

Кобелев Александр Викторович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Липецк 2004

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент НАБАТОВ К. А.

Научный консультант
доктор технических наук, ШУВАЛОВ А. М.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор КУДРИН Б. И.;

кандидат технических наук, доцент ЗАХАРОВ К. Д.

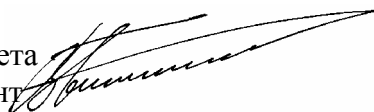
Ведущая организация
ОАО «Тамбовэнерго», (г. Тамбов)

Защита диссертации состоится 25 июня 2004 года в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.108.01 в Липецком государственном техническом университете по адресу: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, административный корпус, ауд. 601.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Липецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан « » мая 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



В.И. Бойчевский

Подписано к печати 18.05.2004

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Объем: 0,93 усл. печ. л.; 0,9 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 368

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из основных задач электроснабжения предприятий средней и малой мощности является задача обеспечения эффективности функционирования электрических систем совместно с возобновляемыми источниками энергии. На основании анализа публикаций можно сделать вывод, что до настоящего времени не существовало единой методики эффективного функционирования электрических систем при рациональной замене традиционных источников энергии возобновляемыми источниками для районов Тамбовской области. Разработка методики, позволяющей получить оптимальное соотношение традиционных и альтернативных источников энергии, является одной из важнейших задач, вытекающей из Федерального закона «Об энергосбережении» № 28-ФЗ от 3 апреля 1996 г., во всех регионах России, в частности и для Тамбовской области. Отдельные исследования Л.А. Перовой, Н.А. Петелиной, Э.А. Мовсумова в основном направлены на возможность использования того или иного нетрадиционного источника. Однако возможность использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии можно оценить только при их совместном рассмотрении с традиционными. Эта проблема нуждается в более глубоком изучении. Поэтому исследования, направленные на разработку методики использования возобновляемых источников энергии при построении рациональной системы электроснабжения, являются актуальными.

Целью работы является повышение эффективности функционирования электрических систем и исследование возможности рациональной доли замещения традиционных энергоресурсов энергией солнца, ветра, биогаза при энергоснабжении мелких потребителей на примере Тамбовской области.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи исследования:

- определить гелиоэнергетические, ветроэнергетические, биогазовые ресурсы Тамбовской области;
- разработать методику синтеза рациональной структуры энергопотребления различных энергоресурсов, включая нетрадиционные возобновляемые источники энергии;
- оптимизировать структуру энергопотребления основных районов Тамбовской области.

Идея работы заключается в использовании способов и средств взаимного замещения традиционных энергоресурсов энергией солнца, ветра, биогаза, путем введения весовых коэффициентов, учитывающих интенсивность использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии с учетом местных метеорологических условий.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

- разработана для Тамбовской области методика оптимизации структуры энергопотребления различных энергоресурсов, включая нетрадиционные возобновляемые источники энергии;
- определены статистические характеристики, математические зависимости и оценен потенциальный ресурс солнечной, ветровой и биогазовой энергии;
- оптимизирована структура электроснабжения и энергоресурсов для каждого района Тамбовской области.

Практическая ценность. Определена полезная удельная энергия ветра, биогаза, солнца для районов Тамбовской области. Полученный материал в виде математических зависимостей, таблиц, графиков и прикладных программ является основой для проектных и инженерно-технических разработок использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Для административных районов определена рациональная структура потребления основных энергоресурсов. Показано место нетрадиционных возобновляемых источников энергии в этой структуре и возможность при их применении снижения потребления традиционных энергоресурсов. Разработанная методика оптимизации структуры позволяет решить задачи, связанные с перспективным планированием системы энергоснабжения традиционными источниками энергии с альтернативными источниками, а также снижением вредных выбросов в окружающую среду.

Методы и объекты исследования. В работе использован комплексный подход исследования, включающий метод математической статистики, метод синтеза рациональной структуры энергопотребления, теорию математического моделирования и инженерного эксперимента, программную реализацию решения задач на основе использования метода линейного программирования.

Достоверность положений, результатов и выводов подтверждена: формулировкой задач исследования, сделанной исходя из всестороннего анализа работы различных типов потребителей и энергоносителей; математическим обоснованием разработанных зависимостей; представленной выборкой экспериментальных данных, полученных в реальных условиях при помощи современных измерительных приборов; хорошей сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований с достоверной вероятностью 0,95 (относительная погрешность не превышает 5 %).

Реализация работы. Научные и практические результаты диссертационной работы использованы в ГНУ ВИИТиН в виде рекомендаций, позволяющих получить рациональную систему электроснабжения.

Ожидаемая экономия средств за счет рациональной структуры энергопотребления составит около 6,5 млн. р./год. При возможном применении альтернативных источников энергии экономится 45,84 ГВт·ч в год., за счет чего в Тамбовской области возможно предотвратить экологический ущерб, со снижением вредных выбросов от замещаемых традиционных источников энергии. Материал, используемый в диссертационной работе, применяется в учебном процессе ТГТУ по дисциплинам: «Режим работы и потребители СЭС», «История развития энергетики», «Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей».

Апробация работы. Основные положения работы обсуждались на научных конференциях ТГТУ (Тамбов, 2002 – 2003 г.); на Всероссийской научно-технической конференции по энергосбережению (Новомосковск, 2002 г.); на Всероссийской научно-технической конференции «Энергосбережение и энергоснабжение в сельском хозяйстве» ВИЭСХ (Москва, 2003 г.); на Международной конференции по энергосбережению «Estimation of a power-wind potential» (Алжир, 2003 г.); на Всероссийской научно-технической конференции: «Электроэнергетика, энергосберегающие технологии» (Липецк, 2004 г).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации 144 страницы, в том числе 127 страниц основного текста, 20 рисунков, 28 таблиц, список литературы из 159 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель, раскрыта научная новизна и практическая ценность работы, приведены результаты апробации и реализации теоретических и практических исследований.

В первой главе рассмотрено потребление электроэнергии Тамбовской областью, как потребителем энергоресурсов. Проведен анализ мирового опыта использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Проведенный анализ литературных источников показал, что во многих зарубежных странах использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии занимает заметную долю в электроснабжении и обеспечении теплом потребителей. Прогноз перспективного развития ВЭУ (ветроэнергетических установок) к 2010 году показывает, что ежегодный прирост ВЭУ может составить 1 тыс. МВт. На территории России и других стран СНГ имеется более 30 районов, где возможно широкомасштабное использование групп ветроэнергетических установок (ВЭУ). К 2030 году в странах ЕС реально получение суммарной мощности 100 тыс. МВт, при которых ВЭУ будут покрывать 10 % от всего энергопотребления. В 2010 г. в ЕС намечено получить дополнительной энергии за счет использования биомассы в размере 90 млн. т нефтяного эквивалента (н.э.), из них 15 млн. т н.э. – за счет использования биогазовых установок. Выполненный анализ использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии позволил установить, что такие источники могут компенсировать определенную часть возрастающей потребности сельского хозяйства в энергоресурсах. В настоящее время в Тамбовской области практически нет установок, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Отчасти это объясняется ограниченностью предложений заводов-изготовителей данных установок. Но основная причина заключается в том, что потенциальная возможность использования таких источников энергии, как солнце, ветер, биогаз в зоне Тамбовской области не изучена. Следовательно, потребитель не имеет возможности оценить количество вырабатываемой энергии от того или иного источника, определить необходимость и мощность дублирующего источника. Кроме того, не разработана методика сопоставления экономической целесообразности, использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии в сравнении, как с традиционными, так и между собой. Таким образом, необходимо проведение исследований потенциальной возможности возобновляемых источников и разработка теории комплексного использования энергоресурсов и источников энергии в общем энергобалансе.

В соответствии с изложенным, целью диссертационной работы является оптимизация замещения традиционных энергоресурсов энергией солнца, ветра, биогаза при энергоснабжении предприятий средней и малой мощности на примере Тамбовской области. Из поставленной цели вытекают следующие задачи исследования:

- формирование опытно-статистических параметров, характеризующих системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии;
- разработка структуры математической оценки гелиоэнергетических, ветроэнергетических, биогазовых ресурсов;
- разработка математических моделей и алгоритмов, обеспечивающих определение необходимых ресурсов для создания систем снабжения энергией обособленных потребителей;

- разработка методики анализа и синтеза рациональной структуры системы энергопотребления различных энергоресурсов, включая нетрадиционные возобновляемые источники энергии;
- определение рациональной структуры энергопотребления удаленных районов в Тамбовской области.
- оптимизация структуры систем энергопотребления потребителей с использованием возобновляемых источников энергии.

Во второй главе определены основы синтеза рационального электроснабжения предприятий средней и малой мощности.

В настоящее время в Тамбовской области и других регионах сложилась определенная система энергоснабжения удаленных районов, основанная на использовании традиционных источников. Эту систему можно разбить на пять основных подсистем. Все эти подсистемы полностью описывают электро- и энергоснабжение потребителей от традиционных существующих источников. Каждая из этих систем имеет свои преимущества и недостатки. При рассмотрении электроснабжения удаленных предприятий средней и малой мощности следует учитывать сложившиеся структуры, которые часто накладывает ограничения на количество энергии используемых традиционных видов энергоносителей. Часть этих районов находится в зоне высокой концентрации электрических сетей, вблизи мощных газораспределительных пунктов или узловых железнодорожных станций. Все эти факторы снижают затраты на транспортировку энергоносителя.

Использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии может рассматриваться как самостоятельная часть общей системы электроснабжения. При этом следует учитывать, что солнечная энергия (при существующих условиях и техническом решении) может производить электрическую и тепловую энергию, ветровая энергия – электрическую и механическую (например, водоподъем), энергия биогаза (при существующих технических решениях) может производить электрическую, тепловую, механическую энергию. Системы электро- и энергоснабжения с нетрадиционными возобновляемыми источниками также имеют свои достоинства и недостатки.

К достоинствам, несомненно, относится то, что каждая из систем с использованием нетрадиционных возобновляемых источников энергии исключает элементы, связанные с добычей, транспортировкой и переработкой органического топлива и отсутствием выбросов в атмосферу. Снижается радиус транспортировки энергии (как правило, за счет отсутствия питающих сетей). К достоинствам биогаза, относятся: возобновляемость, наличие местных источников сырья для получения топлива, сокращение зависимости от поставщиков нефти и газа, снижение экологического ущерба от систем сбора органических отходов, обеспечение экологически замкнутой энергетической системы, что в настоящее время становится особенно актуальным.

Недостатки. Поступление энергии от двух рассматриваемых источников (ветра и солнца) носит циклический характер в течение года, сезона, суток. Следовательно, использование этих источников энергии будет накладывать определенные ограничения, связанные с неравномерностью подачи солнечной и ветровой энергий во времени дня, суток, года.

При постановке задачи о рациональном соотношении между различными источниками энергии при электроснабжении потребителей использовалась целевая функция суммарных затрат на передачу энергии всем потребителям и суммарный технологический ущерб, обусловленный уровнем надежности источников:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} y_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где y_{ij} – величина удельного ущерба при энергоснабжении j -го потребителя от i -го источника, x_{ij} – поток энергии от каждого источника к каждому потребителю, c_{ij} – издержки на доставку того или иного вида энергии.

Условия полного удовлетворения каждого потребителя энергиями различных видов (1) не всегда, особенно в настоящее время, можно выполнить. Это связано, в первую очередь, с различными режимными ограничениями на поставку энергии и газа от централизованных источников, включая отсутствие энергоресурсов. Кроме того, могут возникать ограничения, определяемые, с одной стороны, пропускными способностями систем электроснабжения для традиционных источников энергии, с другой стороны, возможностью выработки энергии в требуемый промежуток времени нетрадиционными возобновляемыми источниками. Перечисленные ограничения, связанные с невозможностью удовлетворения полного спроса, пропускными способностями схем электроснабжения и циклическостью выработки энергии нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии (НВИЭ), можно записать в виде

$$0 \leq x_{ij} \leq d_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где d_{ij} – предельное количество энергии, которое может быть передано за рассматриваемый промежуток времени. В общем случае это может быть месяц, сезон, год.

Оценка затрат на снабжение удаленных районов средней и малой мощности электроэнергией от энергосистемы были определены методом приближенной оценки по обобщенным формулам и зависимостям, имитирующим характер экономических взаимосвязей, существующих в данной распределительной системе. Используя данный метод были рассчитаны затраты на снабжение сельскохозяйственных потребителей при распределении газа в теплоснабжение от местных котельных.

В третьей главе получены опытно-статистические данные, позволяющие определять величину возможной потенциальной мощности от энергии солнца для Тамбовской области в зависимости от сезона года, времени суток.

Этот материал был собран по актинометрическим станциям региона с глубиной проработки – 5 лет. Аналогичным образом собран статистический материал по продолжительности солнечного сияния (рис. 1).

Рассчитанных значений достаточно для определения суммарной солнечной энергии для территории Тамбовской области.

$$Q = Q_0 (a + b (S/S_0)), \quad (3)$$

где Q – суммарная солнечная энергия, МДж/м²; Q_0 – солнечная энергия, поступающая на границу атмосферы земли – солнечная постоянная, МДж/м²; S – действительная продолжительность солнечного сияния, ч; S_0 – возможная продолжительность солнечного сияния, определяемая как продолжительность времени между восходом и заходом солнца, ч; a и b – коэффициенты регрессии, показывающие связь между относительной суммарной солнечной энергией и относительной продолжительностью солнечного сияния.

В этой главе была определена вероятность солнечного сияния, позволяющая наиболее точно определить часовые интервалы, в которых активно оно наблюдается. Для аппроксимации распределения продолжительности солнечного сияния достаточно сложно подобрать функцию. Прежде всего, это вытекает из физического смысла: оно ограничено с двух сторон: продолжительность солнечного сияния не может быть меньше нуля и больше

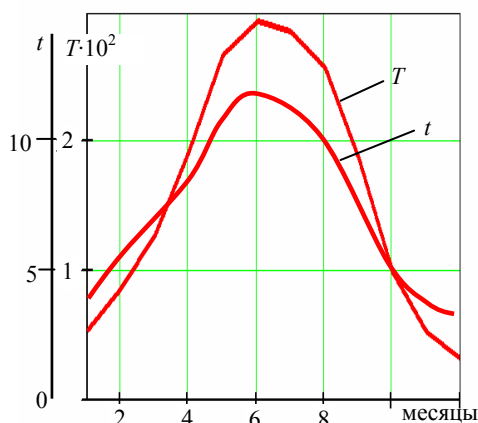


Рис. 1. Продолжительность солнечного сияния: T – за год; t – средняя за день

долготы дня. Одним из возможных вариантов описания данного типа распределения является использование эмпирической функции распределения. Так, при наличии эмпирического распределения можно применить полиномиальную зависимость.

Для каждого месяца получены коэффициенты полинома. Выравнивающая функция распределения сравнивалась с имеющимися кривыми распределения по критерию согласия.

Согласно критерию Пирсона функция распределения за январь удовлетворительно согласуются с аппроксимирующим полиномом третьего и более порядка, остальные месяцы – с полиномом четвертого и более

В результате получено большое количество аппроксимирующих уравнений:

$$p(\tau) = \sum_{i=5}^5 a_i \tau^i, \quad (4)$$

где a_i – коэффициенты полинома (табл. 1); τ – продолжительность солнечного сияния относительно восхода солнца, час.

Порядок кривой для каждого месяца выбирался по критерию Пирсона. По полиному (4) построены выравнивающие кривые для всех рассматриваемых случаев (рис. 2 а, б, в, г).

Таблица 1

Значения коэффициентов аппроксимирующего нелинейного полинома

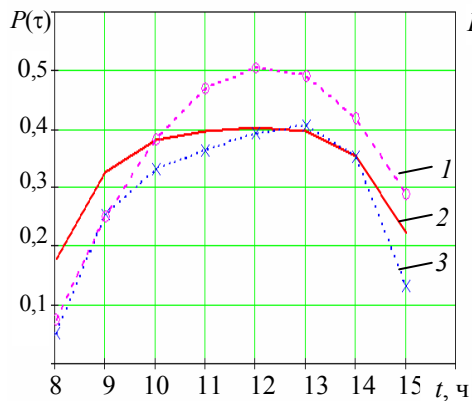
| Месяц | a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | a_4 |
|----------|---------|---------|----------|-----------|-----------------------|
| Январь | -0,1446 | 0,2382 | -0,0193 | -0,000462 | - |
| Февраль | -0,241 | 0,3397 | -0,0339 | 0,000223 | $2,62 \cdot 10^{-5}$ |
| Март | -0,2045 | 0,2685 | -0,0203 | 0,000155 | $5,227 \cdot 10^{-6}$ |
| Апрель | 0,3957 | 0,1492 | -0,03202 | 0,00354 | -0,000155 |
| Май | 0,5243 | 0,1265 | -0,02908 | 0,002889 | -0,000111 |
| Июнь | 0,5848 | 0,0714 | -0,01455 | 0,00151 | $-6,74 \cdot 10^{-5}$ |
| Июль | 0,5099 | 0,1619 | -0,0416 | 0,00435 | -0,000164 |
| Август | 0,1951 | 0,3031 | -0,0646 | 0,00607 | -0,00021 |
| Сентябрь | -0,105 | 0,4498 | -0,10046 | 0,0099 | -0,00037 |
| Октябрь | -0,0183 | 0,242 | -0,0464 | 0,00411 | -0,00016 |
| Ноябрь | -0,1467 | 0,44568 | -0,145 | 0,02026 | -0,0011 |
| Декабрь | -0,4087 | 0,6418 | -0,2133 | 0,03292 | -0,0019 |

Кривые на (рис. 2 а, б, в, г) описывают эмпирические данные которые согласуются с данными математической модели. Сходимость данных по критерию Колмогорова-Смирнова дает удовлетворительное согласие на 5 %-ном уровне значимости.

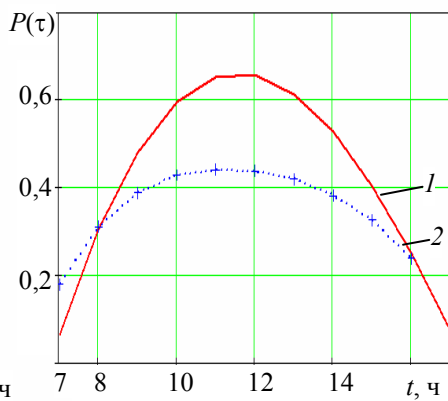
Таким образом, данную математическую модель с полученными параметрами можно использовать для выравнивания эмпирических функций распределения продолжительности солнечного сияния.

Суммарную солнечную энергию, поступающую на горизонтальную поверхность в течение сезона или года, можно определить простым суммированием значений $Q_{\text{мес}}$.

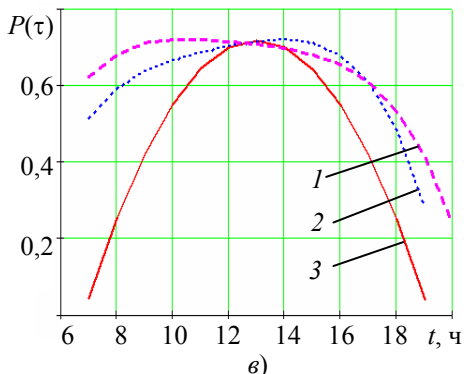
Для определения энергии, полученной непосредственно потребителем, можно воспользоваться формулой



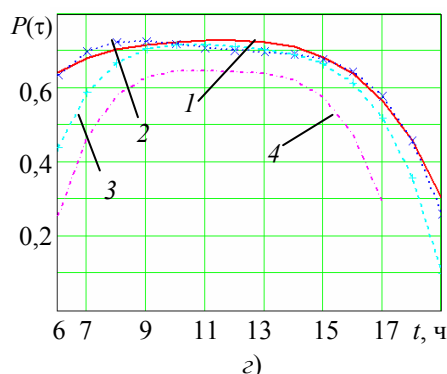
а) 1 – ноябрь; 2 – январь; 3 – декабрь



б) 1 – февраль; 2 – октябрь



в) 1 – май; 2 – апрель; 3 – март



г) 1 – июнь; 2 – июль; 3 – август; 4 – сентябрь

Рис. 2 а, б, в, г. Распределение суточной продолжительности солнечного сияния и результаты его выравнивания

$$Q_{\text{пол}} = Q_1 R \eta_{\text{су}},$$

где Q_1 – суммарная солнечная энергия за определенный период (день, месяц, сезон, год); R – коэффициент пропорциональности между солнечной энергией, поступающей на горизонтальную и наклонную поверхность приемника солнечной энергии; η_{cy} – суммарный к.п.д. солнечной установки.

Суммарная солнечная энергия, поступающая на горизонтальную поверхность в течение месяца, может быть определена как

$$Q_{мес} = Q_{сут} N p(\tau), \quad (6)$$

где $Q_{мес}$ – суммарная энергия в течение месяца, МДж/м²; $Q_{сут}$ – солнечная энергия, поступающая в течение суток данного месяца (определяется по формуле (3)), МДж/м²; N – число дней в данном месяце; $p(\tau)$ – обеспеченность в данном месяце

В четвертой главе определять величину от энергии ветра для сезона года, времени суток.

При определении проблемой является скорость ветра,

распределение исследуемого признака в тех или иных физико-географических условиях в пределах точности исходных данных. Описание плотности распределения скорости ветра с помощью различных законов распределения показало, что наиболее предпочтительным для Тамбовской области является распределение Гаусса. Кривая распределения Гаусса имеет более сходную функцию с функцией, полученной на практике для Тамбовской области. Плотность вероятности распределения скорости ветра по распределению Гаусса имеет вид

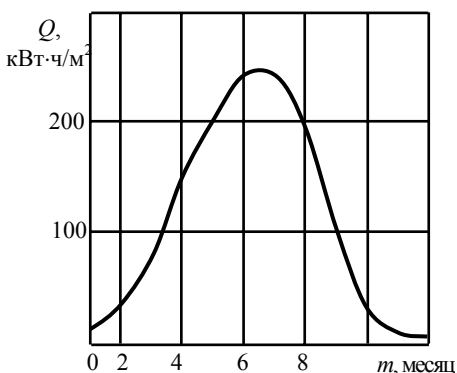


Рис. 3. Удельная годовая мощность от солнца, с учетом суточного распределения

солнечная энергия, поступающая в течение суток данного месяца (определяется по рис. 2 а, б, в, г).

выполнена оценка, позволяющая возможной потенциальной мощности Тамбовской области в зависимости от

ветроэнергетического потенциала нахождения закона распределения удовлетворительно описывающего

$$p(V) = \frac{1}{\sigma_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{V - \bar{V}}{\sigma_V} \right)^2}, \quad (7)$$

где V – скорость ветра, м/с; \bar{V} – скорость ветра, усредненная через определенный период времени Δt , м/с; σ_V – среднеквадратичное отклонение скорости ветра, м/с.

Параметры принятого закона распределения скорости ветра могут служить основой для определения ветроэнергетических ресурсов. Мощность ветрового потока, протекающего в единицу времени через поперечное сечение площадью $F_B = 1 \text{ м}^2$ при определенной скорости ветра V (м/с) и плотности воздуха ρ (кг/м³):

$$P = 0,5 \rho V^3 F_B. \quad (8)$$

Удельная мощность ветра, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения:

$$P_{уд} = 0,5 \rho V^3. \quad (9)$$

Среднемесячная (сезонная, годовая) удельная энергия ветра:

$$W_{уд} = 1,8 \cdot 10^3 \rho T \int_0^{V_{вых}} V^3 p(V) dV, \quad (10)$$

где T – число часов, за которое определяется удельная энергия ветра; $p(V)$ – вероятность скорости ветра по градациям.

Номинальная мощность ВЭУ определяется выражением

$$P_n = 4,81 \cdot 10^{-4} D^2 V_p^3 C_p \eta_p \eta_g, \quad (11)$$

где D – диаметр ветроколеса, м; V_p – расчетная скорость ветра, м/с; C_p – коэффициент использования ветрового потока; η_p, η_g – к.п.д. редуктора и генератора.

Перейти к удельной мощности ВЭУ можно, задав соответствующие диапазоны работы:

$$P_c = \begin{cases} 0 & \text{при } V < V_{\min}; \\ \beta V_i^3 & \text{при } V_{\min} < V < V_p; \\ \beta V_p^3 & \text{при } V_p \leq V < V_{\max}; \\ 0 & \text{при } V > V_{\max}, \end{cases} \quad (12)$$

где V_{\min} – минимальная скорость, при которой происходит запуск ВЭУ, м/с; V_{\max} – скорость ветра, при которой происходит отключение ветроколеса, м/с;

$$\beta = 4,81 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{4}{\pi}\right) C_p \eta_p \eta_g. \quad (13)$$

Удельная выработка энергии ВЭУ:

$$W_{\text{уд}}^{\text{тех}} = 3,6 \cdot 10^6 \beta T \int_0^{V_{\max}} P_c p(V) dV. \quad (14)$$

Используя (14) и задав соответствующий диапазон работы ВЭУ (12) получим:

$$W_{\text{уд}}^{\text{тех}} = 3,6 \cdot 10^6 \beta T \left(\sum_{V_{\min}}^{V_p} V_i^3 p(V)_i + V_p^3 \sum_{V_p}^{V_{\max}} p(V)_i \right). \quad (15)$$

В зависимости от параметра T определяется удельная выработка энергии за месяц, сезон, год.

Установлено, что нормальное распределение по закону Гаусса можно использовать для описания эмпирических распределений скорости ветра для районов Тамбовской области.

На основании полученных данных определены интегральные функции распределения $p(V)$. Полученные данные позволяют рассчитать вероятность ожидания ветрового потока заданной мощности в течение сезона, года (рис. 4).

По выражению (15) приведена зависимость удельной мощности ветрового потока от обеспеченности скорости ветра (рис. 5). По этим зависимостям определяем возможность использования ветроэнергетических установок в заданном ветровом районе.

В пятой главе выполнена оценка технико-экономических показателей электроснабжения районов. Предложен алгоритм технико-экономического расчета рационального соотношения между традиционными и альтернативными источниками энергии (рис. 6). В данной главе была проведена оценка целесообразности использования энергии солнца, ветра и биогаза.

Для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую служат солнечные батареи.

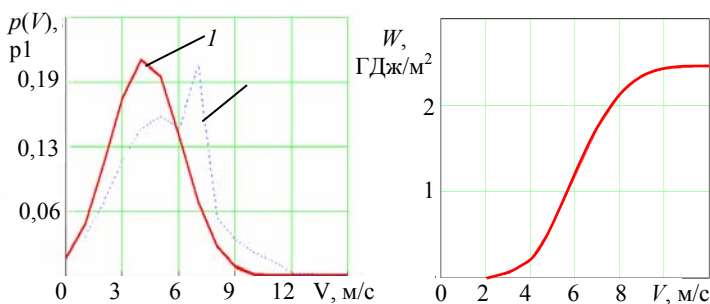


Рис. 4. Теоретическая (1) и экспериментальная (2) вероятности распределения скорости ветра

Рис. 5. Кривая энергетической обеспеченности за год

Определение минимальной удельной стоимости 1 м^2 солнечного коллектора (СК)

$$K_{уд} = \frac{C_1 \beta_m W_2 \eta_{сб} \cdot 10^{-6}}{E_n + \sum \alpha_1}, \quad (16)$$

где $\eta_{сб}$ – к.п.д. солнечной батареи (СБ); W_2 – годовая суммарная (удельная) поступающая солнечная энергия, кВт·ч/м²; C_1 – стоимость угля, для данного района руб./т; β_m – удельный расход топлива для станций системы Тамбовэнерго г.у.т./кВт·ч.

Для оценки технико-экономической эффективности использования ветроэнергетических установок в Тамбовской области определим минимальную удельную стоимость ветроэнергетической установки в зависимости от стоимости энергоносителя в данном районе[^]

$$K_{уд} = \frac{C_1 \beta_m \frac{W_2^2}{P_n} \cdot 10^{-6}}{E_n + \sum \alpha_i}, \quad (17)$$

где W_2^T – выработка электроэнергии ВЭУ за год, кВт·ч; P_n – номинальная мощность генератора ветроэнергетической установки.

Для определения минимальной удельной стоимости биогазовой установки воспользуемся формулой (16).

Из выражений (16) и (17) были выведены ограничения по использованию солнечных, ветровых и биогазовых установок. Установлено, что целесообразно использование солнечных и биогазовых установок для получения тепловой энергии, а ветровых установок – для электрической и механической.

Для оптимального определения рационального соотношения вводятся ограничения, исходя из существующего энергопотребления (рис. 6).

Решая задачу рационального соотношения воспользуемся целевой функцией

$$Z = \sum_{i=1}^6 C_i x_i \rightarrow \min, \quad (18)$$

где C_i – себестоимость электрической энергии от энергосистемы, природного газа, угля, тепловой энергии от солнца, электрической энергии от ВЭУ, биогаза; x_i – доли потребления энергии от энергосистемы, природного газа.

По районам области при рациональной структуре потребления энергоресурсов ожидаемая выработка тепловой энергии от солнечных коллекторов будет в пределах 13 млн. кВт·ч/год, от биогазовых установок – в пределах 9 млн. кВт·ч/год и электроэнергии от ВЭУ – в пределах 8 млн. кВт·ч/год. При этом в области возможно сэкономить около 8 млн. кВт·ч электроэнергии от энергосистемы и 22 млн. кВт·ч тепловой энергии от угольных котельных (рис. 7).

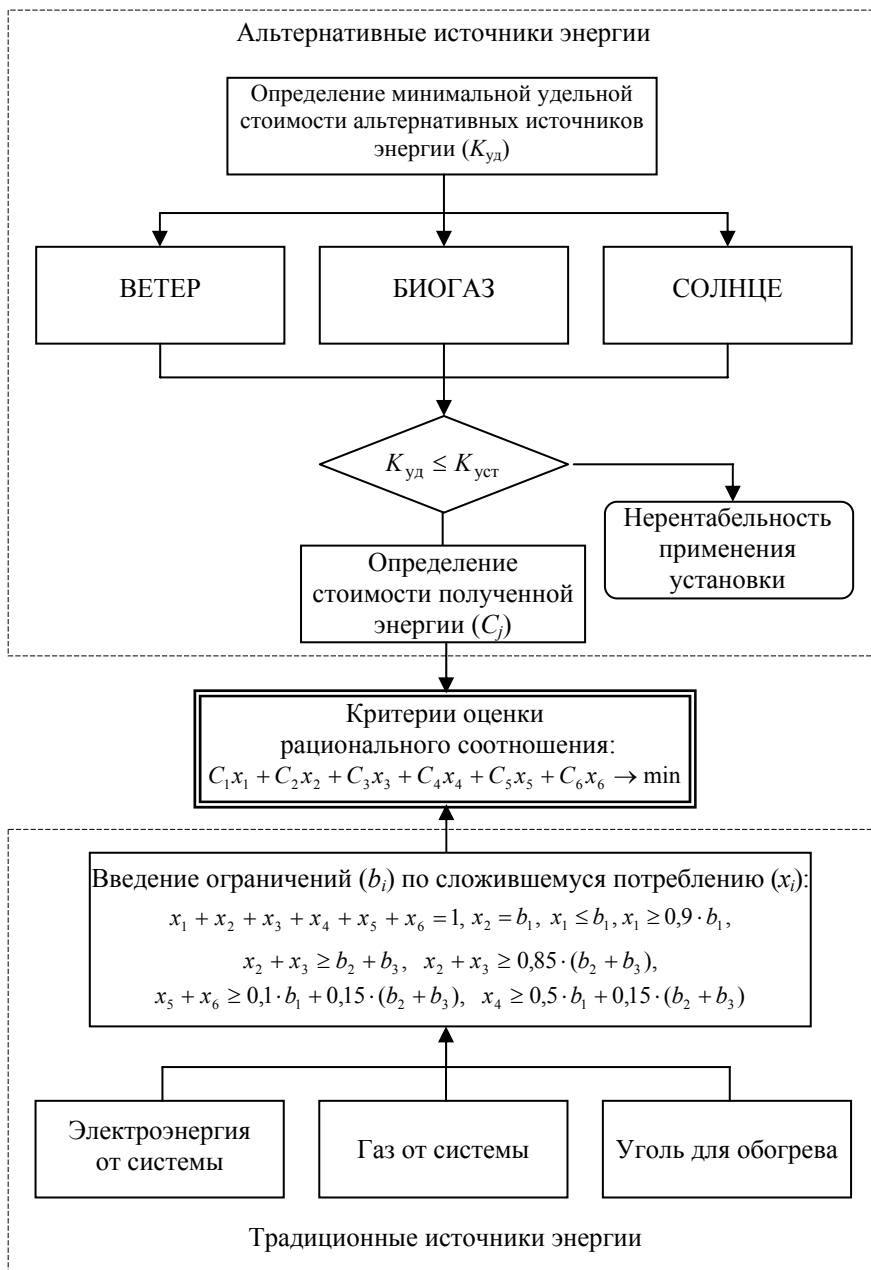


Рис. 6. Блок-схема определения рационального соотношения энергии (мощности) между традиционными и альтернативными источниками

Традиционные источники энергии

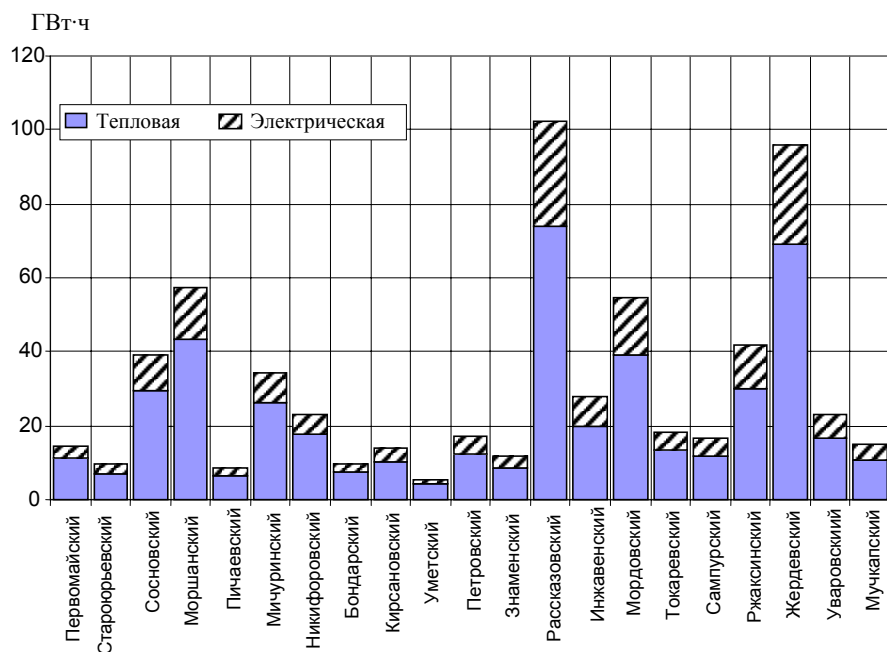


Рис. 7. Энергия от альтернативных источников энергии по районам Тамбовской области

Для разработанной методики не принципиально, какая структура энергопотребления рассматривается, так как все расчеты производятся в долях потребления того или иного энергоресурса от общей суммы. Методика при наличии исходных данных позволяет рассчитать оптимальное соотношение энергоносителей при максимальном использовании возобновляемых источников энергии.

Методика может использоваться при решении задач перспективного планирования замещения традиционных источников энергии возобновляемыми. Средневзвешенная себестоимость энергии может служить одним из главных критериев выбора наиболее рационального варианта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи обеспечения повышения эффективности систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии, направленных на оптимизацию систем электроснабжения с применением альтернативных источников энергии для средних и мелких потребителей районов Тамбовской области.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований сводятся к следующему:

1. Разработана структура математической оценки гелиоэнергетических, ветроэнергетических, биогазовых ресурсов Тамбовской области, позволяющая определять энергетический потенциал.

2. Создана математическая модель и алгоритмы, обеспечивающие определение необходимых ресурсов для создания систем снабжения энергией обособленных потребителей.

3. Разработана методика анализа и синтеза рациональной структуры системы энергопотребления различных энергоресурсов, включая нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Она позволяет решать задачи: проектирования оптимальных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии; определения ветрового, солнечного и биогазового потенциала; снижения экологического ущерба при уменьшении вредных выбросов от ТЭЦ.

4. Оптимизирована структура систем энергопотребления потребителей с использованием возобновляемых источников энергии. Результаты решения позволяют определить соотношение между различными источниками энергии, получить минимальную средневзвешенную себестоимость энергии. Ожидаемая экономия средств за счет снижения средневзвешенного значения себестоимости энергии, при внедрении рациональной системы для Инжавинского района Тамбовской области составит 6,5 млн. руб./год.

5. Оценен экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха Тамбовской области. При возможном применении альтернативных источников энергии экономится 45,84 ГВт·ч в год, за счет чего в Тамбовской области возможно предотвратить экологический ущерб на сумму, соответствующую стоимости сэкономленной электроэнергии, получаемой от традиционных источников питания.

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Кобелев А.В. К вопросу решения задач энергоснабжения мелких хозяйств с помощью автономных возобновляемых энергосистем / А.В. Кобелев // VII Науч. конф. ТГТУ: Пленар. докл. и кр. тез. Тамбов, 2002. Ч. 1. С. 152.

2. Калинин В.Ф. Оценка возможности использования ветроэнергетики в Тамбовской области / В.Ф. Калинин, К.А. Набатов, А.В. Кобелев // Электроснабжение, электрооборудование, энергосбережение: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. / РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковск, 2002. С. 83 – 85.

3. Кобелев А.В. Методика для определения возможности использования ветроэнергетики в Тамбовской области / А.В. Кобелев // VIII Науч. конф. ТГТУ: Пленар. докл. и тез. Тамбов, 2003. Ч. 1. С. 151.

4. Шувалов А.М. Определение солнечного потенциала для условий Тамбовской области / А.М. Шувалов, А.В. Кобелев // Электроснабжение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Матер. III Междунар. науч.-техн. конф. / ГНУВИЭСХ. М., 2003. Ч. 4. С. 55 – 57.

5. Кобелев А.В. Вопросы использования ветровой и солнечной энергии в климатических условиях Тамбовской области / А.В. Кобелев // Электроснабжение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Матер. III Междунар. науч.-техн. конф. / ГНУВИЭСХ. М., 2003. Ч. 4. С. 36 – 38.

6. Калинин В.Ф. Оценка возможности использования ветроэнергетики Тамбовской области / В.Ф. Калинин, К.А. Набатов, А.В. Кобелев // Электрика. М., 2003. № 6. С. 40 – 41.

7. Kalinin V.F. Estimation of a power-wind potential / V.F. Kalinin, K.A. Nabatov, A.V. Koblelev // 1st International conference on energy efficiency: New and Renewal Energies. Solar Energy. Wind Energy. Algeria: 2003. tom 1. P. 61 – 67.

8. Калинин В.Ф. Оценка возможности использования ветроэнергетики в Тамбовской области / В.Ф. Калинин, К.А. Набатов, А.М. Шувалов, А.В. Кобелев // Вестник ТГТУ. 2003. т. 9. № 3. С. 450 – 455.

9. Кобелев А.В. Методика оптимальной замены традиционных источников энергии альтернативными / А.В. Кобелев, К.А. Набатов, О.В. Исаева // Перспективы развития энергетического комплекса Тамбовщины: Науч.-практ. конф. / ТГТУ. Тамбов, 2004. С. 135 – 141.

10. Кобелев А.В. Методика по использованию альтернативных и возобновляемых источников энергии / А.В. Кобелев, В.Ф. Калинин, К.А. Набатов // Электроэнергетика, энергосберегающие технологии: Матер. Всеросс. науч.-техн. конф. / ЛГТУ. Липецк, 2004. Ч. 2. С. 49 – 53.

Личный вклад автора в работах, написанных в соавторстве заключается в следующем:

В работе [2] оценена возможность использования ветроэнергетики в Тамбовской области по полученным зависимостям; в работе [4] определены зависимости для нахождения солнечной энергии, и в работах [6], [7], [8], [9] описана методика определения ветроэнергетического потенциала, описана методика определения оптимальной замены традиционных источников энергии нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии.