

## МОДЕЛИ ОСНОВНЫХ БАЗИСОВ ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ

© Левыкин В., Кудрявцева М., 2009

**Розроблено структурно-функціональну схему електричної частини енергосистеми, отримано моделі основних базисів Єдиної електроенергетичної системи України з урахуванням її ієрархічної й розподіленої структури.**

**The structural and functional scheme of electrical part of power supply system is developed in this work. The models of fundamental basis of Ukraines' Uniform power supply system taking into account hierarchical and distributed structure are obtained.**

### Введение

Особенностью больших систем государственного назначения, таких как комплексная система управления атомными электростанциями, единая электроэнергетическая система, единая газотранспортная система, является их многоуровневая, сложная структура, что определяет трудности проектирования как самого объекта управления, так и его системы управления.

На сегодняшний день в системах такого уровня можно выделить основные проблемы, требующие стратегических решений.

1. Кризисное финансовое состояние стратегических отраслей промышленности.
2. Проблема стабильности больших систем при возникновении каскадных аварий, их предотвращение и восстановление нормального режима работы оборудования и снабжения потребителей.
3. Проблема предотвращения крупномасштабного веерного отключения электроснабжения в крупных городах.
4. Проблема обеспечения безопасной работы оборудования.
5. Проблема способности больших систем противостоять внезапным возмущениям, проблема выработки стратегии коррекции параметров режима их работы (пусть даже в ущерб экономике).
6. Проблема оперативного управления большими системами в условиях старения парка оборудования и невозможности персонала оперативно реагировать на нарушения из-за постоянного их роста и усложнения причин и последствий нарушений.
7. Постоянное увеличение нагрузки узлов, работа электростанций с нагрузкой значительно большей, чем проектная.
8. Большое разнообразие локальных автоматизированных систем как в рамках одного филиала, так и в рамках компании, что приводит к конфликтам и рассогласованности работы больших систем.

### Постановка задачи исследования

Все эти проблемы регламентируют эксплуатацию энергосистем в двух направлениях: техническая эксплуатация оборудования и оперативное управление работой многоуровневой системы в целом. Рассмотрим решение этих проблем на примере Единой электроэнергетической системы Украины. Решением этих проблем занимается системный оператор, который осуществляет центральное диспетчерское управление единой электроэнергетической системой.

Для повышения эффективности технической эксплуатации оборудования и оперативного управления работой многоуровневой системы в целом первоначально необходимо разработать и формализовать структурно-функциональную схему электрической части энергосистемы.

### **Анализ достижений и публикаций, в которых предложено решение данной проблемы**

На сегодняшний день разработано большое число методов, моделей, инструментальных средств для исследования стратегий развития современной электроэнергетики [1], прогнозирования нагрузки энергосистем [2], диагностики состояния и локализации неисправностей оборудования [3]. Разработаны модели, обеспечивающие повышение уровня безотказности и безаварийности работы электроэнергетического оборудования, функционирования и управления техническими системами в аварийных ситуациях [4, 5], обеспечивающие повышение уровня энергетической безопасности и надежности функционирования электроэнергетических систем [6].

### **Выделение нерешенных вопросов общей проблемы, которым посвящена данная статья**

Однако, перечисленные методы, модели и инструментальные средства, как правило, разработаны для отдельных элементов и узлов оборудования электроэнергетического комплекса, не учитывают многоуровневую сложную структуру электроэнергетических систем, что приводит к несогласованности отдельных решений, отказам и авариям в работе оборудования.

Поэтому проблема исследования электроэнергетики с позиций надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей, с позиций энергетической безопасности, их сложность и многоплановость, предопределяют целесообразность использования современных информационных технологий, методов и моделей для повышения эффективности работы Единой электроэнергетической системы Украины.

Поэтому целесообразно разработать структурно-функциональную схему электрической части энергосистемы, декомпозировать ее по уровням, которые формируют основные базисы энергосистемы, разработать модели, описывающие данные базисы. Формализованное описание основных базисов энергосистемы позволит системному оператору единой энергетической системы на основании данных о возникновении нарушения, полученных, например, от автоматизированной системы диспетчерского управления электроэнергетической системы Национальной электроэнергетической компании «Укрэнерго», определить возможности распространения аварии, ее каскадный характер, влияние на другие элементы и узлы электроэнергетического оборудования, подстанции, энергосистемы, потребителей и принять быстрое решение для предотвращения каскадной аварии в рамках единой электроэнергетической системы Украины.

### **Изложение основного материала исследования**

Введем основные термины.

Электрическая подстанция представляет собой электроустановку или совокупность электрических устройств для преобразования напряжения (трансформаторная подстанция (ТПС)) или рода электрического тока (преобразовательная подстанция (ППС)), а также для распределения электрической энергии между потребителями [7].

Распределительным пунктом (РП) называется электроустановка, предназначенная для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации, не входящая в состав подстанции [7].

Особенностью проектирования объекта является одновременно параллельно-последовательный характер: по уровням декомпозиции, которые формируют базисы «сверху-вниз», и в строгой логической последовательности на уровне «страт» проектирования «слева-направо».

Структурно-функциональная схема электрической части энергосистемы представлена на рисунке 1.

Элементами структуры являются:

- повышающие трансформаторные подстанции (напряжением 1150кВ, 800кВ, 750кВ, 500кВ, 330кВ) – это отдельные энергосистемы и объединения электростанций внутри энергосистемы;
- преобразовательная подстанция 400кВ, служащая для связи энергосистем;
- понижающие трансформаторные подстанции (напряжением 220кВ-6кВ) – энергоснабжение крупных и небольших промышленных объектов, городов, населенных пунктов;

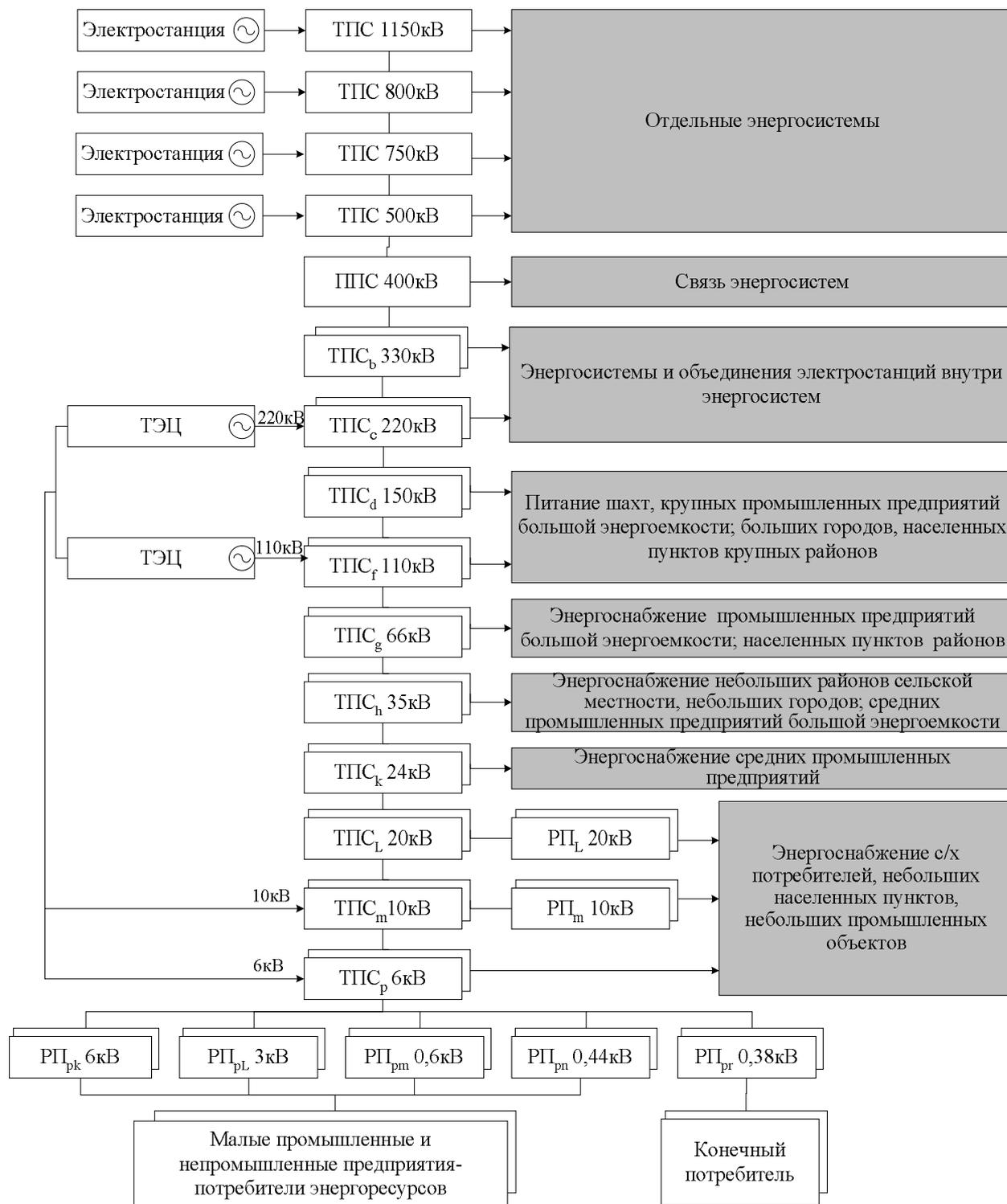


Рис. 1. Структурно-функциональная схема электрической части энергосистемы

– распределительные пункты 20кВ-0,38кВ – для подведения электроэнергии к потребителям.

Переходами между подстанциями являются воздушные и кабельные линии соответствующего напряжения.

Введем следующие обозначения для трансформаторных и преобразовательных подстанций:

а) ТПС 1150кВ –  $TPS_{1150}$ ;

ТПС 800кВ –  $TPS_{800}$ ;

ТПС 750кВ –  $TPS_{750}$ ;

ТПС 500кВ –  $TPS_{500}$ ;

ППС 400кВ –  $PPS_{400}$ .

б) Трансформаторные подстанции напряжением 330кВ-66кВ по способу соединения представляют собой иерархическую структуру, верхний уровень которой образует уровень подстанций, содержащий в себе подстанции нижних уровней: ТПС<sub>b</sub> 330кВ –  $TPS_{b330}$ ; ТПС<sub>c</sub> 220кВ –  $TPS_{c220}$ ; ТПС 150кВ –  $TPS_{d150}$ ; ТПС<sub>f</sub> 110кВ –  $TPS_{f110}$ ; ТПС<sub>g</sub> 66кВ –  $TPS_{g66}$ .

в) Трансформаторные подстанции напряжением 35-6кВ по способу соединения представляют собой магистральную структуру – (совокупности последовательно соединенных подстанций): ТПС<sub>h</sub> 35кВ –  $TPS_{h35}$ ; ТПС<sub>k</sub> 24кВ –  $TPS_{k24}$ ; ТПС<sub>L</sub> 20кВ –  $TPS_{L20}$ ; ТПС<sub>m</sub> 10кВ –  $TPS_{m10}$ ; ТПС<sub>p</sub> 6кВ –  $TPS_{p6}$ .

Таким образом, структура распределения подстанций напряжением 330кВ-6кВ представляет собой иерархическое и магистрально-радиальное (смешанное) электроснабжение объектов. Данная структура представлена на рисунке 2. Структура соединения подстанций 330кВ-66кВ иерархическая. Структура соединения подстанций 35кВ-6кВ магистрально-радиальная (смешанная).

Введем следующие обозначения для распределительных пунктов:

РП 20кВ –  $RP_{L20}$ ;

РП 10кВ –  $RP_{m10}$ ;

РП 6кВ –  $RP_{pk6}$ ;

РП 3кВ –  $RP_{pL3}$ ;

РП 0,6кВ –  $RP_{pm06}$ ;

РП 0,44кВ –  $RP_{pn044}$ ;

РП 0,38кВ –  $RP_{pr038}$ .

Структура соединения распределительных сетей, подводящих электроэнергию к потребителям, магистрально-радиальная (смешанная). Данная структура представлена на рисунке 3.

Описание структурно-функциональной схемы электрической части энергосистемы представим по уровням декомпозиции, которые формируют следующие базисы:

- базис отдельных энергосистем;
- базис связи энергосистем;
- базис энергосистем и объединения электростанций внутри энергосистем;
- базис питания шахт;
- базис энергоснабжения крупных и средних промышленных предприятий большой энергоемкости;
- базис энергоснабжения средних и небольших промышленных объектов небольшой энергоемкости;
- базис энергоснабжения малых промышленных и непромышленных предприятий-потребителей энергоресурсов;
- базис энергоснабжения больших городов, населенных пунктов крупных районов;
- базис энергоснабжения небольших районов, населенных пунктов районов и небольших населенных пунктов;
- базис энергоснабжения небольших районов сельской местности и сельскохозяйственных потребителей;
- базис энергоснабжения конечных потребителей.





Для формализации данной структурной схемы в описанных базисах целесообразно использовать модифицированный язык регулярных схем алгоритмов с построением на базе его регулярных схем системных моделей (РССМ). РССМ необходимо представить в виде, позволяющем полноценно описать формализуемую структуру [8]:

$$R = f(y_j, x_k, e, \emptyset, \overset{\bullet}{y}, \overset{\wedge}{y}), \quad (1)$$

где  $f$  – закон комбинации базовых процессов РСА;  $y_j$  – элементы алгебры операторов  $R_0$ , определяющие операции функционирования трансформаторного оборудования;  $x_k$  – логические условия (элементы алгебры условий  $R_y$ );  $e$  – тождественно-эквивалентный оператор;  $\emptyset$  – пустой оператор;  $\overset{\bullet}{y}$  – процесс умножения моделей (последовательное выполнение операторов, задач строго в порядке их очередности), обозначается « $\cdot$ »;  $\overset{\wedge}{y}$  – процесс конъюнкции (безусловное разветвление одновременно на выполнение нескольких путей), обозначается « $\wedge$ ».

Тогда с использованием (1) базис отдельных энергосистем можно представить в общем виде

$$BOS = TPS_{1150} \cdot TPS_{800} \cdot TPS_{750} \cdot TPS_{500}, \quad (2)$$

Базис связи энергосистем можно представить в общем виде

$$BSE = PPS_{400}, \quad (3)$$

Базис энергосистем и объединения электростанций внутри энергосистем можно представить в общем виде

$$BESO = TPS_{b300} \cdot TPS_{c220}, \quad (4)$$

Базис питания шахт можно представить в общем виде

$$BSH = TPS_{d150} \cdot TPS_{f110}, \quad (5)$$

Базис энергоснабжения крупных и средних промышленных предприятий большой энергоемкости можно представить в общем виде

$$BPP_{BE} = TPS_{d150} \cdot TPS_{f110} \cdot TPS_{g66} \cdot TPS_{h35}, \quad (6)$$

Базис энергоснабжения средних и небольших промышленных объектов небольшой энергоемкости можно представить в общем виде

$$BPP_{ME} = TPS_{k24} \cdot (TPS_{L20} \cdot RP_{L20}) \cdot (TPS_{m10} \cdot RP_{m10}) \cdot TPS_{p6}, \quad (7)$$

Базис энергоснабжения малых промышленных и непромышленных предприятий-потребителей энергоресурсов можно представить в общем виде

$$BPNP = RP_{pk6} \cdot RP_{pL3} \cdot RP_{pm06} \cdot RP_{pn044}, \quad (8)$$

Базис энергоснабжения больших городов, населенных пунктов крупных районов можно представить в общем виде

$$BGNP_b = TPS_{d150} \cdot TPS_{f110}, \quad (9)$$

Базис энергоснабжения небольших районов, населенных пунктов районов и небольших населенных пунктов можно представить в общем виде

$$BRNP_m = TPS_{g66} \cdot TPS_{h35} \cdot TPS_{L20} \cdot TPS_{m10} \cdot TPS_{p6}, \quad (10)$$

Базис энергоснабжения небольших районов сельской местности и сельскохозяйственных потребителей можно представить в общем виде

$$BSP = TPS_{h35} \cdot (TPS_{L20} \cdot RP_{L20}) \cdot (TPS_{m10} \cdot RP_{m10}) \cdot TPS_{p6}, \quad (11)$$

Базис энергоснабжения конечных потребителей можно представить в общем виде

$$BKP = RP_{pr038}, \quad (12)$$

В связи со сложностью электроэнергетической системы, ее иерархической многоуровневой структурой, необходимо математическое описание иерархических и магистрально-радиальных структур.

Так как трансформаторные подстанции напряжением 330кВ-66кВ по способу соединения представляют собой иерархическую структуру, то декомпозиция верхнего уровня подстанций на подстанции нижних уровней может быть представлена в виде

$$PPS_{400} = \Omega_{b} TPS_{b330} = TPS_{1\_330} \wedge TPS_{2\_330} \wedge \dots \wedge TPS_{b330}, \quad (13)$$

$$TPS_{b330} = \Omega_{c} TPS_{c220} = TPS_{1\_220} \wedge TPS_{2\_220} \wedge \dots \wedge TPS_{c220}, \quad (14)$$

$$TPS_{l220} = \Omega_{d} TPS_{d150} = TPS_{1\_150} \wedge TPS_{2\_150} \wedge \dots \wedge TPS_{d150}, \quad (15)$$

$$TPS_{d150} = \Omega_{f} TPS_{f110} = TPS_{1\_110} \wedge TPS_{2\_110} \wedge \dots \wedge TPS_{f110}, \quad (16)$$

$$TPS_{f110} = \Omega_{g} TPS_{g66} = TPS_{1\_66} \wedge TPS_{2\_66} \wedge \dots \wedge TPS_{g66}, \quad (17)$$

где  $\Omega$  – оператор декомпозиции верхнего уровня подстанций на подстанции нижних уровней (согласно иерархической и магистрально-радиальной структурной схеме распределения понижающих подстанций 220кВ-6кВ (рис.2);

$TPS_{1\_330}, TPS_{2\_330}, TPS_{b330}$  – ТПС напряжением 330кВ ( $I, 2 \dots b$ );

$TPS_{1\_220}, TPS_{2\_220}, TPS_{c220}$  – ТПС напряжением 220кВ ( $I, 2 \dots c$ );

$TPS_{1\_150}, TPS_{2\_150}, TPS_{d150}$  – ТПС напряжением 150кВ ( $I, 2 \dots d$ );

$TPS_{1\_110}, TPS_{2\_110}, TPS_{f110}$  – ТПС напряжением 110кВ ( $I, 2 \dots f$ );

$TPS_{1\_66}, TPS_{2\_66}, TPS_{g66}$  – ТПС напряжением 66кВ ( $I, 2 \dots g$ ).

Так как трансформаторные подстанции напряжением 35-6кВ по способу соединения представляют собой магистральную структуру, то ее можно представить в виде последовательностей

$$\begin{aligned} & TPS_{1\_35} \cdot TPS_{1\_24} \cdot TPS_{1\_20} \cdot TPS_{1\_10} \cdot TPS_{1\_6}, \\ & TPS_{2\_35} \cdot TPS_{2\_24} \cdot TPS_{2\_20} \cdot TPS_{2\_10} \cdot TPS_{2\_6}, \\ & \dots \\ & TPS_{h35} \cdot TPS_{k24} \cdot TPS_{L20} \cdot TPS_{m10} \cdot TPS_{p6}, \end{aligned} \quad (18)$$

где  $TPS_{1\_35}, TPS_{2\_35}, TPS_{h35}$  – ТПС напряжением 35кВ ( $I, 2 \dots h$ );

$TPS_{1\_24}, TPS_{2\_24}, TPS_{k24}$  – ТПС напряжением 24кВ ( $I, 2 \dots k$ );

$TPS_{1\_20}, TPS_{2\_20}, TPS_{L20}$  – ТПС напряжением 20кВ ( $I, 2 \dots L$ );

$TPS_{1\_10}, TPS_{2\_10}, TPS_{m10}$  – ТПС напряжением 10кВ ( $I, 2 \dots m$ );

$TPS_{1\_6}, TPS_{2\_6}, TPS_{p6}$  – ТПС напряжением 6кВ ( $I, 2 \dots p$ ).

Последовательности составлены согласно иерархической и магистрально-радиальной структурной схемы распределения понижающих подстанций 220кВ-6кВ (рис.2).

Так как структура соединения распределительных пунктов, подводящих электроэнергию к потребителям, магистрально-радиальная (смешанная), то ее можно представить в следующем виде

$$RP_{L20} = \prod_b RP20_{lb} \vee \prod_c RP20_{Lc} = (RP20_{11} \cdot RP20_{12} \cdot \dots \cdot RP20_{1b}) \vee (RP20_{L1} \cdot RP20_{L2} \cdot \dots \cdot RP20_{Lc}), \quad (19)$$

$$RP_{m10} = \prod_d RP10_{ld} \vee \prod_f RP10_{mf} = (RP10_{11} \cdot RP10_{12} \cdot \dots \cdot RP10_{1d}) \vee (RP10_{m1} \cdot RP10_{m2} \cdot \dots \cdot RP10_{mf}), \quad (20)$$

$$RP_{pk6} = \prod_g RP6_{1g} \vee \prod_{kh} RP6_{pkh} = (RP6_{11} \cdot RP6_{12} \cdot \dots \cdot RP6_{1g}) \vee (RP6_{pk1} \cdot RP6_{pk2} \cdot \dots \cdot RP6_{pkh}), \quad (21)$$

$$RP_{pL3} = \prod_k RP3_{1k} \vee \prod_{pL} RP3_{pL} = (RP3_{11} \cdot RP3_{12} \cdot \dots \cdot RP3_{1k}) \vee (RP3_{pL1} \cdot RP3_{pL2} \cdot \dots \cdot RP3_{pLL}), \quad (22)$$

$$\begin{aligned} RP_{pm06} = \prod_m RP06_{1l} \vee \prod_{pm} RP06_{pmm} = & (RP06_{11} \cdot RP06_{12} \cdot \dots \cdot RP06_{1m}) \vee (RP06_{pm1} \cdot RP06_{pm2} \times \dots \times \\ & \times RP06_{pmm}), \end{aligned} \quad (23)$$

$$RP_{pn044} = \prod_p RP044_{1p} \vee \prod_{pn} RP044_{pnr} = (RP044_{11} \cdot RP044_{12} \cdot \dots \cdot RP044_{1p}) \vee (RP044_{pn1} \times \times RP044_{pn2} \cdot \dots \cdot RP044_{pnr}), \quad (24)$$

$$RP_{pr038} = \prod_s RP038_{1s} \vee \prod_{pr} RP038_{prt} = (RP038_{11} \cdot RP038_{12} \cdot \dots \cdot RP038_{1s}) \vee (RP038_{pr1} \times \times RP038_{pr2} \cdot \dots \cdot RP038_{prs}), \quad (25)$$

где  $\prod$  – оператор произведения элементов.

Последовательности составлены согласно магистрально-радиальной структуре распределительных сетей, подводящих электроэнергию к потребителям (рис.3).

Тогда с учетом (1-25) модели основных базисов энергосистемы можно представить в виде следующих выражений.

Модель базиса отдельных энергосистем

$$BOS = TPS_{1150} \cdot TPS_{800} \cdot TPS_{750} \cdot TPS_{500}, \quad (26)$$

Модель базиса связи энергосистем

$$BSE = PPS_{400}, \quad (27)$$

Модель базиса энергосистем и объединения электростанций внутри энергосистем

$$BESO = TPS_{b300} \cdot TPS_{c220} = (TPS_{1_330} \wedge TPS_{2_330} \wedge \dots \wedge TPS_{b330}) \cdot (TPS_{1_220} \wedge TPS_{2_220} \wedge \dots \wedge TPS_{l220}), \quad (28)$$

Модель базиса питания шахт:

$$BSH = TPS_{d150} \cdot TPS_{f110} = (TPS_{1_150} \wedge TPS_{2_150} \wedge \dots \wedge TPS_{d150}) \cdot (TPS_{1_110} \wedge TPS_{2_110} \wedge \dots \wedge TPS_{f110}), \quad (29)$$

Модель базиса энергоснабжения крупных и средних промышленных предприятий большой энергоемкости

$$BPP_{BE} = TPS_{d150} \cdot TPS_{f110} \cdot TPS_{g66} \cdot TPS_{h35} = (TPS_{1_150} \wedge TPS_{2_150} \wedge \dots \wedge TPS_{d150}) \times \times (TPS_{1_110} \wedge TPS_{2_110} \wedge \dots \wedge TPS_{f110}) \cdot (TPS_{1_66} \wedge TPS_{2_66} \wedge \dots \wedge TPS_{g66}) \cdot TPS_{h35}, \quad (30)$$

где  $TPS_{h35}$  согласно магистральной структуры при перемножении элементов изменяется от  $(TPS_{1_35}, TPS_{2_35}, \dots, TPS_{h35})$ .

Модель базиса энергоснабжения средних и небольших промышленных объектов небольшой энергоемкости

$$BPP_{ME} = TPS_{k24} \cdot (TPS_{L20} \cdot RP_{L20}) \cdot (TPS_{m10} \cdot RP_{m10}) \cdot TPS_{p6} = TPS_{k24} \cdot (TPS_{L20} \times ((RP_{20_{11}} \cdot RP_{20_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{20_{1b}}) \vee (RP_{20_{L1}} \cdot RP_{20_{L2}} \cdot \dots \cdot RP_{20_{Lc}})) \cdot (TPS_{m10} \cdot ((RP_{10_{11}} \cdot RP_{10_{12}} \times \dots \cdot RP_{10_{1d}}) \vee (RP_{10_{m1}} \cdot RP_{10_{m2}} \cdot \dots \cdot RP_{10_{mf}}))) \cdot TPS_{p6}, \quad (31)$$

где  $TPS_{p6}$  согласно магистральной структуры при перемножении элементов изменяется от  $(TPS_{1_6}, TPS_{2_6}, \dots, TPS_{p6})$ .

Модель базиса энергоснабжения малых промышленных и непромышленных предприятий-потребителей энергоресурсов:

$$BPNP = RP_{pk6} \cdot RP_{pL3} \cdot RP_{pm06} \cdot RP_{pn044} = ((RP_{6_{11}} \cdot RP_{6_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{6_{1g}}) \vee (RP_{6_{pk1}} \cdot RP_{6_{pk2}} \times \dots \times RP_{6_{pkh}})) \cdot ((RP_{3_{11}} \cdot RP_{3_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{3_{1k}}) \vee (RP_{3_{pL1}} \cdot RP_{3_{pL2}} \cdot \dots \cdot RP_{3_{pLL}})) \cdot ((RP_{06_{11}} \cdot RP_{06_{12}} \times \dots \times RP_{06_{1m}}) \vee (RP_{06_{pm1}} \cdot RP_{06_{pm2}} \cdot \dots \cdot RP_{06_{pmm}})) \cdot ((RP_{044_{11}} \cdot RP_{044_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{044_{1p}}) \vee (RP_{044_{pn1}} \times RP_{044_{pn2}} \cdot \dots \cdot RP_{044_{pnr}})), \quad (32)$$

Модель базиса энергоснабжения больших городов, населенных пунктов крупных районов

$$BGNP_b = TPS_{d150} \cdot TPS_{f110} = (TPS_{1_150} \wedge TPS_{2_150} \wedge \dots \wedge TPS_{d150}) \cdot (TPS_{1_110} \wedge TPS_{2_110} \wedge \dots \wedge TPS_{f110}), \quad (33)$$

Модель базиса энергоснабжения небольших районов, населенных пунктов районов и небольших населенных пунктов

$$BRNP_m = TPS_{g66} \cdot TPS_{h35} \cdot (TPS_{L20} \cdot RP_{L20}) \cdot (TPS_{m10} \cdot RP_{m10}) \cdot TPS_{p6} = (TPS_{1\_66} \wedge TPS_{2\_66} \wedge \dots \wedge \wedge TPS_{g66}) \cdot TPS_{h35} \cdot TPS_{L20} \cdot ((RP_{20_{11}} \cdot RP_{20_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{20_{1b}}) \vee (RP_{20_{L1}} \cdot RP_{20_{L2}} \cdot \dots \cdot RP_{20_{Lc}})) \times \times TPS_{m10} \cdot ((RP_{10_{11}} \cdot RP_{10_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{10_{1d}}) \vee (RP_{10_{m1}} \cdot RP_{10_{m2}} \cdot \dots \cdot RP_{10_{mf}})) \cdot TPS_{p6}, \quad (34)$$

где  $TPS_{h35}$  согласно магистральной структуры при перемножении элементов изменяется от  $(TPS_{1\_35}, TPS_{2\_35}, \dots, TPS_{h35})$ ;

$TPS_{L20}$  согласно магистральной структуры при перемножении элементов изменяется от  $(TPS_{1\_20}, TPS_{2\_20}, \dots, TPS_{L20})$ ;

$TPS_{m10}$  согласно магистральной структуры при перемножении элементов изменяется от  $(TPS_{1\_10}, TPS_{2\_10}, \dots, TPS_{m10})$ ;

$TPS_{p6}$  согласно магистральной структуры при перемножении элементов изменяется от  $(TPS_{1\_6}, TPS_{2\_6}, \dots, TPS_{p6})$ .

Модель базиса энергоснабжения небольших районов сельской местности и сельскохозяйственных потребителей

$$BSP = TPS_{h35} \cdot (TPS_{L20} \cdot RP_{L20}) \cdot (TPS_{m10} \cdot RP_{m10}) \cdot TPS_{p6} = TPS_{h35} \cdot TPS_{L20} \times ((RP_{20_{11}} \cdot RP_{20_{12}} \times \times \dots \times RP_{20_{1b}}) \vee (RP_{20_{L1}} \cdot RP_{20_{L2}} \cdot \dots \cdot RP_{20_{Lc}})) \cdot TPS_{m10} \cdot ((RP_{10_{11}} \cdot RP_{10_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{10_{1d}}) \vee \vee (RP_{10_{m1}} \cdot RP_{10_{m2}} \cdot \dots \cdot RP_{10_{mf}})) \cdot TPS_{p6}, \quad (35)$$

Модель базиса энергоснабжения конечных потребителей

$$BKP = RP_{pr038} = (RP_{038_{11}} \cdot RP_{038_{12}} \cdot \dots \cdot RP_{038_{1s}}) \vee (RP_{038_{pr1}} \cdot RP_{038_{pr2}} \cdot \dots \cdot RP_{038_{prs}}). \quad (36)$$

### Выводы из данного исследования

В данной работе разработана структурно-функциональная схема электрической части энергосистемы, в рамках которой детализированы иерархическая и магистрально-радиальная структурная схема распределения понижающих подстанций 220кВ-6кВ, магистрально-радиальная структура распределительных сетей, подводящих электроэнергию к потребителям.

С учетом иерархической распределенной структуры Единой электроэнергетической системы Украины выделены уровни декомпозиции, которые формируют основные базисы: базис отдельных энергосистем; базис связи энергосистем; базис энергосистем и объединения электростанций внутри энергосистем; базис питания шахт; базисы энергоснабжения промышленных и непромышленных предприятий; базисы энергоснабжения городов, населенных пунктов районов, небольших населенных пунктов; базис энергоснабжения небольших районов сельской местности и сельскохозяйственных потребителей; базис энергоснабжения конечных потребителей.

Для формализации разработанной структурно-функциональной схемы электрической части энергосистемы в описанных базисах использован модифицированный язык регулярных схем алгоритмов с построением на базе его регулярных схем системных моделей. Данные модели описывают основные базисы Единой электроэнергетической системы Украины с учетом ее иерархической и распределенной структуры.

Реализация данных моделей позволит системному оператору ограничить пребывание энергосистемы в режимах с параметрами, выходящими за пределы требований технических регламентов, повышенную вероятность нарушения устойчивости электроэнергетической системы или ее частей, возникновение и длительное существование которых представляет не только угрозу жизни и здоровью людей, повреждения оборудования, ведет к ограничению подачи энергии в значительном

объеме (режимы с высокими рисками), но и приводит к каскадным авариям в рамках Единой электроэнергетической системы Украины.

1. *Проблемы и перспективы использования искусственных нейронных сетей в энергетике. Ч. I. Моделирование* / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.А. Сергеев // *Проблемы общей энергетики.* – 2006. – № 14. – С.50. 2. Дубовський С.В., Кобрін П.П. *Моделювання перспективних параметрів навантаження об'єднаної енергосистеми України з урахуванням різних рівнів енергозбереження // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Енергозбереження в Україні: Законодавство, теорія, практика.* – 2003. – С.70-73. 3. Кудрявцева М.С. *Моделі вибору методів для діагностики трансформаторного обладнання // Радиоелектроника и молодежь в XXI веке: Сб. научн. трудов 11-го Международного молодежного форума. Харьков, 10-12 апреля 2007 г.* – Харьков; К.; Минск; Рязань, 2007. – Ч. 1. – С. 416. 4. Левыкин В.М., Кудрявцева М.С. *Математические модели определения причин и последствий нарушений работы трансформаторного оборудования // Радиоэлектронные и компьютерные системы.* – 2006. – №1 (10). – С. 42 – 50. 5. Кудрявцева М.С. *Моделі вибору методів для діагностики трансформаторного обладнання // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: Сб. научн. трудов 11-го Международного молодежного форума. Харьков, 10-12 апреля 2007 г.* – Харьков; К.; Минск; Рязань, 2007. – Ч. 1. – С. 416. 6. *Методический подход к расчету пороговых значений индикаторов для анализа энергетической безопасности на примере Молдавской энергосистемы* / Е.В. Быкова // *Проблемы общей энергетики.* – 2003. – №8. – С. 70. 7. Грудинский П. Г., Мандрыкин С. А., Улицкий М. *С.Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций/подстанций/ Под ред. П. И. Устинова.* — М.: Энергия, 1974.—576 с. 8. Жихарев В.Я. *Математические основы проектирования рекурсивных автоматов с программируемой логикой* / В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко, И.В. Чумаченко. – Х.: Факт, 1999. –144 с.

УДК 504.75:681.2.543

Н. Луців, В. Юзевич\*

Львівський інститут економіки і туризму,  
кафедра товарознавства і експертизи товарів,

\* Фізико-механічний інститут ім. Г. Карпенка НАН України, Львів

## ЕЛЕМЕНТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОБІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Ї Луців Н., Юзевич В., 2009

**Запропоновано рекомендації щодо моделювання гідробіологічних процесів в озерах з урахуванням умов взаємодії з водним середовищем.**

**Offered the recommendation for the modelling of hydrobiological processes in lakes taking into account the terms of co-operating with a water environment.**

### Вступ

Проблема оцінки якості водного середовища озер пов'язана з умовами існування біологічних популяцій. Надходження забруднень змінює трофічність і приводить до виживання найстійкіших представників біологічних популяцій (зокрема, гідробіонтів, зоопланктону, фітопланктону) в екологічній системі (екосистемі).

*Екосистема озера* – складна ієрархічна структура організованої матерії, в якій при об'єднанні хімічних та біологічних компонентів в більші функціональні одиниці виникають нові процеси та властивості, що відсутні на попередньому рівні; є єдиним стійким природним комплексом живих організмів і природного середовища, в якому вони існують; відкритою термодинамічною системою,