

## Експериментален модел на динамиката на нивото в парогенератор ПГВ-4ЕМ

Александър Григоров, Валентин Станчев, Събин Събинов

*Резюме:* В доклада е представен модел на нивото в парогенератор ПГВ-4ЕМ, получен чрез активна идентификация на свойствата на изследвания обект. Проведени са серия натурни експерименти с парогенераторите на 3 блок на АЕЦ "Козлодуй". Експерименталната информация е обработена до получаване на непрекъснати предавателни функции, като са използвани възможностите на MATLAB.

### Experimental model of the level dynamics in steam generator PGV-4EM

Alexander Grigоров, Valentin Stanchev, Sabin Sabinov

*Abstract:* In the paper is presented a model of the water level in steam generator PGV-4EM, obtained by active identification of the investigated plant properties. It is carried out a series of experiments with the steam generators of unit 3 in NPP "Kozloduy". The experimental information (records) is processed to obtaining of continued transfer functions, with using of the MATLAB resources.

#### Въведение

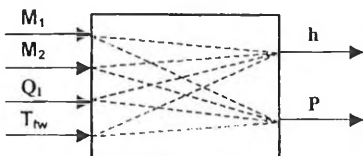
Познаването на динамиката на нивото в парогенераторите позволява решаването на задачи свързани както с анализа на съществуващите системи за регулиране, така и при синтеза и тестването на нови алгоритми за управление при преходни режими предизвикани от дълбоки смущения.

Аналитичният модел [2], когато е верифициран, е добра база за анализ на свойствата на обекта при различни режимни условия, но в него не би могло да се отчетат всички експлоатационни условия за всеки един от шестте, работещи в паралел, парогенератори от енергоблока.

Безспорно за точни оценки на отклоненията на нивата в преходни режими е необходимо да се използва "по-адекватен" модел, получен чрез активна идентификация на конкретен парогенератор.

#### 1. Параметрична структура на парогенератора.

Изходни параметри на парогенератора са: ниво на вода ( $h$ ) и налягане на пара ( $P$ ) в парогенератора (фиг.1). Поради паралелната работа на шестте парогенератора на общ колектор (главен парен колектор - ГПК), налягането във всеки от тях само се контролира, без да се управлява. Управлението на налягането е общо за всички парогенератори и е локализирано като обект за управление в ГПК.



Фиг. 1 Параметрична структура

Вътрешен, индивидуален регулируем параметър на всеки парогенератор е нивото.

От четирите входни въздействия, показани на фиг. 1, разхода на захранваща вода ( $M_1$ ) е регулиращото въздействие, а разхода на пара ( $M_2$ ) от парогенератора е основно външно смущение. То може да се изменя с по-

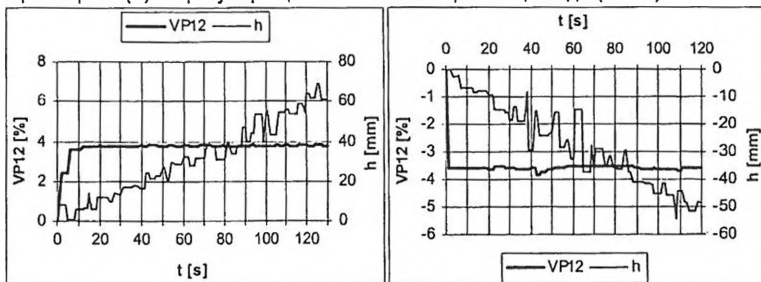
голяма скорост (особено при изключване на турбогенератор) и е най-тежко за отработване от системата за регулиране на нивото. Останалите две смущения: температура на подхранваща вода ( $T_{fw}$ ) и подведена топлинна мощност от I контур ( $Q_1$ ) технологично е невъзможно бързо да се променят. Независимо от това, за пълен модел е необходимо да се извърши идентификация на свойствата по четирите динамични канали:

- канал на управлението "разход захранваща вода-ниво" (" $M_1$ -h");
- канал на основното външно смущение "разход пара-ниво" (" $M_2$ -h");
- канал на допълнително външно смущение "топлинна мощност от първи контур-ниво" (" $Q_1$ -h").
- канал на допълнително външно смущение "температура на захранваща вода-ниво" (" $T_{fw}$ -h");

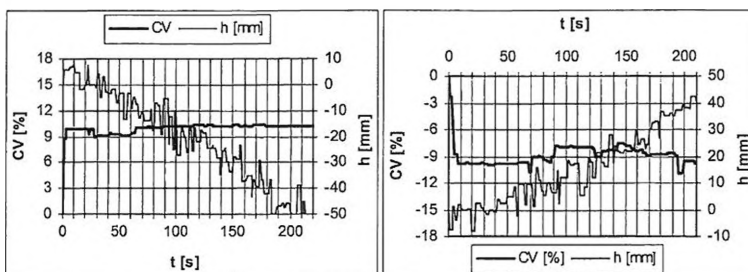
## 2. Описание и резултати от проведените експерименти.

За изследване свойствата на парогенератора по четирите динамични канали, дефинирани в т. 1, по предварително съгласувана програма са проведени серия активни експерименти с парогенератор 5 на блок 3 в АЕЦ "Козлодуй". Общи за всички изходни режими са товара на парогенератора – 360 t/h (80% от номиналния) и налягане 4,7 МПа. Регистрацията на параметрите е извършена с информационната система на блока (КСПО).

На фиг. 2а и 2б е показана двойка преходни характеристики на нивото по динамичния канал " $M_1$ -h", при входен сигнал съответно отваряне ( $\uparrow$ ) / притваряне ( $\downarrow$ ) на регулиращия вентил за захранваща вода (VP12).

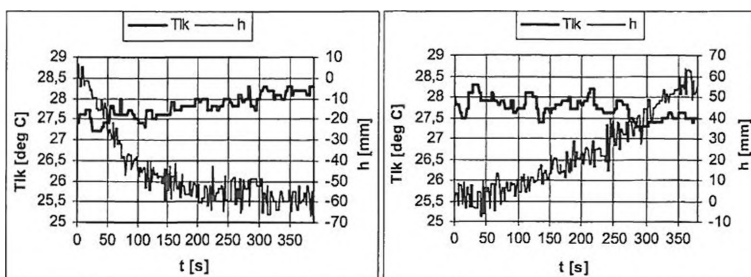
Фиг. 2а, 2б. Преходни характеристики по динамичния канал " $M_1$ -h".

На фиг. 3а и 3б е показана двойка преходни характеристики на нивото по динамичния канал "M<sub>2</sub>-h", при входен сигнал съответно отваряне/притваряне на регулиращите клапани (CV) на една от турбините К-220-44.



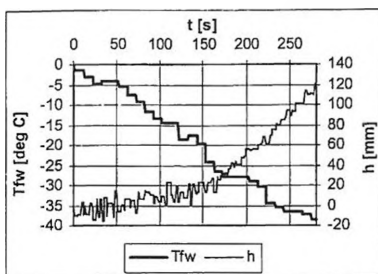
Фиг. 3а, 3б. Преходни характеристики по динамичния канал "M<sub>2</sub>-h".

Голямата топлоакмулираща способност на I контур от една страна и технологичните ограничения относно скорост на изменение на реакторната мощност от друга - не позволяват скокообразно изменение на Q<sub>i</sub>. С отчитане на последното за изследване на канала "Q<sub>i</sub>-h" линейно е изменен входния сигнал. На фиг. 4а и 4б е показано изменението на нивото при увеличаване/намаляване на мощността, представена чрез температурната разлика на I контур (T<sub>ik</sub>)



Фиг. 4а, 4б. Експериментални характеристики по динамичния канал "Q<sub>i</sub>-h"

Изменение на температурата на захранваща вода (T<sub>fw</sub>) технологически се осъществява чрез байпасиране по захранваща вода на подгреватели високо налягане (ПВН). При това T<sub>fw</sub> намалява до тази в деаератора. Изменението на сигналите при този експеримент е показано на фиг. 5.



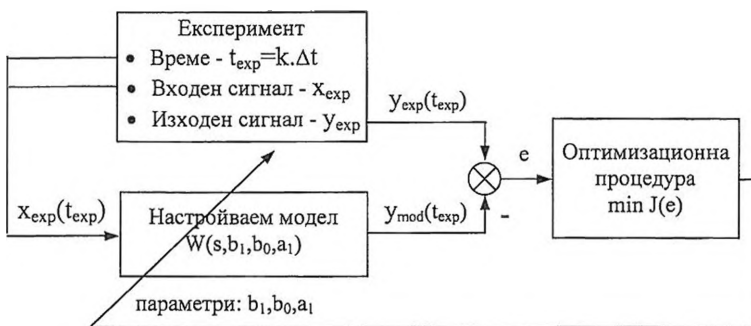
Фиг. 5 Експеримент по канал "Т<sub>w</sub>-h"

### 3. Обработка на експерименталната информация.

Крайната цел на обработката е получаване на математически модели на динамичните канали във вид на непрекъснати предавателни функции. Това по същество е решаване на задачата за оценка на параметрите на подходящ апроксимиращ модел, изразен чрез предавателна функция. Съществуват различни методи за решаване на тази задача. Ефективен и даващ възможност за

изследване на различни по структура апроксимиращи модели е оптимизационният метод с използване на ресурсите на MATLAB.

Същността и реализацията на оптимизационния метод в MATLAB са представени в [1]. В настоящата работа е направена модификация на постановката – фиг. 6.



Фиг. 6 Модифициран оптимизационен метод в MATLAB

Различието се състои в това, че на входа на модела (създаден в графичната среда на MATLAB – SIMULINK) вместо да се подаде теоретичен тип сигнал (стъпаловидно или линейно въздействие), се подава реалния входен сигнал от експеримента, т.е.  $X_{mod} = X_{exp}$ . По този начин моделът се поставя при същите условия, при които е проведен експеримента, което безспорно се отразява върху реалността на крайните резултати.

Методът в съответствие със схемата на фиг. 6 е реализиран като потребителска програма в MATLAB. По-важните стъпки са:

- въвеждане на данните за експеримента, които са съхранени в текстови файл, съдържащ времето  $t_{\text{exp}} = k \cdot \Delta t$ ,  $k=0:n$ ;  $\Delta t$  е стъпката на дискретизация по време, в конкретния случай  $\Delta t=1$  s; входния, и изходния сигнал в съответните времеви моменти;
- симулиране на модела със същата стъпка и входен сигнал, както при експеримента. Стойностите на параметрите в модела за първата итерация може да се зададат, в противен случай се тръгва с нулеви стойности. В резултат на симулацията на модела се получава изходен сигнал  $y_{\text{mod}}(t_{\text{exp}})$ ;
- формира се грешката  $e = y_{\text{mod}} - y_{\text{exp}}$ . Оптимизационна процедура

изчислява критерия  $J(e) = \sum_{k=0}^n e^2(k)$  при всеки набор от стойности и на

всяка следваща итерация варира параметър до намиране на  $\min J(e)$ . Стойностите на параметрите, съответстващи на минимума на критерия, са най-добрата апроксимация за зададената структура.

#### 4. Резултати и изводи.

От показаните на фиг. 2, 3, 4 и 5 експерименти, само един показва наличие на свойството самоизравняване, а при останалите то отсъства. Моделите, с изключение на експерименти – фиг. 3а и фиг. 4а, са търсени със структура:

$$W_{x-y}(s) = \frac{1}{s} \frac{b_0}{a_1 \cdot s + 1} \quad (1)$$

За експеримента по канала "M<sub>2</sub>-h" (фиг. 3а), в който е налице явлението "набухване" на водното ниво и за канала "T1k-h" са търсени модели със структури, съответно:

$$W_{x-y}(s) = \frac{1}{s} \frac{b_1 \cdot s + b_0}{a_1 \cdot s + 1} \quad (2), \quad W_{x-y}(s) = \frac{b_0}{a_1 \cdot s + 1} \quad (3)$$

Получени са следните предавателни функции:

- по динамичния канал "M<sub>1</sub>-h":

$$\uparrow W_{M_1-h}(s) = \frac{1}{s} \frac{0.13}{0.36 \cdot s + 1} \text{ [mm/\%]}; \quad \downarrow W_{M_1-h}(s) = \frac{1}{s} \frac{0.13}{0.35 \cdot s + 1} \text{ [mm/\%]};$$

- по динамичния канал "M<sub>2</sub>-h":

$$\uparrow W_{M_2-h}(s) = \frac{1}{s} \frac{0.83 \cdot s - 0.03}{1.26 \cdot s + 1} \text{ [mm/\%]}; \quad \downarrow W_{M_2-h}(s) = \frac{1}{s} \frac{-0.07}{229.6 \cdot s + 1} \text{ [mm/\%]};$$

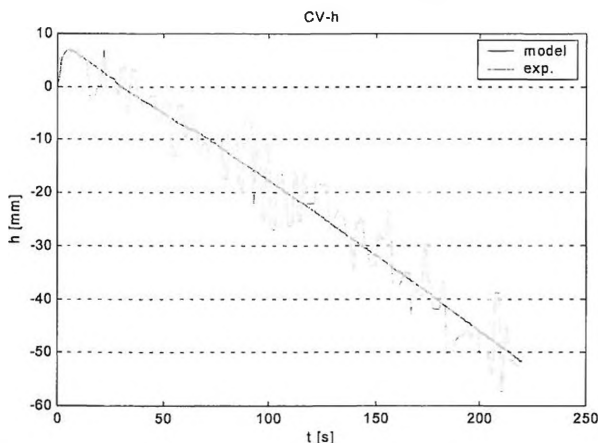
На фиг. 7 са показани експериментално заснетата и апроксимиращата преходни характеристики при отваряне на регулиращите клапани на една от турбините.

- по динамичния канал "T1k-h":

$$\uparrow W_{T1k-h}(s) = \frac{-2.14}{85.9 \cdot s + 1} \text{ [mm/°C]}; \quad \downarrow W_{T1k-h}(s) = \frac{1}{s} \frac{-0.01}{175.1 \cdot s + 1} \text{ [mm/°C]};$$

- по динамичния канал "Т<sub>fw</sub>-h":

$$\uparrow \quad \quad \quad ; \quad \quad \quad \downarrow W_{T_{fw}-h}(s) = \frac{1}{s} \frac{-0.05}{140.2s + 1} [\text{mm}/^{\circ}\text{C}];$$



Фиг. 7 Апроксимация на характеристика по динамичния канал "M<sub>2</sub>-h"

Само резултатите по управляващия канал показват устойчивост на структурата му и параметрите ѝ. Останалите резултати се различават в посока увеличаване/намаляване на входния сигнал. Това може да се обясни с нелинейността на свойствата на пароводната смес в парогенератора, както и с огромната му топлоакмулираща способност.

#### Литература

[1] Гарипов Е., Оценяване на непрекъснатата предавателна функция на изследвания обект въз основа на преходната му характеристика, сп. "Автоматика и информатика", бр. 3/2003 г., стр. 50-55.

[2] Григоров А., Аналитичен модел на нивото в хоризонтален парогенератор ПГВ-4ЕМ за блокове ВВЕР-440, "Енергиен форум 2003", т. I, стр. 287-292, Варна, 12-15.06.2003.

#### Автори:

доц. д-р Александър Григоров, ТУ-София, e-mail: grigorov@tu-sofia.bg

доц. д-р Валентин Станчев, ТУ-София, e-mail: stanchev@tu-sofia.bg

инж. Събин Събинов, "АЕЦ Козлодуй" ЕАД, e-mail: sabinov@npp.cit.bg