

УДК 621.311

## **О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ДАННЫХ В НАГРУЗКАХ УЗЛОВ ПРИ РАСЧЕТАХ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**АХУНДОВ И.Ш.**

*Азербайджанский научно-исследовательский институт Энергетики и Энергетического Проектирования*

**Реферат.** В задачах планирования и оперативного управления встречаются случаи, когда невозможно получить решение задачи установившегося режима, пользуясь известными методами и программами или традиционными математическими моделями. В связи с этим в данной статье рассматриваются вопросы применения методов искусственного интеллекта для обнаружения некорректных данных в нагрузках узлов при расчетах установившихся режимов электрических сетей.

Невозможность получить решение задачи установившегося режима возникает при рассмотрении анализа нормальных режимов, анализе существования режимов для данных расчетных условий, при обработке контрольных замеров, планировании режимов при дефицитах активных и реактивных мощностей, при режимах, близких к предельному по статической устойчивости, при наличии нескольких технических допустимых решений, при наличии в схеме сети элементов, приводящих к замедлению и нарушению необходимых и достаточных условий сходимости метода.

Разработка эффективных методов решения уравнений установившегося режима является объектом исследования многих авторов [1-10]. В общем случае задача расчета установившегося режима электроэнергетических систем при этом сводится к получению решения системы нелинейных уравнений.

Поэтому разработка алгоритмов и программ расчета установившихся режимов ЭС с ВЛ СВН, обеспечивающих высокую надежность сходимости, быстроедействие и экономичное использование оперативной памяти ЭВМ, является актуальной.

Наиболее часто встречающимися в практике РУРЭС причинами отсутствия решения известными методами и программами являются нижеследующие.

1. Ошибки в задании исходной информации.
2. Плохо обусловленная система уравнений: число обусловленности большое, плохие измерения. Измерения и результаты обработки замеров плохие. Большие углы между векторами напряжений.
3. Режим, близкий к предельному по статической устойчивости.

Общий алгоритм РУРЭС должен быть построен адаптирующимся условиям задачи (нормальные, утяжеленные и предельные, плохая обусловленность системы уравнений и т.п.) и позволяющим наиболее эффективно их решать как в смысле повышения быстрогодействия, так и в смысле обеспечения надежной сходимости к физически реализуемому решению.

При этом могут быть построены следующие алгоритмы получения технически допустимого решения, основанные на методах: эвристические подходы поиска решения; на диагностике причин отсутствия решения от близости режима к предельному по статической устойчивости и в связи с ошибками в задании режима электрической сети и выработка рекомендаций по локализации и устранению ошибок в задании информации о нагрузках узлов.

В связи с этим большое значение имеет формализация этапов диагностики причин отсутствия решения в связи с ошибками в задании. Для построения адаптивного алгоритма РУРЭС актуальным является формализация отдельных этапов.

В статье рассматривается разработка алгоритма анализа расходимости итерационного процесса от близости режима к предельному по статической устойчивости и в связи с ошибками в задании режима электрической сети методами искусственного интеллекта.

Качество обучения оценивается минимизацией суммарного небаланса мощностей в ЭЭС [10].

$$\Delta S = f(Z, P, Q, U), \quad (1)$$

где Z-параметры схемы, P, Q, U –параметры режима электрической сети.

Задача РУРЭС сводится к минимизации суммы квадратов небалансов мощностей и напряжений

$$\Psi(X) = \Psi(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{k=1}^n w^2(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Функция (2) неотрицательная и ее минимум равен нулю, когда все небалансы равны нулю.

Минимизация суммарного небаланса мощности в электрической сети, в связи с большой размерностью и увеличением времени расчета с применением прямых методов нейронной сети без использования дополнительных приемов обучения и базы знаний для улучшения получения решения, представляется трудно выполнимой.

Текущее состояние нейрона определяется как взвешенная сумма его входов:

$$s = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \quad (3)$$

Оптимизация параметров искусственной нейронной сети производится путем минимизации функции обучения (2) по весовым коэффициентам

$$w_i^n = -\lambda \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial w_i} \quad (4)$$

Здесь  $\lambda$ - коэффициент скорости обучения,  $0 < \lambda < 1$ .

Задача обучения нейронной сети заключается в определении синаптических весов параметров схемы и режима электрической сети.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial w_{ji}} = \frac{\partial \Psi}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \cdot \frac{\partial s_j}{\partial w_{ji}} \quad (5)$$

Для построения адаптивного алгоритма получения решения актуальной является формализация отдельных этапов: диагностика причин отсутствия решения на основе анализа режима до и в процессе РУРЭС.

Часто встречающимися на практике причинами отсутствия решения известными методами и программами расчета установившихся режимов является ошибки или некорректность в задании исходной информации (нагрузки узлов).

В статье анализируются нижеследующие алгоритмы выявления некорректных данных в нагрузках узлов и локализации таких узлов методами жесткого искусственного интеллекта.

Допустим, что при расчете режима электрической сети итерационный процесс расходится. В этом случае критериями обнаружения плохих исходных данных в задании PQ в узлах могут быть узлы с большими значениями небаланса мощности  $|P_{\text{небф}}| \gg \Delta P_{\text{небз}}$ ,  $|Q_{\text{небф}}| \gg \Delta Q_{\text{небз}}$ ,  $|\Delta U_{\text{ф}}| \gg \Delta U_{\text{з}}$ , или углы между векторами напряжений, большие, чем 25-30 градусов ( $\delta > 25^\circ$ ). При этом такие узлы можно принимать в качестве подозрительных узлов в нарушении сходимости.

Грубым признаком обнаружения подозрительных узлов может служить также проверка уровней напряжений узлов по условию

$$U_{\text{io}} = \frac{U_i}{U_{\text{ином}}} < 0.8$$

Применение алгоритма уменьшения нагрузки узлов: во всех узлах схемы одновременно, последовательно по отдельным участкам, последовательно по узлам.

Если исходный установившийся режим электрической сети не имеет решения, то применяется алгоритмы уменьшения нагрузки узлов по выражению

$$P_{\text{ik}} = k_j \cdot P_i \quad (6)$$

где  $P_i$  и  $P_{\text{ik}}$ - соответственно исходные и корректируемые значения нагрузки  $i$ -го узла,  $k_j$ -коэффициент коррекции нагрузки ( $k_j < 1$ ).

Диагностика превышения нагрузки воздушной линии допустимого производится: по допустимому нагреву, по току линии, по натуральной мощности воздушной линии и.т.д.

Для унификации расчетов для воздушной линии за основу можно принимать относительные взвешенные по натуральной мощности воздушной линии в соответствии с классами напряжения передач нагрузки узлов

$$P_{\text{iВЛю}} = \frac{P_i \cdot Z_{\text{В}}}{U^2} \quad (7)$$

где  $Z_{\text{В}}$  – волновое сопротивление ВЛ.

Диагностика превышения нагрузки трансформаторов и автотрансформаторов над допустимой производится: по номинальной мощности с учетом перегрузочной способности. Для трансформаторных подстанций превышение нагрузки определяется сравнением расчетной мощности с номинальной мощностью трансформатора.

Значение коэффициента коррекции нагрузки можно принимать в пределах  $0.1 \leq k_j < 1$ . А для оптимизации выбора  $k_j$  можно применить метод покоординатного спуска в сочетании с методами одномерной оптимизации, золотого сечения и другие методы.

Обычно нарушение сходимости происходит в связи с близостью режима для одного или нескольких ветвей (участка) электрической сети к пределу статической устойчивости. В таких случаях определением таких участков по  $\delta_i$  и  $U_i$  узлов можно осуществить изменение нагрузки только для этих узлов, не изменяя нагрузки остальных узлов. Обнаружение плохих исходных данных в задании PQ в узлах могут быть произведены, используя матрицы чувствительности для уравнений установившегося режима и анализа относительных значений напряжений в узлах в соответствии с (5).

Если путем последовательного уменьшения нагрузки узлов не удастся получить решения, то применяются алгоритмы изменения (увеличения, уменьшения) генерации узлов, аналогичные алгоритму (6).

Если и при изменении (увеличении, уменьшении) генерации узлов также не удастся получить решение, то причиной невозможности получения решения является не ошибка в задании режима электрической сети. Поэтому необходима диагностика причин невозможности получения решения по другим показателям.

Блок схема программы выявления некорректных данных в нагрузках узлов и локализации таких узлов методами жесткого искусственного интеллекта приведена на рис. 1.

Работоспособность алгоритма поиска ошибки в задании нагрузки узлов предлагаемым подходом анализируется на тестовом 6-и узловом примере (рис. 2).

Параметры исходного режима приведены в таблице.

Таблица

Мощность/№ узлов	1	2	3	4	5	6
Активная, МВт	БУ	-80	69.75	0	54.25	69.75
Реактивная, МВАр	U=230 кВ	-26.115	38.75	0	23.25	31

Имитировался режим расчета ошибочным заданием активной нагрузки в узле №2  $P_2=254$  МВт. Расчет режима методом Ньютона (программа АзНИИЭ и ЭП) не обеспечивал сходимость режима к решению.

Путем изменения (уменьшения) активной мощности в нагрузочных узлах последовательно до обеспечения сходимости (20%, 40% уменьшения от исходного) среди узлов методом перебора был выбран узел №5 по причине ошибочного задания нагрузки, в котором расходился итерационный процесс.

Итерационный процесс сходился при снижении активной мощности в узле №5 до 180 МВт. Для этого режима в результате расчета напряжение в узле №5 имеет место  $U_5=85.88$  кВ,  $\delta_5=-52.39^\circ$ .

При снижении активной мощности в узле №5 и задании 154.25 МВт в результате решения УУР для напряжения в узле №5 получены  $U_5=93.43$  кВ,  $\delta_5=-36.73^\circ$ , и при  $P_5=54.25$  МВт,  $U_5=104.63$  кВ,  $\delta_5=-5.47^\circ$ .

Таким образом, применяя алгоритмы изменения (снижения) нагрузки узлов на основе методов жесткого искусственного интеллекта, можно выявить причины не существования режима по причине ошибочного или некорректного задания нагрузки узлов и информировать инженера - оператора о причине не обеспечения программой расчета режима электрической сети.

## ВЫВОДЫ

1. Общий алгоритм расчета режима электрической сети должен быть построен адаптирующимся к условиям задачи, позволять повысить эффективность решения как в смысле повышения быстродействия, так и в смысле обеспечения надежной сходимости к физически реализуемому решению.

2. Для диагностики причин невозможности получения решения по условиям некорректности задания режима предлагаются алгоритмы последовательного уменьшения нагрузки и изменения (увеличения, уменьшения) генерации узлов.

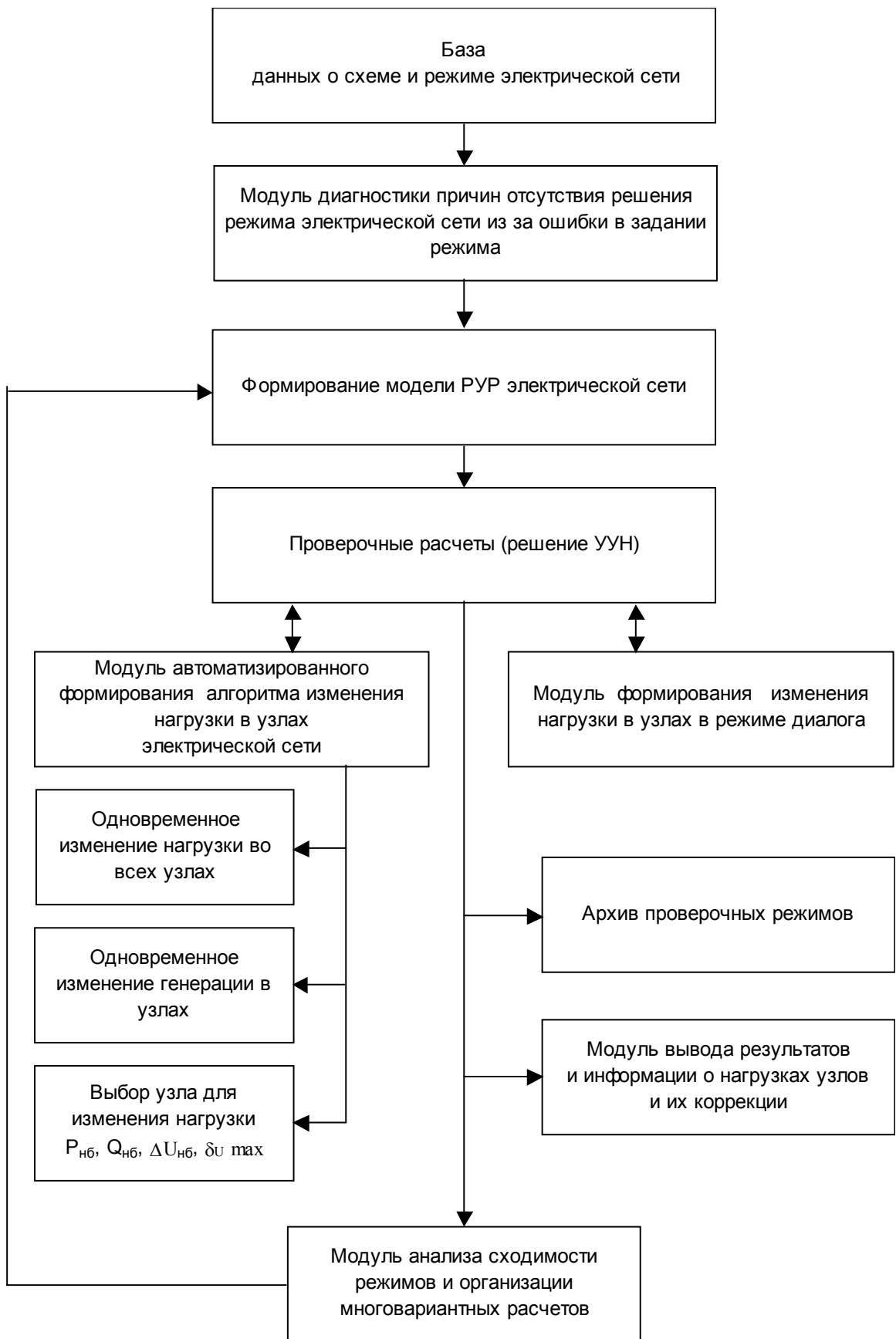


Рис. 1. Блок схема диагностики корректного задания режима электрической сети и автоматизированного поиска решения снижением нагрузки в узлах.

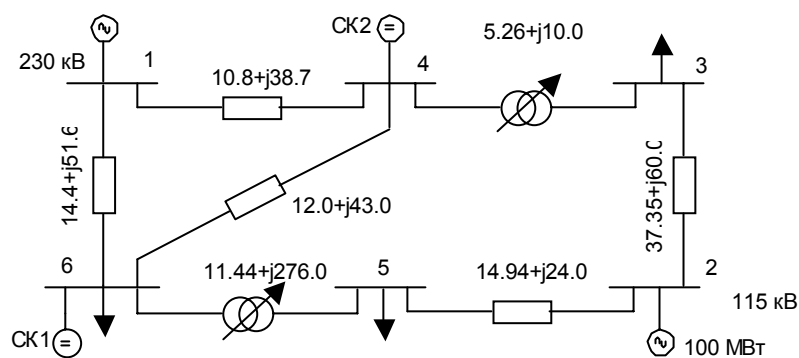


Рис. 2. Тестовая 6-и узловая схема 110-220 кВ.

1. Анализ и управление установившимися состояниями электроэнергетических систем. Н.А. Мурашко, Ю.А. Охорзин, Л.А. Крумм и др.- Новосибирск: Наука, 1987.

2. Методы оптимизации режимов энергосистем /В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев и др.- М.: Энергия, 1981. -366 с.

3. *Идельчик В.И.* Расчеты установившихся режимов электрических систем. - М.: Энергия, 1977. - 192 с.

4. *А.З. Гамм, С.И. Паламарчук* Адаптивные системы модели при оперативном управлении режимами ЭЭС. Известия Сибирского отделения АН Академии наук СССР. Серия технических наук. Выпуск 1,1990 стр.72 -78.

5. *А.З. Гамм.* Новые подходы к решению задач диспетчерского управления электроэнергетическими системами. Из.АН СССР. Энергетика и транспорт. 1991, N4 стр 12-22.

6. *Гамм А.З.* О моделях ЭЭС, адекватных точности исходных данных./Информационное обеспечение. Задачи реального времени в диспетчерском управлении. Ч.1. - Каунас: ИФТПЭ АН Лит. ССР, 1989, с. 61-69.

7. *Баламетов А.Б.* Исследование сходимости решения уравнений установившихся режимов электрических систем с ВЛ СВН. - В кн.: Экономичность и управляемость режимов энергосистем. - Баку, 1989, с. 55-62.

8. *Баламетов А.Б.* Комбинация методов Гаусса-Зейделя и Ньютона для решения уравнений установившегося режима электрических сетей с отрицательными и малыми сопротивлениями. - В кн.: Вопросы экономичности и надежности энергетических систем. - М.: Изд-во ЭНИН, 1979, с. 29-36.

9. *Стотт Б.* Обзор методов расчета потокораспределения. - ТИЭР, 1974, 62, N 7, с. 64-80.

10. *Баламетов А.Б., Мусаханова Г. С., Ахундов И. Ш.* О применении методов искусственного интеллекта для принятия решений в задачах управления режимами энергосистем. Труды II Республиканской научной конференции «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий» II Том, Баку-2004, стр. 26-28.

**ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİN QƏRARLAŞMIŞ REJİMLƏRİNİN  
HESABATINDA DÜYÜNLƏRDƏ QEYRİ-DƏQİQ YÜKLƏRİ MÜƏYYƏN EDƏN  
SÜNİ İNTELLEKT ÜSULLARININ TƏTBİQİ HAQQINDA**

**AXUNDOV İ.Ş.**

Elektrik sistemlərin qərarlaşmış rejimlərin planlaşdırılmasında və operativ idarə olumasında elə hallara rast gəlinir ki, bizə məlum olan üsullarla, proqramlarla və ya ənənəvi riyazi modellərdən istifadə etməklə qərarlaşmış rejimin həllini almaq mümkün olmur. Bununla əlaqədar bu məqalədə elektrik şəbəkələrin qərarlaşmış rejimlərinin hesabatında düyünlərdə qeyri-dəqiq yükləri müəyyən edən süni intellekt üsulların işlənməsi məsələlərinə baxılır.

**ABOUT APPLICATION OF METHODS OF AN ARTIFICIAL INTELLECT FOR  
DETECTION OF THE INCORRECT DATA IN LOADINGS OF UNITS AT  
ACCOUNTS OF THE ESTABLISHED MODES OF ELECTRICAL NETWORKS**

**AKHUNDOV I.Sh.**

In problems of planning and operative management meet cases when it is impossible to receive the decision of a problem of establishing a mode, using known methods and programs or traditional mathematical models. In this connection in given article it is considered questions of application of methods of an artificial intellect for detection of the incorrect data in loadings of units at accounts of the established modes of electrical networks.