

## СТРУКТУРА МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. С. Гордеев

*Кафедра «Агроинженерия, электроэнергетика и информационные технологии»,  
ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»,  
г. Мичуринск, Россия; gorde2020@gmail.com*

**Ключевые слова:** анализ; модель; сельское хозяйство; энергопотребление; энергосбережение.

**Аннотация:** Предложена апробированная структура модели энергетического анализа сельскохозяйственного предприятия, включающая блоки подготовки информации, ее первичного преобразования и создания единой базы данных по потреблению энергии отдельными подразделениями и в целом по предприятию, верификации, интервального оценивания, прогнозирования и нормирования. Приведены примеры использования структурных блоков модели для энергетического анализа сельскохозяйственного производства.

---

Управление предприятием в целях оптимального энергопотребления, сводящего затраты на энергию к минимуму, основывается на планомерной реализации комплекса организационных, технических и технологических мер энергопотребления производств и инфраструктуры, непосредственно не участвующей в производстве, на основе плана энергосберегающих мероприятий с его безусловным исполнением.

В настоящее время реальных, научно-выдержанных и обоснованных методических подходов к управлению энергосбережением на предприятиях сельского хозяйства нет [1]. В основу может быть положена методология оптимального управления электропотреблением техноценозов, предлагаемая школой Б. И. Кудрина. В соответствии с ней исследования (в частном случае – для предприятия сельского хозяйства) в области энергосбережения могут быть условно разделены на три уровня. На *первом* уровне осуществляются конкретные технические и технологические разработки, способствующие снижению энергопотребления, проводится анализ на основе имеющейся информации об энергопотреблении или его имитационных моделей. На *втором* уровне методами рангового анализа осуществляется оптимизация энергопотребления предприятия, включающая интервальное оценивание, прогнозирование и нормирование, в частности динамики энергопотребления во времени. На *третьем* уровне осуществляется стратегическое планирование и прогнозирование энергопотребления [2, 3].

При построении модели процесса анализа энергопотребления осуществляется статистическая обработка данных по энергопотреблению, включающая следующие основные структурные блоки алгоритмического и программного обеспечения данной модели: верификация, интервальное оценивание, прогнозирование и нормирование.

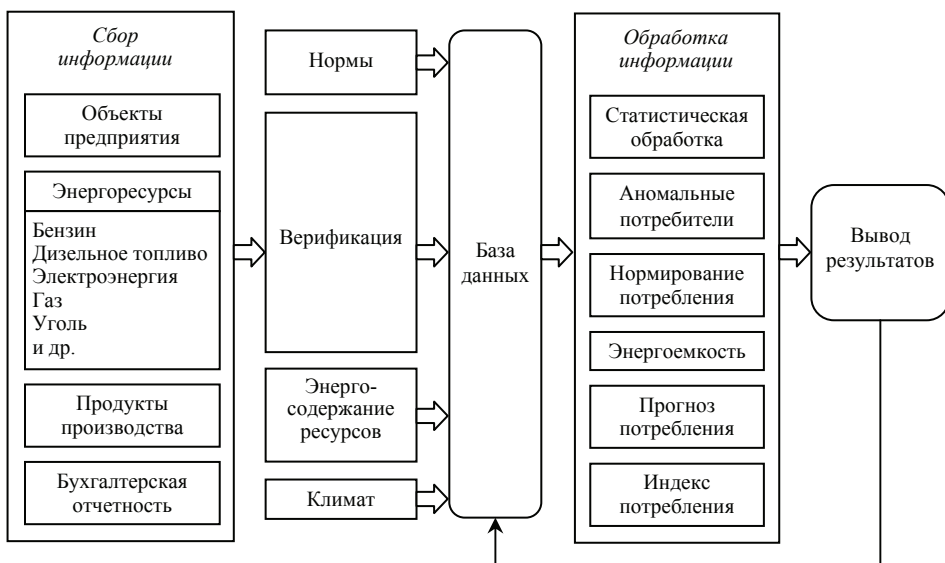


Рис. 1. Структура алгоритма модели энергетического анализа

Помимо основных, модель процесса анализа энергопотребления должна, с учетом специфики сельскохозяйственного предприятия, содержать структурные блоки подготовки информации, ее первичного преобразования и создания единой базы данных по потреблению энергии отдельными подразделениями и в целом по предприятию. Структура модели процесса анализа энергопотребления сельскохозяйственного предприятия приведена на рис. 1.

Блок «Сбор информации» собирает данные по объектам, видам энергоносителей (бензин, дизельное топливо, электрическая энергия, газ, уголь и т.п.), продуктам производства (зерно, молоко, мясо и т.п., их количество, качество), данные по климату. Источниками информации могут быть: бухгалтерская отчетность, справочники, результаты замеров, мониторингов и т.д. Как правило, структурирование, накопление и первичная обработка исходной информации осуществляется в электронных таблицах Excel как наиболее распространенных и доступных на местах первичного учета. Разработчику модели следует лишь определить структуру данных таблиц в каждом конкретном случае.

Следует обратить внимание на формирование списка энергопотребителей (табл. 1). Каждое подразделение списка должно иметь собственный учет потребляемой энергии: журналы и бухгалтерскую отчетность.

Блок «Верификация» – практическое знакомство с системой учета данных, которые зачастую теряются или обезличиваются. Нулевые и равные данные трудно обрабатываются компьютером (выдает ошибки). Выход данных за пределы доверительного интервала (выбросы)

Таблица 1

Список потребителей

№ п/п	Наименование объекта энергопотребления
1	Котельная
2	Гараж
3	Ветеринарный блок
4	Столовая
5	Общежитие
6	Машинно-тракторная мастерская
7	Аккумуляторная
8	Балаган
9	Контора
10	Зерноток
11	Холодильник
12	Ферма

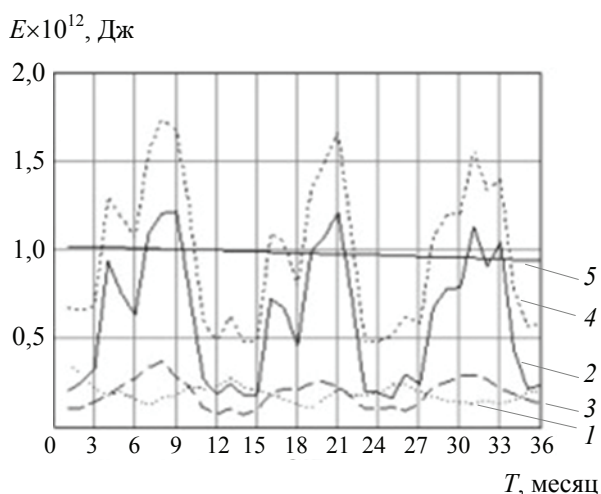
являются следствием грубых ошибок учета. Утеря информации происходит по вине персонала или компьютерных сбоев. Поэтому требуется предварительная верификация исходных данных, которая должна содержать следующие процедуры: устранение ошибочных, абсолютно равных и нулевых данных, выбросов, а также восстановление утерянных данных.

Блок «База данных» осуществляет прием, хранение и выдачу исходной информации и результатов энергетического анализа, в том числе исходную информацию с блока «Сбор информации» после верификации, а также различного рода нормы, энергосодержание энергетических ресурсов, климатические данные (температура воздуха, осадки и т.п.). Следует учесть, что все виды энергоносителей должны приводиться к единой единице измерения энергии – Джоуль, для чего вводятся коэффициенты, численно равные количеству энергии в Дж, содержащихся в единице ресурса. На рисунке 2 приведен пример временного ряда потребления различных видов энергии (бензин, дизельное топливо, электроэнергия) и сумма их энергий в Дж, а также тренд изменения потребления всей энергии предприятием за 36 месяцев.

Для обработки информации используют блоки для статистического анализа, поиска аномальных потребителей, нормирования и прогнозирования энергопотребления, расчета энергоемкости производства продукции и индекса энергопотребления [3].

Блок «Статистическая обработка» осуществляет статистическую обработку, вычисление корреляций, регрессий, доверительных интервалов, кластеров и других показателей временных рядов энергопотребления по объектам и видам энергоресурсов. В таком блоке также можно осуществлять проверку статистических гипотез и аппроксимацию данных функциональными зависимостями.

Блок «Аномальные потребители» осуществляет выявление энергопотребителей, потребляющих энергию по своим статистическим характеристикам «не как все». Энергопотребление аномального объекта больше или меньше доверительного интервала предполагаемого энергопотребления всего предприятия [3]. Предполагаемое энергопотребление объектов предприятия должно подчиняться ранговому распределению. Интервальное оценивание параметрического распределения позволяет определить, какие из объектов предприятия потребляют ресурс ано-

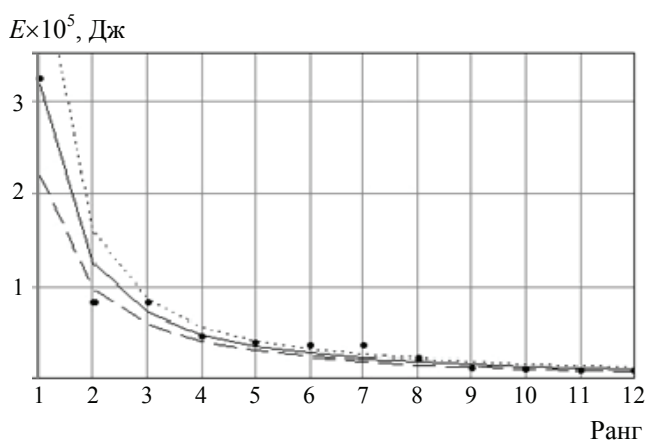


**Рис. 2. Графики временных рядов потребления энергоресурсов и их общая энергия  $E$ :**  
 1 – электроэнергия; 2 – дизельное топливо; 3 – бензин; 4 – энергия; 5 – тренд

мально (см. рис. 3). Если точка на ранговом распределении входит в доверительный интервал, то в пределах разброса параметров можно судить, что данный объект потребляет энергию по своим статистическим параметрам «как все» – нормальный режим потребления. Если точка находится ниже доверительного интервала, то это, как правило, свидетельствует о нарушении нормального технологического процесса электропотребления на данном объекте (частые отключения электроэнергии, неплатежи, избыточная экономия и т.п.) – объект с рангом 2 (см. рис. 3). Если точка находится выше интервала, то на соответствующем объекте имеет место аномально большое потребление электроэнергии – объект с рангами 6 и 7 (см. рис. 3). Причинами могут быть несанкционированное подключение (хищения), прорыв трубопровода и т.п. Именно на данные объекты в первую очередь должно нацеливаться углубленное энергетическое обследование (энергоаудит).

Блок «*Нормирование потребления*» осуществляет статистическое нормирование энергопотребления каждого объекта по каждому энергоресурсу по их сложившемуся потреблению за определенный период времени. Норма на потребление энергоресурса может стимулировать энергосбережение, если она реально достижима после определенных усилий на объекте предприятия по внедрению энергосберегающих мероприятий или сдерживать энергосбережение, если она легко выполнима или недостижима. Следует нормировать энергопотребление для каждого объекта, исходя из его реальных технических, организационных и финансовых возможностей, то есть у двух разных объектов, имеющих разные условия работы, могут быть разные нормы. В данной модели для расчета норм используется метод кластеризации объектов по энергопотреблению [3]. Число кластеров задается, исходя из некоторых практических соображений, априорно. По результатам разбиения на группы (кластеры) по сходному электропотреблению для каждого временного интервала возникает возможность определения норм потребления ресурсов для каждого объекта.

Блок «*Прогноз потребления*» осуществляет прогнозирование энергопотребления каждого объекта по каждому энергоресурсу с учетом предыстории потребления (линейных трендов во времени) и сезонности потребления. Общая схема исследования временного ряда при прогнозировании состоит в выделении тренда и анализе его значимости с последующим выделением циклической (сезонной) компоненты с анализом остатков на случайность. Из значений временного ряда



**Рис. 3. График определения аномального энергопотребителя:**

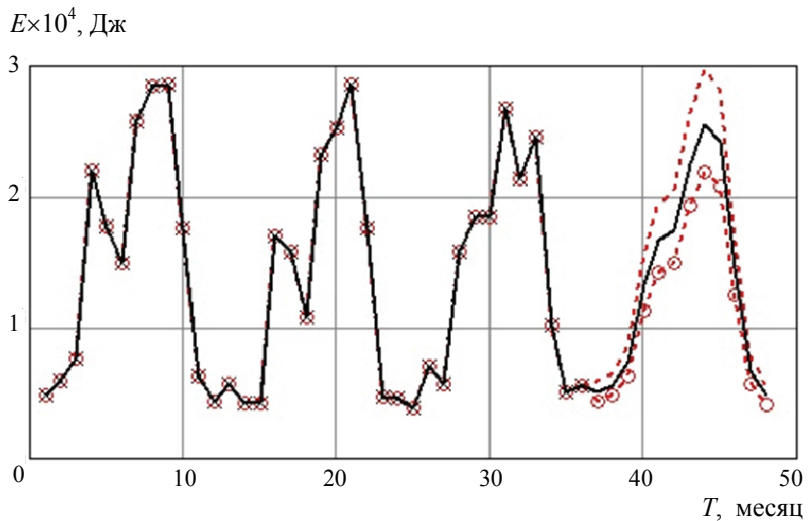
••• – значение энергопотребления; — —, ..... – нижняя и верхняя доверительные границы соответственно; — — — — — кривая регрессии

энергопотребления каждого вида энергоресурса для каждого объекта вычитаются соответствующие значения тренда и выделенных периодических (сезонных) компонент. В результате указанных выше действий временной ряд разлагается на тренд (тенденцию, долговременное движение), циклические компоненты (сезонные) и случайные (несистематические) колебания; производится определение вида тренда (линейный, полиномиальный, экспоненциальный и др.), вычисление параметров тренда и оценка значимости его параметров. В свою очередь, циклические компоненты можно разделить на долговременные (годы, месяцы в зависимости от рассматриваемой задачи) и короткопериодические (недели, дни). Данный метод получил название декомпозиции временного ряда. Пример прогноза методом декомпозиции временного ряда приведен на рис. 4.

По данным энергопотребления первых 36 месяцев рассчитываются тренд, сезонная составляющая и случайные остатки. Для прогнозирования энергопотребления сельскохозяйственного предприятия периодом сезонной (высокочастотной) составляющей целесообразно принять 12 месяцев. Бывают более медленные циклы – 3 года и более, зависящие от климатических изменений, космоса и т.п. Случайные остатки, как правило, имеют большую частоту, чем сезонный цикл.

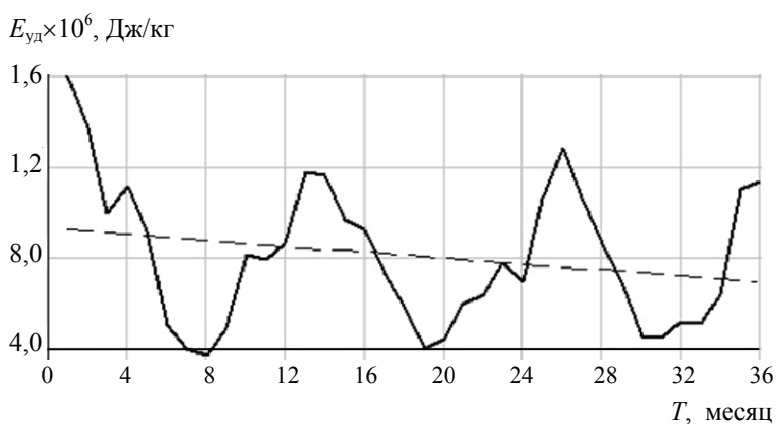
Блок «Энергоемкость» осуществляет расчет общего энергопотребления и энергоемкости производства каждого вида продукции по предприятию. Примем условно, что один объект предприятия выпускает один вид продукции, некоторые объекты ее не производят.

Удельные затраты энергии – это затраты энергии на производство единицы продукции непосредственно на объекте ее производства. Если энергия учитывается по всему предприятию в целом, то можно говорить о неполной энергоемкости производства продукции, когда учитываются организационные, административные и другие общие затраты предприятия. Если в баланс энергии входит полный цикл производства продукта, включая энергию на производство и добычу сырья, комплектующих, оборудования и других компонентов, то можно говорить о полной энергоемкости производства продукции.



**Рис. 4. График прогноза методом декомпозиции временного ряда:**

××× – реальные данные предыстории; ○○○, --- – нижняя и верхняя доверительные границы соответственно;  
 — — значение медианы энергопотребления

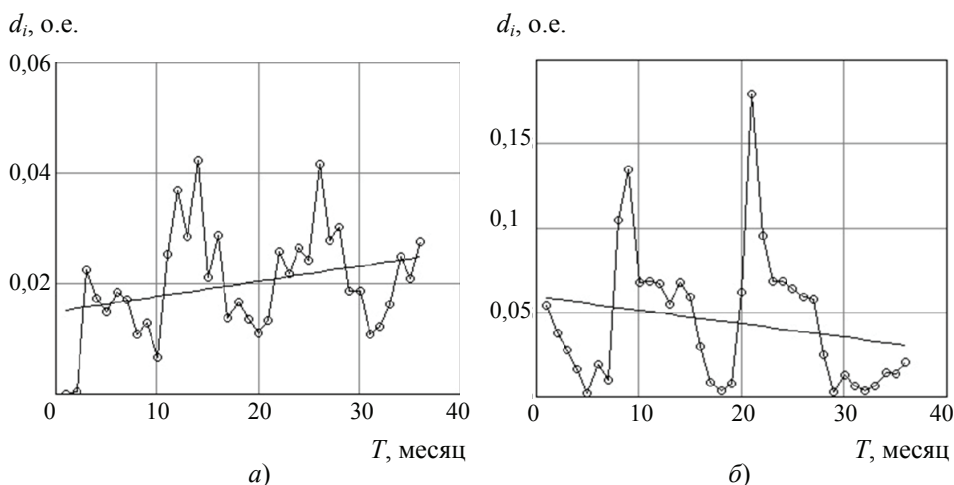


**Рис. 5. График временного представления удельных затрат энергии  $E_{уд}$  на производство молока:**  
 — — — удельное энергопотребление; — — — тренд

При производстве на предприятии нескольких видов продукции, целесообразно ввести весовой коэффициент  $d_i$ , показывающий среднюю долю энергопотребления  $i$ -го объекта для производства данного продукта в энергопотреблении всего предприятия. Вычисляется для каждого объекта. Тогда, зная общее потребление предприятия можно найти энергопотребление каждого объекта, что необходимо, когда отсутствует учет потребления энергоресурсов по объектам. Оценку потребления объектом определяют моделированием процесса выпуска продукта на данном объекте. Пример временного представления удельных затрат энергии  $E_{уд}$ , Дж/кг, на производство молока представлен на рис. 5.

Блок «Индекс потребления» рассчитывает индекс энергопотребления (живучести), указывающий на величину роста (убывания) энергопотребления по каждому виду энергоресурсов и каждому объекту потребления предприятия [3]. Для расчета данной характеристики используется доля потребления каждого вида энергии (или всей энергии) объекта относительно потребления всего предприятия.

На рисунке 6, а показан временной ряд потребления энергии объекта – машинно-тракторной мастерской (МТМ, см. табл. 1, № 6) и его тренд.



**Рис. 6. Графики временных рядов потребления энергии  $d_i$  (○-○-○) машинно-тракторной мастерской (а) и холодильника (б) и их тренды (—)**

Индекс энергопотребления по каждому временному интервалу рассчитывается как тангенс угла наклона тренда к оси абсцисс. Угол – индекс энергопотребления для этого объекта – положителен, то есть энергопотребление растет, что является негативной тенденцией в энергопотреблении, в частности в энергосбережении, которая может быть связана со старением машин и оборудования, низкой мотивацией персонала, хищениями и т.п.

На рисунке 6, б показан временной ряд потребления энергии объекта – холодильника (см. табл. 1, № 11) и его тренд. Индекс энергопотребления для данного объекта отрицателен, то есть энергопотребление падает, что является положительной тенденцией в энергопотреблении объекта, если последний выполняет свои функции в соответствии с назначением.

Блок «*Вывод результатов*» осуществляет вывод результатов расчетов в виде таблиц и графиков на дисплей и в память модели. Число структурных блоков может дополняться в зависимости от целей энергетического анализа и энергоресурсов и объектов.

Структура модели энергетического анализа реализуется на таких известных и распространенных платформах как Excel и MathCAD [3], а также более совершенных MATLAB и AnyLogic. Она проверена и показала свою работоспособность на сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятиях Тамбовской и Курской областей в процессе проведения энергетических аудитов и подготовке энергетических паспортов. Накоплена и пополняется база данных по энергопотреблению предприятий разного профиля. Модель может быть полезна при разработке систем энергетического менеджмента предприятий сельского хозяйства и переработки.

#### *Список литературы*

1. Гордеев, А. С. Энергосбережение в сельском хозяйстве : учеб. пособие / А. С. Гордеев, Д. Д. Огородников, И. В. Юдаев. – СПб. : Лань, 2014. – 400 с.
2. Кудрин, Б. И. Введение в технетику / Б. И. Кудрин. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 1993. – 552 с.
3. Гнатюк, В. И. Закон оптимального построения техноценозов / В. И. Гнатюк. – М. : Томск. гос. ун-т : Центр систем. исслед., 2005. – 384 с. – (Ценологические исследования ; вып. 29).

---

## **The Structure of the Energy Analysis Model of an Agricultural Enterprise**

**A. S. Gordeev**

*Department "Agricultural Engineering, Power Engineering  
and Information Technologies", Michurinsk State Agrarian University,  
Michurinsk, Russia; gorde2020@gmail.com*

**Keywords:** agriculture; analysis; energy, model; saving.

**Abstract:** The paper describes the structure of the energy analysis model of an agricultural enterprise, including information preparation blocks, its primary transformation and creation of a unified database of energy consumption data by individual departments and for the whole company, verification, interval estimation, forecasting and valuation. Examples of the use of structural blocks of the energy analysis model for agricultural production are given.



## References

1. Gordeev A.S. *Energoberezhenie v sel'skom khozyaistve* [Energy saving in agriculture], Moscow: Lan', 2014, 400 p. (In Russ.)
2. Kudrin B.I. *Vvedenie v tekhnnetiku* [Introduction to tehnetik], Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 1993, 552 p. (In Russ.)
3. Gnatyuk V.I. *Zakon optimal'nogo postroeniya tekhnotsenozov* [Law optimum construction technocenosis], Moscow: Tomskii gosudarstvennyi universitet, Tsentr sistemnykh issledovaniy, 2005, 384 p. (In Russ.)

---

### Struktur des Modells der energetischen Analyse des landwirtschaftlichen Unternehmens

**Zusammenfassung:** Es ist die approbierte Struktur des Modells der energetischen Analyse des landwirtschaftlichen Unternehmens vorgeschlagen, die in sich die Blöcke der Vorbereitung der Information, ihrer primären Umgestaltung und der Bildung der einheitlichen Datenbank nach dem Energieverbrauch von den abgesonderten Unterabteilungen und insgesamt nach dem Unternehmen, der Verifizierung, der Intervalleinschätzung, der Prognostizierung und der Normierung einschliesst. Es sind die Beispiele der Nutzung der strukturellen Blöcke des Modells für die energetischen Analyse der landwirtschaftlichen Produktion angeführt.

---

### Structure du modèle de l'analyse énergétique de l'entreprise agricole

**Résumé:** Est proposée la structure testée du modèle de l'analyse énergétique de l'entreprise agricole comprenant les unités de la préparation de l'information, sa transformation primaire et la création d'une base unique des données sur la consommation de l'énergie par les services différents et par l'ensemble de l'entreprise, la vérification, l'évaluation d'intervalles, la prévision et la normalisation. Sont cités les exemples de l'utilisation des blocs de la structure du modèle pour l'analyse énergétique de la production agricole.

---

**Автор:** *Гордеев Александр Сергеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Агроинженерия, электроэнергетика и информационные технологии», ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск, Россия.

**Рецензент:** *Дворецкий Станислав Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и оборудование пищевых и химических производств», ФГБОУ ВО ТГТУ, г. Тамбов, Россия.

---