

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 621.311

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В
ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ХЕРСОНСКОЙ ОБЛАСТИ

Боярчук В.П., Головащенко Н.В., Рудакова А.В.

Постановка проблемы. В настоящее время, современные энергосистемы (ЭС) представляют собой сложные, многосвязные, пространственно разнесенные иерархические объекты, функционирующие в условиях переменности их структуры, параметров и режимов работы при многочисленных внешних и внутренних возмущениях как систематического, так и случайного характера [1]. Это определяет сложность задач управления ими, и изучение свойств энергообъединения как объекта управления приобретает особо важное значение.

Для решения таких задач, необходимо использовать модель системы, которая бы в полной мере характеризовала все динамические процессы, протекающие в ЭС и была адекватной распределению нагрузки между узлами ЭС в условиях переменности ее структуры.

Анализ последних исследований и публикаций. Усложнение энергосистемы заставляет по-новому подойти к оперативной оптимизации распределения нагрузок между узлами энергосистемы. Использование традиционных дискретных моделей для оптимизации всех взаимосвязей между параметрами режима и накладываемых на них ограничений, настолько усложняет постановку задачи, что даже при использовании современных ЭВМ она оказывается слишком громоздкой [2].

При принятии решений в большой энергетической системе необходимо обеспечивать максимальную быстроту и простоту вычислительного алгоритма, для того чтобы решение об управлении было своевременным. Такими качествами обладают непрерывные модели энергосистем, которые позволяют определить оперативное оптимальное управление режимами функционирования энергосистемы достаточно быстро, так как для них можно использовать мощный аппарат вариационного исчисления.

Если рассматривать энергосистему как объект управления с фрактальной структурой [3], то для каждого уровня иерархии непрерывную модель ЭС можно представить в виде поверхности запаса мощности [4]. Модель, рассмотренная в [4] является статической, а как известно все процессы распределения электроэнергии в ЭС значительно зависят от времени. Динамика потребления электроэнергии разными потребителями хорошо аппроксимируются рядами Фурье [5], и может быть использована для построения динамической модели распределения электроэнергии в регионе.

Постановка задачи. Необходимо разработать динамическую модель распределения электроэнергии в локальной области в виде изменяющейся во времени поверхности запаса мощности и провести моделирование на основе статистических данных о нагрузках.

Основная часть. Для описания динамики в статической модели поверхности запаса электроэнергии необходимо учесть изменения мощности источников и потребителей электроэнергии во времени. Тогда модель будет задаваться следующими соотношениями:

$$P(x, y, t) = \sum_i f_i(x, y, t) = P_{cp.n}(t) + \sum_{i=1}^{N_n} (P_{\max n_i}(t) - P_{cp.n}(t)) \cdot e^{-\alpha_i t} \quad (1)$$

и

$$I(x, y, t) = \sum_j F_j(x, y, t) = \sum_{j=1}^{N_u} P_{u_j}(t) \cdot e^{-\alpha_j r_j}, \quad (2)$$

где N_u, N_n – количество узлов источников и потребителей соответственно; α_i – коэффициент затухания экспоненты, определяющийся из условия сохранения мощности под графиком поверхности для данной области локализации

$$4d_i^2 \cdot P_{n_i}(t) = 2\pi \frac{P_{\max n_i}(t) - P_{cp n}(t)}{\alpha_i^2} + \frac{P_{cp n}(t) \cdot x_{\max} y_{\max}}{N_n}; \quad r_i, r_j - \text{расстояние от центра}$$

области локализации i -го потребителя (x_{y_i}, y_{y_i}) , j -го источника (x_{y_j}, y_{y_j}) до любой

точки района с координатами (x_k, y_k) , $r_i = \sqrt{(x_k - x_{y_i})^2 + (y_k - y_{y_i})^2}$,

$r_j = \sqrt{(x_k - x_{y_j})^2 + (y_k - y_{y_j})^2}$; $P_{n_i}(t), P_{u_j}(t)$ – мощность i -го потребительного и j -го

генерирующего узла соответственно; $P_{cp.n}(t)$ – средняя мощность потребления в этом

районе, $P_{cp.n}(t) = \left(\sum_{i=1}^{N_n} P_{n_i}(t) \cdot S_i \right) / S_p$; $S_i = 4d_i^2$ – площадь области локализации i -го

потребителя; $S_p = x_{\max} y_{\max}$ – площадь района; $P_{\max n_i}(t)$ – максимальная потребляемая мощность i -м потребителем, ($P_{\max n_i}(t) = 2P_{n_i}(t) - P_{cp n}(t)$).

Поверхность запаса электроэнергии определяется как разница между поверхностями энергоснабжения и энергопотребления:

$$Z(x, y, t) = I(x, y, t) - \Pi(x, y, t)$$

Модели графиков суточной нагрузки для каждого узла (j -го источника или i -го потребителя) имеет вид:

$$P_{n_i}(t) = P_{cp n_i} + \sum_{k=1}^{n_{n_i}} A_{n_{ik}} \cdot \cos(k\omega_{n_i} t + \varphi_{n_{ik}}),$$

$$P_{u_j}(t) = P_{cp u_j} + \sum_{k=1}^{n_{u_j}} A_{u_{jk}} \cdot \cos(k\omega_{u_j} t + \varphi_{u_{jk}}), \quad (3)$$

где $P_{cp n_i}, P_{cp u_j}$ – среднесуточная мощность энергопотребления i -м потребителем и

энергоснабжения j -м поставщиком; t – время на протяжении дня, час ($t = 1 \dots T_c$), $T_c = 24$

часа; n_{n_i}, n_{u_j} – количество гармоник ряда Фурье, обуславливающее адекватность

модели; $A_{n_{ik}}, A_{u_{jk}}, \varphi_{n_{ik}}, \varphi_{u_{jk}}$ – коэффициенты разложения в ряд Фурье; $\omega_{n_i}, \omega_{u_j}$ –

первая (основная) гармоника разложения в ряд Фурье, $i = \overline{1, N_n}, j = \overline{1, N_u}$.

Неизвестные параметры модели можно определить с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

Рассмотрим динамику энергораспределения нагрузки на примере энергетической системы Херсонской области. Энергетическая система Херсонской области может быть представлена в иерархическом виде (рис.1) согласно [3].

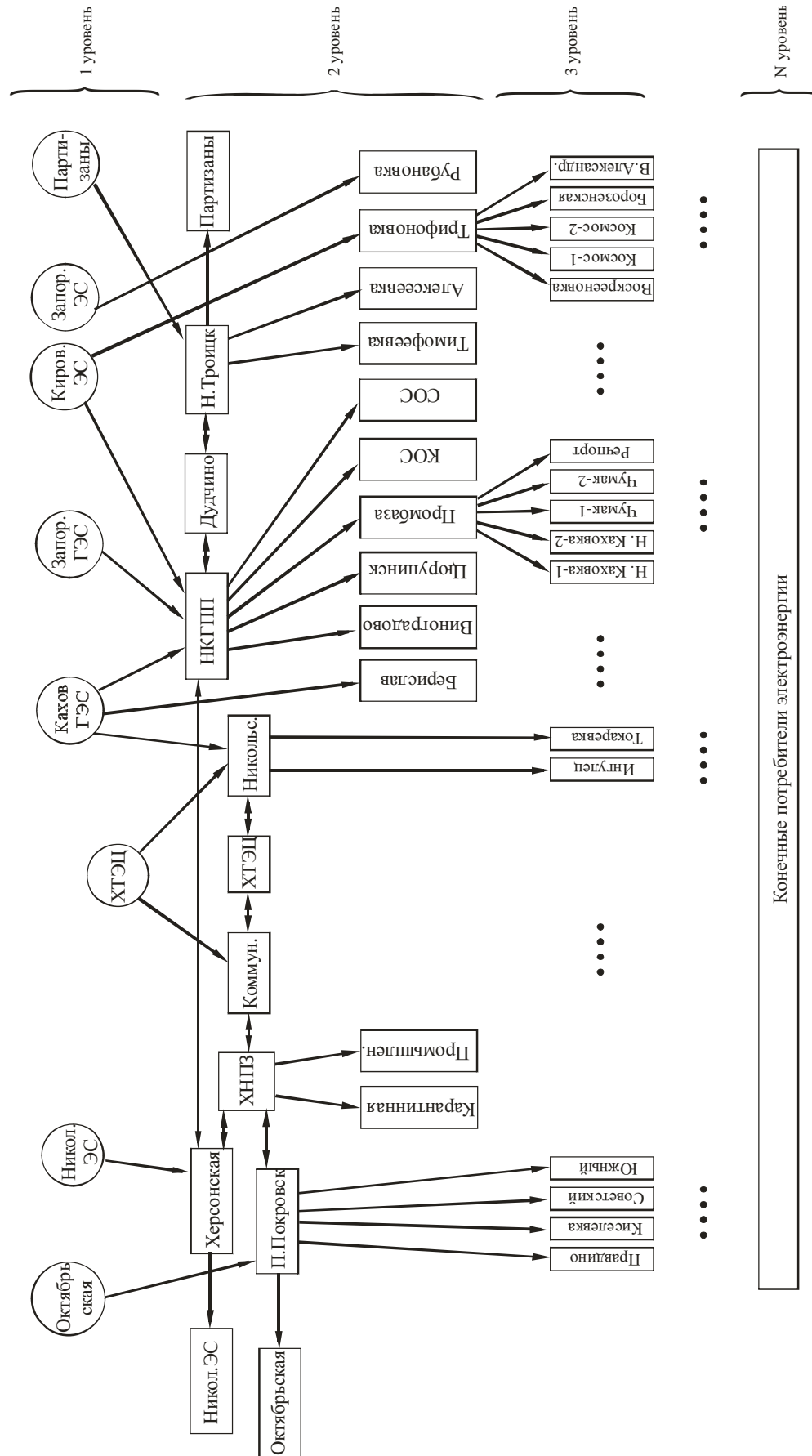


Рис. 1 – Обобщенная иерархическая схема энергетической системы Херсонской области

Для моделирования распределения нагрузки ЭС Херсонской области используются узлы 1 и 2-го уровня энергосистемы представленной на рис. 1.

Часть схемы, выбираемая для моделирования, может быть представлена как фрагмент фрактальной системы с перекрестными связями (рис. 2).

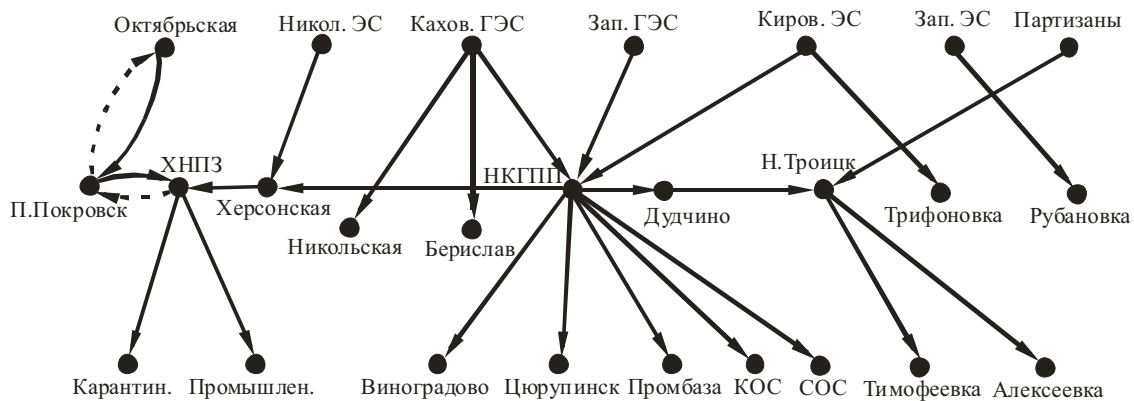


Рис. 2 Фрагмент фрактальной структуры ЭС Херсонской области

Для построения поверхности запаса мощности необходимо задать координаты расположения объектов на местности. Для расчетов используется нормированная плоскость размером 100×100 , что требует пересчета реальных координат (x_{p_i}, y_{p_i}) , (x_{p_j}, y_{p_j}) в относительные (x_i, y_i) , (x_j, y_j) . Для этого используются следующие соотношения:

$$x_i = \frac{x_{p_i}}{x_{\max_i}} \cdot 100 \quad x_j = \frac{x_{p_j}}{x_{\max_j}} \cdot 100$$

$$y_i = \frac{y_{p_i}}{y_{\max_i}} \cdot 100 \quad y_j = \frac{y_{p_j}}{y_{\max_j}} \cdot 100$$

Таким образом, для построения модели использовались исходные данные представленные в табл. 1 и графики динамики энергопотребления и энергоснабжения, полученные по формулам (3) на основе статистических данных за 25 мая 2006г. (рис. 3).

Таблица 1

	Наименование	Относительные координаты	Средняя мощность, МВт
Потребители	Запорож. ЭС	(47;54,07)	4,27
	Каховская ГЭС	(47;54,07)	214,88
	Кировоградская ЭС	(53,75;96,29)	16,578
	Запорож. ГЭС	(75;96,29)	11,731
	Октябрьская	(5,5;57,4)	2,027
	Партизаны	(85;22,2)	0,32
	Алексеевка	(82,25;17,03)	10,614
	Берислав	(46,5;54,44)	4,587
	Виноградово	(32,5;25,1)	22,213
	Дудчино	(54,75;38,52)	12,69
	Карантинная	(23,5;40,74)	10,682
	Коммунальная	(34,81;33)	26,347

Потребители	Наименование	Относительные координаты	Средняя мощность, МВт
	КОС	(52;51,83)	12,679
	Новотроицк	(73,25;25,18)	8,435
	Никольская	(28,5;47,77)	6,533
	НКГПП	(46;50)	12,21
	П.Покровск	(13;51,11)	6,373
	Промбаза	(49,5;49,63)	11,612
	Рубановка	(67,25;64,81)	4,27
	СОС	(55;52)	4,803
	Тимофеевка	(74,5;34,44)	13,81
	Трифоновка	(48,75;80,37)	4,847
	ХТЭЦ	(24;43,33)	17,613
	ХНПЗ	(22;42,96)	17,936
	Цюрупинск	(27,75;41,11)	19,413
	Октябрьская	(5,5;57,4)	1,893

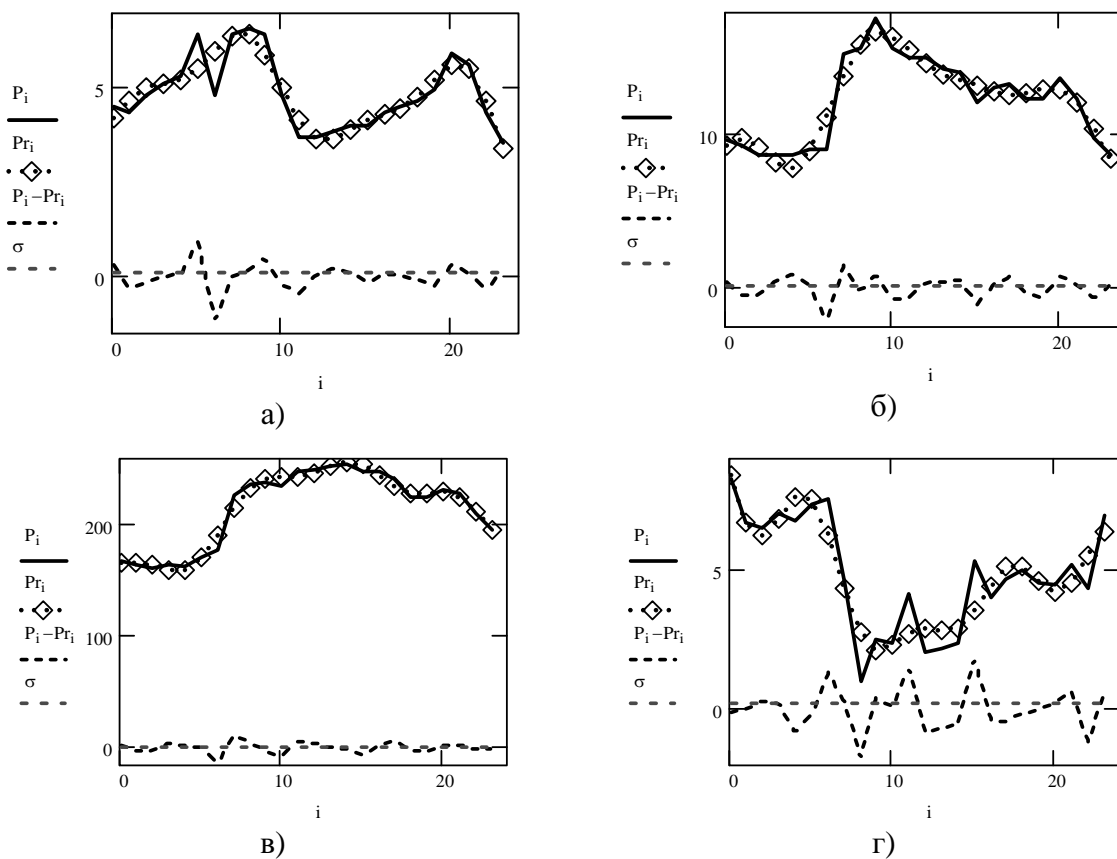


Рис. 3 – Типовые графики динамики нагрузки:
 а) – Трифоновка; б) – НКГПП; в) – Каховская ГЭС; г) – Кировоградская ЭС.

Размещение источников и потребителей фрагмента ЭС Херсонской области, представленного на рис. 2, приведено на нормированной плоскости, на рис. 4.

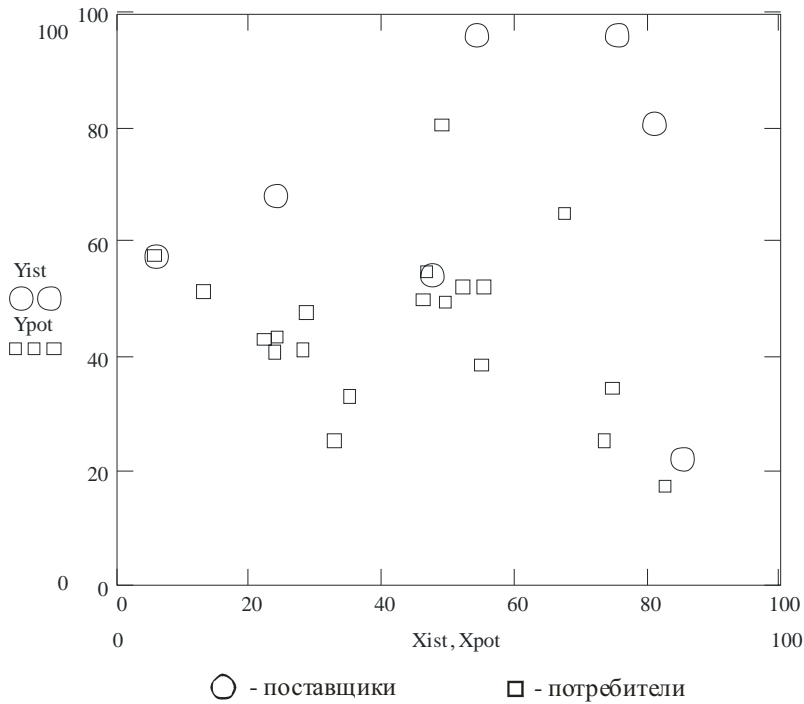
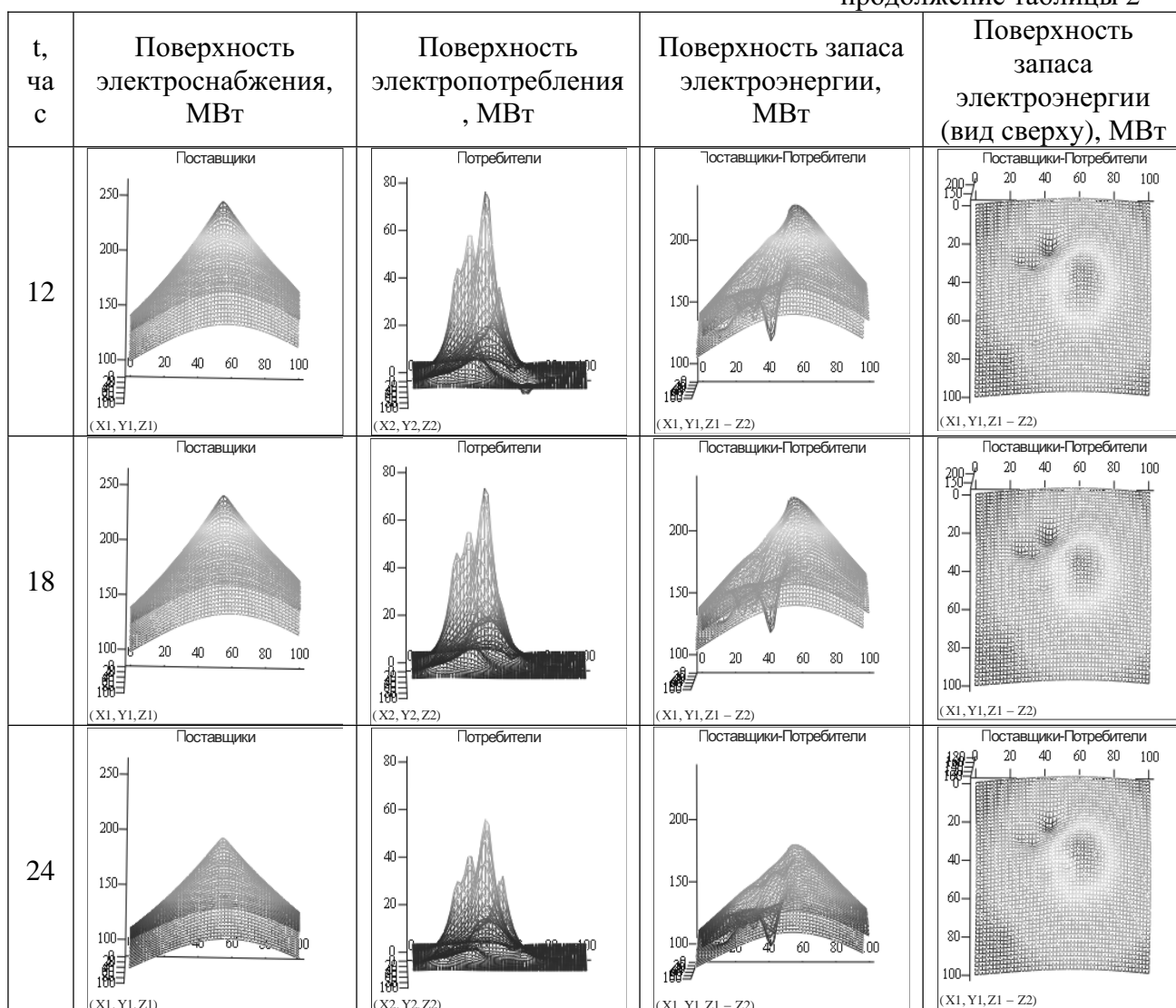


Рис. 4 – Расположение поставщиков и потребителей на нормированной плоскости

Моделирование динамического поведения фрагмента ЭС Херсонской области с учетом соотношений (1-3) выполнялось в среде компьютерного моделирования MathCAD 2000 [6]. Результаты моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2

t, час	Поверхность электроснабжения, МВт	Поверхность электропотребления, МВт	Поверхность запаса электроэнергии, МВт	Поверхность запаса электроэнергии (вид сверху), МВт
1	<p>Поставщики</p> <p>(X1, Y1, Z1)</p>	<p>Потребители</p> <p>(X2, Y2, Z2)</p>	<p>Поставщики-Потребители</p> <p>(X1, Y1, Z1 - Z2)</p>	<p>Поставщики-Потребители</p> <p>(X1, Y1, Z1 - Z2)</p>
6	<p>Поставщики</p> <p>(X1, Y1, Z1)</p>	<p>Потребители</p> <p>(X2, Y2, Z2)</p>	<p>Поставщики-Потребители</p> <p>(X1, Y1, Z1 - Z2)</p>	<p>Поставщики-Потребители</p> <p>(X1, Y1, Z1 - Z2)</p>



Отсутствие “проколов” в поверхности запаса мощности свидетельствует о выполнении условия $Z(x, y, t) > 0$ для $t = 1, 24$, что соответствует нормальному режиму работы энергосистемы в данный период.

Выводы. Динамическую непрерывную модель в виде поверхности запаса электроэнергии можно использовать как для прогноза состояния системы (нормального или критического режима работы), что необходимо для применения соответствующих методов управления, так и для проведения анализа новых изменений структуры энергосистемы в регионе.

По поверхности запаса электроэнергии можно судить, насколько каждый узел (район) рассмотренной энергосистемы обеспечен электроэнергией, и на основании этого принимать решения:

- о поднятии уровня электроснабжения целой энергосистемы, при возможности поднятия мощности генерирующих узлов;
- о перераспределении электроэнергии с районов с большим запасом электроэнергии в районы с малым запасом;
- об изменении топологии энергосистемы: за счет частичного отключения узлов (только в случаях аварийности режима энергосистемы) или при размещении новых потребителей в районе.

An article is devoted to the questions of development of dynamic model of distributing electric power in some local region taking into account dependence of power of energy consumption and energy supply from time. An improvement of continuous model of energy of distributing as a power supply surface by the possessing dynamics is lead. Results of design of distributing loading in grid of the Kherson region in the MathCAD environment are led.

1. Левин В.М., Мошкин Б.М. Управление электропотреблением энергетической системы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. - 88 с.
2. Методы оптимизации режимов энергосистем. /Под. ред. В. М. Горнштейна. — М.: Энергия, 1981. —336 с.
3. Головащенко Н.В., Рудакова Г.В. Энергосистема як об'єкт управління з фрактальною структурою. //ААЭКС, 2006 г. –№1(17). – с. 164-170.
4. Головащенко Н.В., Рудакова Г.В. Моделювання енергосистеми як об'єкта управління. //Муніципальна енергетика: проблеми, рішення: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. 21-22 грудня 2005р. Миколаїв. – с.130-134.
5. Г.В. Рудакова, Н.В. Головащенко, В.П. Боярчук, В.В. Корчмід – Динамічна модель енергоспоживання в електроенергетичній системі. //Вестник ХНТУ, 2006г. – №2(25). – с. 422-427.
6. Дьяконов В.П. Энциклопедия MathCAD 2001i и MathCAD11. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 832с.