

УДК 621.311

И. В. Воронов, Е. А. Политов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SMART GRID И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Вопросы, связанные с повышением эффективности эксплуатации систем электроснабжения (далее – СЭС) промышленных предприятий в настоящее время становятся все более актуальными. В России функционирует конкурентный оптовый рынок электроэнергии и мощности (далее – ОРЭМ), на котором покупают электроэнергию большинство крупных промышленных предприятий страны.

В условиях рыночной экономики, для предприятий одним из мероприятий по повышению конкурентоспособности производимой продукции является снижение затрат на оплату электрической энергии. Особенно это важно для предприятий с существенной долей затрат электроэнергии на выпуск продукции (цветная металлургия, химическая промышленность и т.д.). В связи с тем, что стоимость электроэнергии на ОРЭМ для каждого часа суток может существенно отличаться, нужно вести речь не только о снижении расхода электроэнергии (в кВтч) на единицу продукции, но и о снижении стоимости (в рублях) этого расхода. При этом, для крупных, энергоемких производств оптимизация затрат на электроэнергию может являться основным и порой единственным способом повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции в условиях неизменности технологий производства.

Как правило, график потребления электро-

энергии формируется на предприятии исключительно по требованиям технологического процесса, без какого-либо учета возможностей оптимизации затрат на покупку электроэнергии. Естественно, существуют технологические процессы, вмешательство в которые практически невозможно. Это сложные, непрерывные основные технологические процессы: электролиз на предприятиях цветной металлургии, синтез на химических предприятиях, работа конвейера на предприятиях машиностроения и т.п. Но, помимо упомянутых, на предприятия есть ряд других технологических процессов: создание запасов сжатого воздуха компрессорами, наполнение резервуаров жидкости насосами и т.п., электроприемники которых могут быть использованы в при наличии системы регулирования потребления электроэнергии на предприятии, это регулирование зачастую производится формально, с целью выравнивания графика нагрузки, без учета разницы стоимости электроэнергии по часам суток.

На ОРЭМ существуют два сектора: рынок на сутки вперед (далее – РСВ), где предприятие покупает запланированный объем электропотребления и балансирующий рынок (далее – БР), где предприятие докупает разницу между фактически потребленным объемом электрической энергии и запланированным объемом.

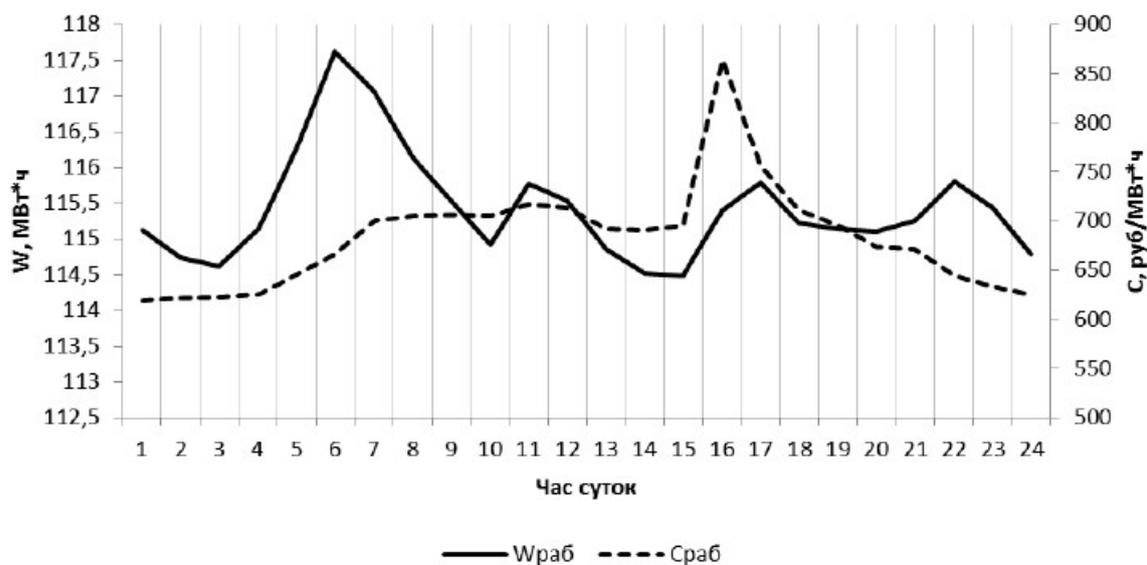


Рис. 1. Фактический график нагрузки и стоимость электроэнергии на РСВ для крупного химического предприятия Сибири – рабочий день 17.01.2012

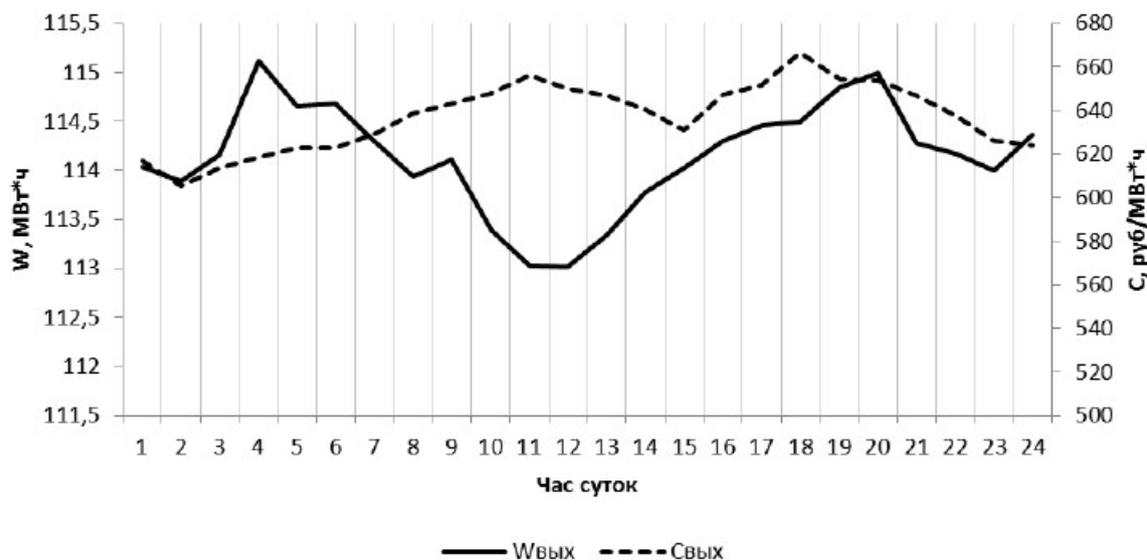


Рис. 2. Фактический график нагрузки и стоимость электроэнергии на РСВ для крупного химического предприятия Сибири – выходной день 15.01.2012

Максимальная стоимость электроэнергии на РСВ может быть больше минимальной в 1,2-1,5 раза, а на БР – в 2-2,5 раза. При этом часы с максимальной и минимальной ценой не обязательно приходятся на часы максимума и минимума энергосистемы и изменяются каждый день (рис. 1 и рис. 2). Таким образом, регулирование нагрузки предприятия, должно производиться с учетом стоимости электроэнергии в каждый конкретный час. При этом регулирование нагрузки необходимо осуществлять как на этапе планирования объемов покупки электроэнергии на РСВ, так и в процессе работы предприятия, для снижения отклонения фактически потребленных объемов электроэнергии от объемов, купленных на РСВ.

Разработка подобных алгоритмов управления в России проводилась в Саратовском государственном техническом университете, Калининградском государственном техническом университете, Московском энергетическом институте. Наряду с этим, существует необходимость в дальнейшем уточнении алгоритмов управления, для учета прерываемых и непрерывных процессов электропотребления, в условиях динамически изменяющихся цен на электроэнергию.

Затраты электроэнергии на единицу продукции и стоимость этих затрат определяются эффективностью эксплуатации СЭС промышленного предприятия. Для повышения эффективности эксплуатации СЭС и, соответственно, снижения затрат на электрическую энергию необходимо осуществлять комплекс мер, который можно назвать «управление потреблением электроэнергии» (далее – УПЭ).

УПЭ включает в себя такие вопросы как:

- планирование электропотребления;
- планирование и проведение ремонтов электрооборудования;
- регулирование нагрузки;

- управление потерями электрической энергии;
- энергосбережение;
- компенсацию реактивной мощности (далее – КРМ) и ряд других.

В настоящее время в мире активно разрабатывается концепция «умных», или активно-адаптивных сетей – Smart Grid, позволяющих в полной мере реализовать процессы УПЭ. В России исследованиями в этой области занимаются Московский энергетический институт, Институт комплексных исследований в энергетике, Федеральная сетевая компания, Холдинг МРСК, НТЦ Электроэнергетики.

Системы Smart Grid представляют собой программно-аппаратные комплексы, включающие в себя следующие подсистемы [1]:

1. Интеллектуальные счетчики (Smart Metering).
2. Динамическое управление системой электроснабжения (Dynamic Grid Management).
3. Регулирование нагрузки (Demand Response).

Система Smart Grid позволяет собирать информацию о работе СЭС предприятия. Интеллектуальные счетчики, являющиеся одним из низкочастотных звеньев этой системы, позволяют осуществлять технический учет электропотребления в реальном времени и с высокой точностью, и передавать данные учета в центральный модуль системы (рис. 3).

На основании собранной информации о фактическом режиме работы СЭС можно осуществлять планирование (прогнозирование) электропотребления, а так же управление электропотреблением в реальном времени: снижение и увеличение нагрузки, отключение части электроприемников, управление устройствами КРМ, включение собственных генерирующих установок. Мероприятия

по УПЭ должны осуществляться с учетом ограничений, накладываемых технологическим процессом предприятия. Данные мероприятия могут осуществляться как в автоматическом режиме самой системой Smart Grid, так и в автоматизированном режиме диспетчером.

Основные интеллектуальные составляющие системы Smart Grid – динамическое управление системой электроснабжения и регулирование нагрузки, напрямую завязаны на прогнозирование состояния системы электроснабжения. Точное и своевременное прогнозирование позволяет предприятию снизить величину дополнительной, вызванной неточностью прогнозирования, платы за электропотребление, а так же правильно спланировать мероприятия по регулированию нагрузки.

Проблеме прогнозирования потребления электроэнергии посвящены множество работ как отечественных [2, 3, 4], так и зарубежных [5, 6] ученых и исследователей. В качестве методов про-

гнозирования электропотребления предлагаются математико-статистические, вероятностные методы, методы регрессионного анализа, методы, основанные на искусственных нейронных сетях и др.

Многие исследователи в своих работах [7, 8, 9] отмечают хорошие прогнозные способности искусственных нейронных сетей (ИНС) при прогнозировании электропотребления.

Существенным достоинством нейронных сетей является их адаптивность – способность динамически подстраиваться к изменяющимся условиям, что является одним из ключевых факторов при построении модуля прогнозирования в составе Smart Grid. Кроме того, ИНС обладают хорошими обобщающими способностями и способны выявлять и учитывать сложные нелинейные зависимости одних величин от других. В данном случае зависимости электропотребления и удельного расхода электроэнергии на единицу продукции от

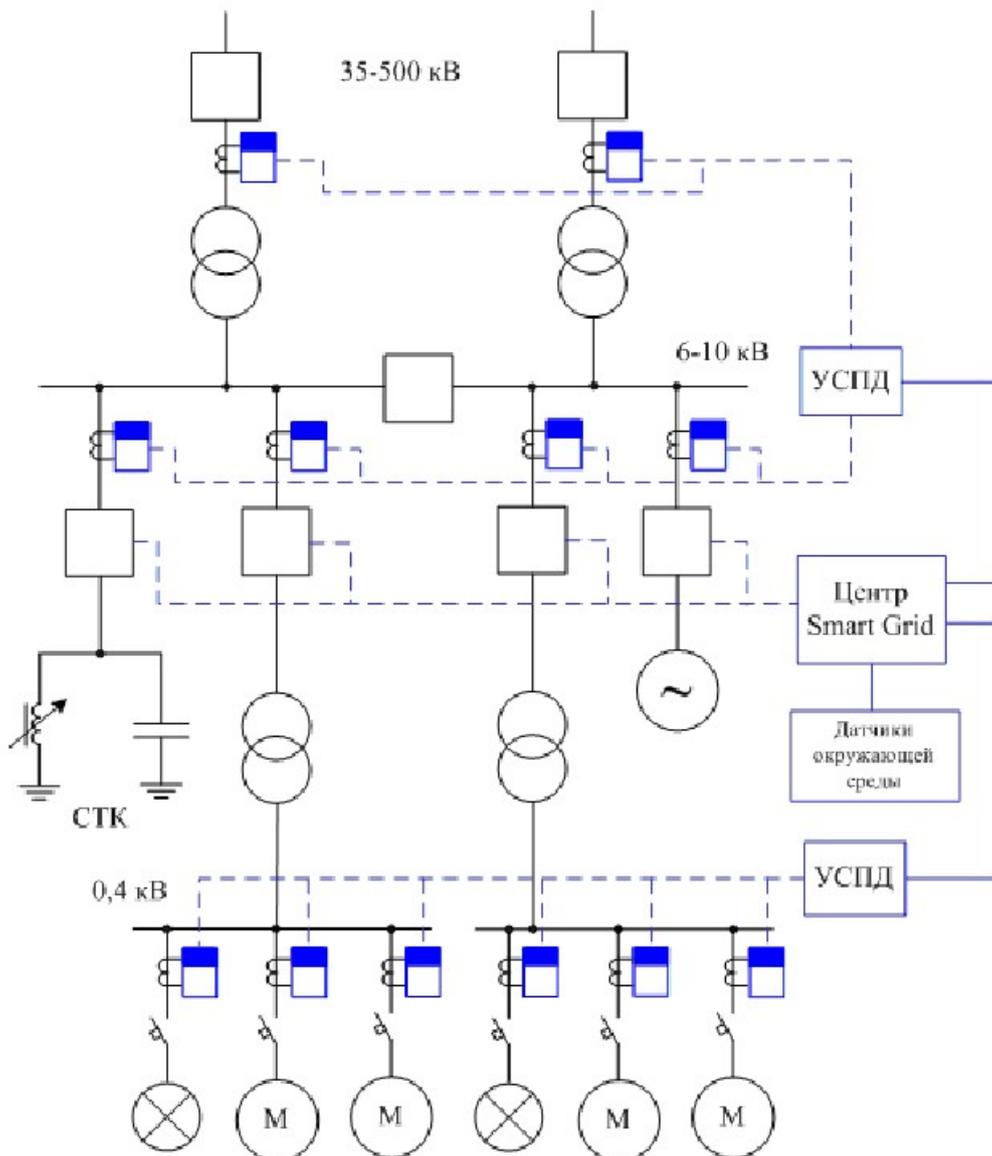


Рис. 3. Интеграция Smart Grid в систему электроснабжения предприятия

различных влияющих факторов (прежде всего объемов производства продукции).

Вместе с тем, интеллектуальными методами управления системой электроснабжения следует пользоваться с осторожностью, так как не всегда они способны обеспечить стабильные и адекватные сигналы управляющих воздействий.

Например, качество обучения ИНС зависит от начальной инициализации весов, которая каждый раз осуществляется случайным образом.

Использование дополнительных процедуры проверки и достоверизации принимаемых решений является обязательным условием при проектировании компонентов Smart Grid.

Выводы

1. Для повышения конкурентоспособности промышленного предприятия необходимо повы-

шать эффективность эксплуатации его системы электроснабжения с помощью активного управления электропотреблением.

2. Для управления электропотреблением целесообразно использовать «умные сети» Smart Grid.

3. Для обеспечения хороших прогностических способностей модуля прогнозирования, являющегося неотъемлемой частью Smart Grid, рекомендуется использовать искусственные нейронные сети.

4. В составе Smart Grid для анализа фактического режима работы СЭС и формирования управляющих сигналов для систем динамической компенсации реактивной мощности, управления потерями и регулирования нагрузки можно использовать хорошие обобщающие свойства и возможность обучения искусственной нейронной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smart Grid Strategies for a Global Marketplace [Электронный ресурс] // Cisco. URL: http://newsroom.cisco.com/dlls/2009/ts_092409.html (дата обращения: 26.04.11).
2. Авдеева, Н. Л. О прогнозах потребления электроэнергии в условиях рыночной экономики России / Н. Л. Авдеева, Ю. М. Коган, А. Е. Романов // Энергетик. – 2003. – № 7. – С. 9 – 12.
3. Белан, А. В. Пути и результаты совершенствования методов прогнозирования электропотребления / А. В. Белан, В. И. Гордеев, А. В. Демура, И. И. Надтока // Промышленная энергетика. – 1993. – № 9-10. – С. 23 – 26.
4. Борцов, Ю. А. Использование современных подходов и методов для прогнозирования электропотребления / Ю. А. Борцов, Н. Д. Поляхов, И. А. Приходько, Е. С. Анушина // Электротехника. – 2006. – № 8. – С. 30 – 32.
5. Бэнн, Д. В. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки / Д. В. Бэнн, Е. Д. Фармер, Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 568 с.
6. Makridakis, S. Forecasting: methods and applications. / S. Makridakis, S. Wheelwright, R. Hyndman. – N-Y.: John Wiley & Sons, 1998. – 420 p.
7. Демура, А. В. Краткосрочное прогнозирование суточных графиков нагрузки на основе искусственных нейронных сетей / А. В. Демура // Известия вузов. Электромеханика. – 1998. – № 2/3. – С. 69 – 71.
8. Курбацкий, В. Г. Прогнозирование электрической нагрузки с использованием искусственных нейронных сетей / В. Г. Курбацкий, Н. В. Томин // ЭЛЕКТРИКА. – 2006. – № 7. – С. 26 – 32.
9. Воронов, И. В. Использование нейронной сети для краткосрочного прогнозирования электропотребления промышленного предприятия / И. В. Воронов, Е. А. Политов, В. М. Ефременко // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 6. – С. 71 – 73.

□ Авторы статьи

Воронов
Иван Викторович,
канд. техн. наук, доцент каф. электроснабжения горных и промышленных предприятий КузГТУ,
тел. 36-53-13, viv@osib.so-ups.ru

Политов
Евгений Александрович,
аспирант каф. электроснабжения горных и промышленных предприятий КузГТУ,
тел. 36-70-13, pea@osib.so-ups.ru