УДК 628.979:581.035

ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ракутько С. А., д-р техн. наук, Государственное научное учреждение «Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии», г. Санкт-Петербург,

Ракутько Е. Н., научный сотрудник, НИЛ энергоэффективных электротехнологий ИАЭП, г. Санкт-Петербург,

Иванникова Н. Ю., канд. техн. наук, доцент, зав. филиалом кафедры энергетики и транспорта, Мурманский государственный технический университет, Мурманская обл., Кольский р-н, пгт. Мурманши

В настоящей работе изложены теоретические основы анализа энергопотребления в сельскохозяйственных энергетических системах (СЭС), с учетом их иерархичности и закономерностей взаимодействия сельскохозяйственных биологических объектов с искусственной средой обитания. Рассмотрена структура энергетической цепи, представляющая собой условную связь между носителями энергии различного вида, и ее энергетические операторы. Предложена концепция виртуального энергетического блока. Предложен подход к ее оптимизации СЭС по критерию минимальной энергоемкости.

Ключевые слова: энергосбережение, сельскохозяйственная энергетическая система, энергетический оператор, виртуальный энергетический блок, энергоемкость.

OPTIMIZATION AND MANAGEMENT OF ENERGY SAVING IN AGRICULTURAL ENERGY SYSTEMS

Rakutko S. A., Dr. habil. of technical sciences, State scientific institution "North-West research Institute of mechanization and electrification of agriculture of Russian agricultural Academy", St. Petersburg,

Rakutko E. N., researcher, NEIL energy efficient electrotechnologies IAEF, St. Petersburg,

Ivannikova N. Yu., Ph.D. of technical sciences, associate professor, head. a branch of the department of energy and transport, Murmansk state technical university, Murmansk region, Kola R-n, PGT. Murmansk

In this paper, we outline the theoretical basis for analyzing energy consumption in agricultural energy systems (AES), taking into account their hierarchy and the laws of interaction of agricultural biological objects with an artificial habitat. The structure of the energy circuit is considered, which is a conditional relationship between energy carriers of various types and its energy operators. The concept of a virtual power block is proposed. An approach for optimization of AES using the criterion of minimum energy consumption is proposed.

Key words: energy saving, agricultural energy system, energy operator, virtual power unit, energy consumption.

В условиях энергоинтенсивного аграрного производства на первый план выступают проблемы экологии и энергосбережения. В настоящее время в АПК только высокоэффективные агротехнологии позволяют рационально использовать природные ресурсы и снизить негативное воздействие производства на окружающую среду. Повышение энергоэффективности производства требует внедрения современных специальных энергоэкологических технологий.

Решение указанных проблем предполагает разработку не только практических приемов, но и развитие теоретической базы, позволяющей формулировать практически значимые выводы, обосновывать конкретные энергосберегающие решения и направленной на обслуживание задач энергосбережения.

В настоящей работе изложены теоретические основы оптимизации энергопотребления в *сельскохозяйственных энергетических системах* (СЭС), с учетом их иерархичности и закономерностей взаимодействия сельскохозяйственных биологических объектов с искусственной средой обитания.

Под СЭС понимается совокупность источников энергии различного вида и передающих ее сетей, энергоприемников, трансформирующих полученную энергию в продукцию, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе преобразования, распределения и потребления энергии при общем процессе управления этими режимами. Предложенный подход является развитием метода конечных отношений, предложенного проф. В. Н. Карповым и являющегося аппаратом анализа энергетики потребительских энергосистем [1].

Используемый нами подход является «феноменологическим», не подразумевающим раскрытие сущности и механизмов процессов, протекаемых в СЭС. Его задача – адекватное описание энергетической стороны этих процессов, на основе системной методологии, связывающей

воедино специальные знания о различных и разнопорядковых элементах энергопотребления и энергосбережения в иерархически единое целое [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Целостность системы энергосбережения в условиях сельскохозяйственного производства проявляется в образовании новой качественной определенности на основе взаимодействия компонентов, составляющих СЭС и образующих энергетические цепи. В том понимании, как это принято в электротехнике, в СЭС цепи как таковой может и не быть. Подобные цепи представляют собой условную связь между носителями энергии различного вида и удобны для решения задач энергосбережения.

Под *энергетической цепью* (ЭЦ) понимается совокупность активных и пассивных энергетических операторов (ЭО), составляющих уровни СЭС и условно связанных между собой линиями взаимного влияния физических величин, характеризующими энергетическое состояние операторов.

Математическим представлением ЭЦ является физическая *система с сосредоточенными компонентами*, представляемая в виде *графа*. Под сосредоточенным компонентом системы понимают абстрагированный предел реальной системы при бесконечном уменьшении влияния прочих свойств системы. Компонентами системы выступают ЭО, соединенные между собой через полюса. Количество полюсов у ЭО может быть равно двум (*двухполюсный ЭО*) и более (*многополюсный ЭО*) [3].

В ЭЦ протекают процессы различной физической природы: механические, электрические, тепловые, гидравлические, пневматические и т. д. Все они допускают представление схемой с сосредоточенными параметрами, по типу рис. 1.

Каждый ЭО, образующий структуру ЭЦ, вычленяется при математическом модели-

Рис. 1. Энергетическая цепь как система с сосредоточенными параметрами

ровании таким образом, чтобы отразить определенные свойства соответствующего реального объекта:

1) Операторы – источники, создающие потенциальную или кинетическую энергию различных видов. Примерами являются источники напряжения и тока, двигатели, компрессоры, насосы. Данные операторы являются активными энергетическими операторами (АЭО).

2) Операторы, рассеивающие энергию (участки трения, капилляры, сопла, демпферы). Данные операторы назовем пропорциональными пассивными энергетическими операторами (ПЭО_п).

3) Операторы, обладающие способностью накапливать энергию (конденсаторы, маховики, массивные подвижные элементы, теплонакопители). Данные операторы назовем дифференциальными пассивными энергетическими операторами (ПЭО_д).

4) Операторы, характеризующие инерционный эффект (индуктивные катушки, пружины). Данные операторы назовем интегральными пассивными энергетическими операторами (ПЭО_и).

Рассмотренные группы ЭО являются составными элементами теоретической модели реального энергетического объекта или процесса – виртуального энергетического блока (ВЭБ).

Уравнения ВЭБ содержат по две переменных $\zeta(t)$ и $\xi(t)$ для его входа и выхода. Переменные $\zeta(t)$ характеризуют состояние ВЭБ относительно поперечного сечения его входа и выхода. Такие переменные

называются поперечными (например, электрический ток, потоки различных носителей энергии, механическая сила). Продольные переменные $\zeta(t)$ характеризуют состояние ВЭБ на его входе и выходе (например, электрическое напряжение, скорость, разность давлений, температур и т. д.). В более общей трактовке поперечная переменная является вектором плотности потока носителей энергии, продольная переменная – потенциалом различной природы, а их произведение с последующим суммированием по отдельным составляющим – вектором плотности потока энергии.

В изолированной СЭС суммарное количество энергии всех видов остается неизменным. При передаче энергии количества полученной и переданной энергии равны.

Рассмотрим *работу*, совершаемую в течение времени Δt при изменении продольной координаты $\Delta \zeta$ на перенос субстанции, характеризуемый поперечной координатой ζ :

$$\begin{aligned} \Delta A(\tau) &= \zeta(\tau) \Delta \xi(\tau) = \\ &= \zeta(\tau) \int_{\tau_1}^{\tau_2} \xi(\tau) d\tau = \zeta(\tau) \xi(\tau) \Delta \tau. \end{aligned} \quad (1)$$

Энергия является количественной характеристикой перемещаемой субстанции и представляет собой работу $\Delta A(\tau)$, выполняемую в течение времени $\Delta \tau$:

$$Q(\tau) = \frac{\Delta A(\tau)}{\Delta \tau} = \zeta(\tau) \xi(\tau). \quad (2)$$

Кинетическая энергия обуславливается продольной координатой. В ЭЦ кинетическую энергию относят к $ПЭО_\partial$:

$$Q_{кин}(\tau) = \frac{1}{R_\partial} \zeta(\tau) \int \zeta(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Потенциальная энергия обуславливается поперечной координатой. В ЭЦ кинетическую энергию относят к $ПЭО_u$:

$$Q_{ном}(\tau) = \frac{1}{R_u} \zeta(\tau) \frac{d\zeta(\tau)}{d\tau}. \quad (4)$$

Тепловую энергию в ЭЦ относят к $ПЭО_n$:

$$Q_{мен}(\tau) = \frac{1}{R_n} \zeta^2(\tau). \quad (5)$$

В соответствии с законом сохранения энергии приращение суммы всех видов энергий за некоторый промежуток времени равно энергии, подведенной к системе в течение этого промежутка времени.

Общая энергия в СЭС:

$$Q(\tau) = Q_{кин}(\tau) + Q_{ном}(\tau) + Q_{мен}(\tau). \quad (6)$$

Потерями в ЭЦ следует считать энергию, выделяющуюся на $ПЭО_\partial$, которая не является полезной в данном технологическом процессе. Так, в нагревательных установках полезной является тепловая энергия, остальные же виды энергии следует отнести к потерям. В ряде других технологических процессах именно энергия, выделяемая на диссипативном элементе, должна быть отнесена к потерям.

Основным параметром ВЭБ служит величина энергоемкости, вычисляемая как отношение энергии, подводимой на вход блока Q_H , к энергии на его выходе Q_K :

$$\varepsilon = \frac{Q_H}{Q_K}. \quad (7)$$

С учетом структуры ВЭБ выражение для его энергоемкости через переменные имеет вид:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sum \zeta_H(t) \cdot \xi_H(t)}{\sum \zeta_K(t) \cdot \xi_K(t)}. \quad (8)$$

Подчеркнем, что понятие об энергетической цепи позволяет выявить и наглядно представить формирование энергоемкости, значение которой определяется по выражению:

$$\begin{aligned} \varepsilon(\tau) &= \frac{Q_H(\tau)}{Q_K(\tau)} = \frac{Q_K(\tau) + \Delta Q(\tau)}{Q_K(\tau)} = \\ &= 1 + \frac{\Delta Q(\tau)}{Q_K(\tau)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Следующий уровень иерархии СЭС – энерготехнологический процесс (ЭТП), представляемый совокупностью ВЭБ. В ходе ЭТП производится преобразование и полезное использование энергии различных видов в технологических целях.

Группированные по функциональному назначению ЭТП отдельных видов и соответствующие им объекты образуют структуру искусственной биоэнергетической системы (ИБЭС), включающую в себя потребительскую энергетическую систему (рис. 2).

Рис. 2. Структура искусственной биоэнергетической системы

Так, объектом приложения основного ЭТП_о является сельскохозяйственный биологический объект (СБО). Подготовительный ЭТП_п направлен на биологические и технические средства подготовки БТС. ЭТП_м обеспечивает поддержание условий проведения основного процесса и направлен на технические средства обеспечения микроклимата ТСМ.

Рыночное окружение составляют рынки потребляемой энергии и выпускаемой предприятием продукции. Рынки технологий и энергетического оборудования определяют эффективность проводимых ЭТП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Объектом воздействия ЭТП_о является СБО, который так же может быть представлен, как ВЭБ.

Анализ типичных ЭТП в АПК позволяет говорить о модели Q-X-P: энергия Q влияет на величину фактора X, который определяет продуктивность биологического объекта P (рис. 3).

Рис. 3. Модель Q-X-P

В этой модели представляет интерес зависимость энергоемкости ε от воздействующего фактора X:

$$\varepsilon_X = \frac{Q}{P} \Big|_X. \quad (10)$$

Индекс «X» является показателем того, что состояние ИБЭС рассматривается при данном значении характеризующего процесс параметра.

Примером могут служить следующие ИБЭС. В агрономии: затраты на внесение удобрений (Q) влияют на создаваемую в почве концентрацию активного элемента (X), который определяет урожайность выращиваемых культур (P). В животноводстве: энергия на создание микроклимата (Q) влияет на температуру воздуха в животноводческом помещении (X), которая определяет продуктивность животных (P).

На рис. 3 в качестве примера показаны в относительных единицах для условий светокультуры зависимости количества производимой продукции P и энергоемкости ИБЭС ε от характеризующего процесс параметра X (облученности), т. е. функции P_X и ε_X , а также зависимость параметра X от величины подводимой энергии Q, т. е. функция X_Q . Анализ представленных графиков свидетельствует, что при увеличении количества затрачиваемой энергии растет значение величины облученности, что (до некоторых пределов) приводит к росту урожайности облучаемых растений, при этом оптимум урожайности соответствует точке «А» (максимум на кривой зависимости урожайности P_X от облученности). Однако, с точки зрения энергозатрат, оптимальным является режим, соответствующий точке «В» (минимум энергоемкости процесса облучения ε_X в зависимости от создаваемой облученности).

Оптимизация режима функционирования ИБЭС, т. е. поиск оптимального вектора параметров X_r , обеспечивающего максимизацию получаемой прибыли Π , может быть произведена из уравнения:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial X_j} = 0. \quad (11)$$

Задавая требование обеспечения минимальных энергетических затрат (условие энергосбережения), можно показать, что оптимизация функционирования ИБЭС для каждого j -го ее компонента требует соблюдения условия:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j} = 0. \quad (12)$$

Таким образом, обеспечение минимального значения энергоемкости является определяющим фактором энергосбережения.

Подводя итоги, можно выделить следующие иерархические уровни СЭС.

Первый уровень – виртуальный энергетический блок, образованный энергетическими операторами.

Второй уровень – энерготехнологический процесс (ЭТП), представляемый совокупностью ВЭБ. В ходе ЭТП производится преобразование и полезное использование энергии различных видов в технологических целях.

Третий уровень иерархии – потребительская энергетическая система (ПЭС) как совокупность источников энергии, энергетических линий и устройств.

Четвертый уровень иерархии – искусственная биоэнергетическая система,

включающая, помимо технологических установок, биологический объект. В сельском хозяйстве это растения, животные, микроорганизмы как объекты энергетического воздействия применяемых электротехнологий.

Пятый уровень иерархии представляет собой отрасль АПК как совокупность сельскохозяйственных предприятий, функционирующих в рыночных условиях.

Единым энергетическим параметром каждого уровня служит величина энергоемкости, в общем случае вычисляемая как отношение величины затрачиваемых на входе ресурсов к величине, характеризующей производимый эффект на выходе и в различных случаях имеющая различную размерность.

На основе изложенных теоретических положений разработан ряд конкретных инженерных решений, направленных на обеспечение энергосбережения и повышения энергетической эффективности в ЭТП [4, 5].

ВЫВОДЫ

Проблема энергосбережения в АПК является одной из важнейших в отраслевой энергетике, для решения ее необходимы не только разработки практической направленности, но и теоретические обоснования.

Сельскохозяйственная энергетическая система представляет собой иерархиче-

Рис. 4. Иерархическая структура сельскохозяйственных энергетических систем

скую структуру, образуемую совокупностью отдельных предприятий АПК в рыночном окружении, объектом воздействия энерготехнологических процессов в которых является биологический объект. Моделью технологических процессов или энергетических установок выступает понятие виртуального энергетического блока, единый энергетический параметр которого, как и всех уровней иерархии энергетической системы, – величина энергоёмкости, вычисляемая как отношение величины затрачиваемых ресурсов различной природы к величине, характеризующий наблюдаемый на данном уровне эффект.

Математическим аппаратом описания структуры, энергетических процессов и закономерностей функционирования отдельных уровней СЭС служит прикладная теория энергосбережения. Критерием оптимальности при проектировании СЭС следует считать достижение минимальной энергоёмкости.

Известно, что в общем случае технологический процесс является тем более энергосберегающим, чем он более экологичен и чем меньше в ходе его образуется неиспользуемых отходов, поэтому рассматриваемая теория может быть использована для оценки экологичности энергосберегающих мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Карпов В. Н.** Энергосбережение. Метод конечных отношений. – СПб.: СПбГАУ, 2005. – 137 с.
2. **Ракутько С. А.** Оптимизация энерготехнологических процессов в АПК на основе прикладной теории энергосбережения // Труды VIII Межд. науч.-техн. конференции, 16–17 мая 2012 г. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – Ч. 1. – С. 64–70.
3. **Сигорский В. П.** Математический аппарат инженера. – Киев: Техніка, 1975. – 768 с.
4. **Патент РФ № 2357342.** Способ энергосбережения в энерготехнологических процессах / Карпов В. Н., Ракутько С. А. – заявл. 21.04.08; опубл. 27.05.09.
5. **Патент РФ № 2361262.** Система энергосбережения в энерготехнологических процессах / Ракутько С. А. – заявл. 14.07.08; опубл. 10.07.09.

ВСЕ РИСКИ ПОД КОНТРОЛЕМ

<http://panor.ru/ohrprom>

Уникальный производственно-технический журнал «Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях» посвящен актуальным вопросам охраны труда и безопасности на производстве в различных отраслях промышленности, а также профилактике профессиональных заболеваний, новейшим разработкам в области средств индивидуальной и коллективной защиты, проблемам энергобезопасности.

Широкий охват тем, мониторинг основных тенденций развития и обзор последних научно-практических достижений в этой области позволяют в одном издании найти ответы на важные вопросы, связанные с повышением уровня безопасности на конкретном производстве.

Редакционный совет: Файнбург Г.З., д-р техн. наук, проф., директор Пермского краевого центра охраны труда и Института безопасности труда, производства и человека ПГТУ; **Бабанов С.А.**, д-р мед. наук, проф. ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; **Щербаков В.И.**, руководитель Сервисного информационно-аналитического центра охраны труда Тульской обл., чл. корр. Академии наук социальных технологий и местного самоуправления, руководитель группы управления профессиональными рисками; **Державец А.С.**, д-р техн.

наук, проф., академик РАЕН и МАНЭБ, член Общественного совета при Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору; **Вяткин Н.Л.**, д-р экон. наук, канд. техн. наук, техн. директор ЗАО «Взрывиспытания».

Издаётся при информационной поддержке ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Минтруда России и Клинского института охраны и условий труда.

Ежемесячное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Управление охраной труда
- Аттестация рабочих мест
- Управление профессиональными рисками
- Новое в законодательстве
- Надзор и контроль
- Гигиена труда
- Охрана труда и социальное партнерство
- Вопросы страхования
- Инструкции по технике безопасности
- Выставки и конференции
- Зарубежный опыт
- И другие рубрики.

ОХРАНА ТРУДА
И
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

На правах рекламы

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ

16583

82721

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).