

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ NATIONAL INSTRUMENTS

НИКОЛАЙ БЕЛОВ, К. Т. Н.

[nikbel44@gmail.com](mailto:nikbel44@gmail.com)

ВАСИЛИЙ ЧЕРЕМУХИН, К. Т. Н.

[89222445545@mail.ru](mailto:89222445545@mail.ru)

ДМИТРИЙ ЖМАТОВ, К. Т. Н.

[absh-sila@rambler.ru](mailto:absh-sila@rambler.ru)



Разработанный в Московском институте энергобезопасности и энергосбережения информационно-измерительный комплекс для определения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) необходим при проведении мероприятий, направленных на повышение качества электроэнергии при обследовании как однофазной, так и трехфазной систем электроснабжения (СЭС). При создании аппаратной и программной части комплекса были использованы технические и программные средства компании National Instruments: среда графического программирования LabVIEW и устройство сбора данных USB-6009.

Высокая оснащенность бытовых и промышленных потребителей электроэнергии компьютерной и офисной электронной техникой, энергосберегающими лампами привела к значительному возрастанию уровня гармонических составляющих токов в сетях 0,4 кВ. В то же время многие современные электроприемники (оргтехника, телекоммуникационное оборудование, промышленные комплексы) и счетчики электроэнергии достаточно требовательны к ее качеству, регламентируемому ГОСТ 54149–2010 [1].

Искажение синусоидальности и симметрии токов и напряжений приводит к дополнительным потерям мощности в линиях электропередачи, трансформаторах, электрических машинах, а также вносит дополнительные погрешности в показания счетчиков электроэнергии и других измерительных приборов. Современный специалист-энергетик должен иметь представление о причинах искажения сетевого напряжения и тока для разработки мер по преодолению низкого качества электроэнергии. Для этого необходимо иметь возможность детального исследования и наглядного представления процессов изменения сетевого напряжения и тока при действии различных возмущений.

При обследовании электрических сетей с целью определения ПКЭ, построения графиков активной, реактивной и полной мощности, проверки приборов и систем учета, подбора фильтрокомпенсирующего оборудования, обнаружения потерь электроэнергии, а также для исследования электрооборудования в переходных режимах применяется огромное количество приборов и измерительных систем специального назначения. На рынке измерительных приборов, в большинстве своем, преобладают зарубежные устройства сбора, анализа и регистрации параметров сети электропитания. В качестве примера можно привести анализаторы сети таких фирм как, Fluke, METREL, GOSSEN-METRAWATT.

При разработке автоматизированного комплекса (опытный образец) была использована среда графического программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) компании

National Instrument (NI), в основе которой лежит метод графического программирования при создании систем моделирования и разработке автоматизированного комплекса измерения и анализа параметров СЭС, общий вид которого показан на рис. 1.

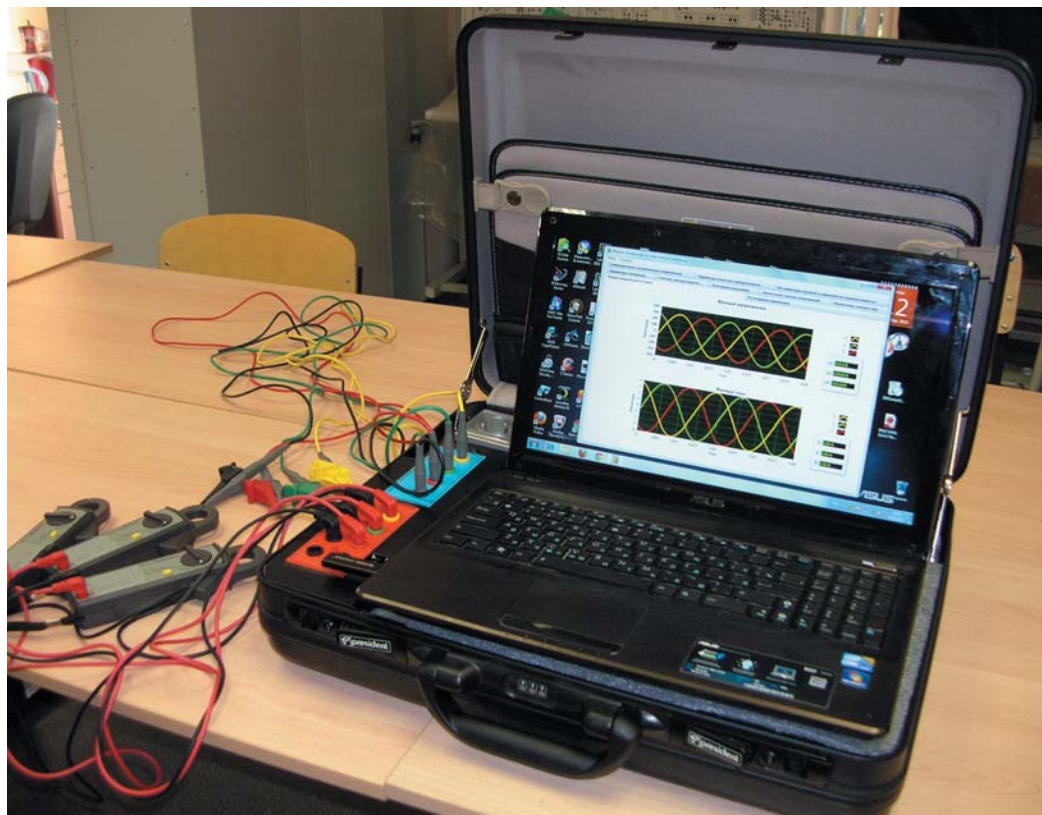
LabVIEW является открытой системой программирования и имеет встроенную поддержку всех применяемых в настоящее время программных интерфейсов, таких как Win32 DLL, COM, NET, DDE, сетевых протоколов на базе IP, DataSocket и др. В состав LabVIEW входят библиотеки управления различными аппаратными средствами и интерфейсами, такими как PCI, CompactPCI/PXI, VME, VXI, GPIB, PLC, VISA, системами машинного зрения и др. Программные продукты, созданные с использованием LabVIEW, могут быть дополнены фрагментами, разработанными на таких языках программирования, как C++, Pascal, Basic, FORTRAN. И наоборот, можно использовать модули, разработанные в LabVIEW в проектах, создаваемых в других

средах программирования. Таким образом, LabVIEW позволяет разрабатывать практически любые приложения, взаимодействующие с любыми видами аппаратных средств, поддерживаемых операционной системой (ОС). Таким образом, используя виртуальные приборы, разработчик может из персонального компьютера и набора устройств сбора данных создать многофункциональный информационно-измерительный комплекс.

Среда программирования LabVIEW имеет встроенный механизм отладки приложений. В процессе отладки разработчик может назначать точки останова программы, выполнять программу пошагово, отображать процесс исполнения программы и контролировать любые данные в любом месте программы.

Важным достоинством LabVIEW является доступность разработчику функционально идентичной системы программирования для различных ОС, таких как Windows, Linux, MacOS. Например, программа, разработанная под Windows, будет

**РИС. 1.** ▼ Информационно-измерительная система анализа ПКЭ



почти без изменений работать на компьютере с Linux. В случае использования ряда специфических особенностей различных ОС может потребоваться некоторая доработка исходного кода.

Весь процесс автоматизации измерения и анализа параметров сети электроснабжения можно разделить на три этапа [2]: согласование сигналов, формирование моделей, сохранение и вывод данных (рис. 2).

Аппаратная часть комплекса включает:

- устройство согласования;
- устройство сбора данных NI USB-6009;
- персональный компьютер с программным обеспечением (ПО).

Устройство согласования обеспечивает подключение токовых цепей с помощью клещей-адаптеров АТА-2504 с разъемным магнитопроводом и датчиком Холла. Клещи-адаптер позволяют выполнять бесконтактное измерение постоянного и переменного тока без разрыва цепи в диапазонах 4, 40 и 200 А. Согласование уровней

сетевого напряжения до уровня напряжений на аналоговых входах NI USB-6009 выполнено с помощью трансформаторов напряжения [3].

Устройством сбора данных NI USB-6009 имеет восьмиканальный 14-разрядный АЦП с максимальной частотой дискретизации 48 кГц и входным напряжением  $\pm 10$  В.

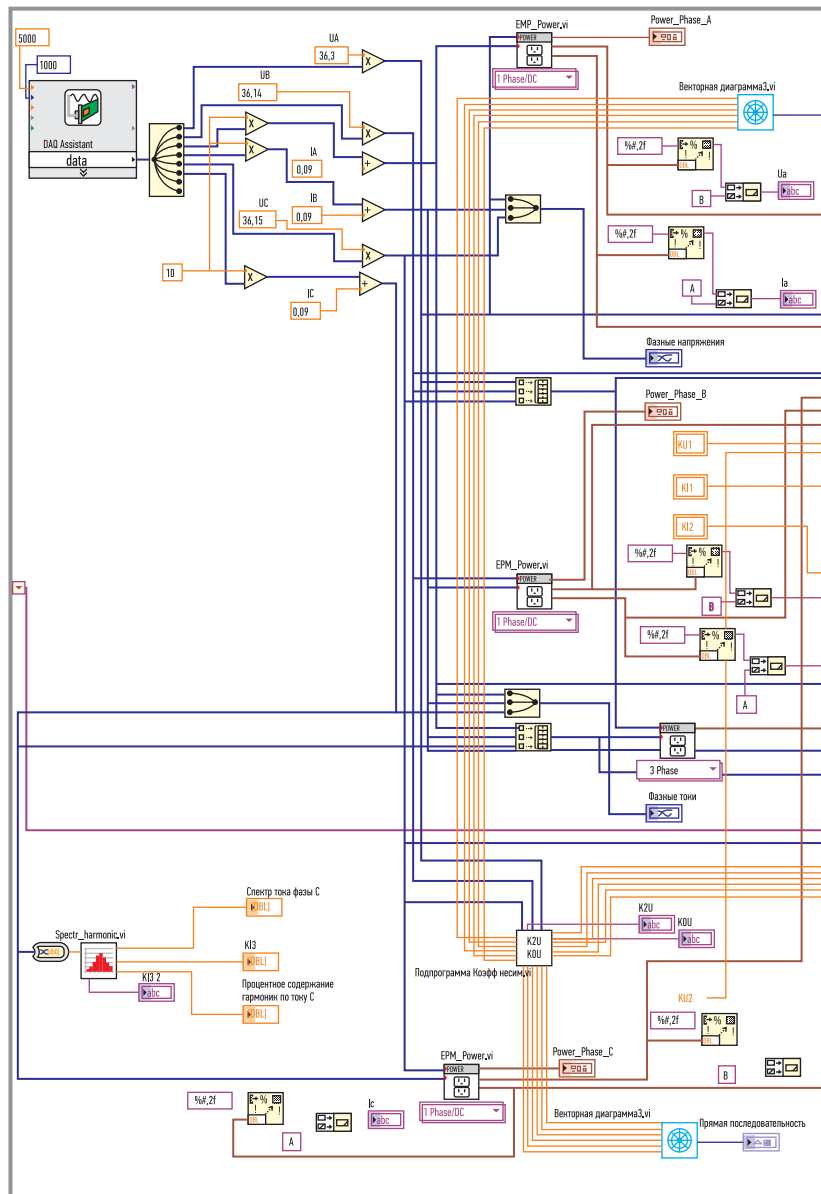
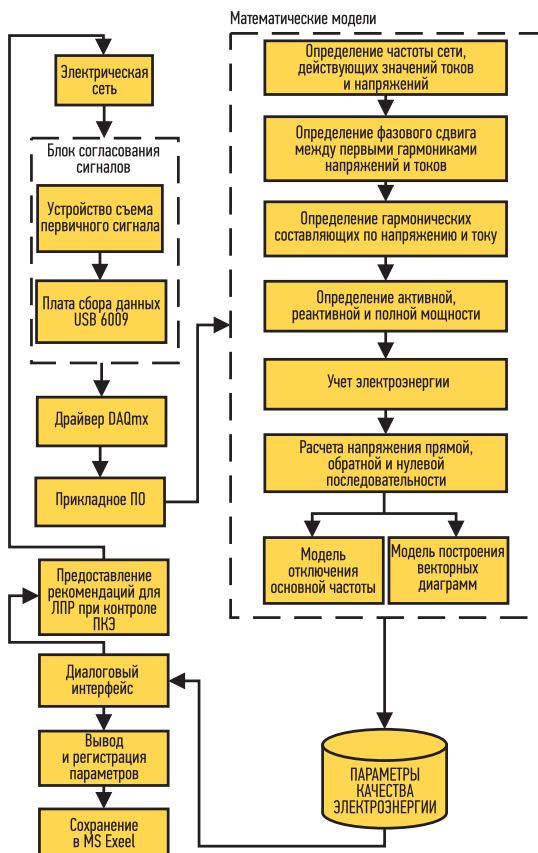
ПО комплекса формируется из драйвера устройства системы сбора данных NI USB-6009 (Data Acquisition, DAQ), а также прикладных программ в виде виртуальных приборов (ВП), созданных в программной среде LabVIEW. На ПО информационно-

измерительного комплекса анализа ПКЭ получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и зарегистрировано в Роспатенте [4].

В отличие от текстовых языков, таких как C++, Delphi, Pascal, где программы составляются в виде строк текста, в LabVIEW программы создаются в виде графических блок-диаграмм.

Блок-диаграмма программного кода информационно-измерительного комплекса представлена на рис. 3. Основой кода в среде LabVIEW являются графические примитивы в виде пикто-

**РИС. 2.** Структурная схема информационно-измерительного комплекса



грамм, в основе каждой из которых лежит ВП. Связи между ВП являются переменными, через которые происходит передача данных.

Комплекс обеспечивает выполнение следующих функций:

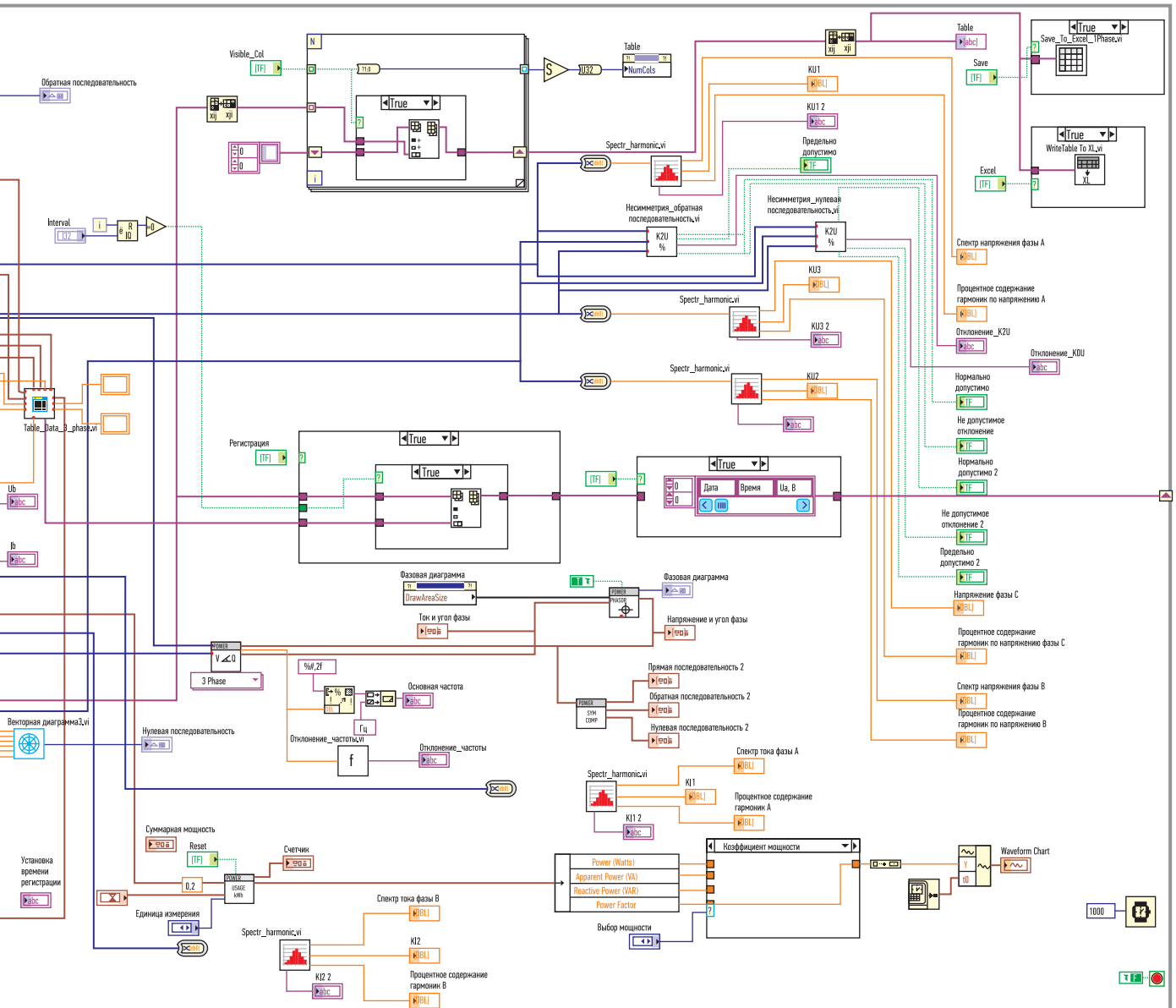
- измерение значения действующих напряжений и силы переменного тока в одно- и трехфазной сети;
- измерение активной, реактивной и полной мощности, определение коэффициента мощности в одно- и трехфазной сети;
- измерение частоты основной гармоники сетевого напряжения;

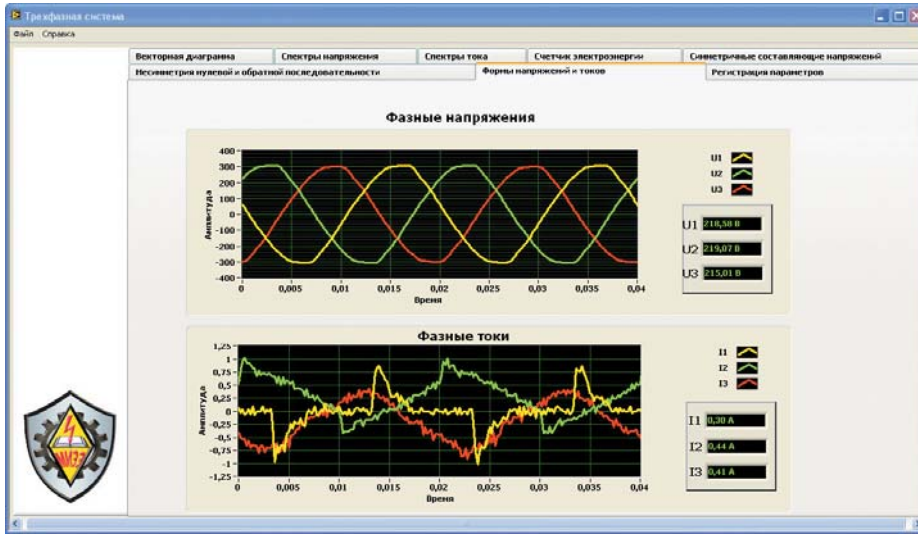
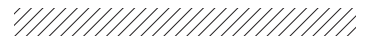
- измерение угла между напряжением и током в каждой фазе, построение векторных диаграмм;
- измерение гармонических составляющих токов и напряжений в интервале до 50-й гармоники;
- отображение уровней гармоник напряжения и тока в виде графика амплитудного спектра;
- определение коэффициента нелинейных искажений по напряжению и току;
- определение несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности;

- определение отклонения основной частоты;
- регистрация параметров сети электроснабжения с заданным интервалом времени и сохранение их в электронные счетные таблицы формата MS Excel.

Ниже приведены экранные формы регистрируемых параметров однофазной и трехфазной сети. На рис. 4 представлены зарегистрированные формы напряжения и тока при подключении компактных люминесцентных ламп (вверху) и люминесцентных ламп с дроссельным пускорегу-

**РИС. 3.** ▼ Блок-диаграмма измерительной системы в среде LabVIEW





**РИС. 4. ▲**  
Экранные формы при регистрации основных параметров однофазной сети

лирующим аппаратом (внизу). Одновременно на экранной форме представляется спектральный состав гармоник напряжения и тока, действующее значение напряжения и тока, частота основной гармоники напряжения, активная, реактивная, полная мощность и коэффициент мощности. Нелинейные искажения определяются коэффициентом нелинейных искажений тока и напряжения, а также коэффициентом *n*-ой гармонической составляющей.

На рис. 5 представлены примеры экранных форм при анализе угла сдвига фаз между первой (основной) гармоникой напряжения и тока компактной люминесцентной лампы и люминесцентных ламп с дроссельным пускорегулирующим аппаратом. Здесь же отображаются энергетические характеристики нагрузки и необходимая реактивная мощность при выборе компенсирующих устройств.

С использованием разработанного стенда выполнено энергетическое

обследование некоторых нелинейных потребителей. Так, установлено, что у компактных люминесцентных ламп и большинства потребителей с импульсным блоком питания первая гармоника тока опережает по фазе напряжение, что соответствует емкостному характеру нагрузки (векторная диаграмма на рис. 5). Этот вывод важен при принятии решения по установке конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности.

Сравнительный анализ степени искажения синусоидальности напряжения и тока оценивается коэффициентом суммарных гармонических искажений, определяемым отношением действующего значения высших гармонических составляющих напряжения (тока) к действующему значению напряжения (тока) основной (1-й) гармоники:

$$K_U = \frac{\sqrt{U_{(2)}^2 + U_{(3)}^2 + \dots + U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \times 100\% .$$

Для более детального анализа используется также коэффициент *n*-ой гармонической составляющей напряжения (тока), равный отношению действующего значения *n*-ой гармонической составляющей к действующему значению напряжения (тока) основной (1-й) гармоники:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \times 100\% .$$

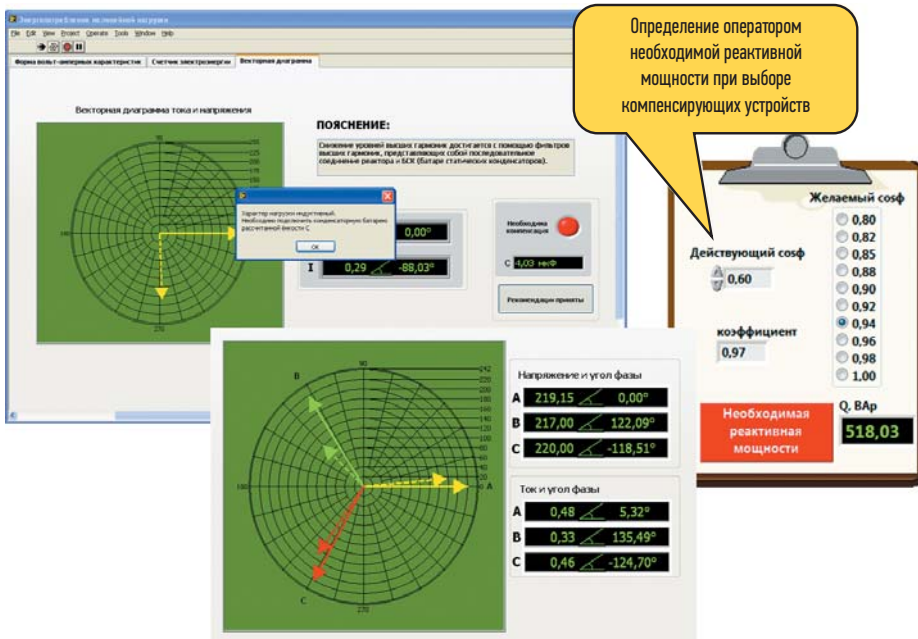
ПО комплекса позволяет организовать регистрацию параметров и экспорт данных в MS Excel для составления отчета. На рис. 6 показан экспорт данных из таблицы регистрируемых параметров в MS Excel для дальнейшей обработки результатов.

Для трехфазной сети все параметры регистрируются для каждой фазы и дополнительно определяются симметричные составляющие напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Таким образом, при создании информационно-измерительной системы решены следующие задачи [3]:

- Обеспечены наглядность и доступность получения инфор-

**РИС. 5. ▼**  
Экранные формы при анализе фазовых сдвигов и счетчика энергии



мации для изучения режима работы сети электроснабжения и выполнения исследований.

- Достигнута относительно низкая стоимость комплекса и возможность его реализации в условиях образовательных учреждений для решения научно-исследовательских и учебных задач.
- Предоставлена гибкая возможность доработки и изменения программного обеспечения комплекса для вновь возникающих задач исследования, реализации различных алгоритмов обработки сигналов и представления информации. ●

**ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». М.: Стандартинформ, 2010.
2. Жматов Д. В. Модели и методы идентификации нелинейных искажений в электрических сетях в информационно-управляющих интегрированных комплексах электроснабжения: автореф. дис. на соискание степени к. т. н. – Москва, 2012.



3. Белов Н. В., Черемухин В. Е., Жматов Д. В. Информационно-измерительный комплекс для анализа параметров сети электроснабжения // Энергобезопасность и энергосбережение. М.: ПТО-МИЭЭ. 2012. № 1.
4. Жматов Д. В., Черемухин В. Е. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614098 «Анализатор параметров качества электроэнергии (AQP)». Роспатент. 04.05.2012.

**РИС. 6. ▲** Регистрация и экспорт данных в MS Excel