



**“Fizika-2005”  
Beynəlxalq Konfrans  
International Conference  
Международная Конференция**



7 - 9 **İyun** **June** **2005** №152 **səhifə** **page** **587-589**  
**Июнь** **стр.**

**Bakı, Azərbaycan**

**Baku, Azerbaijan**

**Баку, Азербайджан**

**ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВНЕПЛАНОВЫХ  
ИЗМЕНЕНИЙ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ  
С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗЬЮ.**

**РАХМАНОВ Н.Р., ЮСИФБЕЙЛИ Н.А., КУЛИЕВА С.Т.**

*Азербайджанский научно-исследовательский институт Энергетики и  
Энергетического проектирования.  
г. Баку, пр. Г. Зардаби, 94  
Az1012, E-mail: [nariman@cpee.az](mailto:nariman@cpee.az)*

Дается формализация задачи оптимального распределения активной мощности с учетом величины внеплановых отклонений перетока по межсистемной связи. Предложена методика расчета удельного прироста перетока по мощностям станций.

**ВВЕДЕНИЕ.**

Производство электроэнергии электростанциями в параллельно работающей энергосистеме определяется количеством её продаж на рынке электроэнергии внутри страны и по межгосударственным электропередам. На основе этой информации и исходных данных о располагаемой мощности электростанций энергосистемы, схеме и параметрах электрической сети определяются потоки мощности по ветвям и напряжения в узлах. Если в какой-либо ветви мощность перетока отклоняется от запланированной и оказывается перегруженной, то диспетчер перераспределяет нагрузку между станциями таким образом, чтобы устранить эти перегрузки [1].

Величина отклонения мощности может быть положительной или отрицательной, в зависимости от того, уменьшается или увеличивается генерация мощности относительно планируемой величины. Аналогично, может считаться положительной или отрицательной стоимости произведенной электроэнергии в энергосистемах ОЭС.

Предполагаемая величина изменения мощности для каждой станции является составляющей общей суммарной мощности уменьшения или увеличения производства электроэнергии для всей энергосистемы. Каждая энергосистема определяет для себя объем дополнительной мощности для перераспределения между электростанциями исходя из минимума стоимости затрат на производство электроэнергии.

Диспетчер энергосистемы оптимизирует перераспределение предполагаемой дополнительной мощности между станциями по критерию наименьших затрат производства электроэнергии в системе. Зависимость целевой функции при такой оптимизации представлена на Рис. 1.

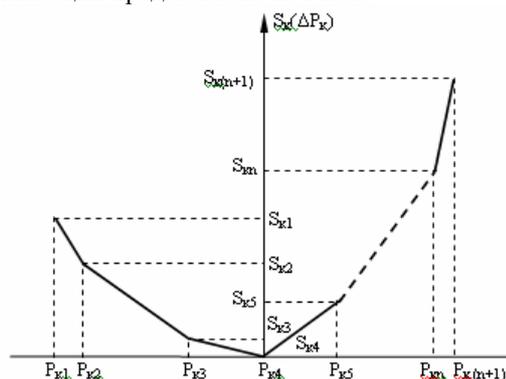


Рис.1. Зависимость функции цепи от изменения мощности генерации.

Зависимость между ценой  $C_{k,i}$   $i$ -го предложения мощности для  $k$ -ой электростанции, величиной предлагаемой мощности  $P_{k,i}$  и значением целевой функции  $S_k$  выражается в виде:

$$C_{k,i} = \frac{S_{k,i+1} - S_{k,i}}{P_{k,i}} = \frac{S_{k,i+1} - S_{k,i}}{\Delta P_{k,i+1} - \Delta P_{k,i}} \quad (1)$$

где  $\Delta P_k$  – дополнительная нагрузка на  $k$ -ой станции от перераспределения внепланового перетока.

Целевая функция состоит из линейных участков, число которых равно числу предложений для определенного источника. Очевидно, что узел нагрузки может быть также рассмотрен как источник с отрицательным значением мощности. Это означает, что нагрузка может рассматриваться как предложение мощности.

### МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВНЕПЛАНОВОГО ПЕРЕТОКА.

Модель, оптимизирующая суммарные затраты на выработку электроэнергии между станциями с учетом величины добавленной мощности от внеплановых отклонений перетока, описывается в виде следующей зависимости:

$$\min_{\Delta P_k} \left\{ \sum_{k \in \Psi} S_k(\Delta P_k) \right\} \quad (2)$$

где  $\Psi$  – совокупность всех источников, включенных в управление мощностью перетока.

При оптимальном перераспределении мощности перегрузки должны быть учтены режимные ограничения для каждого генератора в виде

$$\Delta P_{k,\min} \leq \Delta P_k \leq \Delta P_{k,\max} \quad (3)$$

Кроме того, должно быть выполнено условие баланса мощности.

$$\sum_{k \in \Psi} \Delta P_k = 0 \quad (4)$$

При перераспределении мощности должны быть учтены ограничения по допустимым перетокам по контролируемым ЛЭП

$$\left| P_{o,ij} + \Delta P_{ij} \right| \leq P_{ij,\max} \quad (5)$$

где  $P_{ij,M}$  – пропускная способность ЛЭП  $ij$  ;

$P_{o,ij}$  – поток активной мощности в ЛЭП  $ij$  в исходном режиме;  $\Delta P_{ij}$  – величина изменения мощности в ЛЭП  $ij$  после перераспределения генерации в энергосистеме.

При задании ограничения в виде уравнения (5) появляются два сложных момента. Первая состоит в том, что тах нагрузки линии обычно определяется как максимум тока линии, что соответствует появлению максимума потока мощности в линии.

Для устранения этой сложности производится декомпозиция активной и реактивной мощностей таким образом, чтобы реактивная мощность сохранялась неизменной при перераспределении активной мощности, тогда

$$P_{ij,\max} = \sqrt{S_{ij,M}^2 - Q_{ij,o}^2} \quad (6)$$

где  $S_{ij,M}$  – пропускная способность ЛЭП  $ij$  по величине полной мощности ;  $Q_{ij,o}$  – поток реактивной мощности в ЛЭП  $ij$  в исходном режиме.

Вторая сложность, связанная с ограничением (5) состоит в том, что оптимизируемая переменная (величина)  $\Delta P_k$  является аргументом для функции потока  $\Delta P_{ij}$ . Далее для упрощения моделирования зависимости (4) используется обобщенные показатели распределения генерации, что позволит получить непосредственную зависимость между изменением активной мощности в линии и оптимизируемыми переменными.

Обобщенные показатели (факторы) распределения генерации представляют линеаризованную зависимость между изменением мощности источника на шинах генерации  $k$  и изменением потока мощности в линии  $ij$

$$\Delta P_{ij} = D_{ij,k} \Delta P_k \quad (7)$$

Важнейшим свойством обобщенных факторов является то, что они могут быть вычислены непосредственно по элементам матрицы сопротивлений и исходным значениям мощностей потока в линии и нагрузки энергосистемы. Этот подход не требует итеративного расчёта. Из уравнений (5), (6) и (7) составлены уравнения ограничений по потокам мощности в линиях

$$\left| P_{ij,o} + \sum_{k \in \Psi} D_{ij,k} \Delta P_k \right| \leq \sqrt{S_{ij,m}^2 - Q_{ij,o}^2} \quad (8)$$

Таким образом, задача оптимизации полностью моделируется в виде следующих уравнений: функция цели (2), ограничения в виде равенства (4) и неравенства (3) и (8).

### ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПРИРОСТА ПЕРЕТОКА МОЩНОСТИ МСС ОТ ИЗМЕНЕНИЙ МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.

Очевидно, что при участии в регулировании нескольких станций полное отклонение мощности по каждой отдельной МСС будет [2]:

$$\Delta P_j = \sum_i^k \left( \partial P_j / \partial P_i^E \right) \Delta P_i^E \quad (9)$$

где  $\partial P_j / \partial P_i^E = D_{ji}$  – относительный прирост  $j$ -го перетока мощности от изменений мощности  $i$ -ой электростанции;  $\Delta P_j, \Delta P_i$  отклонения  $j$ -го перетока мощности и мощности  $i$ -ой станции соответственно.

Система (9) может быть представлена в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & \dots & D_{1K} \\ D_{21} & D_{22} & \dots & D_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{N1} & D_{N2} & \dots & D_{NK} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta P_1^E \\ \Delta P_2^E \\ \vdots \\ \Delta P_K^E \end{pmatrix} \quad (10)$$

Значение матрицы  $D_{ji}$  можно оперативно оценивать для каждого конкретного состояния и режимов работы энергосистемы. С учетом определенности значений  $D_{ji}$  можно представить изменения мощности перетока  $\Delta P_j$  в виде линейной зависимости от отклонений мощностей станций  $\Delta P_i^E$  как

$$|\Delta P_j| = |D_{ij}| |\Delta P_i^E| \quad (11)$$

Из изложенного следует, что управление мощностью каждой МСС можно выполнить путем дополнительного задания регулятором мощности электростанций воздействия пропорционального удельному приросту  $D_{ji}$  для изменения  $P_i^E$ . При этом воздействие регулятора на изменение мощности электростанций регулирующий поток по МСС будет осуществляться в соответствии с

$$P_i^E = \varphi(Y_R, d, \beta, D_{ij}) \quad (12)$$

Для выявления возможностей электрических станций системы «Азербээнержи» в регулировании перетоков мощности по МСС Яшма-Дербент и Имишли-Парсабат проведены расчеты потокораспределения в схеме системообразующей сети 220–330 кВ при вариациях генерации активной мощности в пределах технических ограничений для располагаемой активной мощности каждой станции и по их результатам получены оценки значений  $D_{ji}$

$$D_{ij} = \left[ P_j(z+1) - P_j(z) \right] / \left[ P_i^E(z+1) - P_i^E(z) \right] \quad (13)$$

где  $z$  – номер режима в системе.

При этом в каждом варианте расчета параметры схемы сети и мощностей станций не участвующих в регулировании принимаются неизменными.

Результаты расчетов для характерных часов суточного графика зимнего максимума и летнего минимума приведены в таблицах 1, 2.

По данным таблиц можно определить степень влияния регулирования мощности на электростанциях системы «Азербээнержи» на перетоки мощности по межсистемным электропередачам при различных максимумах спроса в энергосистеме.

Таблица 1. Оценки удельного прироста перетока мощности по ЛЭП Яшма-Дербент и Имишли-Парсабат от изменения мощностей электростанций для зимнего максимума нагрузки в энергосистеме.

Регулируемые электростанции	Средние значения $D_{ij} \frac{\text{МВт}}{\text{МВт}}$ , (относительно перетоков)	
	Яшма-Дербент	Имишли-Парсабат
АзГРЭС	0,40	0,19
Али-Байрамлы ГРЭС	0,21	0,57
Каскад Мин ГЭС и Шамкир ГЭС	0,39	0,24

Таблица 2. Оценки удельного прироста перетока мощности по ЛЭП Яшма-Дербент и Имишли-Парсабат от изменения мощностей электростанций для зимнего максимума нагрузки в энергосистеме.

Регулируемые электростанции	Среднее значения $D_{ij} \frac{\text{МВт}}{\text{МВт}}$ , (относительно перетоков)	
	Яшма-Дербент	Имишли-Парсабат
АзГРЭС	0,34	0,29
Али-Байрамлы ГРЭС	0,19	0,47
Каскад Мин ГЭС	0,47	0,23

Как видно, на регулирование перетока по ЛЭП Яшма-Дербент практически равное влияние оказывают изменения мощностей на ГРЭС и ГЭС.

[1]. Юсифбейли Н.А., Гусейнов А.М. Проблемы обеспечения режимной надежности параллельной синхронной работы энергосистем Азербайджана и Ирана. // Проблемы энергетики №3, 2004.

[2]. Рахманов Н.Р., Рахманов Р.Н. Идентификация математической модели в системах регулирования обменной мощностью в ОЭС. // Conference Proceedings of first International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering (TPE-2002) Baku.