ელექტროსისტემაში აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება კასკადური ჰიდროელექტროსადგურების გათვალისწინებით

გ.მახარაძე, თ.ჯიქია

განხილულია ელექტროსისტემაში აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების ამოცანა კასკადური ჰესების გათვალისწინებით.

სადგურთა სახარჯო მახასიათებელთა მათემატიკური გამოსახულებების საფუძველზე შედგენილია მიზნის ფუნქცია, შეზღუდვის განტოლებათა და მისი უტოლობათა სისტემა. ამოცანის ამოხსნისას გამოყენებულია ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა მეთოდი.

მიღებულია ელექტროსისტემაში ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის განაწილების ოპტიმიზაციის ამოცანის განტოლებათა სისტემა წყალსაცავიანი ჰესებთან კასკადში მომუშავე სეზონური ჰესების გათვალისწინებით, რომელთა მუშაობა რამდენამდე დაკავშირებულია მარეგულირებელი ჰესების მუშაობის რეჟიმთან.

საკვანძო სიტყვები: შეზღუდვის განტოლებები, სათბობის ხარჯის მინიმიზება, ფუნქციის ექსტრემუმი, აქტიური დატვირთვა, მაბალანსირებელი თბოსადგური.

ოპტიმიზაციის ამოცანის განტოლებათა სისტემა საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს აკავშირებს გამოსაკვლევი ობიექტის მუშაობის ძირითად სახასიათო პარამეტრებთან, რომლებიც ამოცანის საძიებელ პარამეტრებს წარმოადგენს.

ნებისმიერი ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმიზაციის მათემატიკური მოდელი ზოგადად შეიცავს განტოლებათა ხუთ ჯგუფს: ეფექტურობის ანუ მიზნის განტოლება, კავშირის განტოლება, შეზღუდვის განტოლებები და მისი უტოლობები, ოპტიმალური მართვის განტოლება, ადაპტაციის განტოლება.

ელექტროსისტემაში ელექტროსადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილება ერთ-ერთი ძირითადი ღონისძიებაა, რომლითაც მიიღწევა პირველადი ენერგორესურსის მინიმალური ხარჯი. ელექტროსისტემაში, ლიმიტირებული (წინასწარ განსაზღვრული) ჰიდრორესურსის პირობებში, პირველადი ენერგორესურსის ხარჯის მინიმიზაციის ამოცანა დადის თბოსადგურებზე სათბობის ხარჯის მინიმიზაციის ამოცანამდე. ამ შემთხვევაში მიზნის ფუნქციას აქვს სახე [1-3]:

$$T = \sum_{t=1}^{k}\sum_{i=0}^{n} T_{i,t}\tau_t => min, \tag{1}$$

სადაც τ_t დროის ის ინტერვალია, რომლის განმავლობაში ელექტროსისტემის ჯამური დატვირთვა შეიძლება ჩავთვალოთ მუდმივ სიდიდედ (სიმარტივისთვის იღებენ $\tau_t = 1$ სთ); **k** - τ_t ინტერვალთა საერთო რაოდენობა განსახილველ პერიოდში; $T_{i,t}$ - **i**-ურ თბოსადგურებზე სათბობის საათური ხარჯი τ_t ინტერვალში; 0 – ინდექსი მინიჭებული აქვს მაბალანსირებელ თბოსადგურს; **n** - დანარჩენი თბოსადგურების საერთო რიცხვი.

კავშირის განტოლებებს წარმოადგენს ელექტროსადგურების სახარჯო მახასიათებლები მეორე რიგის პოლინომის სახით [2]:

$$T_{it} = T_{o,t} + a_i P_{i,t} + b_i P_{i,t}^2 \text{ (კგ/სთ)}; \quad i = 0,1,2,...n \tag{2}$$

და

$$Q_{jt} = Q_{o,j} + a_j P_{j,t} + b_j P_{j,t}^2 \text{ (მ}^3\text{/წმ)}; \quad j = \alpha,\beta,\mu. \tag{3}$$

აქ $\mathbf{T_{i,t}}$ - $\mathbf{i}$-ურ თბოსადგურზე სათბობის საათური ხარჯი; $\mathbf{Q_{j,t}}$ - $\mathbf{i}$-ურ ჰიდროსადგურზე წყლის ჯამური ხარჯი; $\mathbf{P_{i,t}}$ - თბოსადგურების დატვირთვა τ_t ინტერვალში; $\mathbf{P_{j,t}}$ - ჰიდროსადგურების დატვირთვა τ_t ინტერვალში; $\mathbf{T_{0,t}}$, $\mathbf{Q_{0,j}}$, $\mathbf{a_i}$, $\mathbf{b_i}$, $\mathbf{a_j}$, $\mathbf{b_j}$ - პოლინომის კოეფიციენტები; μ - ჰიდროსადგურების საერთო რიცხვი.

შეზღუდვის განტოლებათა სახით განიხილება:

- აქტიური სიმძლავრის ბალანსის განტოლება ყოველი τ_t ინტერვალისათვის

$$W_{p,t} = \sum_{i=0}^{n} P_{i,t} + \sum_{j=\alpha}^{m} P_{j,t} + \sum P_{\text{დან.სადგ.t}} - P_{\text{დატვ.t}} = 0, \tag{4}$$

სადაც $\mathbf{P_{\text{დან.სადგ.t}}}$ - სისტემაში მომუშავე დანარჩენი ელექტროსადგურები ჯამური დატვირთვა, მათ შორის იგულისხმება მარეგულირებელ ჰესებთან კასკადში მომუშავე სეზონური ჰესები, რომელთა მუშაობის რეჟიმი რამდენამდე დაკავშირებულია მარეგულირებელი ჰესების მუშაობის რეჟიმთან; $\mathbf{m}$ - მარეგულირებელი (წყალსაცავიანი) ჰიდროსადგურების საერთო რიცხვი $\mathbf{m}<\mu$;

- ცალკეული მარეგულირებელი ჰიდროსადგურისთვის წყლის სადღეღამისო ლიმიტი

$$W_{Q,j} = 3600 \cdot \sum_{t=1}^{24} Q_{j,t}\tau_t - Q_{j,\text{ლიმ}} = 0 \quad j = \alpha, \beta \dots m \tag{5}$$

სადაც $\mathbf{Q_{j,\text{ლიმ}}}$ $\mathbf{j}$-ური ჰესისთვის წყლის სადღეღამისო ლიმიტია (მ^3/დღე-ღამე).

შეზღუდვის უტოლობათა სახით გვაქვს

$$P_{i,\text{მინ}} \le P_i \le P_{i\text{მაქ}} \text{ და } P_{j\text{მინ}} \le P_j \le P_{j\text{მაქ}}. \tag{6}$$

ოპტიმალური მართვის, ანუ ოპტიმიზაციის განტოლება საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ პროცესის ოპტიმალური მართვა. იგი მიიღება მიზნის, კავშირისა და შეზღუდვის განტოლებათა ერთობლივი გათვალისწინებით და წარმოადგენს კავშირს საძიებელ ცვლადებსა და ოპტიმიზაციის ამოცანის მიზანს შორის.

ოპტიმიზაციის ამოცანათა ამოხსნისას გამოიყენება ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა მეთოდი, რომლის დროს (1) სახეში ჩაწერილი მიზნის ფუნქციის ექსტრემუმის ნაცვლად განიხილება ლაგრანჟის ფუნქციის ექსტრემუმი, რომელიც ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$L = T + \lambda_t W_{p,t} + \sum_{j=\alpha}^{m} \lambda_j W_{Q,j} \Rightarrow min,$$

ანუ

$$\begin{aligned} L = \Sigma_{t=1}^{24}\Sigma_{i=0}^{n}(T_{0,i,t} + a_i P_{i,t} + b_i P_{i,t}^2 + \\ + \Sigma_{i=1}^{24}\lambda_t(\Sigma_{i=0}^{n} P_{i,t} + \Sigma P_{dan.sadg.t} - \\ - P_t - \Delta P) + \Sigma_{j=a}^{m}\lambda_j[3600\Sigma_{t=1}^{24}(Q_{0,j,t} + aP_{j,t} + b_j P_{j,t}^2) - Q_{j,lim}] \Rightarrow \min. \end{aligned} \tag{7}$$

ამ გამოსახულებაში τ_t=1, ხოლო λ_t , λ_i წარმოადგენს ლაგრანჟის განუსაზღვრელ მამრავლთა სიმრავლეს.

ლაგრანჟის ფუნქციის (7) P_i და P_j ცვლადებით გაწარმოებით მივიღებთ

$$\left.\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial P_{0,t}} &= \varepsilon_{0,t} + \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{0,t}}\right) = 0\\
\frac{\partial L}{\partial P_{1,t}} &= \varepsilon_{1,t} + \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{1,t}}\right) = 0\\
&- - - - - - - - - - -\\
\frac{\partial L}{\partial P_{i,t}} &= \varepsilon_{i,t} + \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{i,t}}\right) = 0\\
&- - - - - - - - - - -\\
\frac{\partial L}{\partial P_{n,t}} &= \varepsilon_{n,t} + \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{n,t}}\right) = 0
\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

და

$$\left.\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial P_{\alpha,t}} &= \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{\alpha t}}\right) + 3600\lambda_{\alpha,t}\varepsilon_{\alpha,t} = 0\\
\frac{\partial L}{\partial P_{\beta,t}} &= \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{\beta t}}\right) + 3600\lambda_{\beta,t}\varepsilon_{\beta,t} = 0\\
&- - - - - - - - - - -\\
\frac{\partial L}{\partial P_{j,t}} &= \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{jt}}\right) + 3600\lambda_{j,t}\varepsilon_{j,t} = 0\\
&- - - - - - - - - - -\\
\frac{\partial L}{\partial m,t} &= \lambda_t\left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta P_{\mu t}}\right) + 3600\lambda_{m,t}\varepsilon_{m,t} = 0
\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

საძიებელ $P_{i,t}$ და $P_{j,t}$ ცვლადების მიხედვით ფუნქციის მინიმიზაციის მოთხოვნა გვაძლევს შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემას:

$$\varepsilon_{i,t} + \lambda_t = 0 \qquad i = 1,2 \dots n$$
$$\lambda_t + 3600\lambda_j\varepsilon_{j,t} = 0 \qquad j = \alpha \dots m.$$

მიღებულ განტოლებათა სისტემაში λ_t განუსაზღვრელი მამრავლის გამორიცხვის შემდეგ ვღებულობთ, რომ სადგურებს შორის აქტიური დატვირთვის ოპტიმალური განაწილების აუცილებელი პირობაა მათი პირველადი ენერგორესურსის ფარდობითი ნაზრდების ტოლობა

$$\varepsilon_{1,t} - \varepsilon_{2,t} - \dots \varepsilon_{n,t} - 3600\lambda_\alpha\varepsilon_{\alpha,t} - 3600\lambda_\beta\varepsilon_{\beta,t} - \cdots - 3600\lambda_m\varepsilon_{m,t} - \varepsilon_0 \tag{10}$$

$$\text{ანუ} \qquad \left.\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= \varepsilon_0\\
\varepsilon_2 &= \varepsilon_0\\
&- - -\\
\varepsilon_n &= \varepsilon_0\\
3600\lambda_\alpha\,\varepsilon_\alpha &= \varepsilon_0\\
&- - - -\\
3600\lambda_m\,\varepsilon_m &= \varepsilon_0
\end{aligned}\right\}.$$

(4), (5) და (10) განტოლებები ერთად წარმოადგენს განტოლებათა სისტემას, რომელიც (6) სახის უტოლობათა გათვალისწინებით საშუალებას გვაძლევს ამოვხსნათ დასმული ამოცანა.

ამ განტოლებათა სისტემაში შემავალი λ_j მამრავლი გამოხატავს მაბალანსირებელ თბოსადგურზე სათბობის ხარჯსა და j მარეგულირებელ ჰიდროსადგურზე წყლის ხარჯს შორის დამოკიდებულებას. კერძოდ, λ_j გვიჩვენებს j ჰიდროსადგურზე წყლის ხარჯის ერთი ერთეულით ($მ^3$) შეცვლისას, რა რაოდენობით შეიცვლება სათბობის ხარჯი (კგ) მაბალანსირებელ თბოსადგურზე. მას მოცემული ჰიდროსადგურისთვის ჰიდრორესურსის გამოყენების ეფექტურობის კოეფიციენტს უწოდებენ.

ლიტერატურა

1. მახარაძე გ. ენერგოსისტემების რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. თბილისი:ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2005.
2. **Веников В.А. и др. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. Учебник для Вузов. М.:Энергоиздат. 1981.**
3. **Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей. М.:Высшая школа. 1975.**