

## ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Говоров Ф.П.

Харьковская государственная академия городского хозяйства

*The criteria and parameters of optimization of working regimes in city power networks have been considered by authors in article to be proposing for your attention*

Системы электроснабжения (СЭС) городов являются основным элементом систем городского хозяйства. Они составляют основу действия всех подсистем. Высокие темпы развития технических средств, рост сложности и многообразия техносферы городов породили множество трудностей, большинство из которых в настоящее время выросло до уровня проблем (экологических, социальных и др.). Это обстоятельство делает необходимым учет всех явлений, сопутствующих этому процессу, ибо человек, биосфера и техносфера все в большей степени превращается в замкнутый комплекс, который не только функционирует благодаря человеку, но и одновременно, прямо либо косвенно, воздействует на него. Это требует признания большей широты рассматриваемой проблемы, охватывающей интересы не только человека, но и общества в целом, поиска новых технических решений, учитывающих критерий социально-технической и экологической адекватности. Поэтому целевая функция оптимизации режимов СЭС городов представлена в виде

$$F = \bar{f}_{\text{э.экон}} + \bar{f}_{\text{э.экол}} + \bar{f}_{\text{э.соц}}, \quad \forall \bar{f}_{\text{э.тех.min}} \leq \bar{f}_{\text{э.тех}} \leq \bar{f}_{\text{э.тех.max}},$$

где  $\bar{f}_{\text{э.экон}}$ ,  $\bar{f}_{\text{э.экол}}$ ,  $\bar{f}_{\text{э.соц}}$ ,  $\bar{f}_{\text{э.тех}}$  - векторы экономической, экологической, социальной и технической эффективности соответственно.

Оценка экономической эффективности работы СЭС в настоящий момент осуществляется по векторному критерию, включающему показатели экономичности, надежности и качества электроснабжения. С учетом вышесказанного критериальная функция экономической эффективности СЭС городов представлена в виде:

$$\bar{f}_{\text{э.экон}} = \bar{f}_{\text{э}} + \bar{f}_{\text{н}} + \bar{f}_{\text{к}},$$

где  $\bar{f}_{\text{э.экон}}$  - обобщенный критерий экономической эффективности СЭС;  $\bar{f}_{\text{э}}$ ,  $\bar{f}_{\text{н}}$ ,  $\bar{f}_{\text{к}}$  - частные критерии экономичности, надежности и качества электроснабжения, соответственно.

В качестве критерия экономичности работы СЭС городов принят минимум затрат на производство, передачу и распределение ЭЭ

$$\bar{f}_{\text{э}} = Z_{\text{п}} + Z_{\text{пр}} \rightarrow \min,$$

где  $Z_{\text{п}}$ ,  $Z_{\text{пр}}$  - затраты на производство, передачу и распределение ЭЭ.

Затраты на производство ЭЭ представлены в виде:

$$Z_{\text{п}} = Z_0 + Z(P) + W_{\text{э}} \cdot C_{\text{э}},$$

где  $Z_0$  - постоянная составляющая затрат, не зависящая от режимов работы СЭС (зарплата персонала, амортизационные отчисления и т.д.);  $Z(P)$  - затраты на энергоресурсы, зависящие от режимов работы СЭС, значения нагрузок и числа работающих агрегатов ТЭС;  $W_{\text{э}}$ ,  $C_{\text{э}}$  - количество и стоимость ЭЭ, потребляемой от энергосистем.

Величина затрат на передачу и распределение ЭЭ определяется параметрами и характером электропотребления (рис. 1)

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v_n \cdot \Delta P_{\text{pikn}}^t (\cos \varphi_{\text{pikn}}^t, K_{\text{HCUpikn}}^t, K_{0\text{pikn}}^t, K_{2\text{pikn}}^t, \delta \delta_{\text{pikn}}^t) dt + K_{\text{pikn}} v_t (\cos \varphi_{\text{pikn}}^t, K_{\text{HCUpikn}}^t, K_{0\text{pikn}}^t, K_{2\text{pikn}}^t, \delta \delta_{\text{pikn}}^t) dt$$

где  $\Delta P_{\text{pikn}}^t$  - математическое ожидание потерь мощности в  $n$ -ом элементе сети  $k$ -го узла нагрузки, питаемого от  $i$ -го блока  $p$ -ой ТЭС в момент времени  $t$ ;  $\cos \varphi_{\text{pikn}}^t$ ,  $K_{\text{HCUpikn}}^t$ ,  $K_{0\text{pikn}}^t$ ,  $K_{2\text{pikn}}^t$ ,  $\delta \delta_{\text{pikn}}^t$  - значение параметров режима в тот же момент времени;  $v_n$  - стоимость потерь ЭЭ;  $t_{\text{pikn}}$  - длительность  $t$ -ого интервала осреднения  $q$ -ого показателя экономичности либо качества  $n$ -ого элемента  $k$ -го узла  $i$ -го блока  $p$ -ой ТЭС;  $N$ ,  $K$ ,

I, P - общее число элементов, узлов и энергоблоков ТЭС; P - число ТЭС; T - общая длительность интервала.

В качестве критериев надежности и качества электроснабжения потребителей принято значение дополнительных затрат, связанных со снижением надежности  $Z_H$  либо качества  $Z_K$  снабжения ЭЭ ее потребителей, т.е.

$$\bar{f}_H = Z_H \rightarrow \min ; \quad \bar{f}_K = Z_K \rightarrow \min$$

$$Z_{H(K)} = \frac{Z_{H(K)}}{Z_{H(K)ном.}} = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{1}{T} \int_t^{t+T} A_{iH(K)} \Pi_{iH(K)}^2(t) \cdot P(t) dt}{\int_t^{t+T} P(t) dt}$$

$$\frac{\sum_{n=1}^N \frac{1}{T} \int_t^{t+T} A_{iH(K)} \Pi_{iH(K)ном.}^2(t) \cdot P(t) dt}{\int_t^{t+T} P(t) dt} = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \Pi_{iH(K)}^2(t) \cdot P(t) dt}{\int_t^{t+T} P(t) dt}$$

где  $A_{iH(K)}$  - постоянный коэффициент при i-ом показателе надежности (либо качества), учитывающий состав и требования потребителей и надежности к качеству электропотребления;  $\Pi_{iH(K)}$  - значение i-ого показателя надежности (либо качества); n - показатель степени,  $\Pi_{iH(K)ном.}$  - номинальное значение i-го показателя надежности (либо качества).

В качестве критерия экологической адекватности принято значение выбросов в атмосферу

$$M_i = a_i + C_i P + d_i P^2 ,$$

где a, c, d - постоянные коэффициенты, определяемые для каждого i-го блока по методу наименьших квадратов.

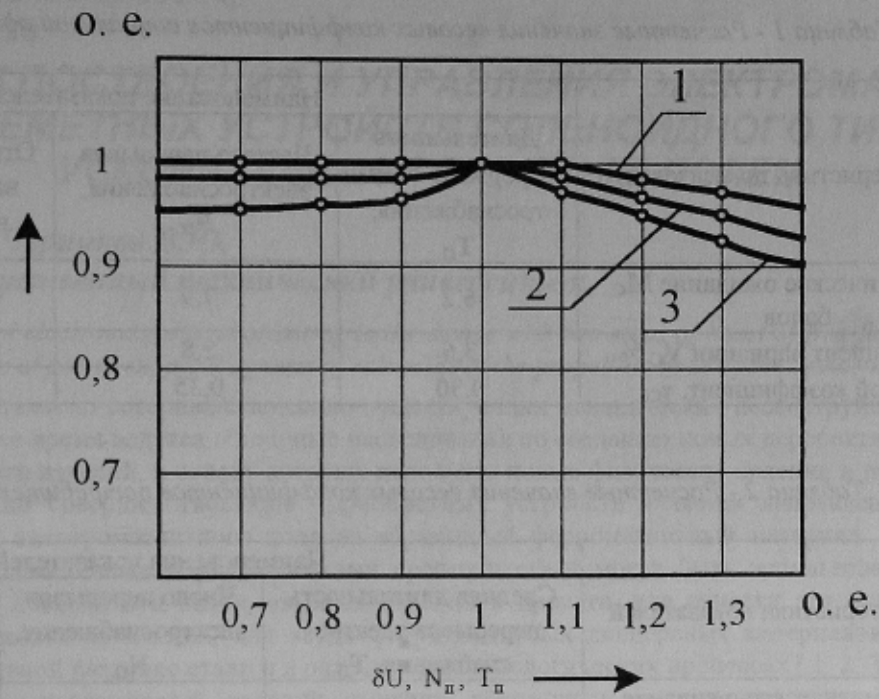
Степень удовлетворения населения в ЭЭ и связанных с ней различного вида услуг, осуществлялась в соответствии по величине удельного электропотребления на одного жителя. В качестве независимых параметров рассматривались: отклонения, несимметрия и несинусоидальность напряжений, число и время перерывов электроснабжения. В результате критериальная функция социальной адекватности СЭС городов получена в виде суммы нормированных значений независимых параметров, взвешенных по потребленной ЭЭ:

$$\bar{f}_C = W (N_{\Pi} \gamma_{\Pi} + T_{\Pi} \gamma_{T_{\Pi}} + T_{\text{ЭЭ}} \gamma_{T_{\text{ЭЭ}}} + \delta U \gamma_{\delta U} + \delta U \gamma_{\delta U} + K_{0U} \gamma_{K_{0U}} + K_{2U} \gamma_{K_{2U}} + K_{HCU} \gamma_{K_{HCU}} ,$$

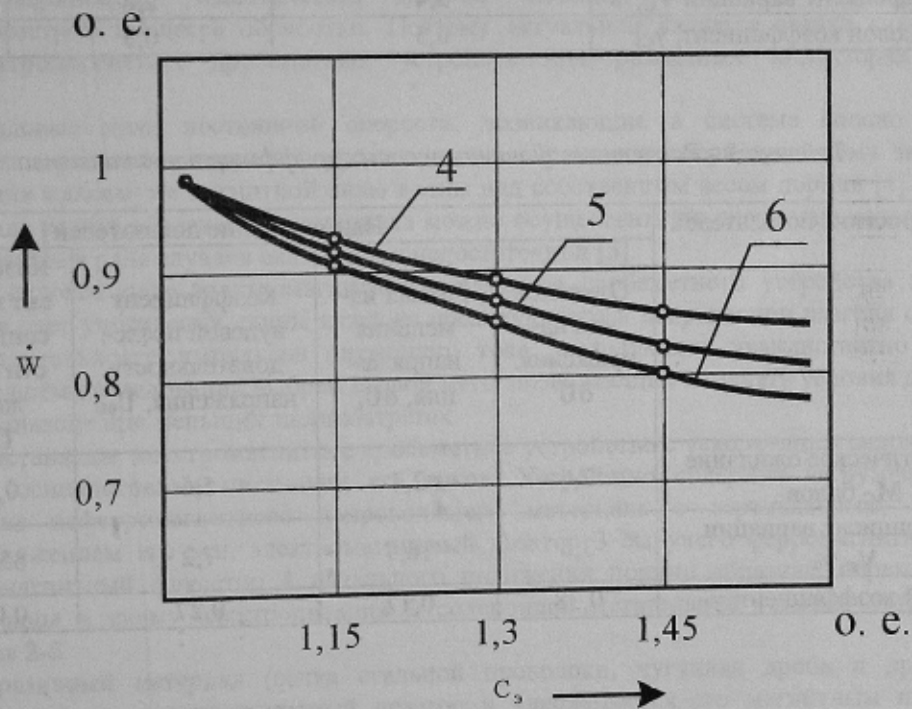
где  $N_{\Pi}, T_{\Pi}$  - число и длительность перерывов электроснабжения;  $T_{\text{ЭЭ}}$  - тариф на ЭЭ;  $\delta U, \delta U, K_{0U}, K_{2U}, K_{HCU}$  - отклонения, колебания, коэффициенты несинусоидальности, нулевой и обратной последовательностей напряжений;  $\gamma_{\Pi}, \gamma_{T_{\Pi}}, \gamma_{T_{\text{ЭЭ}}}, \gamma_{\delta U}, \gamma_{\delta U}, \gamma_{K_{0U}}, \gamma_{K_{2U}}, \gamma_{K_{HCU}}$  - весовые коэффициенты соответствующих параметров.

Численные значения вероятностных характеристик процесса, полученные на основании данных министерств и ведомств Украины приведены в табл. 1, 2, 3 и на рисунке.

В своей совокупности разработанные модели позволяют давать количественную оценку режимов СЭС городов с учетом многокритериальности и многопараметричности задачи. Наилучший вариант осуществляется выбором значений коэффициентов трансформации трансформаторов, уставок срабатывания регулирующих, симметрирующих и фильтрокомпенсирующих устройств. При этом приведение критериев к единому масштабу, при котором их численные значения представлены в относительных единицах и в одном масштабе, позволило снизить уровень неопределенности среды, а выделение участков стационарности - временную неопределенность. Разработанные модели нашли практическое применение в разработанных алгоритмах и программах оптимизации режимов работы СЭС города Харькова.



а)



б)

Зависимость относительного потребления электрической энергии  $\dot{W}$  от её качества (а) и стоимости (б):

1 -  $\dot{W} = f(\delta U)$     2 -  $\dot{W} = f(N_{\pi})$     3 -  $\dot{W} = f(T_{\pi})$

4 -  $\dot{W} = f(C_3) \quad \forall \quad \delta U = -10\% U_{\text{НОМ}}$     5 -  $\dot{W} = f(C_3) \quad \forall \quad \delta U = \pm 5\% U_{\text{НОМ}}$

6 -  $\dot{W} = f(C_3) \quad \forall \quad \delta U = +10\% U_{\text{НОМ}}$      $\dot{W} = \frac{W}{W_{\text{НОМ}}}$

$W_{\text{НОМ}}$  - потребление электрической энергии при  $N_{\pi}=0, T_{\pi}=0, \delta U=0$

Рисунок

Таблица 1 - Расчетные значения весовых коэффициентов социальной адекватности

№ п/п	Характеристика показателей	Наименование показателей			
		Длительность перерывов электроснабжения, $T_{II}$	Частота перерывов электроснабжения, $N_{II}$	Отклонения напряжения, $\delta U$	Тариф, $C$
1	Математическое ожидание $M_C$ баллов	6,2	7,9	1,8	5,25
2	Коэффициент вариации $V_C, \%$	3,6	2,8	1,2	2,3
3	Весовой коэффициент, $\gamma_{Ci}$	0,30	0,35	0,10	0,25

Таблица 2 - Расчетные значения весовых коэффициентов потребителей

№№ п/п	Характеристика показателей	Наименование показателей		
		Средняя длительность перерывов электроснабжения, $T_{II}$	Число перерывов электроснабжения, $N_{II}$	Количество недоотпущенной электроэнергии, $W_3$
1	Математическое ожидание $M_C$ баллов	8,5	4,5	3,0
2	Коэффициент вариации $V_C, \%$	3,4	2,8	10,2
3	Весовой коэффициент, $\gamma_{Ci}$	0,5	0,3	0,2

Таблица 3 - Расчетные значения весовых коэффициентов качества

№ п/п	Характеристика показателей	Наименование показателей				
		Отклонения напряжения, $\delta U$	Размах изменения напряжения, $\delta U_t$	Коэффициент нулевой последовательности напряжения, $U_{0U}$	Коэффициент несинусоидальности напряжения, $U_{НСU}$	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
1	Математическое ожидание $M_C$ баллов	7,6	2,4	5,6	0,8	3,6
2	Коэффициент вариации $V_C, \%$	3,6	16,7	7,2	55,0	11,1
3	Весовой коэффициент, $\gamma_{Ci}$	0,38	0,12	0,27	0,04	0,12