



**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ СОСТОЯНИЯ**

Т.А. Шестопалова, И.А. Болдырев, А.А. Смирнов

Филиал НИУ «МЭИ» в г. Волжском
404110 г. Волжский, Волгоградская обл., пр. Ленина, д. 69
Тел.: (8443) 210160, факс: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru; lehasmirmov1@gmail.com

Заключение совета рецензентов: 03.09.15 Заключение совета экспертов: 06.09.15 Принято к публикации: 09.09.15

Рассмотрены основные подходы к созданию систем управления комплексами альтернативных источников энергии. В работе описан алгоритм управления с прогнозированием состояния.

Особенностью данного алгоритма является прогнозирование состояния объектов комплекса, динамическая оптимизация режимов работы оборудования и анализ тепловых нужд потребителя.

Представлены результаты численного моделирования работы алгоритма и сравнение его с каскадным алгоритмом.

Ключевые слова: алгоритмы управления, тепловой насос, солнечный коллектор, системы управления.

**CONTROL SYSTEM OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES WITH PREDICTION
OF A CONDITION**

T.A. Shestopalova, I.A. Boldyrev, A.A. Smirnov

Volzhsky Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
69 Lenin str., Volzhsky, Volgograd reg., 404110, Russia
Tel.: (8443) 210160, fax: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru; lehasmirmov1@gmail.com

Referred: 03.09.15 Expertise: 06.09.15 Accepted: 09.09.15

Describes the main approaches to the creation control systems complexes of alternative energy sources. The paper describes the algorithm control with prediction of condition.

The features of this algorithm is to predict condition the objects of the complex, dynamic optimization of the equipment and heat analysis needs of the consumer.

The results of numerical simulation of the algorithm, and its comparison with the cascade algorithm.

Keywords: control algorithms, heat pump, solar panels, control systems.





Татьяна
Александровна
Шестопалова
Tatyana A. Shestopalova

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ВФ МЭИ.

Образование: Фрунзенский политехнический институт (1978).

Область научных интересов: электроснабжение автономных потребителей на базе возобновляемых источников энергии.

Публикации: 66.

Information about author: Ph. D. (Tech.), associate professor of Hydropower and renewable energy Department Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute.

Education: Frunze Polytechnic Institute (1978).

Research area: autonomous power supply of consumers on the basis of renewable energy sources.

Publications: 66.



Илья Анатольевич
Болдырев
Ilya A. Boldyrev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» ВФ МЭИ.

Образование: ВФ МЭИ (2007).

Область научных интересов: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, автоматизация и управление.

Публикации: 30.

Information about author: Ph. D. (Tech.), associate professor of Automation of technological processes and production Department Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute.

Education: Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute (2007).

Research area: alternative and renewable energy, automation and control.

Publications: 30.



Алексей Алексеевич
Смирнов
Alexey A. Smirnov

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ВФ МЭИ.

Образование: ВФ МЭИ (2014).

Область научных интересов: альтернативная энергетика, системы управления, алгоритмы управления, проектирование программного обеспечения.

Публикации: 4.

Information about author: graduate student of Hydropower and renewable energy Department Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute.

Education: Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute (2014).

Research area: alternative energy, control systems, control algorithms, software design.

Publications: 4.

Введение

В настоящее время все большее распространение получают энергоустановки, использующие альтернативные источники энергии, такие как солнечные коллекторы (СК), тепловые насосы (ТН), ветрогенераторы.

Возобновляемая энергия является повсеместной, но имеет непостоянный характер. В связи с этим ввиду нестабильного покрытия требуемых нагрузок такая энергия должна быть дополнена другими постоянными источниками: аккумуляторами или источниками на традиционном топливе. Два или более источников энергии объединяют, чтобы сформировать гибридный энергетический комплекс (ГЭК) [1],

который устраняет недостатки каждого способа получения энергии и дополняет их.

Системы автоматического управления (САУ) ГЭК делятся на две большие группы – централизованные и распределенные. Распределенные системы управления формируются из САУ, комплектных с каждой энергоустановкой, входящей в состав комплекса. Удобство таких систем заключается в возможности комбинирования в гибридной энергосистеме установок разных фирм-производителей и возможности оперативного расширения или модификации состава комплекса. Положительные качества таких САУ, заключающиеся в стабильности и точной настройке при изготовлении, могут являться и недостатками в случае невозможности или недостаточ-

ности информации, которой САУ могут обмениваться в составе всего комплекса. Невозможность обмена информацией не позволяет задействовать в каждый момент времени оптимальную комбинацию источников энергии и управлять режимами их работы в зависимости от требований потребителя. При этом наиболее распространенным алгоритмом работы САУ в таком случае является каскадный – когда каждый следующий источник энергии подключается к выработке при недостатке мощности уже задействованных источников.

Централизованные системы управления подразумевают наличие единого устройства, реализующего алгоритм управления всеми источниками, входящими в состав комплекса. Такие системы сложны в реализации, но позволяют повысить энергоэффективность за счет оптимизации режимов работы комплекса. При этом для реализации эффективной системы управления комплексом необходимо решить ряд проблем, присущих централизованной структуре САУ.

Система управления с прогнозированием состояния

Одной из основных проблем централизованных САУ является необходимость адаптации к разному составу оборудования комплекса, в который может входить разное количество установок с различными техническими требованиями к работе и эффективностью. При этом создание одного универсального энергокомплекса и разработка единого алгоритма управления не представляется возможным.

Для построения эффективной стратегии управления требуется иметь информацию не только о текущем состоянии комплекса, но и прогнозировать значения параметров, определяющих его работу. К примеру, для определения метеоданных можно воспользоваться сервисами краткосрочного прогноза погоды. Зная прогнозируемые параметры температуры, облачности и ветра, можно рассчитать количество энергии, получаемой от каждого источника.

Кроме учета предполагаемой эффективности работы источников необходимо прогнозировать и нужды потребителя в энергии. Анализ энергопотребления позволяет выявить пики и спады потребления энергии, свойственные конкретному потребителю.

Исходя из вышесказанного, система управления гибридным энергокомплексом должна обладать следующими характеристиками:

- иметь централизованную структуру САУ;
- прогнозировать основные показатели эффективности работы источников, входящих в состав комплекса, в зависимости от погодных условий;
- осуществлять накопление и анализ данных об энергопотреблении конкретного потребителя.

Для решения поставленных задач предлагается разбиение системы управления на два уровня:

- верхний – технически реализован на базе выделенного сервера, выполняющего расчет эффективно-

сти работы системы и разрабатывающего стратегию управления комплексом;

- нижний – программируемый логический контроллер, непосредственно управляющий оборудованием, входящим в комплекс, согласно стратегии, выработанной на верхнем уровне.

Структура такой системы представлена на рис. 1.

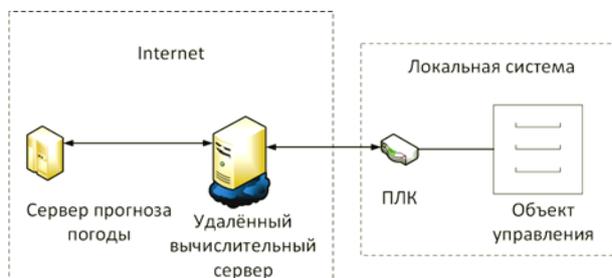


Рис. 1. Обобщенная структура системы управления
Fig. 1. The generalized structure of the control system

Исходя из требований к системе управления комплексом, необходимо разработать алгоритм ее работы. В статье рассматривается алгоритм управления комплексом альтернативных источников тепловой энергии с учетом прогнозируемых погодных условий и нужд потребителя энергии и сравнивается с широко используемым в системах управления ГЭК каскадным алгоритмом управления.

В качестве объекта исследования был выбран комплекс подготовки горячей воды как часть полигона для исследования эффективности комбинаций альтернативных источников энергии филиала МЭИ в г. Волжском [2].

Предлагаемый алгоритм САУ ГЭК содержит следующую последовательность действий.

На вход алгоритма подаются заранее рассчитанные основные данные о текущем состоянии системы и прогнозируемые погодные условия. Целью работы алгоритма является подбор оптимального состава задействованных источников тепловой энергии и расчет необходимого времени работы каждого источника. На основе обобщенных данных о потреблении энергии вычисляются пики и спады ее потребления, строится функция прогнозируемой тепловой нагрузки.

Следующий блок вычисляет разность между текущим количеством запасенной тепловой энергии в накопительных баках и необходимой энергии на ближайшем пике потребления тепла. Исходя из этой информации дальнейшая задача алгоритма – максимально эффективно набрать требуемое количество теплоты для покрытия нужд потребителя.

Далее рассчитывается количество энергии, которое возможно получить от самого энергоэффективного источника в зависимости от прогнозируемых погодных условий. В рассматриваемом энергокомплексе самым энергоэффективным источником является солнечный коллектор (СК). Если прогнозируе-

мой энергии от СК достаточно для покрытия нужд потребителя, то на данный момент не требуется участия других источников. Это информация передается в локальную систему управления.

Если же энергии от СК не хватает, вычисляется количество недостающей энергии, которая в энергокомплексе будет обеспечена работой теплового насоса. Далее рассчитывается время работы теплового насоса (ТН), которое необходимо для получения нужного количества тепла, обеспечивающего к ближайшему пику потребления необходимую энергию. В алгоритме также определяется возможность запуска теплового насоса при текущей температуре окружающей среды. Если при прогнозируемых погодных условиях тепловой насос невозможно запустить, то вместо него подключается электронагреватель (ТЭН). Данные о времени работы ТН или электронагревателя передаются в локальную систему управления комплексом. В локальной системе управления высчитывается оптимальное время включения ТН и ТЭН, что позволяет набрать необходимую энергию к тому моменту, когда она будет нужна, а не поддерживать заданную температуру в баках на всем протяжении времени работы комплекса. Это позволяет снизить тепловые потери в накопительных баках за счет хранения воды с меньшей температурой.

Эффективность работы алгоритма

Для сравнения эффективности работы алгоритма на удаленном сервере было смоделировано две системы управления – каскадная и система управления с прогнозируемыми погодными условиями. Системы управления моделировались на одном и том же объекте и оборудовании с одинаковыми нагрузочными характеристиками. Обе модели работали при одних и тех же погодных условиях.

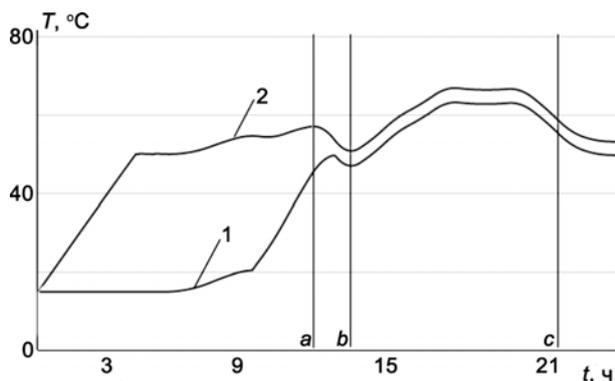


Рис. 2. Процесс изменения температуры воды в баках: 1 – при работе системы управления с прогнозированием состояния; 2 – при работе каскадной системы управления, где: a – точка начала потребления; b – точка пика потребления; c – точка окончания потребления

Fig. 2. Process of change the water temperature in the tanks: 1 – when the system with prediction of condition; 2 – during operation of the cascade control system: a – point start of consumption; b – point peak of consumption; c – point end of consumption

На рис. 2 представлен процесс изменения температуры воды в баках.

Из графика на рис. 2 видно, что при работе системы управления с прогнозированием состояния активный процесс нагрева воды до заданной температуры 50 °С начинается не с момента запуска системы, а с определенного времени, рассчитанного системой управления исходя из анализа нужд потребителя. К моменту начала потребления температура воды в баках составляет 47 °С, а в момент пика потребления 43 °С. После покрытия пиковых нагрузок температура в баках поддерживается за счет солнечных коллекторов. Если бы температура воды в баках опустилась ниже 40 °С, то недостаток тепла был бы покрыт за счет работы теплового насоса или ТЭНа. По окончании потребления воды система оставляет включенными только солнечные коллекторы до момента времени, когда они перестанут быть эффективными. По желанию пользователь может задать минимально допустимую температуру воды, и тогда регулирование будет осуществляться по двум уровням.

Рассмотрим рис. 3, где изображены периоды включения устройств комплекса при управлении с прогнозированием состояния.

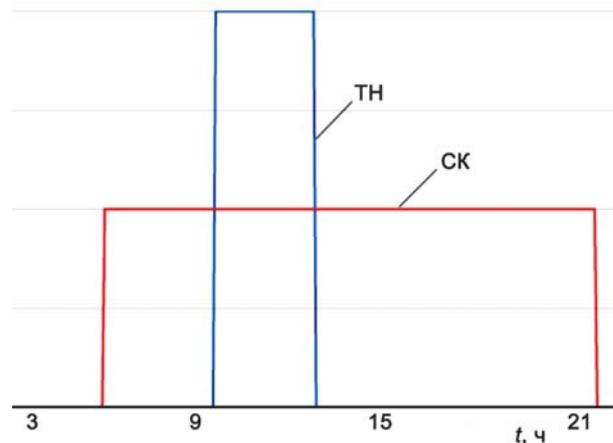


Рис. 3. Моменты включения оборудования комплекса, где ТН – тепловой насос; СК – насос солнечного коллектора
Fig. 3. Moments of enable equipment of the complex, where ТН – heat pump; СК – solar pump

Из рис. 3 видно, что насосы солнечного коллектора были задействованы все время, пока солнечное излучение было достаточным для его работы. Для набора необходимого количества теплоты потребовался только один период работы теплового насоса.

Рассмотрим результаты работы каскадной системы управления. На рис. 2 процесс изменения температуры воды в баках при работе каскадной системы управления показан кривой 2.

Процесс нагрева воды начинается сразу же после запуска системы и продолжается, пока температура воды не достигнет заданной величины. На участке максимальной активности солнечных коллекторов



температура превышает заданную на 10 °С. В дальнейшем, при падении солнечной активности, температура поддерживается на заданном уровне.

На рис. 4 изображен график, отображающий время работы основного оборудования комплекса при каскадном управлении.

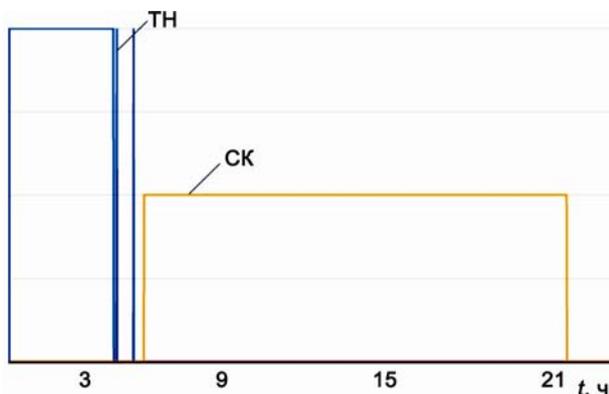


Рис. 4. График времени работы основного оборудования комплекса при каскадном управлении
Fig. 4. Moments of enable equipment of the complex with cascade system control

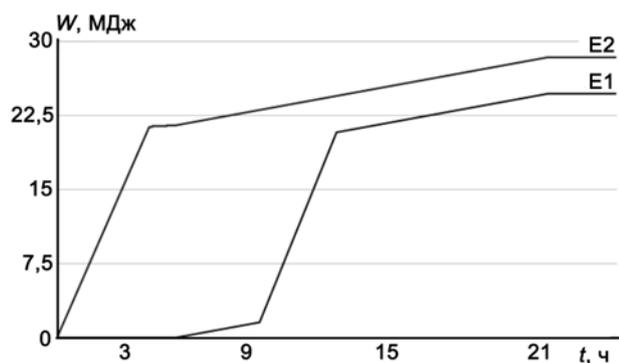


Рис. 5. Суточный график потребления электроэнергии: E1 – кривая потребления электричества при работе системы управления с прогнозированием состояния; E2 – кривая потребления электричества при работе каскадной системы управления
Fig. 5. The daily schedule of electricity consumption: E1 – consumption line of control system with prediction of a condition; E2 – line of curve of the electricity consumption of the cascade control system

Из графика видно, что при старте установки запускается тепловой насос и за четыре часа работы передает системе достаточное количество тепла для поддержания температурного режима. Последующие кратковременные запуски связаны с поддержанием температуры в системе до момента запуска насоса солнечного коллектора. Дальнейшие нужды потребителя покрывает солнечный коллектор.

Основным критерием энергоэффективности системы управления является потребленное комплексом количество электрической энергии для выработки заданного количества тепловой энергии.

На рис. 5 изображен суточный график потребления электрической энергии. Из графика видно, что при работе каскадной системы управления было потреблено больше энергии, чем при работе системы управления с прогнозированием состояния.

Выводы

Исследуемая эффективность предложенного алгоритма в данном опыте составляет 13% по сравнению с каскадной системой управления. Она достигается за счет нескольких особенностей работы алгоритма:

- набор тепла в систему происходит более эффективно за счет того, что тепловой насос включается не сразу при старте системы, а в заранее высчитанное время, которое необходимо для набора температуры в баках ко времени начала потребления;

- в то время, когда вода не используется, система управления позволяет воде в баках остыть, что позволяет снизить общее количество тепловых потерь. Теплоноситель рассеивает меньше тепла в окружающую среду при меньшей температуре.

К недостаткам можно отнести то, что работа алгоритма строится на таких параметрах, как прогноз метеоусловий и анализ потребления тепла объектом, имеющих неточный характер. С ошибками в прогнозе погоды система управления справится, добрав необходимую температуру в каскадном режиме, что не приведет к значительному снижению эффективности комплекса производства горячей воды.

Список литературы

1. Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Шестопалова Т.А., Юриков В.А. Гибридные энергокомплексы на основе возобновляемых источников энергии // Вестник КРСУ. 2012. Том 12. № 10.
2. Болдырев И.А. Кузеванов В.С. Исследование эффективности функционирования комбинации нетрадиционных и возобновляемых источников электрической и тепловой энергии // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. 2013. № 14. С. 49-51.

References

1. Derûgina G.V., Tâgunov M.G., Šestopalova T.A., Ūrikov V.A.. Gibridnye ênergokompleksy na osnove vobnovlâemyh istočnikov ênergii // Vestnik KRSU. 2012. Tom 12. № 10.
2. Boldyrev I.A. Kuzevanov V.S. Issledovanie êffektivnosti funkcionirovaniâ kombinacii netradicionnyh i vobnovlâemyh istočnikov êlektričeskoj i teplovoj ênergii // Al'ternativnaâ ênergetika i êkologiâ – ISJAE. 2013. № 14. S. 49-51.

Транслитерация по ISO 9:1995