

## О ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОКРУГЛЕНИЙ ЧИСЕЛ С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИТЕРАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ

*Комар А. В., БНТУ, г. Минск*

Режим электроэнергетической системы (ЭЭС) описывается нелинейной системой уравнений с комплексными коэффициентами, решение которой до настоящего времени возможно лишь итерационными методами, требующими значительных вычислительных затрат. Метод простой итерации и метод Гаусса-Зейделя не создают проблем с хранением и обработкой промежуточной информации, но плохо сходятся в тяжелых режимах. Еще один недостаток – невозможность получения решения для схем, содержащих большие емкостные проводимости, устройства продольной емкостной компенсации и сильно отличающиеся по величине последовательные сопротивления [1].

Решение нелинейной системы уравнений итерационным методом влечет накопление ошибки округления. Естественно, величина ошибки связана с количеством операций, производимых над числами, то есть зависит от размерности системы. Числа с плавающей точкой тем точнее, чем больше значащих цифр (Digits) используется при их записи. Современные языки программирования используют конечное число значащих цифр. Можно предположить, что при определенной размерности задачи числа значащих цифр не будет хватать для ее решения с заданной точностью. Поэтому актуально определить условия, налагаемые на задачу расчета установившегося режима, при которых итерационный процесс решения системы нелинейных уравнений не будет сходиться именно из-за накопления ошибки округления.

Метод Ньютона–Рафсона и его модификации обладают лучшей сходимостью, однако требуют большего объема вычислений для решения систем линейных уравнений на каждом шаге [1, 2]. С целью преодоления этих трудностей были разработаны алгоритмы и программы решения линейных уравнений с учетом слабой заполненности матрицы Якоби [2]. К сожалению, вычисления на ЭВМ выполняются с погрешностью, обусловленной округлением чисел с плавающей точкой до конечного числа разрядов. При расчете тяжелых режимов, требующих большого числа итераций, алгоритм Ньютона может расходиться, в том числе из-за накопления погрешности вычислений.

Таким образом, можно определить задачу исследования влияния погрешности округлений чисел с плавающей точкой на погрешность решения численным методом, например, задачи расчета установившегося режима ЭЭС.

Для решения поставленной задачи можно использовать следующие определения:

Объект исследования – система нелинейных алгебраических уравнений, описывающая установившийся режим ЭЭС (исследуются конкретные схемы с 13, 26, 52, 104 узлами).

Предмет исследования – вычислительная погрешность результата расчета установившегося режима ЭЭС в зависимости от заданной точности расчета ( $\epsilon$ ), представления чисел в ЭВМ: разрядности (Digits) и числа уравнений системы  $n$ .

Метод исследования – вычислительный эксперимент со следующими условиями (ограничениями):

- 1) исследуемая система уравнений решается итерационным методом Ньютона-Рафсона без дополнительных алгоритмов улучшения сходимости (без учета разреженности матрицы проводимостей);

2) ввиду получения стохастических результатов принимаем, что если за 10 расчетов заведомо сходящийся режим не сошелся ни разу – то при данных  $\epsilon$ , недостаточно Digits для решения задачи размера  $n$ ;

3) если сходящийся режим не сходится за 100 итераций, то считаем, что решение с заданным  $\epsilon$  никогда не достижимо при данном Digits для системы размерности  $n$ .

Целью исследования является получение эмпирической зависимости –  $\text{Digits} = f(\epsilon, n)$ ; оценка методической погрешности с помощью двух критериев: метрологической оценки ( $\epsilon_{\text{метр}}$ ) и вычислительной оценки ( $\epsilon_{\text{выч}}$ ).

Предполагаемые результаты исследования сводятся к следующим условиям: если  $\epsilon_{\text{метр}} > \epsilon_{\text{выч}}$ , то получена уточненная оценка методической погрешности сверху; если  $\epsilon_{\text{метр}} < \epsilon_{\text{выч}}$ , то получен алгоритм оценки методической погрешности вычислений.

Округления чисел в ЭВМ можно избежать, используя аппарат целочисленной арифметики, в основе которого лежат обыкновенные дроби. Однако использование обыкновенных дробей требует значительных вычислительных ресурсов [3] и должно быть обосновано.

Нами произведена серия расчетов установившегося режима энергосистемы, состоящий из трех узлов методом Ньютона–Рафсона. В одном случае вычисления производились с плавающей точкой, в другом – с применением обыкновенных дробей [4]. Результаты расчетов различались в восьмой значащей цифре. Итерационный процесс сходился практически одинаково даже в тяжелых (предельных) режимах. Для систем большей размерности предлагаемый метод исключения погрешности округления пока не исследовался. Тем не менее, анализ полученных результатов показывает, что при расчете установившегося режима энергосистемы с числом узлов больше десяти накапливаемая погрешность при вычислениях с плавающей точкой будет уже значительно влиять на сходимость итерационного процесса.

### Литература

1. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988.– 288 с.: ил.
2. Стратан И.П., Неретин В.И., Спивак В.Л. Расчет и анализ режимов электроэнергетических систем. – Кишинев: Штиинца, 1990.– 140 с.
3. Самарский А. А. Введение в численные методы. – М.: Наука, 1982. – 269 с.
4. Комара А. В. Оценка использования целочисленной арифметики при расчете установившегося режима электроэнергетической системы // В сб. «Актуальные проблемы энергетики» тезисы 60-ой НТК БНТУ. Минск, БНТУ, 2004. С. 26–27.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ АКУСТИЧЕСКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*Костюк Д.А., Николаюк Л.Н., БГТУ, Брест*

Автоматизация проведения экспериментальных измерений, накопления, первичной обработки, визуализации и систематизации полученных результатов позволяет значительно сократить временные и трудовые затраты исследователя, приближая тем самым практическое внедрение новых технических решений. Использование программного обеспечения в качестве виртуальных средств измерений в сочетании с дополнительной платой-адаптером или внешним модулем позволяет быстро превратить серийный ком-