

УДК 621.311

Г.И. Лагутин, А.Е. Ручка

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМЕНКЛАТУРЫ И МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОАГРЕГАТОВ

В статье приведена постановка задачи определения номенклатуры и мощностей электростанций и электроагрегатов, используемых в системах электроснабжения комплексов вооружения и военной техники.

Ключевые слова: системы электроснабжения, комплексы вооружения и военной техники, передвижные электростанции, электроагрегаты, оптимизация типажа и мощностей.

Введение

Постановка проблемы. В условиях ограниченного финансирования Вооруженных Сил Украины с учетом физического и морального старения войсковых электроагрегатов (ЭА) и электростанций (ЭС), служащих для электроснабжения комплексов вооружения и военной техники, необходимо стремиться к уменьшению разнообразия типов и мощностей электротехнических средств, которые будут вводиться для замены устаревших образцов.

Для этого должна быть сформулирована и решена задача выбора номенклатуры и мощностей электростанций и электроагрегатов, являющихся источниками электроэнергии для военных потребителей электрической энергии.

Такая задача по своей сути является оптимизационной, предполагающей математическую формализацию и поиск наилучших по тем или иным соображениям источников электроэнергии.

Цель статьи. Формализация задачи определения номенклатуры и мощностей электростанций и электроагрегатов, используемых в системах электроснабжения комплексов вооружения и военной техники.

Основная часть

Введем основные понятия, необходимые для решения задачи.

Будем считать, что всего в вооруженных силах предполагается иметь M источников электроэнергии N типов. Пусть всего предполагается иметь M_i ($i = 1, 2, \dots, N$) источников электроэнергии каждого типа. Будем исходить из того, что всего необходимо иметь K диапазонов мощностей ЭС (ЭА), т.е. в каждом j -м диапазоне мощности имеется M_j электростанций (электроагрегатов). При этом ЭС (ЭА) первого типоминнала обеспечивает потребителей в диапазоне мощностей $x \in [x_0 = 0, x_1 > 0]$, ЭС (ЭА) j -го типоминнала обеспечивает потребителей в

диапазоне мощностей $x \in [x_{j-1}, x_j]$, ЭС (ЭА) K -го типоминнала обеспечивает потребителей в диапазоне мощностей $x \in [x_{K-1}, x_K]$.

Таким образом, запись M_{ij} определяет количество электростанций (электроагрегатов) i -го типа j -го диапазона мощности.

В решаемой задаче необходимо учесть **основные характеристики электростанций (электроагрегатов)**, а именно: производительность, надежность, стоимость, массогабаритные характеристики.

Производительность ЭС (ЭА) может быть охарактеризована их мощностью. Важными характеристиками производительности являются ограничения по перегрузочной способности, параметрам и показателям качества вырабатываемой электрической энергии, степени автоматизации и т.д.

Надежность ЭС (ЭА) может быть охарактеризована вероятностью безотказной работы ЭС (ЭА) $P(t)$, вероятностью отказа ЭС (ЭА) $Q(t)$, интенсивностью отказов ЭС (ЭА) $\lambda(t)$, средним временем безотказной работы T_0 ; для восстанавливаемых изделий, помимо показателей, указанных выше, необходимо рассматривать и дополнительные показатели, учитывающие особенности эксплуатации, в частности коэффициент готовности k_r , учитывающий среднее время отыскания и устранения неисправности, и коэффициент использования k_u , учитывающий также простои за счет планового технического обслуживания.

Стоимость ЭС (ЭА) является одной из важнейших характеристик, во многом определяющих целесообразные области и даже принципиальную возможность применения тех или иных устройств. Она характеризуется следующими величинами:

– стоимостью разработки i -го типа ЭС (ЭА) в зависимости от его мощности x , т.е. величиной $C_{pi}(x)$, включающей стоимость проведения науч-

но-исследовательских работ, проектирования, изготовления и испытания опытных образцов ЭС (ЭА);

– стоимостью производства одного образца ЭС (ЭА) i -го типа $C_{пр i}(x)$;

– стоимостью эксплуатации одного образца ЭС (ЭА) i -го типа $C_{э i}(x)$.

Стоимость производства одного образца ЭС (ЭА) i -го типа в значительной степени зависит от объема и времени его изготовления. С ростом объема производства стоимость каждого отдельного образца уменьшается. Стоимость производства $C_{пр i}(x)$ одного образца ЭС (ЭА) i -го типа зависит не только от его мощности x , но и от ряда других технических характеристик, и точное ее определение может быть весьма сложной задачей, решаемой методами экономического анализа.

Стоимость эксплуатации ЭС (ЭА) в единицу времени определяется затратами на горюче-смазочные материалы, текущий и капитальный ремонт, на содержание обслуживающего персонала.

Рассмотрим стоимость эксплуатации одного электроагрегата i -го типа, имеющего мощность x_j , в течение единицы времени

$$C_{э i}(x_j, t) = C_{Г i} \cdot k_{Г i}(x_j) + C_{СМ i} \cdot k_{СМ i}(x_j) + \varphi(t) \cdot [C_{ТО1 i}(x_j) \cdot n_{ТО1 i} + C_{ТО2 i}(x_j) \cdot n_{ТО2 i} + C_{ТР i}(x_j) \cdot n_{ТР i} + C_{КР i}(x_j) \cdot n_{КР i}], \quad (1)$$

где $C_{Г i}$, $C_{СМ i}$ – стоимость единицы расходуемого топлива и масла на смазку для ЭС (ЭА) i -го типа; $C_{ТО1 i}(x_j)$, $C_{ТО2 i}(x_j)$, $C_{ТР i}(x_j)$, $C_{КР i}(x_j)$ – стоимость проведения основных видов технического обслуживания и ремонта в соответствии с принятой системой технического обслуживания (технического обслуживания №1, технического обслуживания №2, текущего и капитального ремонтов);

$k_{Г i}(x_j)$, $k_{СМ i}(x_j)$ – количественные показатели расхода горюче-смазочных материалов, соответствующие рассматриваемому i -му типу ЭС (ЭА), в зависимости от его мощности;

$n_{ТО1 i}$, $n_{ТО2 i}$, $n_{ТР i}$, $n_{КР i}$ – среднее количество проводимых в единицу времени основных видов технического обслуживания (ТО1, ТО2), текущего (ТР) и капитального (КР) ремонтов;

$\varphi(t)$ – функция, показывающая увеличение затрат на эксплуатацию по мере износа ЭС (ЭА).

Стоимость хранения. Если ЭС (ЭА) не эксплуатируется, а находится на хранении, то также требуются определенные затраты $C_{хр i}(x_j, t)$ в единицу времени:

$$C_{хр i}(x_j, t) = C_{скл i}(x_j, t) + \varphi(t) \cdot \sum_{y=1}^Y C_{iy}(x_j) / T_{0y} + \sum_{z=1}^Z C_{izзп} \cdot n_{izраб}(x_j), \quad (2)$$

где $C_{iy}(x_j)$ – стоимость узлов y -го типа в составе ЭС (ЭА) i -го типа, имеющего мощность x_j ; $y = 1, 2, \dots, Y$ – порядковый номер узла в составе ЭС (ЭА) i -го типа; Y – общее количество узлов в составе ЭС (ЭА) i -го типа; T_{0y} – период, в течение которого узлы y -го типа приходят в негодность; $C_{izзп}$ – стоимость содержания обслуживающего персонала (инженерно-технического состава, персонала обслуживания склада, охраны); $z = 1, 2, \dots, Z$ – условный индекс должности обслуживающего персонала для обслуживания ЭС (ЭА) i -го типа; Z – общее количество должностей персонала, используемого для обслуживания ЭС (ЭА) i -го типа; $n_{izраб}(x_j)$ – число лиц обслуживающего персонала, имеющего должность Z и требуемого для обслуживания одного ЭС (ЭА) i -го типа мощностью x_j ; $C_{скл i}(x_j, t)$ – стоимость складских помещений, приходящихся в единицу времени t для содержания одного ЭС (ЭА) i -го типа, имеющего мощность x_j .

Итак, в общем случае **затраты на разработку, производство, эксплуатацию и хранение** в течение времени T M_{ij} электроагрегатов i -го типа j -го диапазона мощности, могут быть определены по следующей формуле:

$$C_{M_{ij}} = C_{п i}(x_j) \cdot M_{ij} + C_{р i}(x_j) + \beta \times \int_0^T C_{э i}(x_j, t) \cdot M_{ij} dt + (1 - \beta) \cdot \int_0^T C_{э i}(x_j, t) \cdot M_{ij} dt, \quad (3)$$

где β – доля ЭС (ЭА), находящихся в эксплуатации.

Рассмотрим **целевую функцию и ограничения**, которые следует использовать и принимать во внимание при решении рассматриваемой задачи.

Целевая функция рассматриваемой задачи должна отвечать следующим основным требованиям [1–3]: она должна быть представительной, критичной к исследуемым параметрам, по возможности простой, включать в себя результаты всех основных существенных процессов производства и распределения электрической энергии и правильно учитывать стохастичность процесса.

Целью, которая должна быть достигнута при решении задачи выбора номенклатуры и мощностей ЭС (ЭА), является создание необходимого количества источников электроэнергии требуемых диапазонов мощностей для электроснабжения комплексов

вооружения и военной техники и военных объектов Вооруженных Сил Украины при минимизации материальных затрат.

В соответствии с указанной целью, критерием оптимальности является минимум математического ожидания материальных затрат (стоимости разработки, производства, эксплуатации и ремонта ЭС (ЭА) для обеспечения потребности образцов вооружения и военной техники (например, суммарной мощности) $X_{\Sigma B}$, которая в данном случае будет являться ограничением), т. е.

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K S_i(x_j) \cdot M_{ij} \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$X_{\Sigma B} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K x_{ij} \cdot M_{ij} \geq X_{\Sigma П},$$

где $S_i(x_j)$ – стоимость ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощностей; M_{ij} – количество ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощностей; x_{ij} – мощность ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощностей; $X_{\Sigma П}$ – суммарная мощность потребителей электроэнергии.

Помимо ограничений, связанных с общей формой задач исследования операций, при решении приходится сталкиваться и с другими видами ограничений. Ими могут быть ограничения на вес и габаритные размеры ЭС (ЭА), ограничения по допустимым техническим характеристикам (например, по надежности, допустимому времени необслуживаемой работы, перегрузочной способности, климатическому исполнению), ограничения по количеству обслуживающего персонала и т.д.

Эти ограничения связаны главным образом с тем, что рассматривается только часть математической модели, а разорванные связи с другими частями заменяются ограничениями.

Учитывая изложенное, окончательную формулировку задачи определения номенклатуры и мощностей ЭС (ЭА), используемых в Вооруженных Силах Украины, представим следующим образом.

Определить оптимальное количество и стандартные значения ряда мощностей (типономиналы) автономных ЭС (ЭА) для электроснабжения потребителей общевойсковой и специального назначения Вооруженных Сил Украины, при которых минимизируются суммарные затраты на их разработку, производство и эксплуатацию, при условии, что заданы:

общее количество ЭС (ЭА) M ;

количество типов ЭС (ЭА) N ;

интегральная $F(x)$ или дифференциальная $\varphi(x)$ функции распределения мощности x ;

удельная функция стоимости производства единицы мощности ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне

мощности $C_{\text{пр}i}(x_j)$ ($i=1, \dots, N$, $j=1, \dots, K$, где K – количество диапазонов мощностей ЭС (ЭА));

функция стоимости разработки, испытаний и постановки на производство ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощности $C_{\text{р}i}(x_j)$;

удельная функция стоимости эксплуатации единицы мощности в единицу времени ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощности $C_{\text{экс}i}(x_j, t)$.

Необходимо найти количество градаций мощности ЭС (ЭА) K , значения стандартного ряда их мощностей x_j и количество ЭС (ЭА) каждого типа и каждого диапазона мощности M_{ij} , минимизирующие целевую функцию (4), которая характеризует суммарные затраты S , связанные с созданием и эксплуатацией M электростанций (электроагрегатов) N типов K типономиналов:

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{\text{пр}i}(x_j) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{\text{р}i}(x_j) + \quad (5)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \int_0^T \left\{ \sum_{j=1}^K C_{\text{экс}i}(x_j, t) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij} \right\} dt.$$

где $F(x_j) - F(x_{j-1})$ – интегральная функция распределения мощности в диапазоне ее изменения от x_{j-1} до x_j , понимая при этом, что в первом диапазоне мощность изменяется от нулевого значения до максимального значения, определяемого номинальной мощностью ЭС (ЭА) первого типа;

$C_{\text{пр}i}(x_j) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})]$ – стоимость производства одной ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощности;

$C_{\text{пр}i}(x_j) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij}$ – стоимость производства всех ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощности;

$$\sum_{j=1}^K C_{\text{пр}i}(x_j) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij} \text{ – стоимость}$$

производства всех ЭС (ЭА) i -го типа во всех возможных диапазонах мощностей;

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{\text{пр}i}(x_j) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij} \text{ – сум-$$

марная стоимость производства ЭС (ЭА) всех типов во всех возможных диапазонах мощностей;

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K C_{\text{р}i}(x_j) \text{ – суммарная стоимость разра-}$$

ботки, испытаний и постановки на производство всех ЭС (ЭА);

$C_{\text{экс}i}(x_j, t) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})]$ – стоимость эксплуатации в единицу времени одной ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощности;

$C_{\text{экс}i}(x_j, t) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij}$ – стоимость эксплуатации в единицу времени всех ЭС (ЭА) i -го типа в j -м диапазоне мощности;

$\sum_{j=1}^K C_{\text{экс}i}(x_j, t) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij}$ – стоимость эксплуатации в единицу времени всех ЭС (ЭА) i -го типа во всех возможных диапазонах мощностей;

$\int_0^T \left\{ \sum_{j=1}^K C_{\text{экс}i}(x_j, t) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij} \right\} dt$ – стоимость эксплуатации за период эксплуатации всех ЭС (ЭА) i -го типа во всех возможных диапазонах мощностей;

$\sum_{i=1}^N \int_0^T \left\{ \sum_{j=1}^K C_{\text{экс}i}(x_j, t) \cdot [F(x_j) - F(x_{j-1})] \cdot M_{ij} \right\} dt$

– стоимость эксплуатации за период эксплуатации ЭС (ЭА) всех типов во всех возможных диапазонах мощностей;

T – плановый период эксплуатации системы электроснабжения.

При этом в соответствии с (4) требования со стороны потребителей по количеству и качеству электрической энергии являются ограничениями задачи.

Для ряда задач рассматриваемого типа возможно использование метода последовательных сближений, задаваясь в первом приближении исходными данными эвристическим путем и затем их уточняя.

Однако более удобным путем является рассмотрение отдельных, не связанных между собой моделей, если при этом обеспечивается приемлемая точность получаемых результатов.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ І ПОТУЖНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ І ЕЛЕКТРОАГРЕГАТІВ

Г.І. Лагутін, О.О. Ручка

У статті приведена постановка задачі визначення номенклатури і потужностей електростанцій і електроагрегатів, використовуваних в системах електропостачання комплексів озброєння і військової техніки.

Ключові слова: системи електропостачання, комплекси озброєння і військової техніки, пересувні електростанції, електроагрегати, оптимізація типу і потужностей.

FORMALIZATION OF TASK OF DETERMINATION OF NOMENCLATURE AND POWERS OF POWER-STATIONS AND ELECTRO-AGGREGATES

G.I. Lagutin, A.Ye. Ruchka

Raising of task of determination of nomenclature and powers of power-stations and electro-aggregates, in-use in the systems of power supply of complexes of armament and military technique is resulted in the article.

Keywords: systems of power supply, complexes of armament and military technique, movable power-stations, electro-aggregates, optimization of model and powers.

Выводы

1. Задача определения номенклатуры и мощностей ЭС (ЭА), используемых в Вооруженных Силах Украины, может быть сформулирована следующим образом: определить количество и стандартные значения ряда мощностей (типономиналы) автономных ЭС (ЭА) для электроснабжения потребителей общевойскового и специального назначения Вооруженных Сил Украины, при которых минимизируются суммарные затраты на их разработку, производство и эксплуатацию, при условии, что заданы общее количество ЭС (ЭА), функции распределения потребляемой мощности, удельные функции стоимости производства единицы мощности ЭС (ЭА), функции стоимости разработки, испытаний и постановки на производство ЭС (ЭА), удельные функции стоимости эксплуатации единицы мощности в единицу времени ЭС (ЭА).

2. При решении задачи необходимо учесть следующие характеристики ЭС (ЭА): производительность, надежность, стоимость, масса и габариты.

3. Целевая функция должна быть сформулирована в виде минимума математического ожидания материальных затрат (стоимости разработки, производства, эксплуатации и ремонта ЭС (ЭА)) для обеспечения заданной эффективности (например, суммарной мощности вырабатываемой электрической энергии, которая в данном случае будет являться ограничением).

Список литературы

1. Оптимизация структур больших систем / В.И. Борзи, В.А. Донец, В.В. Коваль, А.Я. Лейбзон, И.П. Лесовой. – К.: Наукова думка, 2000. – 188 с.
2. Лэсдон Л. Оптимизация больших систем / Л. Лэсдон. – М.: Наука, 1991. – 448 с.
3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле / Ю.В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.

Поступила в редколлегию 17.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.