

ЭНЕРГЕТИКАЭНЕРГЕТИКАENERGETIC*Рырсалиев А.С., Кубанычбекова М.К., Быймырзаев Т.С.***ТОК БУЛГЫ - ЭЛЕКТР КЕРЕКТӨӨЧҮ - ТЕХНОЛОГИЯЛЫК  
ОБЪЕКТ - ЭКСПЛУАТАЦИЯЛОО СИСТЕМАСЫНЫН НЕГИЗДЕРИН  
МОДЕЛДЕШТИРҮҮ***Рырсалиев А.С., Кубанычбекова М.К., Быймырзаев Т.С.***ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ  
ИСТОЧНИК- ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ -  
СЛУЖБА ЭКСПЛУАТАЦИИ (ИЭС)***A.S. Rysaliev, M.K. Kubanychbekova, T.S. Byimyrzaev***PRINCIPLES OF MODELING OF THE SYSTEM  
SOURCE-ELECTRIC RECEPTION-TECHNOLOGICAL  
OBJECT-SERVICE OF OPERATION (IETS)**

УДК: 539.371

*Көрсөтүлгөн модель системанын параметрлерин оптимизациялоого жардам берет. Бул макалада электроэнергетика тармактарын туруктуулук запастарын балоо жана эффективдүү эсептөө усулдарынын маселелери каралган. Көрсөтүлгөн усулда электроэнергетика тармактарынын режимдерин изилдөөнүн маселелерин чечүүнүн усулдары. Ар кандай техникалык тармактарды колдонууда жана түзүүдө туруктуулук менен камсыздоо, эн негизги талаптардын бири болуп саналат. Өзгөчө электр менен жабдуу тармактарында актуалдуу. Электр менен жабдуу тармактарын туруктуулук менен камсыздоо маселеси өзүнө бир канча ишчараларды камтыйт: техникалык, экономикалык жана уюштуруучулук. Мындан сырткары азыркы базар экономикасында электр менен жабдуу тармактарындагы туруктуулук менен камсыздоо экономикалык жана энергетикалык коопсуздук менен тыгыз байланышкан.*

*Негизги сөздөр:* электр энергиясы, тармак, булак, электр керетөөчүлөрү, кызмат, модель, режим, камсыздоо кызматы, электр менен жабдуу.

*Предложенная модель системы источник - электроприемник - технологический объект - служба эксплуатации (ИЭС) позволяет оптимизировать режимные параметры. В работе рассмотрена задача, связанная с разработкой эффективных методов расчета предельных режимов и оценки запасов статической аperiodической устойчивости ЭЭС для систем диспетчерского и противоаварийного управления. Предложен метод решения сформулированной задачи, базирующийся на исследованиях по теории предельных режимов ЭЭС, в основу которых положено широкое использование собственных векторов матрицы уравнений установившегося режима, отвечающих нулевым собст-*

*венным значениям. Обеспечение надежности является одной из важнейших проблем при создании и эксплуатации любой технической системы. Особенно актуальна она для сложных систем, таких как системы электроснабжения, состоящих из большого числа элементов и имеющих обширные внутренние и внешние связи. Задача обеспечения надежности систем электроснабжения включает в себя целый комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, направленных на сокращение ущерба от нарушения нормального режима работы потребителей электроэнергии; обеспечение заданных технических и эксплуатационных характеристик работы потребителей; разработка наиболее рациональной, с точки зрения обеспечения надежности, программы эксплуатации системы. Кроме того, в современных рыночных условиях надежность электроснабжения неразрывно связана с экономическими показателями и энергетической безопасностью промышленных предприятий.*

*Ключевые слова:* электроэнергетика, система, источник, электроприемник, служба, модель, режим, служба эксплуатации, электроснабжение.

*The proposed model of the IETS system allows to optimize the operating parameters. The paper considers the problem associated with the development of effective methods for calculating the limiting regimes and assessing the reserves of static aperiodic stability of EPS for dispatching and emergency control systems. A method for solving the formulated problem is proposed, which is based on studies on the theory of EES limit modes, based on the extensive use of the eigenvectors of the matrix of steady-state equations corresponding to zero eigenvalues. Ensuring reliability is one of the most important problems in the creation and operation of any technical system. It is*

especially relevant for complex systems, such as power supply systems, consisting of a large number of elements and having extensive internal and external communications. The task of ensuring the reliability of power supply systems includes a whole range of technical, economic and organizational measures aimed at reducing the damage from disrupting the normal operation of electricity consumers; ensuring the specified technical and operational characteristics of the work of consumers; development of the most rational, from the point of view of ensuring reliability, program of the system operation. In addition, in today's market conditions, the reliability of electricity supply is inextricably

linked with the economic indicators and energy security of industrial enterprises.

**Key words:** electric power industry, system, source, electrical receiver, service, model, mode, service of operation, power supply.

В формальном представлении понятие системы ИЭТС соответствует математическому понятию множества с определенной структурой и отождествляется с понятием математического пространства.

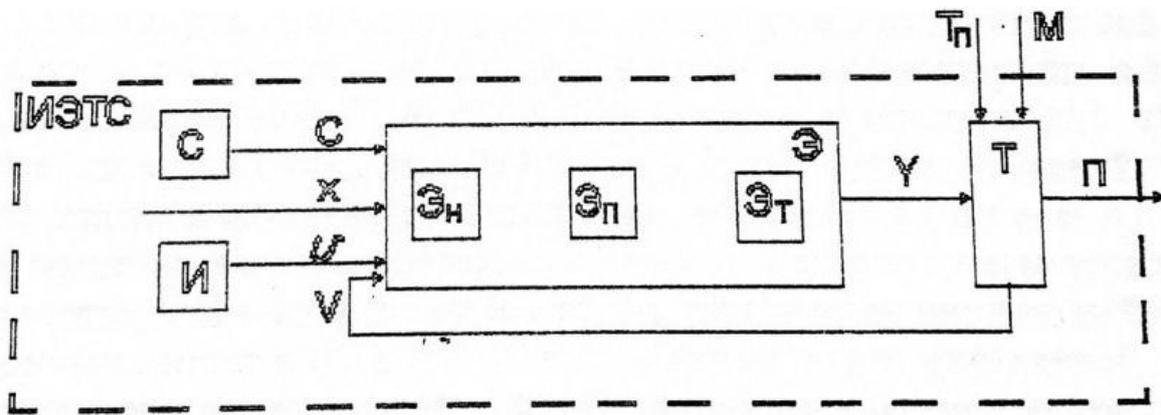


Рис. 1. Структурная схема источник электроприемник технологический объект служба эксплуатации.

Систему ИЭТС можно определить как устройства преобразование пространства входных сигналов  $X$  в пространстве входных сигналов  $Y$  посредством оператора  $F$ . Выделим управляемые параметры электроприемника  $D$ , электротехнической службы  $C$  и неуправляемые воздействия технологического объекта  $V$ , источника  $U$ , а также показатели состояния системы  $Z$ . Тогда  $X = \{D, C, V, U\}$ .

Материальным выходом системы ИЭТС является энергия (механическая, тепловая и т.п.), передаваемая технологическому объекту  $W$ .

Поэтому обобщенную модель функционирования системы ИЭТС можно представить в виде:

$$W : X^F \rightarrow U \text{ или } W : D \cdot C \cdot V \cdot U \cdot ZF \rightarrow Y \quad (1)$$

Общую форму критерия оптимальности (целевой функции) найдем на основе принципа соответствия состава элементов системы ее цели. Он указывает на то, что все составляющие, которые влияют на функционирование, будут влиять на эффективность системы. Это позволяет записать

$$S : D \cdot C \cdot V \cdot U \cdot Z \cdot Y < \mathcal{L} \rightarrow \{S\} \quad (2)$$

Оператор энергетической модели  $F$  (1) по сущности функционирования, а оператор технике – экономической модели  $\Phi$  (2) по определению является функциями параметров и показателей.

Общая математическая постановка задачи оптимизации заключается в следующем: определить номинальные параметры электрооборудования  $D$ , показатели использования  $Z$  и уровень технической эксплуатации  $C$ , на множестве допустимых значений  $M$ , которые обеспечивают наименьшие значений критерия  $S$  при ограничении в форме модели функционирования  $W$  и известных ограничивающих, факторов технологического объекта  $V$  и источника  $U$

$$S = Y(d, c, v, u, z, y) \rightarrow \min$$

$$Y = f(d, c, v, z)?$$

$$D = h(\mathcal{E}_n, \mathcal{E}_n, \mathcal{E}_m), d \in D,$$

$$\text{где } u \in U, v \in V$$

$$z \in Z, c \in C$$

Такая модель может применяться при обосновании структуры системы ИЭТС, выборе элементов в электроприемнике ( $\mathcal{E}_n$ ,  $\mathcal{E}_n$ ,  $\mathcal{E}_r$ ) и назначении уровня использования и обслуживания электрооборудования. Она не имеет ограничений по уровню системы и позволяет исследовать электрооборудование отдельного технологического объекта – системы ИЭТС1 парка электрооборудования животноводства, растениеводства, подсобных предприятий – ИЭТС-П, а также электрохозяйства всего хозяйство – ИЭТС-П1.

При аналитическом описании указанных моделей возникает проблема выбора состава факторов и вида аппроксимирующих выражений, учета многокритериальности задач и неопределенности исходной информации.

Математическое, как и любое другое, моделирование всегда осуществляется в условиях противоречия между бесконечным количеством реальных связей исследуемой системы с окружающей средой и ограниченными возможностями учета их в модели. Регулярные методы обоснования оптимальной модели пока не разработаны. Противоречия тенденции упрощения и усложнения моделей разрешатся неформальным образом.

Число факторов, охваченных ранее приведенной классификации, достаточно и необходимо для решения нашей задач. Оно позволяет исследовать проблему в обобщенном виде. А при необходимости детально, и выявить особенности конкретных систем ИЭТС или их элементов.

В качестве основных аппроксимирующих зависимостей целесообразно применять, как будет указан, степенные комплексы – *позиномы*.

В зависимости от «качества» исходной информации различают моделирование в условиях определенности или неопределенности. В первом случае модель учитывает детерминированные или стохастические факторы (с известными параметрами), либо те и другие.

К числу детерминированных относятся научные фиксированные параметры и показатели системы ИЭТС, известные с определенной точностью (номинальные параметры электрооборудования, его балансовая стоимость, затраты на техническое обслуживание и т.п.).

Стохастические (вероятно-статистические) факторы – это случайные величины или процессы с известными законами распределения и статистическими (показатели безотказности и ре-

монтопригодности электрооборудования, (показатели качества напряжения, уровень нагрузки и др.)

Математическое моделирование и оптимизация в условиях определенности широко применяется при исследовании систем благодаря простоте и изученности этих методов. Такой подход является пока основным при исследовании процессов эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве.

В реальных ситуациях по объективным причинам некоторые факторы являются неопределенными. Проблема их учета весьма актуальна, но разработано еще не полностью. Достаточно сказать, что еще нет единой классификации неопределенностей.

1. Стратегические неопределенности, возникающие при участии в операции (реализации решения) нескольких сторон, стратегии которых неизвестны. В наших задачах такая неопределенность отсутствует.

2. Концептуальные неопределенности, обусловленные нечеткими представлениями о цели операции и, следовательно, о критерии эффективности. Неопределенность такого рода проявляется в стремлении добиться снижения всех затрат на систему ИЭТС, что приводит к многокритериальной постановке задач оптимизации.

3. Природные неопределенности – это неопределенные факторы, влияющие из-за недостаточности «природы». Для них можно указать только область возможных значений или область, внутри которой находится распределение признаков фактора. В системе ИЭТС – это технологический ущерб при выходе из строя электрооборудования. Продолжительности использования электрооборудования на объектах, работа которых зависит от природных условий.

4. Общая постановка и решение задач оптимизации систем ИЭТС затруднена. Поскольку такая политика в отношении эксплуатационных задач предпринимается впервые, то важно не только получить практические рекомендации, но и рассмотреть методические вопросы. Все это определяет необходимость изучения системы ИЭТС по последовательно усложняющимся моделям.

5. Вначале выполним оптимизацию на однокритериальной детерминированной модели (ОДМ):

$$S = \frac{S(D, C, V, U, Z)}{W(D, C, V, Z)} \rightarrow \min \quad (3)$$

ОДМ основывается на принципах детерминации исходных данных, все случайные и неопределенные факторы заменяются их неслучайными характеристиками (математическими ожиданиями).

Затем учтем стохастические факторы, исследуя системы ИЭТС с помощью функций случайных величин и переходя к неслучайным характеристикам при оценке конечных результатов. Здесь детерминация осуществляется не на уровень факторов, а на уровень критерия:

$$S = \frac{\int_0^T S(D, C, V, U, Z, t) dt}{\int_0^T S(D, C, V, U, Z, t) dt} \rightarrow \min \quad (4)$$

Исследования этого выражения связано с определенными трудностями. В (2) и (3) показана возможность перехода от (4) к более простому виду критерия где  $S(d, c, v, u, z, t)$  – «мгновенные» приведенные затраты.

$$\bar{S} = \frac{1}{T} \int_0^T S(d, c, v, u, z, t) dt \rightarrow \min$$

Когда функция «мгновенных» затрат является стационарной, тогда критерий определяется как усредненная величина по множеству возможных значений случайных факторов системы ИЭТС.

Следует отметить, что обе модели отражают в качестве оптимальной стратегии управления эксплуатационными свойствами электрооборудования такую, которая при многократном повторении приводит к наилучшему в среднем результату. Чем больше число реализаций, тем точнее средний фактический результат приближается к расчетному, тем меньше погрешность детерминации задачи. Поэтому вполне оправдано применение этих моделей для оптимизации показателей эксплуатации массовых видов электрооборудования.

В моделях следующего уровня учтем неопределенность.

В теории исследования операций рекомендуется следующая схема принятия решения. Исходя из априорной информации о системе, намечается  $n$  возможных состояний природы, т.е.

значений неопределенного фактора  $m$  стратегий поведения, т.е. вариантов действия (лишений). Каждая парная ситуация оценивается критерием эффективности, которые в совокупности образуют платежную матрицу критериев. Окончательный выбор стратегии, т.е. оптимального решения, осуществляется по одному из следующих принципов:

- оптимизация в среднем Байеса;
- недостаточного основания Лапласа;
- максимина Вольда;
- минимаксного риска Сэвиджа;
- пессимизма – оптимизма Гурвица;
- гарантированного результата.

Главным недостатком этих принципов является их субъективность, которая формирует оптимальное решение безотносительно к фактическому состоянию природы.

Особенность рассматриваемой задачи состоит в том, что число неопределенных состояний природы практически бесконечно, а число действий существенно ограничено. К примеру, размер технологического ущерба может оцениваться очень большим числом дискретных значений. Но, при выборе решения, например, 1..4 варианта соответствующих списку типовых исполнений. Следовательно, для некоторого диапазона значений технологического ущерба, т.е. имеется некоторая устойчивость оптимальных решений.

Идея устойчивости при решении технических задач не новая. Она нашла применение при выборе приводов и трансформаторов. Однако в эксплуатационных задачах пока не используется.

Математическое обоснование такого подхода дано в методе районирования множества векторов состояния природы. Он позволяет разбить весь диапазон возможных значений неопределенного фактора на ряд зон, в каждой из которых наилучшим является одно из стандартных решений, определяемых типоразмерных рядом электрооборудования. Плодотворность метода районирования подтверждена, например, при выборе мощности резервной электростанции для животноводческого комплекса. Этот метод нами принят в основу решения эксплуатационных задач.

На последнем этапе выполним многокритериальную оптимизацию. Здесь первостепенное значение имеет выбор принципов оптимально-

ти, дающего ответ на главный вопрос – в каком смысле оптимальное решение лучше всех других решений. Обычно выбирается субъективно, исходя из сущности задачи. Наиболее часто применяют следующие принципы оптимальности:

- Принцип равномерности (равенства, максимина, квазиравенства), обеспечивающий граничное улучшение всех критериев в области их компромисса.

- Принцип справедливой уступки (абсолютный или относительный), основан на оценке и сопоставлении приоритетов убыли отдельных критериев.

- Принцип выделения главного критерия, по которому в оптимизации участвует главный критерий, а другие дополнительные – переводятся в разряд ограничений.

- Принцип последовательной уступки, реализующий следующую вычислительную процедуру. Устанавливается ряд приоритетов, в котором все критерии располагаются в порядке убывания их важности. Начинают оптимизацию по главному критерию, затем назначают уступку главному критерию, т.е. такое допустимое его увеличение (на примере приведенных затрат) в пределах которого всевозможные варианты решения считаются оптимальными. В пределах уступок минимизируют первый дополнительный критерий и назначают его уступку. Минимизируют второй - при условии, что первые критерии не выходят за пределы назначенных уступок, и т.д. оптимальным считается решение, которое соответствует минимуму последнего критерия (с учетом его уступки).

Выбор принципа оптимальности, по нашему мнению, следует ставить в зависимость от способов реализации оптимального решения. Когда это возможно на автоматические устройства, тогда критерий может быть сколь угодно условным. Если при реализации решения участвует человек, то важно иметь критерий, кото-

рый понятен исполнителю и соответствует логике его рационального поведения.

С этих позиций принцип последовательной наиболее близко соответствует неформальной процедуре принятия решения исполнителем любого уровня. Так, выводя электрооборудование в ремонт, энергетик прежде всего учитывает выполнение производственного задания, затем – график ремонта, далее – обеспеченность ремонта трудовыми и материальными ресурсами и т.д.

На окончательное решение будет влиять важность (ряд приоритета) каждого из критерия в данный момент. Поэтому сходные производственные задачи в начале года (месяца) имеют иное решение, полученные по принципу последовательности уступки, соответствует оптимальному решению, полученному по принципу безусловной векторной оптимизации Парето, т.к. по каждому критерию оно не хуже, а по одному всегда может быть лучше критериев конкурирующих вариантов.

#### Литература:

1. Левин М.С., Сумин Г.Ф. Электроснабжение сельских районов - Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1983. - №6. - С. 6-19.
2. Славин Р.М. Исследование экономического эффекта электрификации животноводства – Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1982. - С 4-10.
3. Садыков М.А., Барпиев Б.Б. Анализ возобновляемых источников электроэнергии Кыргызской Республики. / Вестник КГУСТА, №3(53). - 2016. - С. 98-101.
4. Садыков М.А. Потенциал развития малой гидроэнергетики в Кыргызской Республике. / Республиканский научно-теоретический журнал «Известия вузов Кыргызстана», №6. - Бишкек, 2016. - С. 16-19.
5. Садыков М.А. Современные светодиоды в светотехнических решениях. / Журнал «Наука и инновационные технологии», №3. - 2017. - С. 93-101.
6. Садыков М.А. Потенциал развития малой гидроэнергетики в Кыргызской Республике. / Республиканский научно-теоретический журнал «Известия вузов Кыргызстана», №6. - Бишкек, 2016. - С. 16-19.

Рецензент: к.ф.-м.н. Барпиев Б.Б.