

*Чаплыгина М. А.,*

*кандидат экономических наук, доцент*

*Доцент кафедры «Таможенного дела и мировой экономики»*

*Юго-Западный государственный университет*

*Россия, г. Курск*

*Белоусов Р. С.*

*студент магистратуры*

*1 курс, факультет «Государственного управления и международных*

*отношений»*

*Юго-западный государственный университет*

*Россия, г. Курск*

## **МИРОВОЙ ОПЫТ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ГЛУБИНКИ**

***Аннотация:** В статье рассмотрена проблематика электроснабжения малых населенных пунктов. Проведен анализ мировых тенденций автономного электроснабжения зарубежных стран. Предложена методика оценки эффективности проектных решений, которая позволит принять управленческие решения.*

***Ключевые слова:** энергетика, генерация, автономное электроснабжение, централизованное энергоснабжение, инфраструктура, промышленность, надежность, безопасность.*

***Annotation:** The article considers the problem of electricity supply of small villages. The analysis of world tendencies of the Autonomous supply of foreign countries. The methodology of estimation of efficiency of design solutions that will enable them to make management decisions.*

**Key words:** *energy, generation, independent power supply, centralized power supply, infrastructure, industry, reliability, safety.*

Энергетика – одна из ключевых отраслей экономики, от развития которой зависит благосостояние государства и уровень жизни населения. Важным направлением развития является обеспечение надежности и безопасности работы системы электроснабжения, повышение доступности энергетической инфраструктуры, удовлетворение потребностей производства и населения страны в электрической энергии по доступным конкурентоспособным ценам, обеспечивающим окупаемость инвестиций в электроэнергетику.

С развитием экономики страны увеличивается и уровень энергопотребления: развивается инфраструктура городов, вводятся в эксплуатацию крупные промышленные предприятия, увеличивается бытовое потребление. Города являются крупнейшими потребителями электрической энергии, так как в них не только проживает 65% населения страны, но и расположено много промышленных предприятий.

При этом существует тенденция увеличения жителей городов за счет оттока населения из сельской местности. Вектор развития характеризуется появлением в крупных городах объектов общественно-коммунального характера, электрические нагрузки и электропотребление которых сравнимы с аналогичными показателями крупных промышленных предприятий.

К таким объектам относятся городской транспорт, системы водоснабжения и водоотведения, торгово-развлекательные и спортивные комплексы, другие значимые объекты городской инфраструктуры. Безусловно, развитие энергопотребления городов должно соответствующим образом отражаться на системе энергоснабжения, обеспечивая надежность и качество, тем более что увеличение числа потребителей должно позитивно сказываться на доходности энергокомпаний.

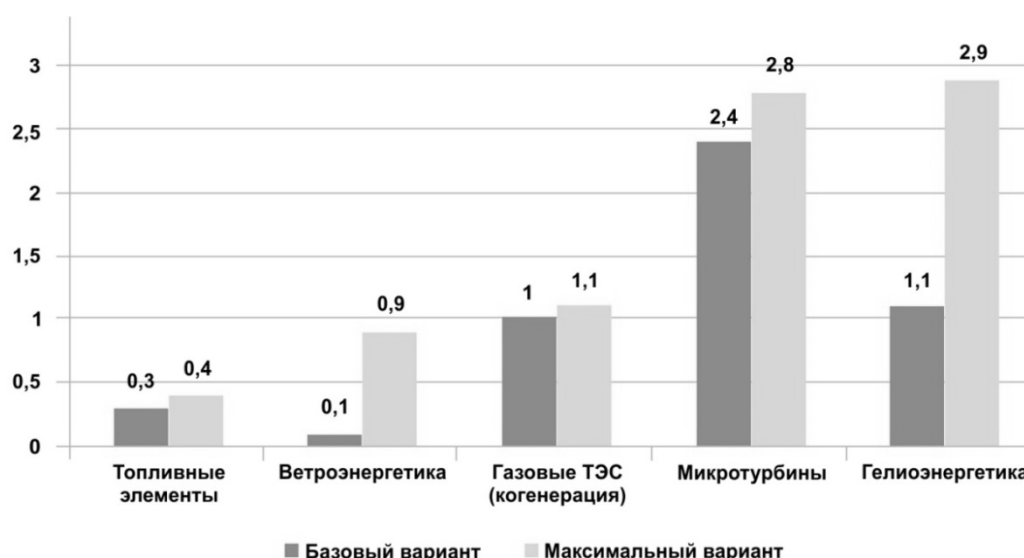
Вместе с тем, весьма актуальной является задача электроснабжения небольших населенных пунктов, особенно тех, в которых отсутствует централизованное электроснабжение[1].

Динамика уменьшения энергопотребления небольших населенных пунктов, их большая удаленность от линий электропередачи, высокая рассредоточенность на большой территории, малая мощность делают подключение к единой энергосистеме неэффективным с точки зрения срока окупаемости. В связи с этим в отдаленных поселках электроснабжение потребителей осуществляется автономными электростанциями.

Расходы на топливо и его доставку в таких случаях зачастую превышают доходы от продажи электроэнергии по установленным тарифам, ввиду чего электричество подается не постоянно. Этим обусловлена перспективность развития технологий атомного электроснабжения.

Анализ мировых тенденций и опыта автономного электроснабжения зарубежных стран позволит своевременно принять эффективные управленческие решения и грамотно выстроить стратегию внедрения системы автономного энергоснабжения в регионах России.

В США эксплуатируется около 12 млн. установок малой распределенной генерации, единичной мощностью до 60 МВт, общей установленной мощностью свыше 220 ГВт, а темпы ее прироста составляют порядка 5 ГВт в год.



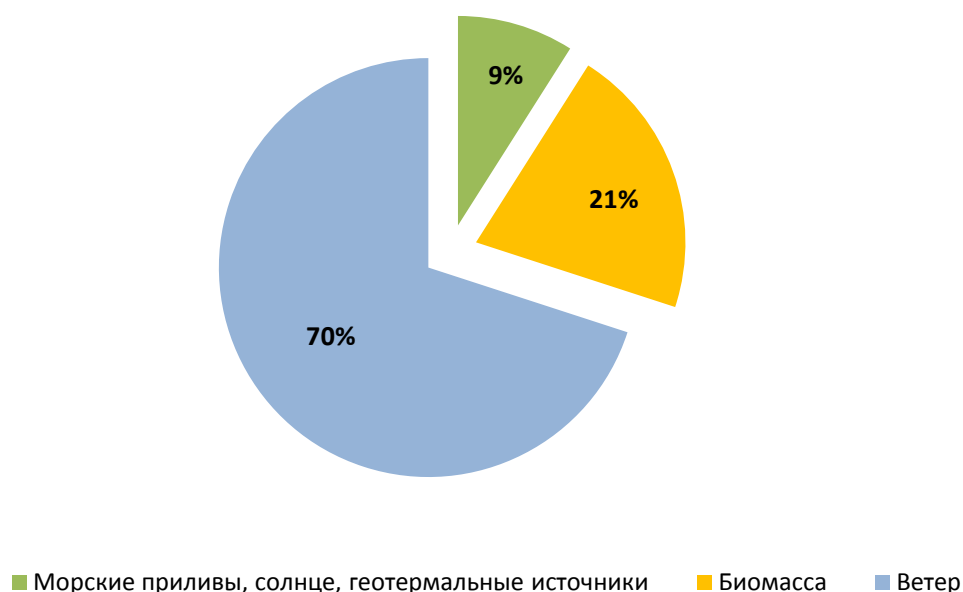
**Рисунок 1. Прогноз роста мощностей в распределенной энергетике США в коммерческом секторе к 2035 году, ГВт.**

Представительства компаний BMW, Apple, Google, Wall-Mart и Kroger потребности в электроэнергии удовлетворяют за счет собственных генерирующих мощностей. Благодаря этому компания Kroger, снизила расходы на электроснабжение на 160 млн. долларов в год.

Компании используют различные виды генерации — на газе, биогазе, топливных элементах и солнечной энергии. Тем не менее, суммарно доля самостоятельной генерации в США не превышает 5% от показателей в отрасли.

В странах Евросоюза автономная генерация составляет в среднем около 10% от общего объема производства электроэнергии.

В Дании строительство объектов малой энергетики признано одним из перспективных направлений развития энергетики и объявлено государственной программой. В Дании планируется переход на возобновляемую энергетику до 33% к 2020 году и полный отказ от ископаемого топлива к 2050 году.



***Рисунок 2. Использование альтернативных источников электроэнергии в Дании, %***

Помимо многочисленных частных домов, проектируемых с использованием возобновляемых источников энергии, в Европе активно действуют программы по проектированию специальных объектов, поддерживаемые государством и региональными властями.

В Японии, после аварии на АЭС «Фукусима-1» утрата доверия японцев к централизованной системе энергоснабжения стала вполне объяснимой. В настоящее время наиболее популярными автономными источниками электроэнергии являются солнечные батареи и топливные элементы. Только топливные элементы установили в своих жилищах более 40 тыс. японских семей. Спрос на данное оборудование стремительно растет.

Показателен также опыт Китая, который старается не отстать от лидеров. В стране особая роль отведена солнечной энергетике, а также энергии ветра. Китай поставил цель довести к 2050 году размер производства энергии из альтернативных источников до 40% в общем энергетическом

балансе страны. А китайское министерство энергетики приняло новый план, который предусматривает доведение мощности ветряных электростанций к 2020 году до 100 ГВт. Это огромное значение.

Кроме того, как показали данные исследования, наиболее быстрыми темпами в последние годы развиваются технологии практического использования фотоэлектрических преобразователей энергии, средний ежегодный прирост которых составляет порядка 60%.

Наибольшее развитие солнечная энергетика получила в Японии - 48%, Германии - 23% и США - 16%. В Европе и США распространены энергетические системы для дома мощностью 1-2,5 кВт, которые подсоединены к центральной энергетической системе и не содержат накопителей электроэнергии.

Централизованное энергоснабжение целесообразно для крупных нагрузок и для нагрузок с высокой плотностью энергопотребления. В случае же низкой плотности нагрузки капитальные затраты на тепловые и электрические сети резко возрастают, значительно увеличиваются потери энергии.



***Рисунок 3. Централизованные и автономные системы электроснабжения на территории России.***

Энергетика России характеризуется чрезвычайно высоким уровнем износа: износ линий электропередачи превышает 25%, подстанций - 45%. В области теплоснабжения 40% тепловых сетей требуют ремонта, 15% находятся в аварийном состоянии, тепловые потери в сетях превышают 16%. Коэффициент полезного использования топлива на уровне конечного потребителя в системах централизованного теплоснабжения колеблется в пределах 30-50%.

Российские электростанции в среднем имеют коэффициент полезного действия 33%, длина тепловых сетей ограничена размерами города из-за высоких линейных потерь. Для территорий же с невысокой плотностью энергопотребителей, например, в зонах малоэтажной застройки, особое значение приобретает реализация распределённой энергетики. При этом, доля развития распределенной энергетики в России ничтожно мала – не более 1,5% от всех источников генерации энергии.

Большинство автономных генераторов в России были установлены еще в 1980–1990 годы и к настоящему времени уже изношены. Из-за технического состояния часто возникают перебои в электроснабжении, не выдерживается качество электроэнергии.

Тем не менее, многие удаленные небольшие населенные пункты представляют потенциальный интерес для инвесторов, так как рядом с ними могут залежать месторождения полезных ископаемых, ценные водные или лесные ресурсы.

Без полноценного круглосуточного электроснабжения строительство и эксплуатация предприятия на территории поселка невозможна, поэтому инвесторы вынуждены строить собственную генерацию или подключаться к единой энергосистеме. Естественно, далеко не каждая компания согласна нести такие затраты. От выбора рационального решения в значительной степени зависит экономическая эффективность применения электроэнергии в производстве и в быту сельского населения. Поэтому первостепенная задача



рационального электроснабжения заключается в доведении стоимости электроэнергии до эффективной.

Этого следует добиваться при соблюдении всех требований, правил и норм и прежде всего – необходимого качества электроэнергии, то есть постоянства частоты и напряжения, а также надежности ее подачи, т. е. непрерывного электроснабжения.

Плотность населения в отдаленных районах страны: Север, Сибирь, Дальний Восток, Якутия, Камчатка, Чукотка и др. не превышает 1 чел./км<sup>2</sup>. Населенные пункты в этих местах, насчитывающие от нескольких сот до нескольких тысяч человек, обычно удалены от сетей централизованного электроснабжения на многие десятки и даже сотни километров.

Электрические нагрузки потребителей таких населенных пунктов там невелики и, как правило, достигают всего несколько сотен кВт. Обеспечение надежного электроснабжения потребителей, в том числе на удаленных территориях и в районах с низкой плотностью населения, является важным ориентиром государственной политики, отраженным в энергетической стратегии России до 2035 года[2].

По степени централизации электроснабжения на территории России можно выделить три зоны :

- 1-я зона включает экономически более развитые районы, входящие в сферу действия объединенных энергосистем;
- 2-я зона охватывает районы, находящиеся на более низких стадиях формирования систем централизованного электроснабжения. Здесь функционируют и развиваются изолированные районные энергосистемы и энергоузлы;
- 3-я зона включает небольшие изолированные районы, главным образом сельские населенные пункты, не охваченные централизованным электроснабжением, удаленные от топливных баз, имеющие сложнейшую и длительную схему доставки топлива[2].



Размещение ТЭР в районах Сибири и Севера, степень их разведанности и освоенности крайне неравномерны, в связи с чем состояние систем топливообеспечения потребителей значительно различается по территориям. Открытые и полуоткрытые районы в основном обеспечивают свои потребности в топливе.

Мурманская, Архангельская области, Республика Карелия, Томская область являются топливодефицитными и практически полностью зависят от внешних поставок топлива. Энергетические связи Камчатской области с сопредельными районами ограничиваются только ввозом топлива. Моторное топливо и нефтепродукты практически в полном объеме поставляются на Север из центральных районов России.

Если в центральных районах страны развитая транспортная система позволяет в большинстве случаев обеспечить взаимозаменяемость и выбор наиболее эффективных видов энергоресурсов, то на удаленных территориях это практически невозможно.

Особенностью России, характерной для регионов Сибири и Дальнего Востока, является весьма низкая плотность населения на громадных, практически неосвоенных в производственном отношении территориях. Поэтому даже в районах с развитой инфраструктурой имеется значительное количество мелких удаленных и малонаселенных пунктов. К таким потребителям относятся отдельные населенные пункты или их группы, изолированные от централизованного электроснабжения и имеющие слабые транспортные связи с промышленно-развитыми районами.

В некоторых случаях дороги отсутствуют вовсе, и доставка топлива в населенные пункты возможна только по реке зимой. На этой территории проживает малочисленное население, в основном состоящее из представителей малых народностей.

По типу производства – это преимущественно предприятия сельскохозяйственного, горнодобывающего и сырьевого использования:

оленоводство, пушное звероводство, животноводство, промысел, рыболовство, земледелие, лесозаготовки и деревообработка.

Проблема надежного и качественного электроснабжения мелких удаленных и малонаселенных территорий, рассредоточенных по огромной России, остается острой в социальном, техническом и экономическом аспектах и в настоящее время. Обеспечение таких потребителей электроэнергией может быть, в общем случае, осуществлено либо за счет централизованного электроснабжения, либо посредством создания децентрализованных зон с автономными, локальными энергетическими системами.

Техническая выполняемость электроснабжения объекта путем строительства линии электропередачи (ЛЭП) зависит от установленной мощности объекта электроснабжения и расстояния до ближайшего пункта присоединения к централизованной электрической сети.

На параметры качества электроэнергии устанавливает ограничения ГОСТ 32144-2013 (EN 50160), а так же на отклонения напряжения относительно номинального значения в пределах  $\pm 10\%$ .

Сельские распределительные сети выполняются из алюминиевых, стальных, сталеалюминиевых проводов. Сечение провода определяется, с одной стороны, электрическими нагрузками ЛЭП, с другой – условиями механической прочности, достаточной для противостояния ветровым нагрузкам, обледенению и др.

Для нагрузок небольшой мощности определяющим фактором при выборе сечения провода является механическая прочность ЛЭП. Обычно минимальное стандартное сечение провода для мощностей до 160 кВт выбирается. Использование более высокого напряжения распределительной сети позволяет, при тех же условиях, несколько увеличить дальность централизованного электроснабжения, но это в свою очередь приводит к серьезным финансовым затратам.

Строительство более высоковольтных и более дорогих ЛЭП (например, 35 кВ) при малых передаваемых мощностях нецелесообразно из-за низкого коэффициента загрузки по мощности и их экономической необоснованности, т. к. такие линии имеют значительные сроки окупаемости. Соответственно, оценивать экономические характеристики высоковольтной ЛЭП, работающей в режиме, близком к холостому ходу, необходимо иначе, с учетом социальных факторов.

Таким образом, с точки зрения удаленности от ближайшей точки присоединения к электрической сети для подавляющего большинства объектов электрификации, расположенных в районах с низкой плотностью населения и слабо развитой инфраструктурой, технический критерий электрификации путем строительства ЛЭП трудновыполним. 10 Помимо этого чисто технического ограничения, встает вопрос о стоимости как самого строительства линий электропередачи, так и ее содержания и обслуживания[2].

Все это затрудняет электроснабжение малых удаленных потребителей с помощью присоединения их к централизованным электрическим сетям. По второму варианту энергообеспечения малонаселенных и удаленных поселений наиболее распространенным источником электроэнергии являются стационарные и передвижные электростанции, которых по России насчитывается более 5 000 шт. и которыми вырабатывается порядка 1,8 млрд кВт·ч электроэнергии при потреблении около 0,8 млн т у.т. (условное топливо) ежегодно.

Основными проблемами электроснабжения удаленных и малонаселенных поселений от ДЭС являются:

- плохое техническое состояние дизельных электростанций;
- дальний транспорт топлива и зависимость от его поставок;
- ограниченность сроков сезонного завоза в наиболее труднодоступных районах;

- слабое развитие транспортной инфраструктуры;
- зависимость от бюджетного финансирования. Слабое развитие транспортной инфраструктуры в значительной мере осложняет проблему топливоснабжения.

Большие расстояния перевозок, многоэтапность и сезонность завоза топлива приводят к высоким потерям и многократному его удорожанию, а следовательно, и к росту тарифов.

У наиболее удаленных потребителей транспортная составляющая стоимости привозного топлива достигает 80 %.

Большинство источников автономного электроснабжения является убыточным, так как себестоимость производства электроэнергии значительно выше тарифа, устанавливаемого для населения, а отсутствие в подавляющем большинстве мелких изолированных населенных пунктах промышленных объектов не позволяет компенсировать оплату за счет промышленных тарифов.

Поэтому электроснабжение малых изолированных потребителей от ДЭС является дотационным за счет бюджетных средств местных и областных администраций. Удорожание органического топлива, рост транспортных тарифов на его доставку, неэффективность режимов работы существующих ДЭС вызывают необходимость пересмотреть политику энергоснабжения этой категории потребителей, опираясь на имеющийся опыт использования современных технологий производства энергии и ориентируясь, прежде всего, на направления, обеспечивающие снижение потребления привозного топлива.

Одним из таких направлений является применение установок малой генерации на природных возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Энергосистемы, в которых применяются возобновляемые источники энергии, будут развиваться в том числе в виде малых гидроэлектростанций, солнечных энергоустановок, геотермальных электростанций и

теплоснабжающих установок, биоэнергетических и ветровых установок, мусоросжигающих и мусороперерабатывающих энергокомплексов в крупных городах. Возможно использование энергии приливов. Экономический потенциал возобновляемых источников энергии зависит от существующих экономических условий, стоимости, наличия и качества запасов ископаемых топливно-энергетических ресурсов, а также региональных особенностей [3].

Первоочередными мероприятием, позволяющими реализовать направления развития и повысить надежность электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей, являются:

#### 1. Техническое оснащение:

- производство современного оборудования на российских предприятиях для замены и реконструкции эксплуатируемых в настоящее время малых генерирующих установок;
- организация на отечественных заводах серийного производства электроустановок, использующих возобновляемые энергоресурсы, что должно значительно снизить их стоимость и транспортные затраты;
- оценка эффективности применения ВИЭ на территории РФ.

#### 2. Законодательная и государственная поддержка:

- разработка свода законодательных и нормативных актов о государственной политике в экономической поддержке государством этого направления;
- разработка, организация, реализация и контроль за выполнением региональных программ, направленных на обеспечение топливом и энергией изолированных потребителей;

3. Финансовая поддержка в случае положительного технико-экономического обоснования.

Несмотря на значительные темпы развития локальной генерации посредством ВИЭ, их комбинированного использования, разработки законодательной и нормативной базы в сфере внедрения последних, на

сегодняшний день практическая реализация проектов энергообеспечения изолированных потребителей осуществляется в незначительных масштабах, что не позволяет в необходимой степени решить проблемы их бесперебойного теплоснабжения и электроснабжения. Схема внешнего электроснабжения удаленных потребителей определяется местоположением электрической станции, воздушных или кабельных ЛЭП, тяговых подстанций, характером и мощностью потребителей, в том числе и не тяговых, и другими факторами. Выбор схемы диктуется также требуемой степенью надежности, планом транспортных линий и проводится на основе технико-экономических расчетов.

Для обеспечения высокой надежности и бесперебойного электроснабжения в типовых схемах питания подстанций промышленных предприятий осуществляется от двух независимых источников по двухцепной или одноцепной ЛЭП [5].

Проектирование электроснабжения отдаленных малонаселенных пунктов в каждом конкретном случае необходимо проводить с учетом максимальной экономической эффективности в зависимости от значений входных параметров, учитывается множество факторов:

*Таблица 1.*

#### **Анализ экономической эффективности**

Значимый фактор	Единица измерения
Удаленность от единой энергосистемы	км
Суммарная мощность потребителей	кВт
Продолжительность солнечных дней в году	час
Средняя скорость ветра	м/с
Размеры площадок для строительства	кв. км
Водные ресурсы - глубина	м
Скорость течения	м/с

Сезонность потребления электроэнергии	кВтч/мес
Дата начала строительства	месяц, год
Дата ввода в эксплуатацию	месяц, год

Разработана математическая модель выбора основных параметров электрической схемы. Принято, что каждый параметр может быть обусловлен двумя критериями: затраты на внедрение или стоимость эксплуатации,  $C$ ; эффект, получаемый от внедрения, который выражается в стоимостной оценке величины снижения потерь мощности при решении задачи оптимизации,  $E$ . Множество всех выборов, состоящее из двух непересекающихся множеств  $D_1$  и  $D_2$ .

Множество  $D_1$  особенностью, которого является то, что любая технологическая установка может быть выбрана только один раз. Рассматриваемое множество  $D_1$  проходит первичную обработку, после которой оно будет содержать выбранные с помощью программы мероприятия, входящие в математическую модель задачи оптимизации потерь электроэнергии – множество  $D'_1$  (обозначена  $\otimes$ ). Множество  $D_2$  включает в себя мероприятия по эксплуатации электрической схемы.

Каждый параметр, рассматриваемый в задаче оптимизации энергосбережения, имеет свою затратную стоимость и свой эффект от внедрения. При переходе к множествам  $D'_1$  и  $D_2$  определяется, что  $D_1$  содержит  $n$  мероприятий, а  $D_2$  –  $m$  параметров. Тогда  $n$ -мерные вектора  $C_1(i)$  и  $E_1(i)$  содержат, соответственно, стоимости  $D_1$ , а векторы  $C_2(i)$  и  $E_2(i)$  – стоимости эксплуатации  $D_2$ .

Вводятся два вектора  $X_1(i)$  и  $X_2(i)$ , элементы которых  $x_i=1$ , если параметр с номером будет выбрано для внедрения, в противном случае (мероприятие не выбрано)  $x_i = 0$ .

С учетом всех введенных обозначений формулируется задача организации системы электроснабжения. Задается значение финансирования



$K$ , выделяемого на внедрение разрабатываемой схемы электроснабжения. Составляется целевая функция, значение которой должно быть максимальным в результате решения задачи оптимизации энергосбережения и ограничения в виде неравенства, с учетом объема выделяемых средств.

Математическая запись данной задачи имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} D = D_1 \cap D_2, \\ D'_1 \otimes D_1, \\ F(x) = \sum_{i=1}^n \dot{A}_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m \dot{A}_2(i) \cdot x_2(i) \longrightarrow \max \\ \sum_{i=1}^n C_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m C_2(i) \cdot x_2(i) \leq K \end{array} \right.$$

Предложенная математическая модель выбора решает задачу линейного программирования – нахождение параметров, внедрение которых дает наибольший эффект.

Математическая модель обеспечивает выбор оптимального источника энергии, учитывающий географическое положение местности, климатические условия, особенностей промышленного производства, сезонности потребления электроэнергии, выявление оптимального решения выбора необходимых мероприятий по модернизации схемы электроснабжения при анализе наибольшей суммы факторов, увеличение эффективности использования денежных средств, выделяемых на цели энергосбережения за счет выбора группы мероприятий, обеспечивающих наибольший экономический эффект, формирование комплекса критериев выбора мероприятий по энергосбережению, позволяющий получить более полную оценку эффективности предлагаемых мероприятий по сравнению со стандартными решениями, уменьшение временных затрат на выполнение проектов, путем автоматизации, при неизменном качестве и контроле специалистов, уменьшение финансовых затрат на разработку проекта

системы электроснабжения объектов высокой сложности, в том числе отдаленных населенных пунктов.

*Использованные источники:*

1. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Б.И.Кудрин. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 2-е изд., перераб. и доп. — 352 с.
2. Чаплыгина М.А. Нестеров С.А. Планирование и нормирование потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях [Текст]: сб.ст. Актуальные проблемы развития социально-экономических систем: теория и практика / М.А. Чаплыгина, С.А. Нестеров. – Курск. 2016. С.82-86 2.
3. Чаплыгина М.А., Нестеров С.А. Методические подходы к оценке эффективности энергосберегающих мероприятий [Текст]: научно-практический журнал Аллея Науки № 13 / С.А. Нестеров, М.А. Чаплыгина. – 2017. С 72-76
4. Теоретические основы электротехники. Том I. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Н.В. Коровкин. Издательство: Питер, 2009г.
5. ПРОЦЕСС ДЕМОНОПОЛИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ Современная наука и ее развитие №15. 2017 Чаплыгина М. А., Шипулина К. В.
6. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ Современная наука и ее развитие №15. 2017 Чаплыгина М. А., Васильева А.В.
7. Оценка экономической эффективности научно-технических решений в сфере электроснабжения и автоматизации промышленных установок и технологических комплексов [Текст] : метод. указания / Е. В. Мазурина. – Ухта : УГТУ, 2014. – 83 с.