema de automatización. Cuando es simple, en los esquemas funcionales no se representan los equipos tecnológicos de segunda clase, ni los que no posean medios de automatización. El esquema tecnológico se indica en el plano de izquierda a derecha según la marcha de la tecnología.

La representación gráfica de los aparatos tecnológicos deben estar en proporción con -

las medidas reales sin que su representación esté a escala.

En la representación de cada aparato tecnológico se señala su nombre y en el caso de esquemas complejos se le añaden una simbología convencional de cifras.

La comunicación de los líquidos, gas y vapor se representan con una simbología convencional.

Un resumen del sistema estatal de símbolos de la Unión Soviética se muestra en la Tabla 4-1.

Para las sustancias no previstas, en caso de necesidad se incluyen símbolos arbitrarios, utilizando cifras comenzando desde 28. Para la especificación de la característica es posible completarla con una letra (por ejemplo, agua caliente, 1C; fría 1F),

Se recomienda una distancia entre las cifras no menor de 50 mm. Se indica con flechas la dirección del movimiento en el conducto y órganos que tienen un valor principal.

En los proyectos de automatización realizados en la EDAI se utilizan los siguientes símbolos para la representación de las tuberías tecnológicas (Tabla 4-2).

Representación de los dispositivos automáticos en los esquemas funcionales de automatización

En los esquemas funcionales se representan -

$$W_{\text{equiv}}(p) = \frac{X_s(p)}{X_e(p)} = \frac{W(p)}{1 + W(p) \cdot W_{\text{ret}}(p)}$$

Veamos un caso particular. Supongamos que el eslabón que tiene retroalimentación negativa es el amplificador con función de transferencia $W(p)=K$. La expresión de la función de transferencia del eslabón equivalente en la unión con retroalimentación:

$$W_{\text{equiv}}(p) = \frac{W(p)}{1+W(p) \cdot W_{\text{ret}}(p)} = \frac{K}{1+K \cdot W_{\text{ret}}(p)} = \frac{1}{\frac{1}{K} + W_{\text{ret}}(p)}$$

Si $K \rightarrow \infty$, lo cual técnicamente se realiza con mucha facilidad, entonces el miembro $\frac{1}{K} \rightarrow 0$ por lo que tendremos que:

$$W_{\text{equiv}}(p) \approx \frac{1}{W_{\text{ret}}(p)}$$

De esto se deduce que el eslabón con un gran coeficiente de amplificación y con retroalimentación negativa, tiene una función de transferencia equivalente que depende sólo de las propiedades del eslabón de la retroalimentación, y es independiente de las propiedades dinámicas del eslabón principal. Esta propiedad de la retroalimentación se utiliza en la síntesis de los esquemas estructurales de los elementos del SAR con las propiedades dinámicas requeridas. En particular, se utiliza para la realización de las leyes de regulación requeridas y del man

tenimiento de las propiedades deseadas del SAR cerrado, mediante el ajuste de los reguladores.

Utilizando las reglas de obtención de las funciones de transferencia de los eslabones equivalentes, es posible realizar la transformación de cualesquiera de los elementos estructurales del SAR o del SAR mismo.

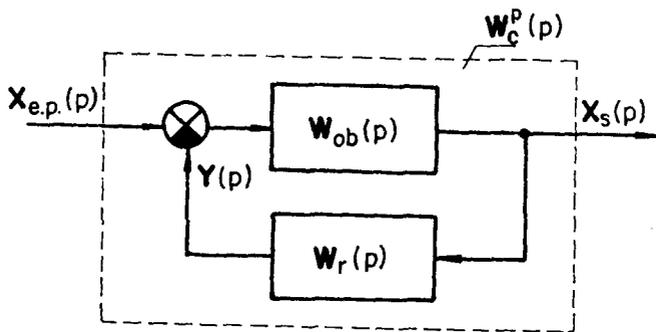
Si tenemos en cuenta que el objeto de regulación con función de transferencia $W_{ob}(p)$ y el regulador con función de transferencia $W_r(p)$ se han unido, formando un SAR con retroalimentación negativa (Fig. 3-14a), entonces podemos obtener, por analogía con la expresión de la unión de retroalimentación, la función de transferencia equivalente $W_c^p(p)$ del SAR cerrado con respecto a la acción perturbadora del objeto de regulación X_{ep} .

$$W_c^p(p) = \frac{W_{ob}(p)}{1 + W_{ob}(p) \cdot W_r(p)}$$

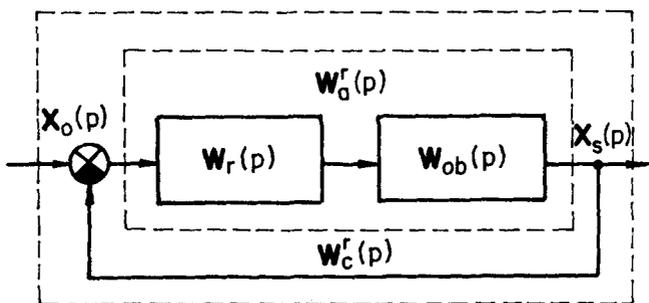
La acción de mando (punto de ajuste) $X_o(p)$ actúa sobre el SAR a través del regulador y del objeto, por esto es posible suponer que el regulador y el objeto están unidos en serie y obtener la función de transferencia equivalente $W_a^r(p)$ del SAR abierto (Fig. 3-14b).

$$W_a^r(p) = W_r(p) \cdot W_{ob}(p)$$

Supongamos que la retroalimentación que conforma el SAR cerrado, tiene función de transferen-



(a)



(b)

Fig. 3-14

cia igual a uno, (Fig. 3-14b) por no existir eslabón de retroalimentación. Entonces, la expresión de la función de transferencia del SAR cerrado $W_c^r(p)$ con respecto a la acción reguladora (de mando) será:

$$W_c^r(p) = \frac{W_a^r(p)}{1 + W_a^r(p) \cdot 1} = \frac{W_r(p) \cdot W_{ob}(p)}{1 + W_r(p) \cdot W_{ob}(p)}$$

La expresión de la función de transferencia $W_c^p(p)$ del SAR cerrado con respecto a la influencia perturbadora, indica cómo el SAR reacciona ante la perturbación y la expresión de la función de transferencia $W_c^r(p)$ con respecto a la acción de mando, indica cómo el SAR se subordina a las acciones reguladoras. Como se ve, de la expresión de las funciones de transferencia, el SAR cerrado tiene diferentes propiedades, es decir, reacciona ante la acción perturbadora y la reguladora. Esto es imprescindible calcularlo al ajustar el SAR.

3.2 Realización de las leyes principales de regulación

En los reguladores industriales (ver 2.4) las leyes de la regulación se realizan con ayuda del amplificador, del dispositivo corrector y del mecanismo ejecutivo unidos en serie. El dispositivo corrector se utiliza para establecer la ley de regulación. Sin embargo, los dispositivos correctores se conectan frecuentemente en paralelo, formando el circuito de retroalimentación negativa. Con esto son posibles dos esquemas de -

conexiones en paralelo. En uno de ellos (Fig. 3-15a) se establece la retroalimentación del mecanismo ejecutivo $W_{me}(p)$ para excluir la influencia de sus propiedades sobre las propiedades resultantes del regulador mientras en el otro (Fig. 3-15b) la retroalimentación abarca sólo el dispositivo amplificador $W_a(p)$, y las propiedades del mecanismo ejecutivo se manifiestan en la ley de regulación.

El esquema de la Fig. 3-15a se utiliza cuando el mecanismo ejecutivo se sitúa cerca del regulador, y el esquema de la Fig. 3-15b cuando se requiere separar considerablemente el mecanismo ejecutivo del regulador, por ejemplo, el sistema de regulación "Start".

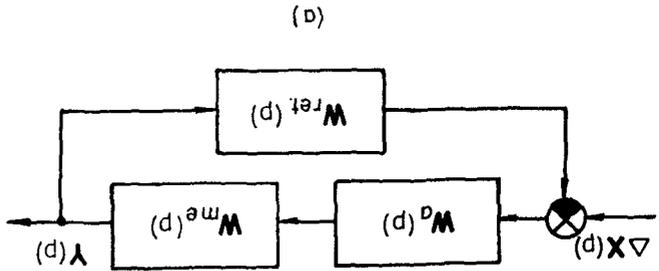
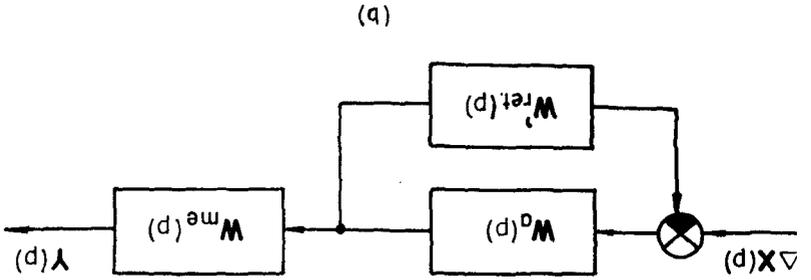
La unión con retroalimentación, según vimos anteriormente, tiene propiedades dinámicas que dependen sólo, en el caso de los reguladores, del dispositivo corrector; es decir, el eslabón de retroalimentación y se determinan por la expresión siguiente:

$$W_{equiv}(p) = \frac{1}{W_{ret}(p)}$$

Utilizando esta relación es posible obtener una expresión para la función de transferencia W_{ret} del eslabón de la retroalimentación, que garantice la obtención del regulador por una de las leyes de regulación.

Al esquema del regulador de la Fig. 3-15a corresponde la siguiente expresión:

Fig. 3-15



$$W_{ret}(p) = \frac{1}{W_R(p)}$$

donde $W_R(p)$: función de transferencia del regulador deseado que se ha formado - con la ayuda de la retroalimentación.

En los reguladores según el esquema de la Fig. 3-15b, la retroalimentación no abarca el mecanismo ejecutivo, y este último está conectado en serie a la unión con retroalimentación por lo que la función de transferencia $W_{ret}(p)$ del eslabón de la retroalimentación, que es necesario para realizar la ley de regulación deseada, se halla, multiplicando el inverso de la función de transferencia del regulador deseado por la función de transferencia del mecanismo ejecutivo:

$$W_{ret}(p) = \frac{1}{W_R(p)} \cdot W_{me}(p)$$

Los mecanismos ejecutivos (ME) empleados en el SAR, tienen características dinámicas que corresponden al eslabón típico integral o amplificador. Por esto, empleando tales ME sin la utilización de la retroalimentación, es posible realizar sólo las leyes de regulación I y P. Para realizar las leyes de regulación más-completas, por ejemplo, PI, PID, es necesaria la retroalimentación.

Para la obtención de los reguladores que realizan la ley de regulación P, se utiliza el esquema de la Fig. 3-15a que permite emplear los me

canismos ejecutivos de cualquier tipo.

La función de transferencia del regulador P es:
 $W_{pr}(p) = K_r$ entonces, de acuerdo con la relación expresada, la retroalimentación necesaria para realizar la ley de regulación P, tiene que tener la característica siguiente:

$$W_{ret}(p) = \frac{1}{W_{pr}(p)} = \frac{1}{K_r}$$

Evidentemente tal retroalimentación debe ser realizada sobre la base de un amplificador de orden cero.

Como la señal de salida de este amplificador no cambia su valor en el tiempo, según la forma de la curva de respuesta, entonces la retroalimentación realizada de esta forma, no cambia en el tiempo su valor bajo una señal constante de entrada; es decir, tiene un valor constante, por lo que se denomina retroalimentación rígida. Entonces para realizar la ley de regulación P, es necesario tener en cuenta la existencia en el regulador de una retroalimentación rígida.

El coeficiente de amplificación de la retroalimentación $\mathcal{L} = \frac{1}{k_r}$ es denominado grado de la retroalimentación rígida y se utiliza en calidad de parámetro de ajuste del regulador P.

Para realizar la ley de regulación PI frecuentemente se utiliza el esquema estructural de la Fig. 3-15a. La función de transferencia --

del regulador PI se representa como:

$$W_{ret}(p) = \frac{1}{W_{pi}(p)} = \frac{1}{K_R} \frac{T_i p}{T_{ip} + 1} = \frac{K_{ret} p}{T_p + 1}$$

donde:

$$K_{ret} = \frac{T_i}{K_R} \quad \text{y} \quad T_i = T$$

El eslabón derivador típico real tiene una función de transferencia parecida a ésta. Es evidente que para cumplir la ley de regulación PI, la retroalimentación debe ser realizada sobre la base del eslabón derivador real con un tiempo constante $T = T_i$, que es igual al tiempo de integración del regulador PI y con el coeficiente de amplificación $K_{ret} = \frac{T_i}{K_R}$.

Como la señal de salida del eslabón derivador real disminuye gradualmente con el tiempo para una señal de entrada constante, entonces la retroalimentación con un eslabón derivador se denomina retroalimentación elástica, ya que disminuye su valor con el tiempo hasta desaparecer totalmente.

Es evidente que para realizar la ley de regulación PI, es necesaria la retroalimentación -- elástica. Los parámetros de ajuste del regulador PI son en este caso: $T = T_i$ y $K_R = \frac{T_i}{K_{ret}}$,

que son los parámetros de la retroalimentación-elástica.

Para realizar las leyes de regulación PD y PID,

se puede seleccionar una retroalimentación más compleja que las anteriores, pero frecuentemente se realiza de otro modo. Para formar una componente derivativa en la ley de regulación, se utilizan dispositivos especiales derivadores, que sirven para medir la velocidad de variación de la variable regulada. La señal de salida -- del derivador que es proporcional a la velocidad de cambio de la variable regulada, se suma con la desviación de la variable regulada, y es esta suma es la entrada del regulador P o PI, el que se forma según explicamos anteriormente, - teniendo como resultado regulador PD o PID.

Los aspectos de la retroalimentación que permiten realizar los reguladores según el esquema estructural 3-15b, son muy complejos, por lo que no trataremos de ello en este curso.

3.3 Elaboración de los sistemas automáticos de regulación

La elaboración de los sistemas de regulación comienza con la selección de los parámetros que participan en la regulación y control. A estos pertenecen los parámetros controlados de señalización, de regulación, de protección y bloqueo, y también los parámetros reguladores mediante la variación de estos parámetros, se ejerce la acción reguladora, es decir, se determinan las vías de regulación y las propiedades que tendrá el objeto de regulación por estas vías. Después se seleccionan los dispositivos automáticos concretos para el sistema de regulación, -

por ejemplo capatazadores, instrumentos secundarios, reguladores, mecanismos ejecutivos, etc.

El sistema de dirección debe garantizar el logro del objetivo en cualquier condición de trabajo y a la vez será sencillo y seguro. Ha de procurarse que para obtener unos resultados, - la cantidad de parámetros de regulación sean - los mínimos.

Frecuentemente la ausencia de captadores seguros para controlar algunos parámetros tecnológico: dificulta la elaboración de los sistemas de regulación.

Los reguladores son los dispositivos automáticos básicos que determinan el carácter del proceso tecnológico; por esto, es bueno seleccionar primero las variables de regulación y las vías, para luego seleccionar el resto.

La selección de los parámetros regulados y vías de regulación, no puede ser realizada sin un buen conocimiento del proceso tecnológico. Es necesario seleccionar, de una serie de parámetros del proceso, cuáles deben ser regulados y cuáles son los que por su variación resultan - más convenientes para ejercer la acción reguladora.

Con esto se determinan la meta del proceso y su relación con otros procesos de producción, se seleccionan los índices de efectividad, se proponen los valores sobre los cuales deben - mantenerse, y se determinan las característi-

cas estáticas y dinámicas del objetivo.

El proceso tecnológico se analiza desde el punto de vista de las influencias perturbadoras y de la posibilidad de contrarrestarlas antes que entren en el objeto de regulación. En esto es especialmente importante la estabilización de los parámetros de entrada y de la marcha del proceso, ya que sus cambios en el objeto ejercen las perturbaciones más fuertes.

Sin embargo, todas las influencias perturbadoras no pueden ser liquidadas antes de entrar en el objeto de regulación. Frecuentemente esto no es posible en la práctica y algunas veces es muy difícil prever y eliminar las influencias perturbadoras internas. Además de esto, no todos los parámetros de entrada pueden estabilizarse, ya que muchos se determinan por los regímenes tecnológicos de los procesos anteriores o ulteriores. Por ejemplo, la concentración de la lechada de cal empleada en la defecación, depende de las condiciones en que fue preparada y su variación influye en la marcha del proceso de elaboración del jugo.

Sobre el objeto de regulación siempre influye la perturbación que conduce a variar los parámetros del proceso y en consecuencia afecta los índices de eficiencia. Para garantizar el valor previsto para estos índices, es necesario estabilizar o cambiar, según la ley establecida, los parámetros de régimen. Como regular -

todos los parámetros del objeto es en general imposible, entonces en calidad de variable regulada, se eligen habitualmente el índice de eficiencia, y la acción reguladora se ejerce por variación de uno o varios de los parámetros de entrada. Para que en el objeto de regulación entre el mínimo de perturbaciones, es necesario estabilizar algunos parámetros de entrada y de régimen. Esto aumenta la calidad en la regulación del índice de efectividad.

En la selección de los parámetros reguladores y de las vías de regulación, se utilizan ampliamente las características estáticas y dinámicas de los objetos. Las características estáticas permiten evaluar el grado de influencia que ejercen unos parámetros sobre otros. Por ejemplo, si se tiene la dependencia que tiene el parámetro A de los parámetros B y C (Fig. 3-16a), entonces su análisis indica que, grandes variaciones (ΔB) del parámetro B no ejercen gran influencia sobre la variación (ΔA) del parámetro A. Es decir, por la vía $A = f(B)$ entran en el objeto las perturbaciones débiles. Por esta causa, no es conveniente utilizar el parámetro B para ejercer la acción reguladora. En cambio, pequeñas variaciones (ΔC) del parámetro C, provocan una gran variación del parámetro A, es decir, influyen fuertemente sobre él.

El análisis de las características dinámicas también contribuye a la selección de las vías -

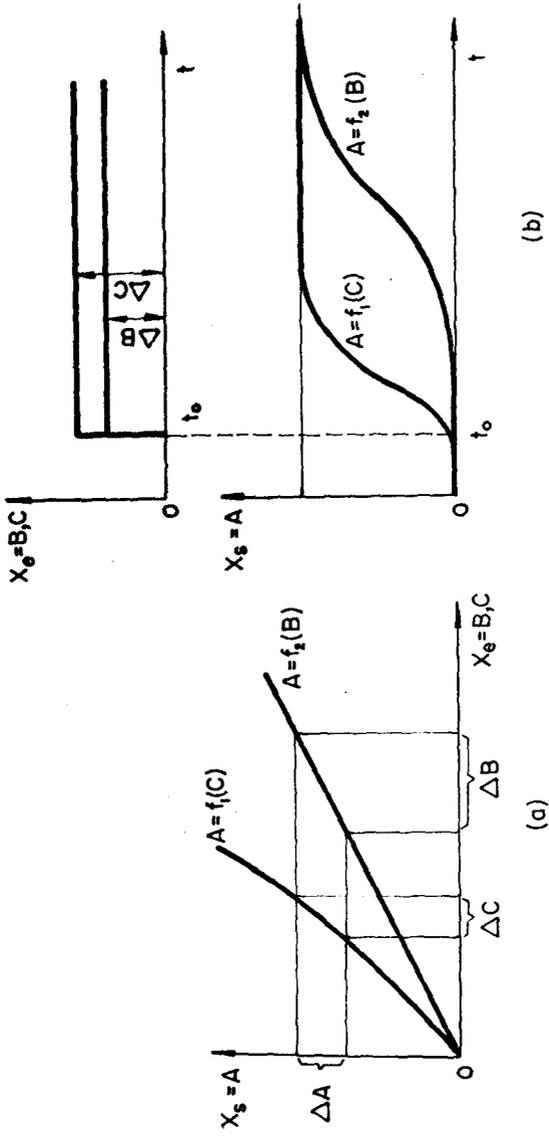


Fig. 3-16

de regulación más efectivas.

Según el gráfico de la Fig. 3-16b, es evidente que $A = f(c)$, tiene menos retraso al variar el parámetro de entrada C , en comparación con $A = f(B)$ al actuar sobre el parámetro de entrada R .

Para comparar las características dinámicas -- (curvas de respuesta) $A = f(B)$ y $A = f(C)$ es necesario expresarlas en valores relativos, o bien, durante su obtención experimental, elegir los valores de entrada (B y C) de manera que el valor estable de A sea igual en ambos casos.

Si es necesario automatizar un objeto complejo con los parámetros reguladores vinculados entre sí, entonces puede suceder que la acción reguladora encaminada a la eliminación de la desviación de una variable, conlleva la variación y desviación de otras. Por ejemplo, la disminución de la presión en el domo de la caldera de vapor provocada por el aumento de su carga (demanda), puede ser compensada con el aumento de combustible, pero esto obliga a modificar la regulación del aire y a variar el régimen de alimentación de agua.

En la regulación de los objetos tecnológicos complejos, como variables reguladas se seleccionan aquellas que están debidamente vinculadas entre sí. Si existe una vinculación fuerte entre los parámetros regulados, se utiliza-

entre los reguladores algunas conexiones exteriores de compensación, por lo que se obtiene un esquema de regulación complejo, es decir, - una regulación en cascada.

Tanto en la selección de los parámetros de control como de las variables reguladas, se requiere un buen conocimiento del objeto de regulación.

Es conveniente con un mínimo de parámetros controlados, recibir una mayor información del proceso.

Debe controlarse en primer lugar los parámetros cuyo conocimiento es necesario para la realización de la puesta en marcha, ajuste y dirección del proceso tecnológico. A estos parámetros - pertenecen los parámetros de régimen no regulados y los parámetros a través de los cuales actúan las perturbaciones.

Para efectuar la dirección operativa, surge la necesidad de controlar los parámetros de salida más importantes del proceso, por ejemplo, la - cantidad de producto obtenido, su densidad, presión, temperatura, etc.

Para el cálculo de los indicadores técnico-económicos se controlan también la cantidad de -- energía utilizada, agua, etc.

La selección de los parámetros de señalización se efectúa después de analizar los elementos - de peligrosidad del objeto de regulación. De - ben señalarse todos los parámetros que por su -

desviación del valor de régimen puedan ocasionar averías o perjudiciales violaciones del régimen tecnológico. Entre estos parámetros se cuentan el nivel, la presión y la temperatura.

Si existen exigencias rigurosas en cuanto a las variables reguladas, entonces estas variables tienen que ser señalizadas.

Habitualmente se señalizan los principales parámetros de regulación de los SAR en cascada, las pruebas imprevistas de los equipos y los valores límite de los parámetros necesarios -- para lograr la dirección operativa.

Las violaciones del proceso tecnológico que afecten la calidad del producto deben ser siempre evitadas, por lo que se hace necesaria una información en este sentido al personal de operación para que conozca tales desviaciones. Es necesario también señalar las desviaciones de los parámetros de los regímenes más importantes, los índices de eficiencia y las interrupciones en el suministro de productos auxiliares.

Para seleccionar los parámetros de protección, se parte de los peligros de explosión o avería, que pueden surgir, en el caso de interrupción de la alimentación al aparato, por ejemplo, del agua a la caldera. Los dispositivos de protección tienen que bloquear estos aparatos y desconectarlos. En los aparatos que trabajan bajo presión es éste uno de los parámetros indispensables de protección. En el caso de que la pre

sión aumente hasta un límite peligroso, debe abrirse automáticamente a la atmósfera o a la línea de escape. Simultáneamente deben ser tomadas las medidas para contrarrestar el aumento de presión.

Si ocurre que una bomba del sistema de alimentación se daña o detiene, el dispositivo de protección tiene que poner en marcha automáticamente la bomba de reserva.

Para seleccionar los medios de automatización con ayuda de los cuales se realizará la dirección del proceso, es necesario abordar el asunto argumentado desde el punto de vista técnico y económico. Para ello hay que tener en cuenta lo siguiente:

1. Seguridad contra incendios y explosiones

Los tipos de mecanismos automáticos para este fin se seleccionan teniendo en cuenta las particularidades del objeto de regulación y, en primer lugar, su seguridad contra incendios y explosiones. En el caso de una fábrica de azúcar, esto concierne particularmente a la manipulación y almacenamiento del producto final.

2. Automatización neumática

Sobre la base de los SAR proyectados deben hacerse los aparatos reales, según las posibilidades de un tipo único, que están bien coordinados entre sí. Por ejemplo, en la URSS estos deben ser del Sistema Es-

total de Aparatos. Atendiendo a las condiciones concretas pueden utilizar aparatos neumáticos, eléctricos o hidráulicos. Los medios neumáticos de automatización son los más difundidos actualmente en Cuba (hasta el 70% del parque de instrumentos). El empleo de aparatos neumáticos en condiciones iguales, es un 30% más barato que los electrónicos, pero cuando es necesario transmitir las señales a una distancia mayor que 300 m. surgen dificultades con las indicaciones de los instrumentos, disminuyendo la calidad de la regulación.

3. Automatización electrónica

Con una distancia mayor entre los aparatos tecnológicos y los pupitres de dirección, es más conveniente el empleo de los medios electrónicos de automatización, que al mismo tiempo superan a los neumáticos por su precisión (la precisión de la mayoría de los aparatos neumáticos es 1,0 y en los electrónicos 0,5). Además de esto, el empleo de los medios eléctricos facilita la introducción de las computadoras, con la que no hay necesidad de emplear convertidores de señales.

4. Automatización hidráulica

El radio de acción limitado y las grandes dimensiones, caracterizan a los dispositivos hidráulicos, por esto su empleo puede

ser recomendado sólo en casos excepcionales si hay necesidad del empleo de mecanismos ejecutivos de gran potencia, aunque utilizando amplificadores de potencia es posible obtener resultados similares con los instrumentos neumáticos.

En la selección de los tipos de dispositivos automáticos, el especialista parte de las siguientes consideraciones:

- para el control y regulación de iguales parámetros del proceso tecnológica, es necesario emplear dispositivos automáticos unificados que facilitan su ajuste, reparación y mantenimiento;
- es necesario dar preferencia a los dispositivos automáticos en serie;
- en una gran cantidad de parámetros de control iguales, se recomienda emplear máquinas y dispositivos de control controlado;
- en la automatización de procesos tecnológicos complejos, se utilizarán las computadoras de dirección, si el proceso ha sido suficientemente bien estudiado y modelado y se tiene la posibilidad de obtener una completa información sobre el proceso con la ayuda de los captadores típicos o especiales;
- el grado de precisión de los dispositivos

debe corresponder a las demandas tecnológicas para la exactitud de la dirección del proceso;

- para el control local se recomienda emplear diferentes dispositivos, tanto los automáticos como los no automáticos, según la posibilidad de garantizar el funcionamiento en condiciones desfavorables (oscilaciones, considerables de la temperatura, humedad, suciedad, vibraciones, etc.);
- para la automatización de los aparatos tecnológicos que elaboran o utilizan productos agresivos, es necesario utilizar dispositivos especiales y en caso de ausencia de los mismos, garantizar su protección. Al adoptar estas medidas de protección, debe tenerse en cuenta las características metrológicas de los medios de automatización.

3.4 Cálculo de los parámetros de ajuste del SAR

3.4.1 Estabilidad del SAR

Cualquier SAR responde a su objetivo si garantiza el mantenimiento del valor dado para el parámetro regulado, dentro de los límites admisibles, bajo la acción de las diferentes perturbaciones. Para los sistemas automáticos de regulación estabilizada, la variación en escalon de la carga del objeto de regulación

es la perturbación más característica y a la vez la más desfavorable por su forma. El SAR tiene capacidad de trabajo si el parámetro regulado, bajo la influencia de la perturbación en escalón, en la entrada del objeto, retorna al valor dado con la ayuda del regulador automático.

El proceso transitorio en el SAR cerrado lineal, provocado por la variación escalonada de la perturbación puede ser: no oscilatorio (aperiódico), oscilatorio amortiguado, oscilatorio no amortiguado con amplitud de oscilación constante, y oscilatorio con amplitud creciente. Evidentemente, los SAR en los cuales los procesos transitorios son amortiguados, resultan estables, en tanto los SAR lineales en los cuales el proceso transitorio puede ser oscilatorio con una amplitud creciente en las oscilaciones de la variable regulada, no tienen capacidad de trabajo, ya que en el transcurso del tiempo, no disminuye sino que crece la desviación de la variable regulada, con respecto al valor dado. Tales SAR se denominan inestables.

Si en el SAR es posible un proceso transitorio de regulación oscilatoria con una amplitud de oscilación constante, entonces el SAR se encuentra en el límite de estabilidad. Prácticamente resulta inapto para -

el trabajo (a excepción del SAR de regulación de dos posiciones), ya que cualquier variación pequeña de los parámetros del objeto de regulación o del regulador puede ser causa para hacerlo inestable.

En los SAR lineales y estables son posibles sólo los procesos transitorios aperiódicos o los procesos transitorios oscilatorios -- amortiguados.

La estabilidad del SAR depende de la combinación de las características dinámicas del objeto de regulación y de los parámetros de ajuste del regulador. A veces la inestabilidad es posible eliminarla con ayuda del regulador. En algunos casos, por ejemplo, en la regulación del objeto astático con retraso, mediante el regulador I, el SAR se hace inestable para cualquier combinación de valores de los parámetros de la característica dinámica del objeto y de los parámetros de ajuste del regulador. Tales sistemas se denominan estructuralmente inestables.

Los SAR industriales que se diseñan como estructuralmente estables, pueden ser inestables y dejar de cumplir su fin para cualquier combinación de valores de los parámetros no ajustados del regulador y de la característica dinámica de los objetos de regulación. Para garantizar el trabajo de es

tos SAR es necesario hacer un buen ajuste - de los parámetros.

Es posible analizar la estabilidad de los SAR simples, por medio del cálculo de su proceso transitorio de regulación. Para esto es necesario resolver la ecuación diferencial que describe el SAR con respecto a la variable regulada para una variación determinada (por ejemplo, escalón) de la variable de entrada con algunas limitaciones, por ejemplo, las condiciones iniciales son nulas. La solución obtenida, en la que entran las características dinámicas del objeto y los parámetros de ajuste del regulador, se analiza como cualquier función matemática y revela la regularidad de su variación cuando cambiamos los parámetros de ajuste del regulador. Es posible establecer el carácter de la variación de la variable regulada y el sentido de variación de los parámetros de ajuste del regulador. También es factible establecer el carácter de la variación de los parámetros de ajuste del regulador con el propósito de obtener la calidad deseada del proceso transitorio de regulación y, con los valores elegidos de los parámetros de ajuste, obtener el gráfico del proceso transitorio. Sin embargo, no es posible la utilización de este método para el análisis de la estabilidad, tanto de los SAR simples y también de los complejos en general, sin la aplicación de la computadora, debido a lo difícil que es resolver -

la ecuación diferencial y llegar al análisis de la expresión del proceso transitorio -- por la variación de los parámetros de ajuste.

En el aspecto general, la estabilidad de los sistemas dinámicos (no obligatoriamente de los SAR) fue resuelta por A.M. Liapunov, el que determinó las condiciones necesarias y suficientes para la estabilidad. Los resultados obtenidos se basan en los métodos aplicados para el análisis de la estabilidad de los SAR lineales y cerrados. Liapunov señaló que con el modelo matemático del sistema dinámico lineal (su ecuación diferencial) es posible juzgar su estabilidad, analizando su movimiento libre, es decir, la variación, previamente desviada, -- con respecto al estado estable de la señal de salida del sistema, después de eliminar la perturbación. Si la señal de salida del sistema en el movimiento libre regresa al valor dado, entonces tal sistema es estable.

El movimiento libre del SAR lineal se describe por la ecuación diferencial con la parte derecha igual a cero.

$$A_n \frac{d^n \Delta x_S}{dt^n} + A_{n-1} \frac{d^{n-1} \Delta x_S}{dt^{n-1}} + \dots$$
$$A_1 \frac{d \Delta x_S}{dt} + A_0 \Delta x_S = 0$$

Esta ecuación después de efectuada la transformada de Laplace se denomina ecuación característica del SAR,

$$A_n p^n + A_{n-1} p^{n-1} + \dots + A_1 p + A_0 = 0$$

y es el denominador de la expresión de la función transitoria de este SAR.

Desde el punto de vista matemático, la ecuación característica justamente es igual a cero sólo en algunos valores de la variable P, que se denominan raíces de la ecuación característica. El número de raíces de la ecuación es igual a su grado. La ecuación de primer grado tiene una raíz; la de segundo, dos, etc. Estas raíces pueden ser reales o complejas.

Es conocido que la solución de la ecuación diferencial del sistema dinámico puede ser expresada a través de las raíces de su ecuación característica, como la suma de las funciones exponenciales, elevada a la raíz de la ecuación característica multiplicada por el tiempo:

$$\Delta x_s(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t}$$

donde: $\Delta x_s(t)$: desviación de la variable de salida del valor dado.

n : grado de la ecuación característica.

C_i : constante de integración.

P_i : raíz iésima real.

El análisis de esta expresión indica que $\Delta x_s(t) \rightarrow 0$ cuando $t \rightarrow \infty$ si todo $p_i < 0$, es decir, la desviación de la variable de salida tiende a cero con el transcurso del tiempo, si todas las raíces de la ecuación característica son negativas.

En este caso todos los exponentes que describen el proceso transitorio aperiódico disminuyen.

Si la solución de la ecuación característica del SAR contiene raíces complejas conjugadas ($p_i = \alpha_i \pm j\beta_i$) su proceso transitorio es oscilatorio y para obtener la regularidad de la variación de la variable de salida, es necesario en la expresión de la solución de la ecuación diferencial sustituir como el índice del grado del exponente, la parte real de las raíces complejas. La condición para el amortiguamiento de las oscilaciones de la desviación de la variable de salida es análoga a la del proceso aperiódico; es decir:

$$\Delta x_s(t) \rightarrow 0 \text{ cuando } t \rightarrow \infty \text{ si } \alpha_i < 0.$$

De esa manera para la estabilidad del SAR lineal es necesario y suficiente que todas las raíces reales (p_i) de la ecuación característica del sistema o la parte real (α_i) de todas sus raíces complejas, sean negativas.

Si una de las raíces de la ecuación característica es igual a cero y todas las restantes son negativas o tienen la parte real negativa, entonces ese sistema es neutral - y se encuentra en el límite de estabilidad. El establecimiento del estado de equilibrio después de la anulación de la perturbación en cualquier valor del parámetro regulado, - es una particularidad característica de tales sistemas.

Realmente si $p_k = 0$ ($1 \leq k \leq n$), entonces la expresión de la variable de salida del sistema toma el tipo

$$\Delta x_s(t) = C_k + \sum_{i=1}^n C_i e^{-p_i t}$$

donde: $\Delta x_s(\infty) = C_x \neq 0$

De esa manera, después de terminar el proceso transitorio en el momento libre (sin influencia perturbadora), en el sistema neutral se mantiene alguna desviación de la variable regulada, cuyo valor se determina -- por las propiedades del sistema y es igual a C_k .

Si una de las raíces de la ecuación característica es positiva o tiene una parte real positiva, entonces tal SAR (como cualquier sistema dinámico) es inestable, ya que el parámetro regulado (de salida) en el movi-

miento libre del sistema, crece de un modo ilimitado.

El análisis de la estabilidad del SAR lineal conduce al cálculo de las raíces de su ecuación característica. Para un sistema de primer o segundo grado el cálculo de las raíces no es difícil. Sin embargo, al aumentar el grado de la ecuación diferencial del SAR, el cálculo de las raíces de su ecuación característica se complica considerablemente. Por esto, para el análisis de la estabilidad del SAR se emplea una serie de evaluaciones indirectas denominadas criterios de la estabilidad. Estos criterios se han obtenido en base a las condiciones necesarias y suficientes de la estabilidad, que vimos anteriormente y se denominan criterios de las raíces de la estabilidad. Permiten juzgar la estabilidad del sistema sin el cálculo de las raíces de su ecuación característica.

3.

Existen los criterios algebraicos de la estabilidad, basados en el examen de los coeficientes de la ecuación característica y los criterios frecuenciales, basados en el análisis de la posición en el plano de las características amplitud-fase del sistema.

De acuerdo con el criterio algebraico de estabilidad, la condición de estabilidad necesaria (pero no suficiente) en el caso general, es que los coeficientes de su ecuación

ción característica sean positivos.

$$A_1 > 0, \text{ donde } n \geq i \geq 0.$$

Para el sistema de primer o y segundo grado esta condición es suficiente.

Para los sistemas de tercer grado en los que la ecuación característica tiene el tipo:

$$A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0 = 0$$

la condición necesaria de estabilidad ($A_1 > 0$) se complementa con la siguiente condición:

$$A_2 A_1 - A_3 A_0 > 0.$$

Las condiciones de estabilidad suficiente para sistemas de mayor grado, se han obtenido de una forma parecida.

4.2 Calidad del SAR

La estabilidad es necesaria, pero no constituye el requisito único que debe satisfacer el SAR. Además de esto, en dependencia de los requisitos para la dirección del proceso tecnológico automatizado, al SAR se le plantean los requisitos para la calidad de la regulación.

La calidad del SAR se evalúa por la forma del proceso transitorio de regulación, es decir, de acuerdo con los cambios de la variable regulada, que surge en el SAR si la variable de entrada cambia en forma escalonada. Para los SAR de estabilización, habi-

tualmente se analiza el proceso transitorio provocado por la variación escalonada del valor dado del parámetro regulado X_0 (Fig. 3-17b). Esto se debe a que el modo de perturbación dado para estos sistemas es el más característico y desfavorable.

Los procesos transitorios de regulación surgen en el SAR por la perturbación del objeto y la acción reguladora (Fig. 3-17a), o por la variación del valor dado X_0 de la variable regulada (Fig. 3-17b).

Como señalamos antes, los procesos transitorios de regulación en los SAR lineales y exactos, en dependencia del tipo de objeto de regulación, de la ley de regulación y también de los parámetros dinámicos del objeto y de los parámetros de ajuste del regulador, pueden ser aperiódicos (parte izquierda de la Fig. 3-17) u oscilatorios amortiguados (parte derecha de la Fig. 3-17). Los índices de calidad de estos procesos de regulación difieren un poco.

Los índices básicos que caracterizan el proceso transitorio aperiódico en el SAR cerrado son las desviaciones dinámicas máximas (ΔX_{gmax}), el tiempo de regulación (t_T) y las desviaciones remanentes (ΔX_T).

La desviación dinámica máxima (error dinámico) es la diferencia máxima entre el valor que alcanza la variable regulada y el valor $X_S(\infty)$ o el valor dado de la variable regu

Tabla 4-1

CONTENIDO DEL CONDUCTO	SIMBOLO
Líquido o gas que predomina en el proyecto	-----
Agua	----- 1 ----- 1 -----
Vapor	----- 2 ----- 2 -----
Aire	----- 3 ----- 3 -----
Nitrógeno	----- 4 ----- 4 -----
Oxígeno	----- 5 ----- 5 -----
GASES INERTES	
Argón	----- 6 ----- 6 -----
Neón	----- 7 ----- 7 -----
Helio	----- 8 ----- 8 -----
Criptón	----- 9 ----- 9 -----
Xenón	----- 10 ----- 10 -----
Amoniaco	----- 11 ----- 11 -----
Acido	----- 12 ----- 12 -----
Alcali	----- 13 ----- 13 -----
Aceite	----- 14 ----- 14 -----
Combustible líquido	----- 15 ----- 15 -----
COMBUSTIBLES Y GASES EXPLOSIVOS	
Hidrógeno	----- 16 ----- 16 -----
Acetileno	----- 17 ----- 17 -----
Butileno	----- 25 ----- 25 -----
Tubería contra incendio	----- 26 ----- 26 -----
Al socio	----- 27 ----- 27 -----

Tabla 4-2

MEDIO DE TRABAJO	SIMBOLO
1 Vapor (símbolo general)	—————
2 Vapor vegetal	—————
3 Vapor de escape	—————
4 Agua de alimentación	—————
5 Condensado	—————
6 Condensado contaminado	—————c—————
7 Aceite	—————/—————/—————
8 Petróleo	—————//—————//—————
9 Aire (símbolo general)	—————
10 Aire para instrumentación neumática	—————
11 Gases combustible	—————●—————●—————●—————
12 Bagazo	—————
13 Extracciones	—————●—————●—————●—————
14 Agua (símbolo general)	————— a —————
15 Agua sin tratar (cruda)	————— ast —————
16 Agua tratada	————— at —————
17 Agua tratada con cal	————— at-Ca(OH) ₂ —————
18 Agua filtrada	————— aff —————
19 Agua para lavado de filtros mecánicos	————— alf —————
20 Agua para contralavado de filtros intercambiadores iónicos	————— ali —————
21 Agua fría	————— af —————
22 Agua caliente	————— ac —————
23 Agua de rechazo	————— ar —————
24 Lechada de cal	————— Ca(OH) ₂ —————
25 Azúcar	————— AZ —————

Tabla 4-2

		Continuación
	MEDIO DE TRABAJO	SÍMBOLO
26	Cachaça	_____ c _____
27	Masa Cocida	_____ mc _____
28	Magma	_____ mg _____
29	Sirope (meladura)	_____ s _____
30	Gases o vapores incondensables	_____ i _____
31	Agua para lavado (símbolo general)	_____ al _____
32	Jugo	_____ j _____
33	Miel	_____ m _____

convencionalmente todos los medios utilizados para la dirección automática del proceso, excluyendo aparatos auxiliares tales como filtros y reductores de presión del aire, cajas de conexiones, fuentes de alimentación, relés, fusibles, etc.

En los esquemas funcionales se representan todos los tipos de dispositivos automáticos (de control, regulación, dirección programada, señalización, protección y bloqueo), utilizados en la dirección. Para los objetos complejos, los esquemas funcionales de control, regulación, señalización, y protección pueden realizarse separadamente, a fin de obtener planos más sencillos y fácilmente legibles.

Todos los medios de automatización son simbolizados en los esquemas funcionales según el sistema estatal de la Unión Soviética 3925-59. Simbología de los parámetros principales y símbolo convencional de los instrumentos en los esquemas de automatización de los procesos industriales.

Representación de los parámetros

Los símbolos de los parámetros de control y regulación fundamentales, se muestran en la tabla 4-3.

Para las magnitudes electrotécnicas se utilizan los siguientes símbolos: intensidad de la corriente: A

TABLA 4-3

PARÁMETROS	S I M B O L O	
	SEGUN EL SISTEMA ESTATAL DE LA URSS	EMPLEADO EN LA EDAI
TEMPERATURA	T	T
PRESIÓN	P	P
GASTO O CANTIDAD	G	F
NIVEL	H	N
HUMEDAD	M	H
DENSIDAD	ρ	D
VISCOSIDAD	μ	VI
CONCENTRACIÓN (SE PERMITE LA REPRESENTACIÓN DEL SÍMBOLO QUÍMICO O ₂ , CO ₂)	C	C (O ₂ , CO ₂)
TURBIDEZ	Φ	TU
COLOR	Q	—
FRECUENCIA (MECÁNICA)	F	CI (CICLO DE OPERACIÓN)
NÚMERO DE REVOLUCIONES	N	—
SITUACIÓN O POSICIÓN	S	S
DIFERENCIA DE DOS VALORES	Δ	—
PUREZA	DB	PU

tensión: V
potencia: W
frecuencia: Hz
resistencia: Ω ó R
desfase: ϕ

Simbología de las funciones

La simbología de las funciones de los aparatos de medición y de los reguladores se muestra en la Tabla 4-4.

Simbología de los instrumentos

Los símbolos utilizados para identificar instrumentos, se muestran en la Tabla 4-5.

Sobre la línea horizontal dentro del símbolo de los instrumentos, se simboliza el parámetro de medición o regulación (Tabla 4-3), y debajo de la línea se pone el símbolo de la función que realiza el instrumento (Tabla 4-4).

La representación de los sistemas de regulación, medición y señalización que están situados en diferentes aparatos (bloque-regulador, bloque-derivativo, instrumentos secundarios) es posible representarlos como un dispositivo regulador o de medición siempre que se simbolicen las funciones del conjunto.

Símbolos de transmisión

El símbolo de los tipos de transmisiones para la acción a distancia se expresa en la Tabla 4-6.

Representación de los elementos primarios

La Tabla 4-7, muestra los símbolos de los elementos primarios que reciben la acción de los parámetros

TABLA 4-4

SIGNO FUNCIONAL	S I M B O L O	
	SEGÚN EL SISTEMA ESTATAL DE LA URSS	EMPLEADO EN LA EDAI
INDICADOR	Π	I
REGISTRADOR	C	R
INTEGRADOR	\mathcal{N}	Σ
SEÑALIZADOR	CR	SÑ
TRANSMISOR	\mathcal{M}	T
SUMADOR (ALGEBRAICAMENTE)	CM	S
REGULADOR PROPORCIONAL	CM	P
REGULADOR INTEGRAL	AC	—
REGULADOR PROPORCIONAL INTEGRAL	$\mathcal{N}3$	PI
REGULADOR DIFERENCIAL	D ϕ	D
REGULADOR DE DOS POSICIONES	$\mathcal{T}3$	2P
AJUSTADOR	3G	AJ
PROGRAMADOR	$\mathcal{T}R$	Pg
RELACIÓN	Co	REL
TRANSDUCTOR	$\mathcal{T}P$	Td
AMPLIFICADOR	$\mathcal{Y}c$	A
RECORREDOR (SCANNER)	OB	RC

Tabla 4-5

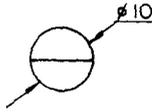
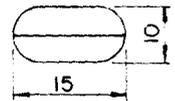
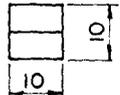
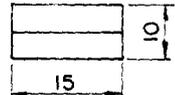
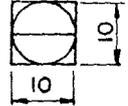
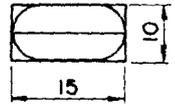
DENOMINACION	SIMBOLO Y MEDIDA	
	Básica	permisible
Instrumento de medición (indicador, registrador)		
Instrumento regulador (señalizador)		
Instrumento combinado de medición (señalizador) y regulador en un cuerpo		

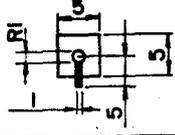
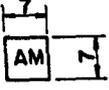
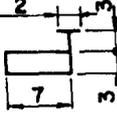
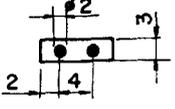
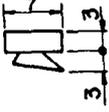
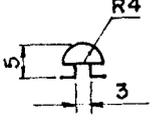
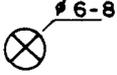
Tabla 4-7

DENOMINACION	REPRESENTACION Medidas en mm	DENOMINACION	REPRESENTACION Medidas en mm
Termómetro industrial		Termopar simple	
Termómetro de resistencia		Bulbo del termómetro manométrica	
Termómetro dilatométrico o de lámina bimetalica		Captador del pirómetro	
Captador de presión, nivel Contenido de gas o líquido		Metro contador de líquido o gas	
Dispositivo para medición de flujo		Rotámetro	
Captador del flujómetro de inducción		Vertedero	
Flotador de boya		Dispositivo detector de flujo	
Captador dinamométrico		Captador de capacidad eléctrica	
Captador de ultrasonido		Captador medidor de humedad	
Captador fotométrico		Captador para medir componentes físico-químico del proceso	

Tabla 4-7

	2	1	Continuación
Vaso de separación y/o de nivel		Cámara de transmisión de televisión	
Vaso de condensación		Receptor de video	
Captador tacométrico			
Mecanismo actuador de pistón		Mecanismo actuador de solenoide	
Mecanismo actuador de membrana		Mecanismo actuador por motor eléctrico a) corriente alterna b) corriente continua	
Mecanismo actuador me. cónico		Válvula de regulación	
Válvula o compuerta de 3 vías		Válvula reguladora de compuerta	
Válvula o compuerta de mariposa		Conmutador para circuitos de medición eléctrica	
Panel de mando a distancia de circuitos neumáticos o hidráulicos		Conmutador para circuitos de aire o gases	

Tabla 4-8

DENOMINACION	REPRESENTACION Medidas en mm	DENOMINACION	REPRESENTACION Medidas en mm
Conmutador para circuitos de mando eléctrico		Arranques magnético	
Estación de botones		Interruptor límite	
		Sirena eléctrica	
Timbre eléctrico		Lámpara de señales	

- 202 -

Métodos de realización de los esquemas funcionales de automatización

Todos los restantes aparatos de automatización (transmisores, instrumentos secundarios, reguladores, bloques funcionales, dispositivos de comparación, conmutadores, dispositivos eléctricos de recepción, computadoras de control y dirección) deben representarse en los esquemas por los métodos

De acuerdo con el primer método de representar los símbolos de los medios automáticos se señalan en el esquema tecnológico cerca de los elementos primarios (captadores) y de los elementos finales de regulación. Este método no da la representación de la colocación de los dispositivos automáticos en los pupitres y paneles de automatización.

En el segundo método, los símbolos del aparato se sitúan en la parte inferior del esquema funcional de automatización. Con esto, a lo largo del eje horizontal se hacen rectángulos que representan los pupitres y paneles.

En la figura se ha representado un tanque intermedio como objeto de regulación de nivel y el calentador como objeto de control de presión y temperatura.

En este dibujo se señala: 1a) regulador del nivel; 1b, 2c, 5d, instrumentos secundarios; 1c, mecanismo ejecutivo; 2a, diafragma; 2b, manómetro diferencial; 3a, 4a, manómetros; 5a, 5b, 5c, 5e, manómetros de resistencia; 5d, interruptor eléctrico.

Representación de los pupitres y paneles de automatización

El número de los rectángulos representados, deben corresponder a los paneles y pupitres existentes. En los rectángulos se señala la simbología del instrumento que ha sido instalado en el panel correspondiente. Para los instrumentos principales instalados directamente en el lugar del equipo tecnológico (por ejemplo, los manómetros diferenciales, los reguladores de acción directa, etc.) se hace un rectángulo separado. Se recomienda colocar los rectángulos de arriba hacia abajo en el siguiente orden:

- instrumentos locales (si se instalan sin pupitres y paneles);
- paneles de los instrumentos locales y de dirección local;
- panel de los instrumentos secundarios con bloques de regulación y convertidores;
- panel de señalización.

El segundo método de realización de los esquemas funcionales de automatización es más evidente, ya que indica la posición real de los aparatos en los paneles. Por tal razón este método es el más usado.

Métodos de representación de los instrumentos en los esquemas funcionales

Es posible representar de una forma simple y combinada el instrumento automático dentro de los rectángulos que representan paneles.

En la representación detallada se señalan todos los elementos de los dispositivos automáticos; en la simple, sólo los instrumentos secundarios y reguladores (los instrumentos primarios, los elementos de ajuste, convertidores amplificadores, bloques funcionales, etc. no se señalan en el esquema. Frecuentemente se unifican ambos métodos y se señala la parte de los instrumentos automáticos en una forma detallada y la otra parte de un modo simple, obteniéndose de ese modo una representación combinada.

Conexión de las representaciones

Los símbolos de los puntos de medición de los captadores seleccionados y también de los mecanismos ejecutivos, se conectan con los símbolos de los instrumentos principales y de los reguladores, por medio de líneas finas. Si el esquema es complicado, se recomienda emplear el método de direcciones (Fig. 4-1). En este método las líneas de unión se cortan y a cada extremo de las mismas le corresponde un número arábigo: Se empieza a enumerar, de izquierda a derecha, en los extremos de la líneas de unión que sale del rectángulo correspondiente a los dispositivos en el lugar y luego se indica en el plano con el mismo número la línea de unión.

Si en el esquema se utilizan repetidamente instrumentos locales con características iguales, entonces basta representar un instrumento, indicando la cantidad existente. Las líneas de unión en es

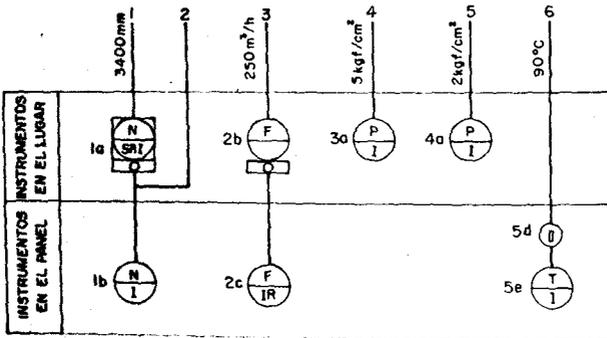
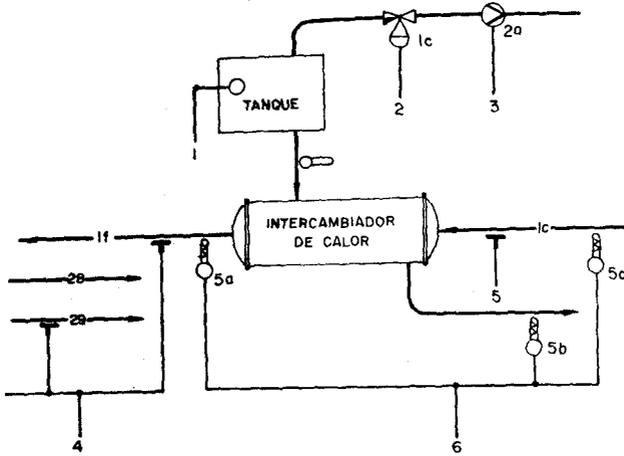


Fig. 4-1

te caso se unifican en una. Las líneas de conexión de los símbolos de los dispositivos automáticos con contactos eléctricos que se utilizan en el esquema eléctrico de señalización, bloqueo o protección, se unen en una línea horizontal marcándola con su función sin dar detalles, por ejemplo, al esquema de señalización.

Marcaje de los símbolos de medios de automatización

A cada elemento de los dispositivos automáticos, le corresponde en el esquema una marca posicional. Todos los elementos de un lazo de regulación automática o de control (punto de medición, captador, instrumento secundario, regulador, mecanismo ejecutivo, elemento final) se simbolizan con una cifra y una letra como subíndice. El número 1 corresponde al primer lazo automático de izquierda a derecha, el 2, al segundo lazo en el mismo orden y así sucesivamente. Para diferenciar los elementos de un mismo lazo, al lado del número se coloca un índice literal; correspondiendo una letra diferente a cada elemento del lazo. Los elementos de un lazo que por su construcción forman parte inseparable de otro elemento del lazo, no se marca aunque se represente separadamente; por ejemplo, el bulbo del termómetro manométrico.

Frecuentemente el mecanismo ejecutivo y el elemento final se fabrican unidos, por ésto en el esquema les corresponde un solo índice.

Para identificar los aparatos y dispositivos eléctricos en el esquema funcional de automatización, se

permite usar los símbolos empleados en los esquemas eléctricos.

4.2.2. Esquemas eléctricos principales, de dirección, señalización, bloqueo y protección

Objetivo

Los esquemas eléctricos principales (EEP) - de automatización, sirven para interrelacionar los dispositivos y aparatos eléctricos con sus elementos, garantizando la dirección automática del proceso. En dependencia de la función realizada, al esquema le corresponderá una de las siguientes denominaciones:

"Esquema Principal Eléctrico de Dirección" (por ejemplo, el motor eléctrico) "Esquema Principal Eléctrico de Señalización" o "Esquema Principal Eléctrico de Protección" - (por ejemplo, el agregado de caldera). Algunas veces los Esquemas Principales Eléctricos se denominan esquemas elementales.

El esquema principal eléctrico de automatización es el documento técnico fundamental de la parte eléctrica del proyecto. Se utiliza para el montaje, ajuste y mantenimiento de los aparatos eléctricos.

Sobre el cuadro en la parte derecha del plano, se indican las especificaciones de los elementos usados.

Representación de los elementos eléctricos

Los esquemas eléctricos principales se realizan de acuerdo con reglas determinadas. Existen los símbolos convencionales del Sistema Estatal de la URSS G.747-08 y otros particulares que se emplean en Cuba. Estos los podemos apreciar en la Tabla 4-9.

Esquemas Eléctricos

El esquema eléctrico de automatización incluye la representación de los circuitos de fuerza, los esquemas elementales (de dirección de los motores eléctricos, regulación, bloqueo y señalización); con tablas que esclarecen su funcionamiento y tablas de símbolos gráficos que serán comprendidos en los libros de automatización. También se representan los contactos eléctricos de los aparatos conectados en otros esquemas.

Los circuitos principales de fuerza (barras) se representan con líneas horizontales de un grosor de 1,5 - 2 mm con una distancia entre ellas de 10 - 15 mm (Fig. 4-10). La barra de 0 se representa por una línea discontinua.

Los circuitos principales de los diferentes consumidores (transformadores, motores eléctricos), se señalan en el esquema con líneas verticales de un grosor de 1 - 1,5 mm con una distancia entre líneas de 15 - 20 mm.

Los esquemas eléctricos principales se colocan a la derecha de circuitos consumidores, a excepción de los esquemas de señalización, los cuales se pueden

Tabla 4-9

DENOMINACION	SIMBOLO DE LA EDAI (Cuando no sea igual al Sistema Est. de la URSS)	SIMBOLO
Cuerpo		
Tierra		
Unión eléctrica metálica soldada y con tornillo		
Fusible		
Contactos del interruptor		
Contactos del relé		
Contactos de arranque		
Botón		
Interruptor		
Devanado de relé, bobina del arranque magnético		
Resistor		
Capacitor fijo		
Inductancia		
Relé térmico		
Diodo semiconductor		