

A significant advantage of the cycle Eroshenko is the compact thermal power installation without a phase transition "water-steam", it allows to use of these units in areas with limited space (vehicles, space vehicles, submarines, etc.), as well as the maneuvering units of different capacities to cover peak loads. Although attractive and environmental component, as silent installation, and its production requires much lower material costs and reduced thermal pollution to the environment.

Given the potential Eroshenko cycle, and its technical capabilities, the cycle can be regarded as a promising solution for energy problems, including the exit of Ukraine's energy crisis.

Keywords: thermomolekular energy, heterogeneous lyophobic system interphase, intrusion, extrusion, thermodynamic compactness, heat recovery.

УДК 621.620.036.7+536.7+541.12+541.18+541.532.6+541.532.264

**В.А. Ерошенко, д-р техн. наук, профессор, А.В. Тишковець, магистр, В.А. Бублей, магистр
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИКЛА ЕРОШЕНКО КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ ЦИКЛУ
РЕНКИНА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В статье представлен сравнительный анализ цикла Ренкина с циклом Ерошенко на основе конденсированных гетерогенных лиофобных систем.

Существенным преимуществом цикла Ерошенко являются компактные размеры теплосилового установи без фазового перехода «вода-пар», это позволяет использовать данные установи в местах с ограниченным пространством (транспортные средства, космические аппараты, подводные лодки и другое), а также как маневренные блоки различной мощности для покрытия пиковых нагрузок. Кроме того, привлекательна и экологическая составляющая, так как установи бесшумны, а на свое производство требуют значительно меньших материальных затрат, а также уменьшается тепловое загрязнение окружающей среды.

Учитывая потенциал цикла Ерошенко и его технические возможности, цикл можно считать перспективным для решения энергетических проблем, в том числе и для выхода Украины из энергетического кризиса.

Ключевые слова: термомолекулярная энергетика, гетерогенная лиофобная система, межфазная поверхность, интрузия, экструзия, термодинамическая компактность, рекуперация тепла.

Надійшла 16.06.2015

Received 16.06.2015

УДК 621.311.019

Ю.П. Матеенко, С.В. Казанский, А.С. Лунин

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Проведен сравнительный анализ методов определения надежности структурных схем электростанций на стадии проектирования. Рассмотрены особенности оценивания надежности структурных схем электростанций с учетом функционирования рынка электрической энергии.

Цель исследования: повышение эксплуатационной надежности структурных схем электростанций и снижение количества недоотпущенной электрической энергии.

Методика реализации: внедрение современных алгоритмов и программ оценки надежности структурных схем.

Результаты исследования: проанализированы основные методы анализа надежности структурных схем электростанций, получены численные значения интегрального показателя надежности в зависимости от количества отказов в схеме.

Выводы: показаны преимущества применения метода марковских случайных процессов для анализа надежности структурных схем электростанций, как на этапе проектирования, так и в условиях эксплуатации или реконструкции.

Ключевые слова: электростанция, структурная схема, надежность, методы анализа.

Для оценки надежности структурных схем электрических станций можно использовать ряд методов основанных на теории вероятности [1]. Критерием надежности методов является количество недоотпущенной электроэнергии.

Для оценки надежности структурных схем была выбрана схема электростанции с распределительными и устройствами высшего напряжения (ВН) 330 кВ и среднего напряжения (СН) 110 кВ, соединенными автотрансформаторами (рис. 1).

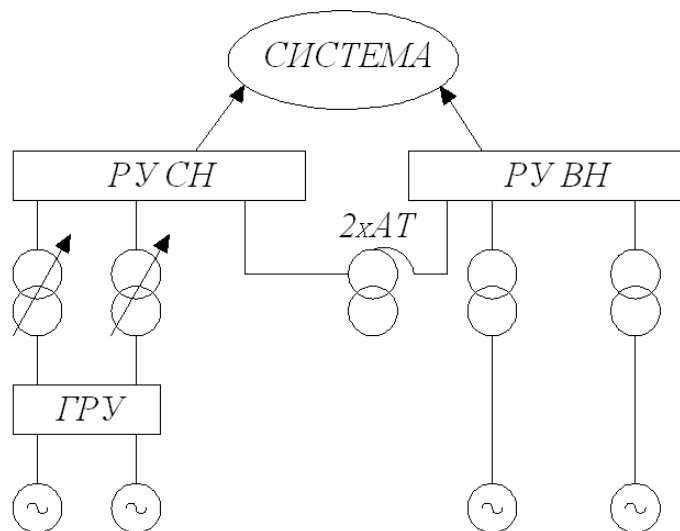


Рисунок 1 – Структурная схема электростанции

В качестве исследуемых методов были выбраны следующие методы [2]:

1. Вероятностный.
2. Минимальных сечений.
3. Деревя отказов.
4. Марковских случайных процессов.

Вероятностный метод позволяет оценить надежность схемы за счет превращения всей схемы в один эквивалентный элемент. Это эквивалентирование достигается путем складывания параллельных и последовательных элементов схемы.

Метод минимальных сечений позволяет дать количественную оценку надежности без полного эквивалентирования схемы. Задача сводится к нахождению минимальных сечений, т.е. минимальному количеству элементов, отказ которых приведет к отказу всей схемы.

Метод дерева отказов основан на систематическом анализе событий, которые могут вызвать отказ системы. Деревом отказов называют логическое дерево, в котором ветви представляют собой события, приводящие к отказу системы, подсистемы или элементов.

При экспоненциальном законе распределения времени восстановления и времени между отказами для расчета показателей надежности установки с восстановлением пригоден математический аппарат марковских случайных процессов. Данный метод допускает, что один элемент установки или сама установка без резервирования могут находиться в двух состояниях: E_1 – работоспособное, E_0 – неработоспособное. Если λ – интенсивность отказов, а μ – интенсивность восстановления, и $\mu = 1/\tau$, то граф переходов из состояния в состояние с обозначением вероятностей переходов за время Δt будет иметь вид, представленный на рис. 2.

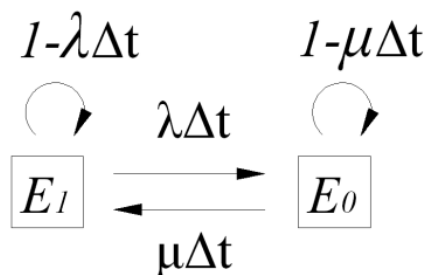


Рисунок 2 – Модель надежности объекта с восстановлением

Обозначим через $P_1(t)$ вероятность того, что в момент t установка находится в состоянии E_1 , а через $P_0(t)$ – вероятность того, что в момент t находится в состоянии E_0 . Тогда дифференциальные уравнения относительно вероятностей переходов:

$$\begin{aligned} P'_1(t) &= -\lambda P_1(t) + \mu P_0(t); \\ P'_0(t) &= \lambda P_1(t) - \mu P_0(t). \end{aligned}$$

При начальных условиях $P_1(0) = 1, P_0(0) = 0$ и условии, что состояния E_1 и E_0 представляют собой полную группу событий, т.е. $P_1(t) + P_0(t) = 1$, решение дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} P_1(t) &= \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right) \left(1 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \exp(-(\mu + \lambda)t)\right); \\ P_0(t) &= \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right) (1 - \exp(-(\mu + \lambda)t)). \end{aligned}$$

Таким образом, метод марковских случайных процессов позволяет дать оценку по надежности в течение определенного периода времени. В примере за расчетный период брался интервал до 5 месяцев после пуска станции.

Критериями выбора структурной схемы являются наименьшие вероятность отказа всей схемы и количество недоотпущенной электроэнергии с шин ВН. Расчеты проводились для электрической станции мощностью 320 МВт (2х60, 2х100). Результаты расчетов представлены в **табл. 1**.

Таблица 1– Результаты расчета надежности структурной схемы

Метод	Вероятность отказа схемы, $Q_{сх}$	Недоотпуск электроэнергии, $M, \frac{кВт \cdot ч}{год}$
Вероятностный	$1,583 \cdot 10^{-9}$	$1,109 \cdot 10^{-3}$
Минимальных сечений	$1,603 \cdot 10^{-9}$	$1,123 \cdot 10^{-3}$
Дерева отказов	$3,222 \cdot 10^{-8}$	0,023
Марковских случайных процессов (за рассматриваемый месяц)	0	0
	1	$1,597 \cdot 10^{-5}$
	2	$2,219 \cdot 10^{-4}$
	3	$9,616 \cdot 10^{-4}$
	4	$2,594 \cdot 10^{-3}$
	5	$5,408 \cdot 10^{-3}$

Как видно из табл. 1, метод минимальных сечений и вероятностный метод дали практически одинаковые результаты, что объясняется схожим подходом к решению. В этих методах используется эквивалентирование схемы, только в вероятностном – полное, а в методе минимальных сечений – частичное. Данные методы требуют много расчетов, но при этом относительно просты и могут быть легко реализованы на ЭВМ [3].

Метод дерева отказов по результатам отличается от двух предыдущих. Это связано с тем, что данный метод включает в себя все возможные варианты отказов элементов, которые приводят к отказу схемы, т.е. учитывает все сечения. Дерево отказов для рассматриваемой схемы показано на **рис. 3**.

Метод дерева отказов не требует много вычислений и является достаточно наглядным, что позволяет отследить по ветвям дерева, какие именно элементы влияют на ту или иную аварию. Однако данный метод не подходит для схем с большим количеством элементов.

Метод марковских случайных процессов позволяет дать оценку надежности структурной схемы электрической станции на любом временном промежутке. Таким образом, можно проследить динамику изменения не только отдельных элементов или цепочки элементов, но и количество недоотпущенной электроэнергии.

Особенности оценки надежности структурных схем электростанций в условиях функционирования рынка электрической энергии

В условиях функционирования либерализованных рынков электрической энергии (рынка двусторонних договоров и балансирующего рынка) проблема обеспечения надежности выдачи мощности и, соответственно, баланса в энергосистеме, приобретает особую актуальность [4].

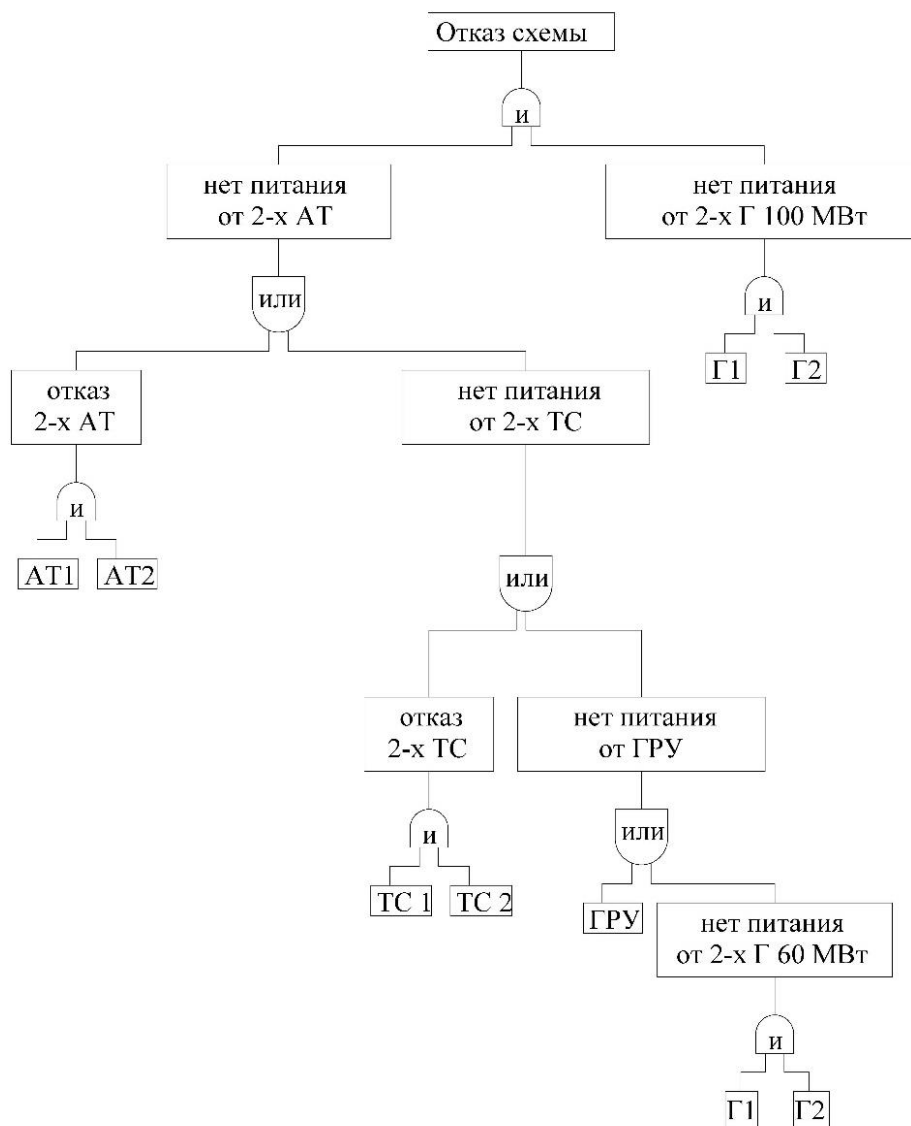


Рисунок 3 – Дерево отказов рассматриваемой структурной схемы

С введением конкурентных отношений изменяются цели управления в электроэнергетической отрасли. Изменение приоритетов от достижения минимума расходов всей отрасли до максимума прибыли отдельных субъектов рынка часто отодвигают вопрос обеспечения надежности на второй план.

С внедрением рыночных отношений изменяются правовые, экономические, структурные и организационные формы функционирования субъектов электроэнергетики, поэтому проблемы обеспечения надежности необходимо рассматривать с учетом этих изменений.

Новая концепция обеспечения надежности должна быть основана на методологии системного подхода с учетом рыночных отношений между субъектами, содержать комплекс задач энергетики по критериям принятия решений, а также порядок совместного участия субъектов рынка в обеспечении системной надежности энергоснабжения потребителей.

При реформировании электроэнергетической отрасли и внедрении рыночных конкурентных отношений ответственность за надежность электроснабжения распределяется между многими субъектами рынка, повышает роль координации, выработки правил и принципов обеспечения надежности [5].

Критерием оценки эффективности обеспечения надежности энергоснабжения потребителей может быть, например, минимум затрат на единицу потребленной энергии. Этот критерий не противоречит интересам производителей энергии, электропередающих организаций и отвечает интересам потребителей.

Надежность схемы выдачи мощности H определяется как отношение разности между полным контрактным (договорным) отпуском $E_{\text{полн}}$ и объемом недоотпущенной мощности с шин $E_{\text{нед}}$ вследствие аварий и отказов:

$$H = \frac{E_{\text{полн}} - E_{\text{нед}}}{E_{\text{полн}}} \cdot 100\%$$

Общий ущерб от недоотпущенной электроэнергии Y_n состоит из нескольких составляющих:

$$Y_n = Y_{EC} + Y_{EP} + Y_{ПOTP}$$

где Y_{EC} – ущерб электростанции; Y_{EP} – ущерб передающей системы; $Y_{ПOTP}$ – ущерб потребителей электроэнергии.

Экономический ущерб состоит из дополнительных затрат на ремонт, стоимости дополнительных потерь электроэнергии, связанных с отклонением режима электрической сети от номинального, стоимости топлива на пуск энергоблоков при остановке агрегатов электростанций, затрат на демонтаж и транспортировку оборудования, на ремонт, затрат на содержание резервного оборудования, а также из ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям вследствие аварийных отключений.

Ущерб Y_s s -го предприятия от перерыва электроснабжения определяется по соотношению:

$$Y_s = \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{l=1}^{N_l} \Lambda(l, k) \cdot [y_n(l) + 8760 \cdot y_t(l) \cdot \tau(l, k)],$$

где $k=1,2,3,\dots,N_k$; $l=1,2,3,\dots,N_l$; N_k – количество аварий с возникновением перерыв электроснабжения; N_l – количество потребителей электроэнергии на одном предприятии; $\Lambda(l, k)$ – частота аварий k -го вида с отключением l -го потребителя электроэнергии; $y_n(l)$ – удельный ущерб от одного перерыва электроснабжения l -го потребителя; $y_t(l)$ – удельный ущерб за один час перерыва электроснабжения l -го потребителя; $\tau(l, k)$ – среднее время восстановления электроснабжения l -го потребителя.

В условиях рыночных отношений, где каждый участник стремится обеспечить себе получение максимальной прибыли, выявление эффективных направлений повышения надежности электроснабжения заслуживает особого внимания. Это позволяет сформулировать основные концептуальные предложения по проведению инвестиционной политики для обеспечения надежного энергоснабжения.

С учетом вышеизложенного, в качестве критерия экономической оценки эффективности внедрения мероприятий по повышению надежности можно принять интегральный эффект $\mathcal{E}_{\text{инт}}$:

$$\mathcal{E}_{\text{инт}} = \sum_{t=0}^T (R_t - B_t) \cdot \frac{1}{(1+E_t)^t},$$

где T – период расчета; t – номер шага; R_t – результаты, полученные на t -м шаге расчета; B_t – затраты на реализацию мероприятий по повышению надежности на t -м шаге расчета; E_t – норма дисконтирования на t -м шаге расчета.

Дополнительными критериями эффективности могут быть индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости капиталовложений и другие показатели.

Расходы на развитие и функционирование электрогенерирующих мощностей определяются уровнем установленной мощности N на основе соотношения:

$$N = \frac{W}{h(1-\alpha_{ch})(1-\gamma_{втр})},$$

где W – количество дополнительно выработанной и отпущенной электроэнергии в результате реализации мероприятий по повышению надежности; h – количество часов использования установленной мощности агрегатов ЭС; α_{ch} – доля электроэнергии, используемой на собственные нужды агрегатов ЭС; $\gamma_{втр}$ – относительное значение потерь электроэнергии в сетях.

Выводы. Проведенный сравнительный анализ методов оценки надежности структурных схем электростанций свидетельствует о том, что практически все рассмотренные методы дают приемлемые результаты. Выбор метода зависит от желаемой точности расчетов, при этом оптимальным сочетанием точности и эффективности характеризуется метод марковских случайных процессов.

При сравнительном определении надежности структурных схем электростанций в условиях функционирования рынка электрической энергии необходим комплексный анализ затрат и ущерба всех участников рынка, связанных с производством, передачей и распределением электрической энергии.

Список литературы:

1. Гук Ю.Б., Синенко М.М., Тремясов В.А. Расчет надежности схем электроснабжения /.-Л.: Энергоатомиздат, Ленинград. отд., 1990. -216 с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике: Учеб. пособие для вузов.-Л.: Энергоатомиздат, 1990.-208 с.
3. Электрическая часть электростанций. / Под ред. С.В. Усова. – Л.: Энергия, 1987. -616 с.
4. Письменна У.Є. Ринки електричної і теплової енергії в Україні: структура, ціноутворення і регулювання // НАН України, Ін-т екон. та прогнозув. – К., 2008.– 208 с.: табл., рис.
5. Дубровская Е.Ю. Стимулирующее регулирование как инструмент долгосрочной государственной политики развития распределительных компаний // Электропанорама. – 2012, №4 – 5.

Y. Mateyenko, S. Kazanskiy, A. Lunin

RELIABILITY CALCULATION OF BLOCK SCHEMES OF ELECTRIC POWER PLANTS IN TERMS OF FUNCTIONING OF ELECTRICITY MARKET

A comparative analysis of the methods for determining the reliability of block schemes of electric power plants at the design stage was carried out. The features of reliability evaluation of electric power plants block schemes were considered in terms of functioning of the electricity market.

Objective: to increase the operational reliability of electric power plants block schemes and to reduce the probability of electricity undersupply.

Technique of realization: the implementation of modern algorithms and programs for evaluation of the reliability of block schemes.

Results: The main methods of analysis of the reliability of electric power plants block schemes were analyzed, numerical values of integral reliability index were obtained according to the number of failures in the circuit.

Conclusions: It was shown that the Markov processes method applied for the analysis of reliability of the block schemes of electric power plants is advantageous both at the design stage and in operation or reconstruction.

Keywords: electric power plants, block scheme, reliability, analysis methods.

References:

1. Hook Y.B., Sinenko M.M., Tremyasov V.A. Calculation of reliability of power supply circuits /.-L: Energoatomizdat, Leningrad. dep, 1990.
2. Hook Y.B. Theory of reliability in electricity: Tutorial for colleges.-A.: Energoatomizdat, 1990.
3. Electrical power. / Ed. Usov S.V. - L.: Energy, 1987.
4. U. Pysmenna Markets of electric and thermal energy in Ukraine: structure, pricing and adjusting // of NAS of Ukraine, Institute of economy and prognostication - Kyiv, 2008. – 208 p.s.:
5. O. Dubrovska The stimulant adjusting as instrument of long term public policy of development of distributive companies // Electropanorama. – 2012, № 4-5.

УДК 621.311.019

Ю.П. Матеснко, С.В. Казанський, А.С. Лунін

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Проведено порівняльний аналіз методів визначення надійності структурних схем електростанцій на стадії проектування. Розглянуто особливості оцінювання надійності структурних схем електростанцій з урахуванням функціонування ринку електричної енергії.

Мета дослідження: підвищення експлуатаційної надійності структурних схем електростанцій і зниження ймовірності невідпустки електричної енергії.

Методика реалізації: впровадження сучасних алгоритмів і програм оцінювання надійності структурних схем.

Результати дослідження: проаналізовано основні методи аналізу надійності структурних схем електростанцій, отримано чисельні значення інтегрального показника надійності залежно від кількості відмов у схемі.

Висновки: показано переваги застосування методу марковських випадкових процесів для аналізу надійності структурних схем електростанцій, як на етапі проектування, так і в умовах експлуатації або реконструкції.

Ключові слова: електростанція, структурна схема, надійність, методи аналізу.

Надійшла 25.05.2015

Received 25.05.2015