

рабочего пара. При увеличении давления рабочего пара от 0,5 до 0,8 МПа давление всасывания первой ступени возрастает на 0,3...0,7 кПа, при этом длина характеристики удлинняется на 40...45 кг/ч.

По результатам испытаний можно сделать следующие основные выводы:

1. Оптимальное давление рабочего пара на модернизированных эжекторах ЭП-3-3М рекомендуется поддерживать в диапазоне 0,55...0,6 МПа, при этом давление всасывания I ступени располагается ниже контрольной заводской характеристики эжектора ЭП-3-3 на 0,3...0,7 кПа;

2. Производительность модернизированного эжектора по сухому (атмосферному) воздуху при оптимальном давлении рабочего пара достигает 145 кг/ч, т. е. больше, чем у серийного аппарата.

Исследования проводились при финансировании из субсидии Программы повышения конкурентоспособности УрФУ и в рамках выполнения государственного заказа Минобрнауки РФ, проект 13.900.2014/К.

УДК 621.3.08

Низамутдинова Т. Т., Мухлынин Н. Д.  
Уральский федеральный университет  
domptf16@gmail.com

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**Аннотация.** В работе рассматривается возможность применения математического аппарата спектрального анализа, для задач идентификации состава потребителей энергоресурсов по их типам.

Сегодня, в связи с заинтересованностью большинства предприятий в повышении своей энергетической эффективности, проведение энергетического обследования (энергоаудита) становится актуальной задачей [1]. Основными задачами энергоаудита являются: выявление источников нерациональных энергозатрат и потерь энергии; определение показателей энергетической эффективности; разработка программы энергосбережения [2].

Наиболее эффективным способом определения направления и глубины снижения расхода энергетических ресурсов, является сбор статистических данных об электропотреблении. Такой подход позволяет составлять и анализировать структуру потребителей по их основным типам, что необходимо для выделения того состава энергоприемников, воздействие на которые приведет к снижению общего энергопотребления объекта.

Однако, проведение энергоаудита – довольно длительное мероприятие. В большей степени это связано с тем, что большая часть информации собирается и обрабатывается лично исполнителями аудита, а не фиксируется непрерывно с

помощью измерительных приборов и автоматики. В связи с этим возникает задача разработки таких приборов и математических алгоритмов, которые будут способны автоматически определять состав подключенных энергоприемников, на основе доступной измеренной информации.

Аппаратное программное обеспечение устройств систем сбора и передачи энергоресурсов постепенно переходит на цифровую передачу и обработку сигналов. Это относится, в первую очередь, к учету электроэнергии, как одного из подвида энергоресурса. Дискретизация оцифровки токовых и напряженческих сигналов, согласно протоколу МЭК 61850 уже сейчас достигает 256 точек на период для устройств коммерческого учета электроэнергии. Основным математическим инструментом для оценки цифровых сигналов в таких системах до сих пор является Фурье преобразование (ФП). Однако данный метод имеет существенные недостатки – он не позволяет оценивать сигнал в частотно-временном интервале, а локальные особенности сигнала «размазываются» по всей частотной оси [3]. Именно поэтому данный метод не может быть использован в качестве основного, для задачи идентификации состава энергоприемников.

В конце прошлого столетия получило развитие новое направление в теории и технике обработки сигналов – вейвлет-преобразование (ВП). Данный метод основывается на масштабном преобразовании, смещении базисных (материнских) функций и сравнении этих функций с исходным сигналом. Прямое ВП определяется как сумма компонентов по всей длительности сигнала, умноженных на масштабируемые версии вейвлет-функции [4]:

$$W(a,b) = C = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) a^{1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где  $C$  – коэффициент, показывающий схожесть выбранной функции с исходным сигналом, высокое значение  $C$  показывает большую схожесть;  $b$  – коэффициент масштаба или параметр растяжения;  $a$  – параметр сдвига или шаг сдвига;  $\psi(t)$  – функция преобразования, которая называется материнским вейвлетом или базисной функцией;  $a^{1/2}$  – константа, необходимая для нормализации, то есть для того, чтобы сигнал на каждом масштабе имел одинаковую энергию.

Благодаря многомасштабному анализу, ВП способно выявлять локальные особенности сигнала, при этом имея высокое разрешение как в частотной, так и временной области. Это дает ему существенное преимущество перед преобразованием Фурье. Продемонстрируем данное свойство ВП, произведя анализ сигнала тока, имеющего локальный разрыв с 40-й по 70-ю точки. Покажем сам сигнал и его вейвлет-спектр на рис. 1.

По полученному в ПО MatLab спектру сигнала, хорошо прослеживается не только факт потери информации, но и момент времени потери сигнал. Кроме того, вейвлет-спектр хорошо отражает поведение и структуру сигнала. Например, переход через ноль на спектре выражен через светлые, почти белые тона. Темный тон отражает локальные экстремумы анализируемого сигнала.

Стоит отметить, что для построения спектра сигнала необходимо правильно подобрать базис-материнский вейвлет. Существует широкое разнообразие материнских вейвлетов, например: Хаара, Добеши, мексиканская шляпа,

Гаусса и другие [5]. Поэтому спектр сигнала будет во многом зависеть от того, какой базисный вейвлет берется за основу.

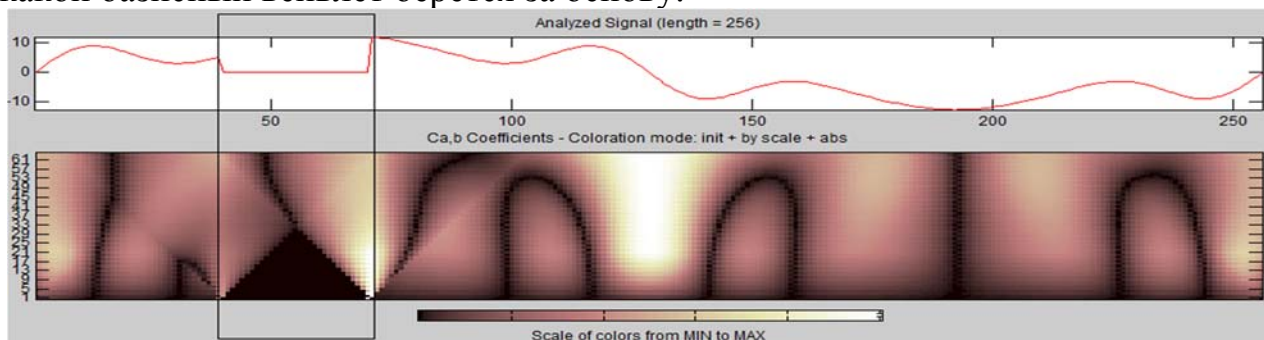


Рис. 1. Вейвлет-спектр сигнала, имеющего потерю информации

Рассмотрим возможность применения ВП для определения включения «произвольной» нагрузки по реальным осциллограммам тока и напряжения. Для этого используем кривые тока и напряжения произвольной нагрузки и компактной люминесцентной лампы мощностью 25 Вт, снятые при частоте дискретизации в 256 точек на период. Получим спектры сигналов каждого потребителя в отдельности, а также смоделируем момент включения нагрузки при работающей лампе (момент включения зададим на 221 точке). Представим выше описанные кривые и их вейвлет-спектры на рис. 2.

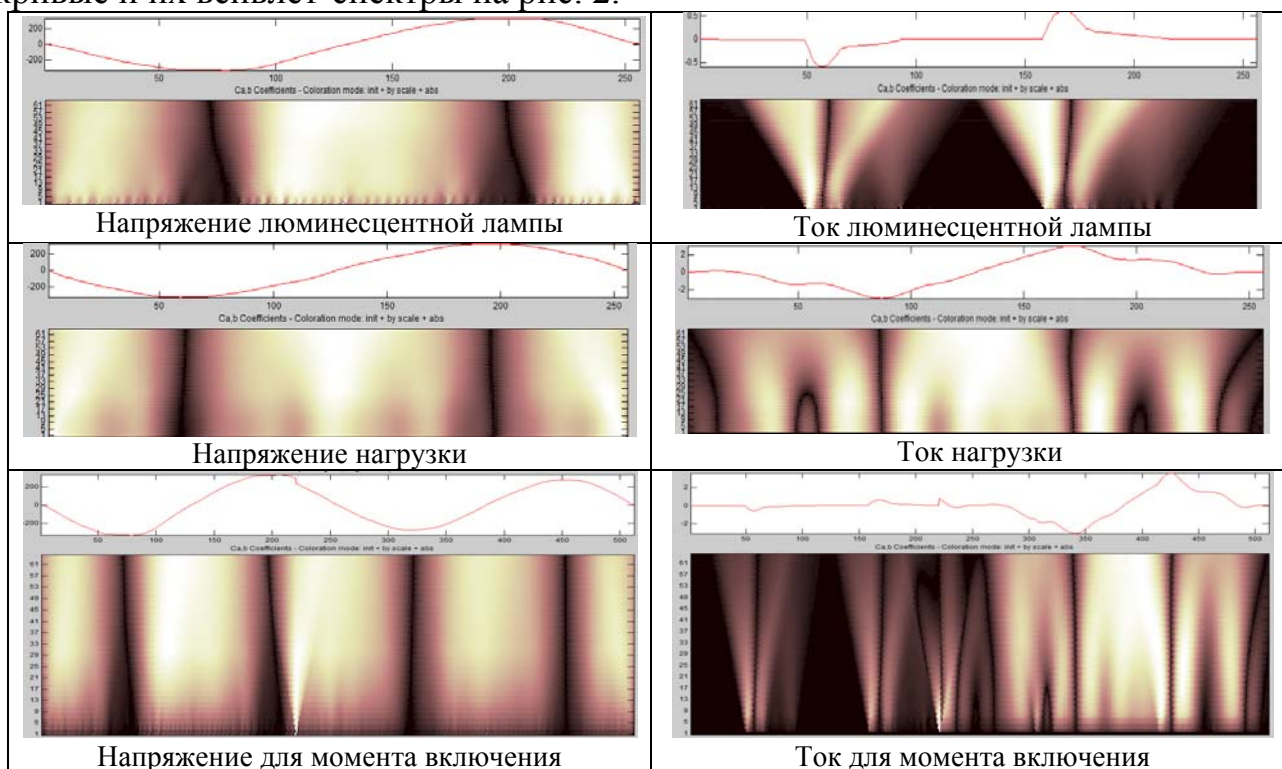


Рис. 2. Кривые тока и напряжения, их вейвлет-спектры

Из рис. 2 можно видеть, что спектр зависит от вида нагрузки. Кроме того, по спектрам для момента включения хорошо прослеживается само время включения, произвольно заданного электроприемника. Важно отметить появление качественных изменений на спектральных характеристиках после включения нагрузки: темные области, определяющие локальные экстремумы кривой стали менее выраженными, а светлых областей стало наоборот, больше.

Таким образом, дальнейшее исследование ВП как математического инструмента для анализа сигналов, является перспективным направлением. Создание и использование уникальных материнских вейвлетов для каждого типа нагрузки, способно идентифицировать их образ в общем сигнале.

#### Список использованных источников

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. от 04.10.2014). [Электронный ресурс]. URL: [http://base.garant.ru/12171109/1/#block\\_100](http://base.garant.ru/12171109/1/#block_100) (дата обращения: 28.10.2015).
2. Энергоаудит систем электроснабжения [Электронный ресурс]. URL: <http://proekt.unypol.ru/rekomendatsii-po-energoaudit/> (дата обращения 15.11.2015).
3. Сиромеха С. С., Осипов Д. С., Харламов В. В. Вейвлет-анализ параметров качества электрической энергии как альтернатива преобразованию Фурье // Омский научный вестник. 2011. № 3 (103). С. 229-231.
4. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразование : учеб. пособие. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. 104 с.
5. Долингер С. Ю., Лютаревич А. Г. Применение вейвлет-анализа для определения показателей качества электрической энергии // Омский научный вестник. 2010. № 1 (87). С. 136-140.

УДК 683.9

Никитин А. Д., Щеклеин С. Е., Кузнецов И. В.  
Уральский федеральный университет  
[nikitin.a.d@yandex.ru](mailto:nikitin.a.d@yandex.ru)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКОЛПАКОВОЙ ПЕЧИ

**Аннотация.** Описана методика определения коэффициента полезного действия печи по прямому и обратному балансу. Экспериментально показано, что эффективность многоколпаковой печи составляет 90-95 %.

Устройство и принцип действия многоколпаковой печи основан на теории «свободного движения газов», предложенной в начале XX века В.Е. Грум-Гржимайло. Согласно этой теории, струйки горячего газа, находящегося в колпаке, то есть в некотором объеме, ограниченном со всех сторон, кроме нижней плоскости, за счет более низкой плотности поднимаются вверх; а струйки холодного газа, располагающиеся у стенок колпака, где происходит теплообмен газа с окружающей средой, за счет более высокой плотности опускаются вниз, таким образом, происходит естественное разделение горячих и холодных газов. При достаточной поверхности теплообмена горячие газы не покинут колпак, пока полностью не охладятся (выходу горячих газов будет препятствовать холодный атмосферный воздух) [1].

В данной работе исследуется эффективность работы двухколпаковой отопительной печи. Схема, показывающая устройство печи и направление движения газов, изображена на рисунке.