

**С.Ю.ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, профессор, НТУ «ХПИ»;  
**В.В.ВОЛОХИН**, канд. техн. наук, старший преподаватель, Сумской  
государственный университет;  
**А.А.ОКУНЬ**, аспирант, НТУ «ХПИ»

## **АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ УСТАНОВОК ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Розглядаються програмні засоби розрахунку електричних полів установок високої напруги. У статті приведені короткі відомості про найбільш поширені продукти і їх виробників. Описані переваги і недоліки застосування таких програмних комплексів як *Ansys, Femlab, Maxwell, Coulomb 3D* та *Elcut*.

Softwares to calculate the electric fields of high voltage installations are considered. In this article the short information of the most widespread products and their producers is given. Advantages and disadvantages of application of such program complexes as *Ansys, Femlab, Maxwell, Coulomb 3D* and *Elcut* are described.

Рассматриваются программные средства расчета электрических полей установок высокого напряжения. В статье приведены краткие сведения о наиболее распространенных продуктах и их производителях. Описаны преимущества и недостатки применения таких программных комплексов как *Ansys, Femlab, Maxwell, Coulomb 3D* и *Elcut*.

**Постановка проблемы.** Численные методы требуют большого количества вычислений, поэтому для усовершенствования процесса расчета на базе данных методов создано большое число программных продуктов, предназначенных для решения полевых задач применительно к энергетике. В области программных средств расчета и анализа электрических полей установок высоких и сверхвысоких напряжений на сегодня сложилась противоречивая ситуация. Процесс обновления возможностей данного программного обеспечения в ведущих фирмах происходит весьма динамично. Однако, отсутствие подробной документации и недостаточная информированность о возможностях, приводят к трудностям в их изучении, применении при расчетах и, как следствие, – написании своих русскоязычных узко-ориентированных программ.

**Метод решения.** Многообразие программных комплексов, которые могут применяться для решения полевых задач установок высоких напряжений приведены в табл. 1. В этой таблице представлены краткие сведения о наиболее распространенных программах расчета электрических полей и их производителей. Правильный выбор программного средства – надежное условие эффективного использования. Основными критериями выбора яв-

ляются:

- распространенность;
- цена;
- широта охвата поставленных задач;
- удобство работы и простота создания геометрических моделей;
- наличие широкой библиотечной базы объектов;
- возможность и простота стыковки с другими программами.

Таблица 1 – Программные средства для анализа и расчета электрических полей установок высоких напряжений

Наименование пакета	Наименование фирмы-изготовителя	Краткая характеристика пакета
High-Frequency Structure Simulator (HFSS)	Ansoft Corporation	В основе – метод конечных элементов
ANSYS	ANSYS, Inc	В основе – метод конечных элементов, возможность решения связанных задач
COULOMB 3D	Integrated Engineering Software	Соответственно 3D и 2D-расчеты электростатических и квазистатических электрических полей. Используются метод граничных элементов и гибридные методы
ELECTRO 2D		
ELCUT	ПК «TOP»	В основе – метод конечных элементов
FEMLAB Electromagnetics Module	COMSOL	3D- полноволновое моделирование полей с решателем на базе MatLab. Используется метод конечных элементов
IE3D	Zeland Software	Полноволновое трехмерное и плоское электромагнитное моделирование с использованием метода моментов и оптимизация
Fidelity		3D -полноволновое электромагнитное моделирование с использованием метода конечных разностей во временной области
Maxwell	Ansoft Corporation	В основе – метод конечных элементов
MSC/EMAS	MacNeal - Schwendler Corporation	
XFDTD	Remcom, Inc	В основе – метод конечных разностей во временной области

Практически все приведенные в табл. 1 программные комплексы имеют следующую структуру:

- 1) предварительная подготовка (выбор типа и свойств конечных элементов, определение системы единиц, задание констант);
- 2) создание геометрической модели;
- 3) задание свойств материалов;
- 4) постановка граничных условий;
- 5) задание источников;
- 6) выбор способа решения системы уравнений;
- 7) обработка результатов расчетов и их визуализация.

В современных программах, используемых для анализа и расчета электрических полей, можно выделить следующие основные черты:

- ориентированность на пользователя (удобный Windows-интерфейс);
- отсутствие подробной документации на русском языке;
- отсутствие широкой библиотечной базы стандартных элементов;
- наличие во всех пакетах четко выраженных стадий процесса моделирования: подготовка, решение и обработка.

Все пакеты являются универсальными (предназначены для решения различных типов полевых задач), позволяют решать линейные и нелинейные задачи, и обладают примерно одинаковой точностью и возможностями. Основные существенные отличия пакетов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнение возможностей пакетов

№	Возможности пакета	ANSYS	Femlab	Maxwell	Elcut	Coulomb (Electro)
1	Геометрическая модель:					
	Двухмерная	да	да	да	да	да
	Осесимметричная	да	да	да	да	да
	Трехмерная	да	да	да	нет	да
2	Выбор типа конечного элемента	да	нет	да	нет	да
3	Возможность импорта/экспорта моделей из других CAD-программ	да	да	да	нет	да
4	Возможность моделирования внешних электрических цепей	да	да	да	нет	да

Среди рассматриваемых программ Elcut на первый взгляд обладает ограниченными возможностями по сравнению с другими программами. Однако некоторые ограничения достаточно легко преодолеваются. Например, Elcut

не позволяет моделировать трехмерные объекты, однако существует множество объектов являющихся с точки зрения геометрии телами вращения, а осесимметричные задачи с помощью Elcut решаются и дают те же результаты, что и в трехмерной постановке.

Преимуществом же Elcut безусловно является наличие русскоязычной версии, документации на русском языке, большое количество примеров, предоставляемых с программой, а также развитые возможности по обработке результатов расчета.

Пакет ANSYS обладает наибольшим числом достоинств. Однако сложность интерфейса программы, большое число параметров ее настройки и почти полное отсутствие учебников по программе на русском языке затрудняют ее использование. Обычно применение этого пакета ассоциируется с расчетами механических конструкций, а не электрических полей, однако такая возможность предусмотрена.

Пакет Maxwell характеризуется выгодным на фоне аналогов сочетанием широты возможностей и простоты освоения. Подобен ANSYS, однако более прост в освоении и ориентирован на расчеты электромагнитных полей.

Пакет Femlab соединяет в себе достоинства двух других пакетов. Он обладает простым и понятным интерфейсом, как Elcut, и имеет практически те же расчетные возможности, что и ANSYS. Кроме этого Femlab, по-сути, является инструментом пакета Matlab и работает под его управлением. Это означает, что все возможности программирования, доступные в Matlab, могут быть использованы и в Femlab (например, при обработке результатов расчета). Еще одним огромным достоинством Femlab является возможность экспорта конечно-элементной модели в Simulink (инструмент моделирования динамических систем, встроенный в Matlab). Это позволяет моделировать не только простейшие внешние электрические цепи, но и работу установки совместно с системами управления.

Большинство производителей программного обеспечения использует метод конечных элементов (МКЭ). Исключением является компания Integrated Engineering Software со своим продуктом Coulomb 3D, продвигающая концепцию расчета полей посредством метода граничных элементов (МГЭ) и гибридных методов (на основе МКЭ и МГЭ). Таким образом, в зависимости от сложности решаемой задачи и требованиям по точности пользователь может выбрать нужный численный метод для проведения расчетов.

Необходимо отметить, что расчетная модель может быть создана во встроенной системе Coulomb 3D, так и альтернативно пакет может прочитывать модели других известных систем геометрического моделирования (Ideas, Solid Works, Pro Engineer, Solid Edge и другие).

## **Выводы**

1. Практически все программные пакеты расчета электрических полей,

представленные в данной статье, обеспечивают возможность расчета потенциалов и напряженностей полей, впоследствии успешно подтверждаемых экспериментально.

2. С точки зрения функциональных возможностей и целесообразности применения для решения полевых задач актуальных для электроэнергетики наиболее универсальными являются Coulomb 3D и Maxwell. Применение их должно быть тщательно рассмотрено на основе конкретных примеров.

**Список литературы:** 1. *Агапов С.В., Чермошенцев С.Ф.* Методы и средства анализа и прогнозирования электромагнитных излучений от электронных средств // Информационные технологии. – 2003. – № 11. – С. 2-12. 2. *Басов К.А.* ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с. 3. *Вишняков С.В., Гордюхина Н.М., Федорова Е.М.* Расчет электромагнитных полей с помощью программного комплекса ANSYS. – М.: Издательство МЭИ, 2003. 4. *В.Н. Довбыш, М.Ю. Маслов, Ю.М. Сподобаев* Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: Монография. – Самара: ООО «ИПК «Содружество», 2009. – 198 с. 5. Ansoft high frequency structure simulator v 10. – User's guide, 2005. 6. Ansoft Maxwell 3D Field Simulator v 11. – User's guide. 7. *El-Fouly T.H.M., El-Saadany E.F., Salama M.M.A., Abdel-Galil T.K., Habiballah I.O.* Power transmission lines generated electric and magnetic fields calculations / COMSOL multiphysics user's conference, Boston, USA, 2005. 8. Elcut. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 4.2 Руководство пользователя. – СПб.: Производственный кооператив TOP, 2000. – 130 с. 9. <http://www.integratedsoft.com/products/coulomb/default.aspx>.

*Поступила в редакцию 21.10.2011*