

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Издается с 1947 г

Խ Մ Բ Ա Գ Բ Ա Կ Ա Ն Կ Ո Ւ Ծ Գ Ի Ա

Կապյան Ի. Վ. (պատ. խմբագիր), Լևոնց Լ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Ալեքսենսկի Վ. Վ., Անանյան Ա. Կ., Գորոյան Տ. Ա., Զաղոյան Մ. Ա., Նուզա-
րով Ա. Գ., Տեր-Ազարե Ի. Ա., Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ),
Պատասխանատու քարտուղար Խեմվույան Զ. Ս.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Касьян М. В. (ответ. редактор), Адоиц Г. Т. (зам. ответ. редактора),
Алексеевский В. В., Анимян А. К., Гороян Т. А., Забяян М. А., На-
заров А. Г., Пинаджян В. В. (зам. ответ. редактора), Тер-Азарьев Н. А.
Ответственный секретарь Степанян Э. К.

Խմբագրության հասցեն՝ Երևան-19, Քարեկամսթյան փող. 24

Адрес редакции: Ереван-19, ул. Барекамутян, 24.

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНЦ, Г. Е. МИРЗОЯН

НОВЫЙ КРИТЕРИЙ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Введение. Существующий более 50 лет принцип расчета устойчивости переходного электромеханического процесса (динамической устойчивости) электроэнергетической системы основывается на критерии определения разности роторных углов двух генераторов, эквивалентно представляющих электростанцию системы, т. е.

$$\Psi_g(t) - \Psi_B(t) \leq \varepsilon, \quad (1)$$

где Ψ_g , Ψ_B — соответственно роторный угол генератора g и генератора баланса активных мощностей исследуемой системы; ε — допустимая разность роторных углов указанных генераторов; t — время переходного процесса.

Для получения оценки об устойчивости или неустойчивости исследуемого режима электро-энергетической системы необходимо по критерию (1) проверить по всем эквивалентным генераторам системы, т. е. распространить индекс g критерия (1) на все ее станции. Критерий (1) используется во всех исследованиях устойчивости режимов, как эксплуатационных, так и необходимых в стадии проектирования развития энергосистем. Возможности использования критерия (1) для определения динамической устойчивости современных энергосистем, охватывающих несколько десятков и сотен электростанций, резко ограничивается. Объясняется это тем, что критерий (1) по своей физической сущности получен для схемы генератор—шпны бесконечной мощности и далее распространен на системы с относительно небольшим числом эквивалентных генераторов. Между тем, в современной энергосистеме электрические станции удалены друг от друга на тысячи километров и оценка устойчивости по расходимости их роторных углов не имеет физического смысла.

Предлагаемый критерий. Для определения динамической устойчивости или неустойчивости современных электроэнергетических систем, включая и малые энергосистемы, предлагается принцип расчета, основанный на следующем критерии:

$$|\sin [\Psi_g(t) - \Psi_B(t)] - \sin [\Psi_g(t - \Delta t) - \Psi_B(t - \Delta t)]| \leq \varepsilon, \quad (2)$$

где g, k — индексы генераторного узла и некоторого ближайшего к генератору узла энергосистемы; t — время переходного динамического процесса; Δt — принятый шаг-интервал времени в расчете устойчивости.

Физическая сущность критерия (2) заключается в том, что об устойчивости системы в целом предлагается судить по устойчивости каждой станции или генератора, имея в виду синус разности фаз генераторной э. д. с. и напряжения ближайшего к генератору узла.

Расчетные уравнения. Для определения параметров установившегося режима для каждого момента расчета динамической устойчивости используются следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} P_r &= U_r g_{rr} + U_r U_{rk} a_{rk} + U_r \sum_{k=1}^n U_{rk} \beta_{rk}, \\ Q_r &= U_r b_{rr} + U_r U_{rk} \beta_{rk} + U_r \sum_{k=1}^n U_{rk} \beta_{rk}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$a_{rj} = g_{rj} \cos(\Psi_r - \Psi_j) - b_{rj} \sin(\Psi_r - \Psi_j),$$

$$\beta_{rj} = g_{rj} \sin(\Psi_r - \Psi_j) + b_{rj} \cos(\Psi_r - \Psi_j).$$

g_{rj}, b_{rj} — параметры схемы замещения относительно узлов r и j ; P, Q — активная и реактивная мощности генераторных, нагрузочных и сетевых узлов; U, Ψ — модули и аргументы тех же множеств узлов.

Уравнения (3) записываются для множества генераторных (эквивалентных станций), нагрузочных и сетевых узлов системы.

Решение уравнений (3) для исходного установившегося режима даст значения параметров режима, соответствующие моменту $t=0$ переходного динамического процесса.

Для определения Ψ_r в момент времени $t > 0$ решается система дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\Psi_r(t)}{dt} &= S_r(t), \\ \frac{dS_r(t)}{dt} &= \frac{P_{эл,r}(t) - P_{мех,r}(t)}{T_r}, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

где $P_{эл,r}(t)$ — электромагнитная мощность генератора, которая берется из решения уравнений установившегося режима для времени t ; $S_r(t)$ — скольжение генератора; $P_{мех,r}(t)$ — механическая мощность на валу генератора, в общем случае, зависящая от времени; T_r — постоянная инерции.

Совместное решение уравнений (4), осуществляемое на ЦВМ по методу Рунге-Куты [2], дает значение $\Psi_r(t)$. Расчет ведется для каждого интервала времени переходного процесса, т. е. для Δt . Новые

значения роторных углов генераторов используются для определения параметров установившегося режима по уравнениям (3), соответствующие данному интервалу времени. На каждом шаге расчета переходного процесса используется критерий (2) для оценки устойчивости каждого из генераторов системы.

Примеры расчета. Для одной эквивалентной схемы объединения Закавказской энергосистемы исследованы устойчивости двух режимов. По параметрам исходного установившегося режима решены уравнения (4). Шаг интегрирования принят равным 0,02 сек. Параметры схемы замещения и исследованных двух режимов приведены в статье [1]. В качестве возмущения принято отключение и повторное включение линии, связывающей узлы 21 и 41 эквивалентной схемы системы. По уравнениям (3) и (4) получены результаты расчета переходного динамического процесса системы. Согласно критерию (1) один из исследованных режимов оказался устойчивым, а другой—неустойчивым. Такие же результаты были получены по критерию (2). В частности, согласно критерию (2) величины ε для устойчивого режима оказались в пределах $0 \div 0,23$, а для неустойчивого режима— $0 \div 0,6$, т. е. намного больше величины ε , соответствующих устойчивому режиму. Ниже в табличной форме (табл. 1 и 2) приводятся значения ε .

Таблица 1

Узлы	$\varepsilon(t)$		
	min	max	$\varepsilon(0,7)$
1	0	0,029	0,008
2	0,0019	0,046	0,017
3	0,0062	0,12	0,025
4	0,0026	0,098	0,024
5	0,007	0,18	0,083
6	0,0023	0,12	0,049
7	0,02	0,23	0,149
8	0,002	0,05	0,034
9	0,0002	0,004	0,003
10	0,001	0,016	0,012

Устойчивый режим.

Таблица 2

Узлы	$\varepsilon(t)$		
	min	max	$\varepsilon(0,7)$
1	0	0,03	0,029
2	0,005	0,06	0,063
3	0,01	0,12	0,12
4	0,01	0,3	0,2
5	0,02	0,22	0,08
6	0,01	0,32	0,07
7	0,05	0,6	0,4
8	0,008	0,19	0,147
9	0,001	0,01	0,006
10	0,003	0,05	0,011

Неустойчивый режим.

Из этих данных следует возможность выбора значения $\varepsilon=0,3$ в качестве критерия для оценки динамической устойчивости режима системы. При заданном $\varepsilon=0,3$ по критерию (2), после 0,7 сек. обнаруживается устойчивость первого и неустойчивость второго режимов. Время $t=0,7$ сек. находим из выражения $t = t_{к.з.} + 2\Delta t$, где $t_{к.з.}$ — время устранения возмущения; Δt —принятый шаг—интервал времени в расчете устойчивости (для данного примера $\Delta t=0,1$ сек.).

Вопрос эффективности использования критерия (2) в других примерах расчета устойчивости подлежит дальнейшему исследованию.

В ы в о д ы

1. Рекомендуется вместо существующего критерия (1) выявления динамической устойчивости электроэнергетической системы пользоваться критерием (2), основанным на принципе выявления устойчивости каждой станции системы.

2. Приведенный пример машинного эксперимента по расчету динамической устойчивости показал эффективность предлагаемого критерия (2) по сравнению с существующим критерием (1).

3. Критерий (2) позволяет приблизить методику расчета динамической устойчивости к ее физической сущности и значительно сократить общий объем вычислительных работ.

Ари НИИЭ

Поступило 15.III.1978

Հ. Տ. ԱԴՈՑ, Գ. Ե. ՄԻՐԶՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԴԻՆԱՄԻԿ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՆՈՐ ԶԱՓԱՆԻՇ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Էլեկտրաէներգահամակարգերի դինամիկ կայունության կամ անկայունության որոշման համար առաջարկվում է օգտվել նոր չափանիշով՝

$$|\sin \{ \Psi_r(t) - \Psi_k(t) \} - \sin \{ \Psi_r(t - \Delta t) - \Psi_k(t - \Delta t) \}| \leq \varepsilon$$

Չափանիշի ֆիզիկական իմաստը կայանում է նրանում, որ համակարգերի դինամիկ կայունության մասին առաջարկվում է դատել յուրաքանչյուր կայանի կամ գեներատորի կայունությամբ. հաշվի առնելով գեներատորի էլ. շ. ու. -ի և գեներատորին մոտ հանգույցի լարման ֆազերի տարբերության սինուսը:

Այդ չափանիշը թույլ է տալիս զգալիորեն կրճատել հաշվողական աշխատանքի ծավալն ու ժամանակը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоц Г. Т., Гамбурян К. А., Мурадян С. Г. Об одной тестовой задаче расчета установившегося режима энергосистемы. «Электрические станции», 12, 1977.
2. Демидович Б. П., Марон Н. А. Основы вычислительной математики. Изд. «Наука», М., 1970.

ЭНЕРГЕТИКА

В. С. ХАЧАТРЯН, А. В. ТЕМУРДЖЯН, М. А. БАЛАБЕКЯН,
Ю. А. ҚАЗАРЯН, Х. Г. ДЕМІРЧЯН, Д. А. БАЛАСАНЯН

К ПОСТРОЕНИЮ ОДНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ИЗ ОБЛАСТИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

Практика эксплуатации районных газоснабжающих систем (РГС) показывает, что систематические отказы, происходящие в них, существенно уменьшают поток газа в ГС, что приводит к значительному ущербу у потребителей и транспортных организаций.

При недостаточности средств резервирования в газоснабжающей системе возникает необходимость в создании резервов вторых топливных хозяйств у потребителей с целью компенсации ожидаемого недоотпуска газа [1].

Расчетная годовая потребность в топливе «В» должна обеспечиваться расчетной годовой производительностью системы газоснабжения «Q». Однако, как уже было сказано, из-за ненадежного газоснабжения в системе появляется дефицит газа.

Годовой дефицит газа по аварийным нагрузочным и ремонтным условиям $\Delta Q \cdot h$ (ΔQ —среднесуточный объем дефицита газа, т. $\text{м}^3/\text{сут.}$, h —число дней недоотпуска газа в системе) должен компенсироваться годовым резервом второго топлива ΔB у потребителей газа. Годовой дефицит $\Delta Q \cdot h$ определяется по заданному уровню надежности газоснабжения H .

Исходя из обеспечения топливоснабжения потребителей в течение рассматриваемого периода при заданной надежности газоснабжения H , требуется определить оптимальные объемы второго топлива у потребителей с одновременной оптимизацией потребления газа и второго топлива в аварийных ситуациях.

Для математического описания задачи введем обозначения:

i — номер потребления топлива ($i = \overline{1, n}$);

$\bar{N}_j, (\underline{N}_j)$ — максимальная (минимальная) величина газового потока (количество транспортируемого газа в сутки по j -ой нитке);

Y_{ij} — искомое число суток недоотпуска газа i -му потреблению j -ой нити в году (продолжительность работы на резервном топливе);

$T - Y_{ij}$ — искомое число суток полной подачи газа i -му потреблению в году;

C_{ij} — стоимость газообразного топлива, руб./тыс. м^3 ;

Z_{ij}^* — удельные приведенные затраты на резервное топливо, тыс. руб./т. у. т.;

Z_{ij} — годовые приведенные затраты на газопровод до i -го потребления j -ой нити (если топливо не газ, то $Z_{ij} = 0$);

$Z(\Delta Q)$ — замыкающие затраты на резервное топливо, тыс. руб.;

x_{ij} — искомый среднесуточный расход газа в нормальном состоянии (отбор газа у i -го потребления j -ой нити);

X_{ij} — искомый суточный расход газа, подаваемый j -му потребителю при недоотпуске;

X_{2ij} — искомый суточный расход замещающего топлива i -го потребителя j -ой нити при недоотпуске (если потребитель использует только газ, то $X_{2ij} = 0$);

T — число суток в году;

X — суммарный расход замещающего топлива рассматриваемого района, тыс. м³/год.

При принятых исходных предпосылках рассматриваемая задача оптимизации объектов ВТХ с последующим определением потребления топлива в аварийном режиме сводится к разработке математической модели, позволяющей отыскать такой вектор показателей $X \{X_{ij}, X_{1ij}, X_{2ij}, Y_{ij}, X\}$, который дает решение в допустимой области изменения параметров и соответствует экстремуму целевой функции.

Математическая модель поставленной задачи представляется в следующем виде.

Необходимо найти минимум целевой функции

$$Z(X) = \sum_{ij} Z_{ij} + \sum_{ij} C_{ij}^* (T - Y_{ij}) X_{ij} + \sum_{ij} C_{ij} Y_{ij} X_{1ij} + \\ + \sum_{ij} Z_{ij}^* X_{2ij} Y_{ij} + Z(\Delta Q) X, \quad (1)$$

при соблюдении следующих условий:

$$\sum_{ij} X_{ij} (T - Y_{ij}) + \sum_{ij} X_{1ij} \cdot Y_{ij} + \sum_{ij} X_{2ij} \cdot Y_{ij} \geq B, \quad (2)$$

$$\sum_{ij} X_{ij} (T - Y_{ij}) + \sum_{ij} X_{1ij} Y_{ij} \leq Q, \quad (3)$$

$$\underline{N}_{ij} \leq X_{ij} \leq \bar{N}_{ij}, \quad \text{где } i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m},$$

$$\underline{N}_{1ij} \leq X_{ij} + X_{2ij} \leq \bar{N}_{1ij}, \quad (4)$$

$$\underline{V} \leq \sum_{ij} X_{2ij} \cdot Y_{ij} \leq \bar{V}, \quad (5)$$

где

$$\underline{V} = Q \{H\} \cdot h,$$

$$\sum_{ij} X_{2ij} \cdot Y_{ij} - X \leq 0, \quad (6)$$

$$X_{ij}, X_{1ij}, X_{2ij}, Y_{ij} \geq 0.$$

Условие (2) обеспечивает покрытие потребности в топливе, (3) — характеризует ограниченность объема подаваемого газа, (4) — возможные пределы изменения потребления различного топлива (газ, мазут), (5) — возможность определения объема резервного топлива, (6) — обеспечивает неотрицательность переменных.

В результате решения задачи (1—6) определяются оптимальное потребление резервного топлива газифицированными объектами, число суток недоотпуска газа по потребителям, объемы недоотпуска газа в аварийном режиме, а также структура емкости ВТХ.

Высокая точность описания режимов топливопотребления приводит к серьезному усложнению модели и увеличению ее размерности. Появляется нелинейность в виде парных показателей. Так, при заданной надежности расчет оптимальной системы магистральных газопроводов с ВТХ можно считать нелинейным аналогом классической транспортной задачи. Для ее решения можно пользоваться как классическими методами, так и методами нелинейного программирования [2].

В практике все применяемые методы [3] в зависимости от конкретных условий задачи имеют свои определенные преимущества и недостатки.

В связи с этим становится необходимым поиск универсального и гибкого математического аппарата для решения поставленной задачи оптимального размещения вторых топливных хозяйств в ее линейной и нелинейной постановках. Многократные исследования показали, что настоящее время в качестве такого математического аппарата можно применять метод скользящего допуща (флексимплекс) [4], основанный на методе деформируемого многогранника Нельдера и Мида.

При этом математическая задача (1—6) сводится к следующему: минимизировать $Z(X)$, $X \in E^n$ (n -мерное Евклидово пространство) при ограничениях $h_i(X) = 0 \quad i = \overline{1, m}$, $g_i(X) \geq 0 \quad i = \overline{m+1, p}$.

Согласно методу скользящего допуща, это сводится к более простой задаче минимизации $Z(X)$ при единственном ограничении, определяющем область квазидопустимости в виде:

$$\Phi^{(j)} - T(X) \geq 0, \quad (7)$$

где $\Phi^{(j)}$ — значение критерия скользящего допуща на j -ом этапе поиска, который выбирается как положительно определенная убывающая функция координат, точек, являющихся вершинами деформируемого многогранника, и определяется формой

$$\Phi^{(j)} = \min \left\{ \Phi^{(j-1)}, \frac{m+1}{r+1} \sum_{i=1}^{r+1} \|X_i^{(j)} - X_{r+2}^{(j)}\|, \Phi^{(j)} = 2(m+1)l \right\}, \quad (8)$$

$$T(X) = + \left| \sum_{i=1}^m h_i(X) + \sum_{i=m+1}^p U_i g_i(X) \right|^{1/2}. \quad (9)$$

Здесь $T(X)$ — положительно определяемый функционал над множеством всех функций ограничения (2—6) поставленной задачи.

В процессе оптимального поиска значение $\Phi^{(j)}$ уменьшается, что приводит к сужению области квазидопустимости (7). В пределе, значительное число вершин $X^{(j)}$ содержится внутри гипосферы радиуса ε и если $\Phi^{(j)} < \varepsilon$, то $\varepsilon - T(X^{(j)}) > 0$ и, следовательно, $T(X^{(j)}) > \varepsilon$. При этом гарантируется сходимость и процедура оптимизации прекращается.

На основании предложенного метода разработана программа на алгоритмическом языке «Фортран-4».

Для решения конкретной задачи становится необходимым построение исходного варианта, при котором заданной является следующая информация:

- потребность в топливе;
- существующая структура и имеющееся второе топливное хозяйство у каждого потребителя;
- минимальная и максимальная величины газового потока, нормальные показатели по приведенным затратам.

Для численной реализации предложенного метода рассматривается одна подсистема ГС Армении.

В табл. 1 приведены обозначения искоемых параметров топливopотребления рассматриваемой подсистемы.

Таблица 1

Потребители	Суточный расход газа	Суточный расход при недоотпуске	Суточный расход мазута	Число дней недоотпуска газа в году
Завод	X_1	X_2	X_3	y_1
Комбинат	X_4	X_5	X_6	y_2
Прочие	X_7	X_8	X_9	y_3

Подставляя исходную информацию в общую математическую модель (1—6), получаем следующую нелинейную задачу:

$$Z(X) = 204,984 + 0,024(365 - y_1)X_1 + 0,024X_2y_1 + \\ + 0,024(365 - y_2)X_4 + 0,024y_2X_5 + 0,024(365 - y_3)X_7 + 0,024y_3X_8 + \\ + 0,029y_1X_3 + 0,011y_2X_6 + 0,018y_3X_9 + 0,019X_1, \quad (10)$$

$$(365 - y_1)X_1 + (365 - y_2)X_4 + (365 - y_3)X_7 + X_2y_1 + X_3y_2 + \\ + X_6y_3 + X_5y_1 + X_8y_2 + X_9y_3 \geq 79451, \quad (11)$$

$$(365 - y_1)X_1 + (365 - y_2)X_4 + (365 - y_3)X_7 + \\ + X_2y_1 + X_3y_2 + X_6y_3 \leq 65236, \\ (365 - y_1)X_1 + X_2y_1 \leq 1985. \quad (12)$$

$$(365 - y_2) X_4 + X_5 y_2 \leq 21737,$$

$$(365 - y_3) X_5 + X_6 y_3 \leq 41514,$$

$$5 \leq X_1 \leq 20,$$

$$5 \leq X_2 + X_3 \leq 20,$$

$$60 \leq X_4 \leq 75,$$

$$60 \leq X_5 + X_6 \leq 75,$$

(13)

$$88 \leq X_7 \leq 150,$$

$$88 \leq X_8 + X_9 \leq 150,$$

$$X_6 y_1 \geq 595,$$

$$0 \leq y_1 \leq 190,$$

$$X_6 y_2 \geq 4165,$$

$$0 \leq y_2 \leq 160,$$

(14)

$$X_6 y_3 \geq 2320,$$

$$0 \leq y_3 \leq 190,$$

$$X_3 y_1 + X_6 y_2 + X_9 y_3 - X \leq 0,$$

(15)

Приняты следующие первоначальные значения:

$$X_1 = 9,5; \quad X_2 = 1,0; \quad X_3 = 8,5; \quad X_4 = 74,0; \quad X_5 = 8,0; \quad X_6 = 65,0;$$

$$X_7 = 140; \quad X_8 = 10; \quad X_9 = 130; \quad y_1 = 180; \quad y_2 = 120; \quad y_3 = 180.$$

Минимальное значение целевой функции составляет 1880 т. р.

Результаты реализации математической модели оптимизации на ЭВМ ЕС-1020 одной рассматриваемой подсистемы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Потребитель	Суточный расход топлива, m^3 /сут			Число суток полного отпуска газа на 2	Существующая структура емкости ВТХ	Фактический расход мазута, m	Предлагаемая структура емкости ВТХ	Полученные оптимальные расходы мазута, m
	газ в нормальном состоянии	газ при полном отпуске	резервное топливо (мазут) и пер. на газ					
Завод	8,1	0,89	7,21	182	2×250	719	1×500	1102
Комбинат	72,27	8,7	65,6	120	2×1000 2 (2×400)	6351	1×1000	6615
Прочие	138,3	9,2	125,6	179	1×500 7×(2×100) 2×250	4875	3×(1×250) 1×500	18892

Полученные результаты свидетельствуют о правильном выборе методики.

Выводы

1. Оптимальное топливопотребление при заданном уровне надежности необходимо рассмотреть как задачу типа нелинейного программирования.

2. Количественное и качественное исследование на ряде конкретных примеров показали универсальность и перспективность применяе-

мого метода «флексимплекс» к решению множества задач из области больших систем энергетики.

3. При увеличении размерности задачи необходимо пользоваться идеей декомпозиции.

Арм НИИЭ

Поступило 5.X.1977

Վ. Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ա. Վ. ԹԵՄԻՐՉՅԱՆ, Ի. Ա. ԲԱԼԱՅԿՅԱՆ,
ՅՈՒ. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Խ. Դ. ԴԵՄԻՐՃՅԱՆ, Զ. Ա. ԲԱԼԱՍԱՆՅԱՆ

ՄԵՆ ԷՆԵՐԳԱԶԱՄԱՆԱԿԱՐԳԻՐԻ ԲՆԱԳԱՎԱՌԻ ՄԵԿ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ԿԱՌՈՒՅՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա. Վ Փ Ր Ո Փ Ո Ւ Վ

Հոդվածում բերված է դադամատակարարող համակարգերի պահեստային վառելիքատնտեսության օպտիմալ ծավալների որոշման մաթեմատիկական մոդելը, ելնելով համակարգին տրված հուսալիության մեծությունից, րստ բերված ծախսերի նվազագույն չափանիշի:

Որպես մաթեմատիկական ապարատ քննարկված է ֆլեքսիմպլեքս մեթոդը: Մշակված է համապատասխան ալգորիթմ, «Ֆորտրան-4» լեզվով կադմված է քնդհանուր ծրագիր և լուծված կոնկրետ թվային օրինակ մի ենթահամակարգի համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Костина В. М., Рынс Г. С. Методические вопросы оценки резервных топливных хозяйств газифицированных потребителей и их место в системе обеспечения надежности топливоснабжения. «Экономика ограничения и управление в газовой промышленности», 11, М., 1970.
2. Хачатрян В. С. Метод расчета оптимального режима энергосистем с тепловыми станциями при учете режимных ограничений. «Электричество», 2, 1971.
3. Темураджян А. В. Оптимизация структуры ЭЭС в динамике ее развития. «Экономические вопросы управления энергосистемой» (тез. докл.), Ленинград—Ереван, 1974.
4. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. Изд. «Мир», М., 1975.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С. Р. КАРАПЕГЯН

ГАРМОНИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОГО БЛОКА
«ЛЮФТ С УПРУГОСТЬЮ И СУХОЕ ТРЕНИЕ»

Известно, что нелинейные характеристики механической передачи (МП) (люфт и сухое трение) могут существенно влиять на динамику следящих систем (СС) [1, 2]. Учет влияния этих факторов особенно необходим при высоких требованиях по точности и качеству слежения. Ввиду высокого порядка дифференциальных уравнений, описывающих динамику СС, гармоническая линеаризация является практически единственным аналитическим методом, пригодным для решения указанной задачи. При этом, в силу особенностей структуры МП, возникает необходимость в гармонической линеаризации нелинейного блока (НБ) «люфт с упругостью и сухое трение», чему и посвящена данная работа.

Структурное описание люфта совместно с упругостью однозначной нелинейной характеристикой

$$M_n = \begin{cases} 0, & \text{при } |\Delta\varphi_n| \leq b \\ C(|\Delta\varphi_n| - b) \operatorname{sign} \Delta\varphi_n, & \text{при } |\Delta\varphi_n| > b \end{cases} \quad (1)$$

где M_n — момент, возникающий в МП при его скручивании; C — коэффициент жесткости МП; b — половина зоны люфта МП; $\Delta\varphi_n = \varphi_{n1} - \varphi_{n2}$ — разность углов поворота ведущего и ведомого элементов МП; а также идеализированная характеристика момента сухого трения $M_1 = M_{T0} \operatorname{sign} \dot{\varphi}_{n2}$ являются наиболее простыми и удобными для инженерных расчетов [1]. При этом структура МП имеет вид, представленный на рис. 1, где J_n — момент инерции нагрузки.

Так как зависимость между величинами $\Delta\varphi_n$ и $\dot{\varphi}_{n2}$ нелинейная, исследование периодических процессов в СС с помощью коэффициентов гармонической линеаризации типовых нелинейностей $M_n(\Delta\varphi_n)$ и $M_1(\dot{\varphi}_{n2})$ представляет значительные трудности. Вместе с тем, подобное исследование можно существенно упростить, оперируя коэффициентами гармонической линеаризации НБ при условии, что линейная часть системы обладает хорошими фильтрующими свойствами.

Согласно известной методике [3], определив, в предположении $\Delta\varphi_n = A \sin \psi$ (где $\psi = \omega t$), параметры выходного сигнала F и выделив его первую гармонику разложения в ряд Фурье, можно получить сле-

дующие аналитические выражения для коэффициентов гармонической линейризации НБ:

$$q(A) = q_r(A) - \frac{2M_{10}^2}{A^2 q_r(A)} \quad (2)$$

$$q'(A) = \frac{4M_{10}}{\pi A} \sqrt{1 - \frac{\pi^2 M_{10}^2}{4A^2 q_r^2(A)}} \quad (3)$$

где введено обозначение коэффициента гармонической линейризации типовой нелинейной функции $M_n(\Delta\varphi_n)$ [3]:

$$q_r(A) = C - \frac{2C}{A} \left[\arcsin \frac{b}{A} + \frac{b}{A} \sqrt{1 - \frac{b^2}{A^2}} \right] \quad \text{при } A > b. \quad (4)$$

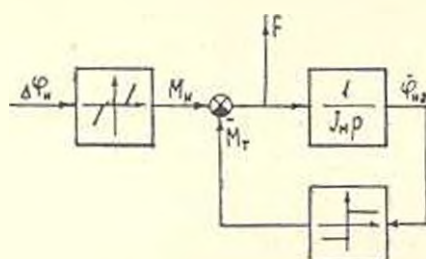


Рис. 1. Структурная схема МП.

Заметим, что выражения (2) и (3) получены в условиях замены промежуточного сигнала M_n его первой гармоникой разложения в ряд Фурье. Несмотря на первый порядок линейного звена НБ, подобная замена практически не влияет на точность конечных результатов, так как функция $M_n(\Delta\varphi_n)$ однозначна, а сигнал M_r не зависит от формы сигнала φ_{n2} в интервалах постоянства знака последнего.

Отмеченные в [2] границы применимости метода гармонической линейризации при учете трения в виде идеализированной характеристики в данном случае выражаются условием:

$$Aq_r(A) \geq 1.86M_{10}, \quad (5)$$

которое учитывает также наличие люфта с упругостью МП. Условие (5) позволяет провести дополнительную проверку конечных результатов исследования с помощью выражений (2)–(4), если для параметров периодического решения $\Delta\varphi_n$ получаются действительные значения.

Таким образом, в работе получены коэффициенты гармонической линейризации нелинейного блока «люфт с упругостью и сухое трение» (2), (3), позволяющие существенно упростить исследование периодических процессов в следящей системе. Предлагаемые рекомендации, в силу достаточно сильного ограничения (упрощенное представление

M_1 и M_2), целесообразно использовать на этапе эскизного проектирования, и в дальнейшем требуют уточнения методом математического или полунатурного моделирования полной структуры системы.

Поступило 7.11.1977

Ս. Ռ. ԿԱՐԱԴԵՏՅԱՆ

**«ԲԱՑԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏ ԵՎ ԶՈՐ ՇՓՈՒՄ»
ՈՉ-ԳԵԱՅԻՆ ԲԼՈԿԻ ՀԱՐՄՈՆԻԿ ԿԵՄԱՅՆԱՑՈՒՄԸ**

Ա Մ Կ Ե Մ Ո Ւ Մ

Դիտարկվում են հետևող համակարգերի միասնիկական փոխանցումների ոչ-գծային բնութագրերը:

Ստացված են «բացական առանձգականության հետ և չորր շփում» ոչ-գծային բլոկի հարմոնիկ գծայնացման գործակիցները, ինչպես նաև մի պայման, որը բնութագրում է այդ գործակիցների կիրառման սահմանները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Рабинович Л. В. и др. Проектирование следящих систем. Изд. «Машиностроение», М., 1969.
2. Рабинович Л. В. Границы применимости метода гармонической линеаризации при учете трения в виде $M_{тр} = M_{тр0} \operatorname{sign} \dot{\varphi}_2$. Сб. научн. тр. МАИ «Динамические свойства нелинейных следящих приводов», вып. № 275, 1973.
3. Попов Е. П., Пачтов И. П. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. Физматгиз, М., 1960.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Э. М. ДИЛАНЯН, В. С. ВАРПЕТАН, А. А. МОМДЖЯН, А. П. ТАРАСЯН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ «АККУМУЛЯТОРНАЯ
БАТАРЕЯ—ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ—
ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

В настоящее время эксплуатируются и вновь проектируются различные электротехнические установки с аккумуляторным питанием, как, например, средства автономного электротранспорта и т. д. Совершенствование таких систем развивается как в направлении внедрения новых видов электрооборудования с улучшенными характеристиками, так и оптимизации параметров системы и режимов работы электрооборудования. Преобладающее большинство таких систем реализовано с шунтовыми и сервесными электродвигателями постоянного тока, питающимися от свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (АБ) через импульсный преобразователь [1, 2].

Наличие АБ с переменными электрическими параметрами и изменяющимся энергоресурсом, мощность которой соизмерима мощности нагрузки, придает ряд особенностей выбору параметров оборудования, в частности, мощности электродвигателя, номинальной емкости АБ и передаточного числа механической передачи. Аналитический расчет таких систем связан с известными трудностями, обусловленными наличием рекуррентных соотношений в выражениях, связывающих входные и выходные величины свинцово-кислотных АБ [1, 3, 5]. Наряду с этим, функционирование таких систем происходит под влиянием нагрузки внешней среды, имеющей сложный и случайный характер [4].

В данной статье предлагается алгоритм расчета на ЦВМ автономной системы «свинцово-кислотные АБ—импульсный преобразователь—двигатель постоянного тока». При составлении модели приняты следующие допущения:

1. Пренебрегается влияние коммутационных процессов импульсного преобразователя на характеристики двигателя и АБ.
2. К. и д. импульсного преобразователя считается неизменным.

Для составления алгоритма расчета на ЦВМ модели редуктора и электродвигателя постоянного тока использованы следующие основные уравнения:

$$I_a = \frac{M_{a1}}{c\Phi} = \frac{1}{c\Phi j} \left(\frac{M_p}{\eta_p} + 0,975 \frac{P_{ст} + P_{мех}}{n_p} \right); \quad (1)$$

$$U_a = c\Phi n_p j + I_a R_a + \Delta U_{ш}; \quad (2)$$

$$P_{мех} = a_0 (n_p j)^2 + a_1 n_p j; \quad (3)$$

$$P_{ст} = a_2 (\Phi n_p j)^2 + a_3 \Phi^2 n_p j, \quad (4)$$

где I_a , U_a , Φ , R_a , M_{a1} , $\Delta U_{ш}$ — соответственно, ток, напряжение, магнитный поток, сопротивление якорной цепи, электромагнитный момент и падение напряжения на щетках электродвигателя; c — конструктивный коэффициент двигателя; M_p , n_p , j , η_p — входной крутящий момент, скорость вращения, передаточное число и к. п. д. редуктора; $P_{мех}$, $P_{ст}$ — механические потери и потери в стали двигателя; a_0 , a_1 , a_2 , a_3 — коэффициенты аппроксимации механических потерь и потерь в стали двигателя.

Задаваемое внешней средой значение крутящего момента M_p при формируемой скорости n_p поступает на вход редуктора. Производится расчет к. п. д. редуктора η_p и момента на валу двигателя. Когда момент на его валу оказывается больше допустимого максимального момента $M_{\max}$, следует команда на уменьшение ускорения, которая подается на вход блока внешней среды и расчет начинается заново, а если $M_a \leq M_{\max}$, по уравнениям (1)–(4) рассчитываются $P_{мех}$, $P_{ст}$, I_a , U_a , а также значение потребляемой электродвигателем мощности P_0 , которая при шунтовом двигателе со стабилизированным потоком рассчитывается по формуле:

$$P_0 = U_a I_a + R_a I_a^2,$$

где R_a , I_a — сопротивление и ток обмотки возбуждения двигателя.

При серийном электродвигателе для нахождения требуемого значения потока возбуждения организуется следующий поиск.

Задается произвольное значение потока возбуждения Φ_1 из области его допустимых значений и рассчитываются параметры $P_{мех}$, $P_{ст}$, I_a , U_a . Согласно величине I_a по характеристике намагничивания машины определяется соответствующее значение потока Φ_2 . Далее производится сравнение значений Φ_1 и Φ_2 . Если $\Phi_2 < \Phi_1$, то задаваемое значение Φ_1 уменьшается на величину шага $\Delta\Phi$, а если $\Phi_2 > \Phi_1$, то Φ_1 увеличивается на $\Delta\Phi$; одновременно рассчитывается новое значение шага $\Delta\Phi_{i+1} = \frac{\Delta\Phi_i}{2}$. При достижении равенства $\Phi_2 = \Phi_1$ или выполнении условия $\Delta\Phi \leq \varepsilon_\Phi$, где ε_Φ — величина погрешности поиска значения потока возбуждения, поиск прекращается, и найденное значение потока возбуждения подается на блок расчета тока двигателя I_a . Аналогично рассчитываются U_a и величина потребляемой мощности $P_0 = U_a I_a$.

электромобиля ЕрПИ [3, 5], аппроксимированы следующими уравнениями:

$$U_{ii} = 13 \cdot (0,6 \exp(-20Q_{ii}) - 0,465 + \\ + (0,768/(1,038 - Q_{ii}))) B_{ii} - 1,371Q_{ii} + U_{pi}; \quad (5)$$

$$U_{pi} = U_{pi(i-1)} - (0,21B_{ii} + 0,17(1 - \exp(-5,56B_{ii})) + \\ + U_{pi(i-1)})(1 - \exp(-(0,0015 + 0,015B_{ii})T_{ii})); \quad (6)$$

$$U_{pi} = U_{pi(i-1)} - (0,21B_{ii} + 0,17(1 - \exp(-5,56B_{ii})) + \\ + U_{pi(i-1)})(1 - \exp(-(0,003 + 0,03B_{ii})T_{ii})); \quad (7)$$

$$Q_{ii} = \frac{B_{ii} T_{ii}}{7200} + \frac{Q_{i-1}}{Q_n}, \quad (8)$$

где U_{ii} — напряжение АБ при i -том шаге разряда, В; Q_{ii} — номинальная емкость АБ, А·час; I_{ii} — значение тока разряда АБ, А; T_{ii} — время разряда АБ током I_{ii} , сек; $B_{ii} = \frac{I_{ii}}{Q_n}$ — относительное значение

тока разряда АБ; Q_{ii} — отданная до i -го шага разряда емкость АБ, А·час; Q_{i-1} — отданная до $(i-1)$ шага разряда емкость АБ в относительных единицах; U_{pi} — напряжение поляризации АБ при i -том шаге разряда АБ, В, которое рассчитывается по формуле (6); $U_{pi(i-1)}$ — среднее значение напряжения поляризации при $(i-1)$ шаге разряда АБ.

При переходе к $(i+1)$ -ому шагу разряда АБ, среднее значение напряжения поляризации U_{pi} за i -ый шаг рассчитывается по формуле (7).

Допустимое конечное напряжение АБ $U_{кон}$ в зависимости от силы разрядного тока I_1 для свинцово-кислотных АБ, описываемых уравнениями (6) — (8), аппроксимировано следующим выражением (для шестибатонных аккумуляторов):

$$U_{кон} = 9,85 - 0,3437B_1 + 1,05 \exp(-5,56B_1), \quad B. \quad (9)$$

На основании вышеприведенных уравнений составлен алгоритм расчета напряжения и тока АБ в зависимости от потребляемой импульсным преобразователем и двигателем мощности $P_0 = \frac{P_c}{\eta_0}$, где η_0 —

к. п. д. импульсного преобразователя. При поиске значений мощности P_0 , тока АБ I_1 и напряжения U учитывается параболическая форма характеристики $P_0 = f(I)$ источника ограниченной мощности [6], и минимальное значение тока определяется следующим образом.

Задается максимально возможное значение тока АБ, равное $I_{ii} = 15P_{0i}$, где P_{0i} — текущее значение потребляемой импульсным преобразователем и двигателем мощности. По формуле (8) рассчитывается отданная до $(i+1)$ шага емкость АБ Q_{ii} . Если $Q_{ii} > 1$, то задаваемое

значение тока I_{1i} уменьшается с шагом, равным $I_{1i} 2^{-n}$, где n — номер шага поиска по мощности АБ, и расчет начинается заново; если $Q_{1i} \leq 1$, по формуле (5) рассчитывается U_{1i} и при $U_{1i} > 0$ находится отдаваемая АБ мощность P_{1i} . При $U_{1i} \leq 0$ аналогично следует команда на уменьшение тока АБ I_{1i} . Затем проверяется выполнение условия $I_{1i} \leq I_{4i} = 0,25 Q_{1i}$, которое соответствует рабочему участку

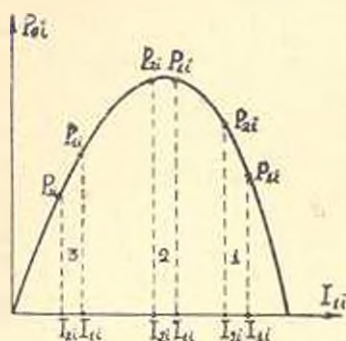


Рис. 2. Мощностная характеристика свинцовой АБ при данном зарядовом состоянии.

мощностной характеристики АБ. При выполнении этого условия производится переход к сравнению мощностей P_{2i} и P_{1i} . Если условие $I_{1i} \leq I_{4i} = 0,25 Q_{1i}$ не выполняется, то необходимо найти значение тока АБ, соответствующее значению максимально отдаваемой при данном зарядовом состоянии мощности АБ. Здесь необходимо оценить значение приращения мощности АБ при изменении его тока. задается значение $I_{2i} = 0,96 I_{1i}$ и по формулам (5)–(8) рассчитываются соответствующие значения Q_{2i} , U_{2i} , P_{2i} .

Далее происходит переход к сравнению мощностей P_{2i} и P_{1i} . Возможны следующие три случая (рис. 2):

1. $P_{2i} > P_{1i}$. Следует команда на уменьшение тока АБ, и расчет мощности АБ начинается заново с новым значением тока АБ I_{1i} .

2. $P_{2i} = P_{1i}$. В качестве тока, соответствующего максимально отдаваемой АБ мощности, принимается значение, равное $I_{4i} = 0,96 I_{1i}$; следует команда на уменьшение тока АБ, и расчет мощности АБ начинается заново с новыми значениями I_{1i} и I_{4i} .

3. $P_{2i} < P_{1i}$. задается $I_{3i} = 1,04 I_{1i}$; по формулам (5)–(8) рассчитываются значения Q_{3i} , U'_{3i} , P_{3i} и происходит переход к сравнению мощностей P_{3i} и P_{1i} . В этом случае возможны следующие два варианта;

3а. $P_{3i} \leq P_{1i}$. Принимаем $I_{4i} = I_{1i}$; следует команда на уменьшение тока АБ и расчет мощности АБ начинается заново с новыми значениями I_{1i} и I_{4i} .

3б. $P_{3i} > P_{1i}$. В качестве тока I_{4i} условно принимается значение, равное $I_{4i} = 1,04 I_{1i}$, и происходит переход к сравнению мощностей P_{1i} и P_{0i} . При $P_{0i} < P_{1i}$ следует команда на уменьшение тока I_{1i} , а при $P_{0i} > P_{1i}$ — на увеличение I_{1i} . Расчет требуемой мощности АБ продолжается до равенства мощностей $P_{0i} = P_{1i}$ или до выполнения условия $\Delta I \leq \varepsilon_1$, где ΔI — шаг изменения тока АБ; ε_1 — величина погрешности поиска тока АБ.

При выполнении одного из этих условий по формуле (9) рассчитывается конечно допустимое напряжение АБ U_{0i} . Затем проверяется выполнение условия $P_{1i} < P_{0i}$. Если оно выполнено, следует команда

окончания расчета, а если нет — проверяется выполнение условия $U_{\text{ш}} + \Delta U \leq U_{\text{н}}$, что связано с максимальным значением сквижности импульсного преобразователя, где ΔU — падение напряжения в питающей цепи двигателя.

При невыполнении этого условия следует команда на уменьшение ускорения двигателя; новое значение ускорения $Y_{\text{ш}}$ подается на блок внешней среды и расчет i -го шага начинается заново.

При выполнении этого условия происходит переход к проверке $U_{\text{ш}} < U_{\text{н}}$. Если это условие выполняется, то следует команда окончания расчета, в противном случае происходит переход к $(i+1)$ шагу расчета.

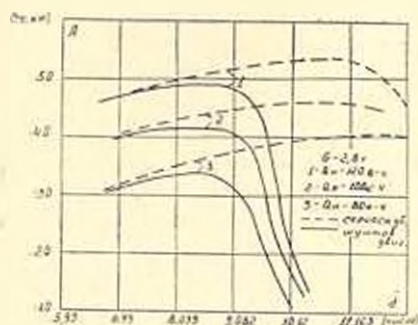


Рис. 3. Расчетная зависимость полезно-произведенной работы от передаточного числа трансмиссии ЭМ при различных номинальных емкостях АБ для двух видов двигателей постоянного тока.

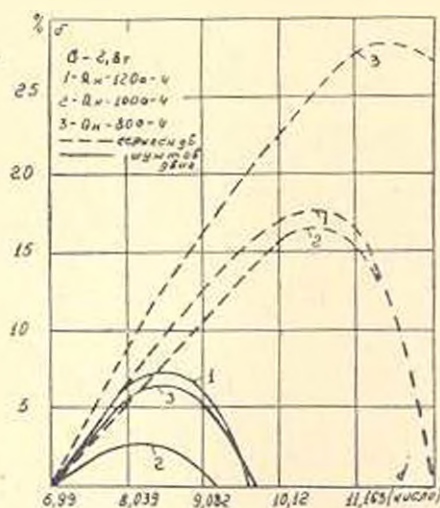


Рис. 4. Расчетная зависимость относительного увеличения дальности пробега от передаточного числа трансмиссии ЭМ при различных номинальных емкостях АБ для двух видов двигателей постоянного тока.

По данному алгоритму составлена программа на ФОРТРАН-IV на ЦВМ ЕС-1022 произведен расчет некоторых оптимальных параметров оборудования электромобиля. В качестве примера на рис. 3, 4 приведены зависимости полезно-произведенной работы и относительного увеличения дальности пробега от передаточного числа трансмиссии i для электромобиля модели ЭМ-ЕрПИ-1 полным весом 2,8 т, движущегося по следующему ездовому циклу: разгон электромобиля с максимальным допустимым ускорением до скорости 39 км/час; движение с установившейся скоростью и замедление до остановки при прохождении общего пути, равного 1 км; стоянка 30 сек. Далее цикла движения повторяется.

Полученные расчетные данные удовлетворительно согласуются с результатами дорожных испытаний электромобиля ЭМ-ЕрПИИ-1 с серийными тяговыми двигателями [7]. При расчете относительного увеличения дальности пробега электромобиля в качестве базисной величины был принят пробег при $j=6,999$.

Из полученных результатов следует наличие оптимумов по дальности пробега и полезно-произведенной работы по j и их чувствительность в зависимости от номинальной емкости АБ. Кроме того, следует указать на необходимость управления магнитным потоком двигателей при их шунтовом возбуждении.

ЕрПИИ им. К. Маркса

Поступило 12.III.1977

Է. Մ. ԴԻԼԱՆՅԱՆ, Վ. Ս. ՎԱՐՊԵՏՅԱՆ, Հ. Հ. ՄՈՄԻՋՅԱՆ, Ա. Պ. ՏԱՐԱՍՅԱՆ

«ԱՎՈՒՄՈՒՅԱՏՈՐԱՅԻՆ ՄԱՐՏԿՈՑ-ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ
ԿԻՐՊԱՓՈԽԻԶ-ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՇԱՐՔԻԶ»
ՀԱՄԱԿԱՐԿԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԸ

Ա Վ Փ Ո Ւ Ն Ա

Հոդվածում բերված են չարաբերակցություններ, որոնք նկարագրում են կապարային ախումուլյատորի, մեխանիկական փոխանցման, հաստատուն հոսանքի ղուղահեռ և հաջորդաբար պրոման շարժիչների բնութագրերը: Իկատնոմ համակարգի հետադադրման համար հաշվի են առնված կապարային մարտկոցների պինամիկական բնութագրերը՝ լարման կախվածությունը հոսանքից ու մամանակից և հոդորության բնութագրերը: Մշակված է ափսոսում համակարգի հաշվման ալգորիթմ, որի հիման վրա կազմված է ծրագիր EC—1022 հաշվիչ մեքենայի համար: Սրապրում հաշվի են առնված էլեկտրական շարժիչի հաստատուն և փոփոխական կորուստները, մեխանիկական փոխանցման կորուստները և կապարային մարտկոցի շահագործման սահմանափակումները: Սրագիրն օգտագործված է էլեկտրամոբիլի որոշ օպտիմալ պարամետրերի հաշվման համար: Հաշվարկի արդյունքները բավարար ճշտությամբ համընկնում են փորձնական տվյալների հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дасоян М. А., Азуп Н. А. Современная теория свинцового аккумулятора. Изд. «Энергия», Л., 1975.
2. Купрюхин А. П. Исследование автономных замкнутых систем регулирования, получающих питание от энергетических батарей. Автор. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Новосибирск, 1974.
3. Агабян Э. М., Агабян Ю. В., Варпетян В. С. К вопросу аналитического описания аккумуляторной батареи для электромобиля. Межвуз. сб. научн. тр. «Электротехника», сер. XIII, вып. 2. Изд. ЕрПИИ. Ереван, 1976.

4. Налчаджян Т. А., Перельман Н. А. Математическое моделирование внешней среды транспортных средств. «Известия АН АрмССР» (серия Т. Н.), т. XXVIII, № 5, 1975.
5. Варпетян В. С. Исследование состояния аккумулятора. Межуз. сб. научн. тр. «Электротехника», сер. XIII, вып. 2. Изд. ЕрПИ, Ереван, 1976.
6. Агабабян Э. М., Агабабян Ю. В., Варпетян В. С. Влияние зарядового состояния аккумуляторной батареи на динамические характеристики автомобиля. Межуз. сб. науч. тр. «Электротехника», сер. XIII, вып. 3. Изд. ЕрПИ, Ереван, 1976.
7. Материалы научно-технического совещания по проблеме электроавтомобилостроения. «Айастан», Ереван, 1974.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Б. М. МАМИКОНЯН, Л. С. ТОНОЯН

РАСЧЕТ МАГНИТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОГО
ШАРОВОГО ЭКРАНА

В электромагнитной технике широко применяется ферромагнитный шаровой экран в качестве как экранирующего от внешних магнитных полей элемента, так и самостоятельного узла различных устройств. Однако отсутствуют теоретические работы по исследованию его магнитопроводящих характеристик. В настоящей статье определяется комплексное магнитное сопротивление ферромагнитного шарового экрана, которое он оказывает переменному (синусоидальному) магнитному потоку.

Исходными данными для расчета являются: внешний R и внутренний r радиусы, а также материал экрана, т. е. его удельное комплексное магнитное сопротивление

$$\dot{\rho}_Z = \rho_R + j\rho_X,$$

где ρ_R , ρ_X — активная и реактивная его составляющие.

Если между точками a и b (рис. 1) приложено магнитное напряжение $\dot{E}$, под действием которого через экран проходит поток Φ , то комплексное магнитное сопротивление Z шарового экрана, равное

$$Z = \frac{\dot{E}}{\Phi},$$

зависит от параметров самого экрана и величины индукции в экране, т. к. от последней нелинейно зависит величина $\dot{B}_2$ [1].

Для определения Z выделим из шарового экрана элемент, заключенный между двумя конусами, вершины которых расположены в центре шара, оси совмещены с осью $a-b$, а углы при вершине осевых сечений равны, соответственно, $2(\alpha + d\alpha)$ и 2α . Осевое сечение данного элемента показано на рис. 2 жирными линиями. Его магнитное сопротивление в направлении силовых линий поля равно

$$dZ = \dot{B}_2 \frac{dl}{S_2} \quad (1)$$

Поскольку толщина стенки экрана намного меньше его радиусов, можно допустить, что эквивалентный поток протекает через среднюю сферу и поэтому длина dl дуги элемента равна

$$dl = \frac{R+r}{2} d\alpha.$$

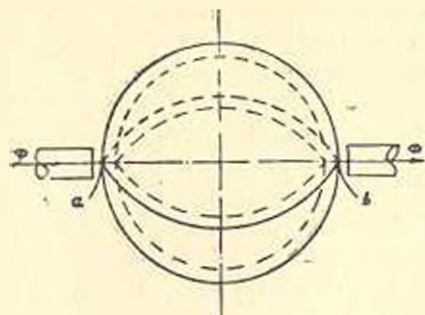


Рис. 1. Шаровой экран с потокоподводящим стержнем.

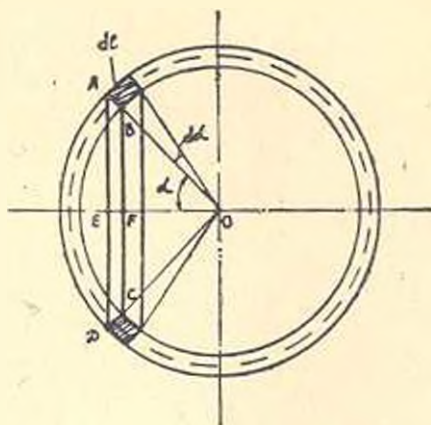


Рис. 2. Элемент шарового экрана.

Поперечное сечение элемента S_α , зависящее от α , представляет собой боковую поверхность усеченного конуса $ABCD$, в каждой точке которой поток перпендикулярен к этой поверхности:

$$S_\alpha = \pi \cdot AB (AE + BF).$$

Учитывая, что $AB = R - r$, $AE = R \sin \alpha$, $BF = r \sin \alpha$, получим:

$$S_\alpha = \pi (R^2 - r^2) \sin \alpha.$$

Подставляя значения dl и S_α в выражение (1), получим магнитное сопротивление элемента экрана:

$$dZ = \frac{\mu_0}{2(R-r)} \cdot \frac{d\alpha}{\sin \alpha} \quad (2)$$

Для определения общего сопротивления Z экрана необходимо интегрировать выражение (2) в пределах $0 \leq \alpha \leq \pi$. Однако, этот интеграл будет равен бесконечности, т. к. в точках a и b (т. е. для значений $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi$) $S_\alpha = 0$. Физически это означает, что в группе последовательно включенных сопротивлений имеется такое, величина которого равна бесконечности, и тогда, независимо от значений остальных сопротивлений, эквивалентное сопротивление группы будет равно бесконечности. В действительности этого нет, т. к. поток Φ входит в экран не через точку a , а через определенную поверхность экрана вокруг этой точки. В каждом конкретном случае площадь указанной по-

верхности зависит как от конструкции и размеров потокоподводящего стержня, так и от величины воздушного зазора между стержнем и экраном, т. е. от последней зависит величина потока рассеяния. Кроме того, необходимо учесть, что в конечной части потокоподводящего стержня силовые линии магнитного поля смещаются от оси стержня к его периметру (рис. 3), стремясь выбрать путь наименьшего сопротивления.

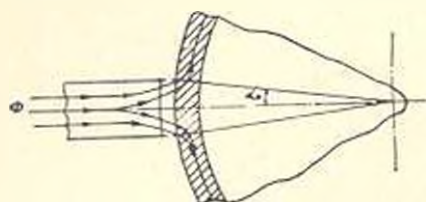


Рис. 3. Приближенная картина магнитного поля у входа в экран.

Указанные обстоятельства позволяют допустить, что поток Φ входит в экран по периметру стержня (при небольших величинах зазора), поэтому начальное значение α_0 угла α будет

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{d}{2R}.$$

где d — диаметр стержня.

Поскольку поток через экран общий, а на его пути сечение S_{α} минимальное, то в этом сечении индукция максимальна и равна

$$B_{\max} = \frac{\Phi}{\pi(R^2 - r^2) \sin \alpha_0} = \frac{2R\Phi}{\pi d(R^2 - r^2)} \quad (3)$$

Если параметры экрана выбраны такими, что значение $B_{\max}$, рассчитанное по (3), не выходит за верхний предел линейного участка кривой намагничивания материала экрана, то значения ρ_R и ρ_X можно считать постоянным для всех участков экрана [2]. Учитывая также, что конструкция экрана симметрична, получим его магнитное сопротивление:

$$Z = \frac{2\rho_Z}{2\pi(R-r)} \int_{\alpha_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\alpha}{\sin \alpha} = \frac{\rho_Z}{\pi(R-r)} \ln \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}}.$$

Выражая $\operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2}$ через $\sin \alpha_0$ и $\cos \alpha_0$ и учитывая, что обычно $4R^2 \gg d^2$, окончательно получим:

$$Z = \frac{\rho_Z}{\pi(R-r)} \ln \frac{4R}{d}. \quad (4)$$

Формулу (4) можно использовать при расчете и конструировании магнитного шарового экрана. Рассмотрим пример ее применения. Пусть требуется конструировать шаровой экран со следующими данными: $R=0,04$ м; $d=0,008$ м; $Z \leq 4 \cdot 10^6$ 1/гн. Необходимо определить толщину стенки экрана.

В качестве материала для экрана выбираем сталь 35. Из зависимостей удельных магнитных сопротивлений от величины индукции для стали 35 [3] находим значение ρ_R и ρ_X на линейном участке кривой намагничивания: $\rho_R = 22 \cdot 10^2 \text{ м/гн}$ и $\rho_X = 32 \cdot 10^2 \text{ м/гн}$.

Согласно (4), модуль сопротивления экрана

$$Z = \frac{1}{\pi(R-r)} \ln \frac{4R}{d} \cdot \sqrt{\rho_R^2 + \rho_X^2},$$

откуда находим толщину стенки:

$$R-r = \frac{10^{-1} \sqrt{22^2 + 32^2}}{3,14 \cdot 4 \cdot 10^6} \cdot \ln \frac{4 \cdot 0,04}{0,008} = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Толщину стенки выбираем равной 0,001 м.

Найдем допустимую величину потока Φ , при которой индукция в наиболее малом сечении экрана еще не выходит за пределы линейной области. Для стали 35 это значение индукции (амплитудное значение) равно $B_{\max} = 0,5 \text{ тл}$ [3].

Допустимое амплитудное значение потока определяем из формулы (3):

$$\Phi_{\max} = \frac{\pi d (R^2 - r^2)}{2R} \cdot B_{\max} = 1,24 \cdot 10^{-5} \text{ В.}$$

Проведенные авторами экспериментальные исследования магнитных шаровых экранов подтвердили хорошее соответствие полученных формул практике.

Ленинградский фил. ЕрИИ им. К. Маркса

Поступило 20.IX.1977

Բ. Մ. ՄԱՐԿԱՆՈՎ, Լ. Ս. ՏՈՒՆՅԱՆ

ՖԵՐՐՈՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԳՆԴԱԶԵՎ ԷԿՐԱՆԻ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ
ԳԻՄԱԿՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Առաջարկված է ֆերրոմագնիսական ղեղաձև էկրանի կոմպլեքս մագնիսական դիմադրության հաշվարկի մեթոդը այն դեպքի համար, երբ որպես հոսքամատուցող հարմարանք օգտագործվում է կլոր կտրվածքով և հայտնի տրամագծով ձողը: Առաջված բանաձևերը կարելի է օգտագործել ղեղաձև էկրաններ նախագծելիս: Բերված է էկրանի պատի հաստության հաշվարկի օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Буль Б. К. Основы теории и расчета магнитных цепей. Изд. «Энергия», М., 1964, с. 54—55.
2. Куликовский Л. Ф., Заринов М. Ф. Индуктивные преобразователи перемещения с распределенными параметрами. Изд. «Энергия», М., 1966, с. 12.
3. Рашкович М. П. и др. Индуктивные преобразователи для автоматизации металло-режущих станков. Изд. «Машиностроение», М., 1969, с. 91.

ГИДРАВЛИКА

В. О. ТОКМАДЖЯН

О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ КАНАЛОВ
С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ДНОМ

Дифференциальное уравнение неравномерного медленно изменяющегося движения жидкости в открытых руслах, имеющее вид

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_0 - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} \left(1 - \frac{\alpha C^2 R}{g\omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} \right)}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} \frac{\partial \omega}{\partial h}} \quad (1)$$

(обозначения общепринятые), относится к следующим условиям:

а) уклон канала очень мал, что дает право принять $\sin \varphi = \lg \varphi = i_0$, $\cos \varphi = 1$;

б) угол наклона дна по пути не меняется;

в) глубину потока можно принять по вертикали;

г) давление меняется по гидростатическому закону.

При расчете каналов с криволинейным дном эти условия неприемлемы и необходимо вывести дифференциальное уравнение неравномерного движения жидкости в открытых руслах без указанных допущений.

Полный напор в произвольном сечении (рис. 1) будет:

$$H = z + h \cos \varphi + \frac{v^2}{2g} \pm \frac{1}{\omega v} \int_{\omega} \frac{u^2 h'}{g R'} u d\omega, \quad (2)$$

где z —вертикальное расстояние от дна канала до плоскости отсчета; h —глубина сечения потока в нормальном к движению направлении; h' —то же для произвольной точки живого сечения; φ —угол наклона дна; α —коэффициент кинетической энергии; u —скорость произвольной точки; v —средняя скорость сечения; ω —площадь живого сечения; R' —радиус кривизны для произвольной точки сечения.

В формуле (2) последний член представляет отклонение давления от гидростатического, осредненное по всему сечению. Здесь и далее верхний знак соответствует вогнутым, а нижний—выпуклым профилям.

Для точного определения последнего члена (2) необходимо иметь форму сечения, закон распределения скоростей по сечению и радиус кривизны дна. Однако, исходя из соображения, что обычно роль этого члена небольшая и в практических расчетах можно допустить некото-

рое приближенное определение его величины, что незначительно скажется на результатах расчетов, то заменив R' через радиус кривизны дна R_0 [1], можно допустить равенство:

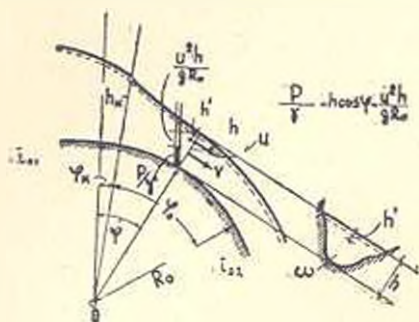


Рис. 1. Расчетная схема

$$\frac{1}{\omega^2} \int_{\omega} \frac{u^2 h'}{R_0} u d\omega = \pm k \frac{h}{R_0} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (3)$$

где k — коэффициент коррекции, точное значение которого зависит от вышеуказанных факторов (при прямоугольной форме сечения и равномерном распределении скоростей легко получить $\pm k = 1,0$, а при треугольной эпюре скоростей — $\pm k = 0,8$).

Нам кажется, что не имея более подробных исследований, для практических расчетов можно принять $k = 1,0$. К такому выводу можно прийти и тогда, если h' заменить средним значением $h/2$ и принять его за постоянную в процессе интегрирования.

Таким образом, полный напор сечения можно выразить:

$$H = z + h \cos \varphi + \frac{\alpha v^2}{2g} \left(1 \pm k \frac{h}{R_0} \right). \quad (4)$$

Дифференцируя (4) по длине пути, получим:

$$\frac{dH}{dl} = \frac{dz}{dl} + \cos \varphi \frac{dh}{dl} - h \sin \varphi \frac{d\varphi}{dl} + \frac{\alpha Q^2}{2g} \frac{d}{dl} \left(\frac{1 \pm k \frac{h}{R_0}}{\omega^2} \right).$$

Учитывая, что:

$$\frac{dH}{dl} = -i = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} \quad (i - \text{гидравлический уклон})$$

$$\frac{dz}{dl} = -i_0 = \sin \varphi \quad (i_0 - \text{геометрический уклон}).$$

после некоторых преобразований получим:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{\left(1 + h \frac{d\varphi}{dl} \right) \sin \varphi - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} \left[1 - \frac{\alpha C^2 R}{g \omega} \left(1 \pm k \frac{h}{R_0} \right) \frac{\partial \omega}{\partial l} \right]}{\cos \varphi - \frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} \left[\left(1 \pm k \frac{h}{R_0} \right) \frac{\partial \omega}{\partial h} \mp \frac{k \omega}{2 R_0} \right]}. \quad (5)$$

Зависимость (5) является общим видом дифференциального уравнения неравномерного движения жидкости в открытых руслах, чем (1). В гидравлике встречается круг задач, описываемый этим уравнением.

Рассмотрим частные случаи (5) для ряда конкретных задач.

В случае, когда профиль дна канала представляет дугу окружности, то $dl = R_0 d\varphi$ и тогда (5) примет вид:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{\left(1 + \frac{h}{R_0}\right) \sin \varphi - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} \left[1 - \frac{\alpha C^2 R}{g \omega} \left(1 \pm k \frac{h}{R_0}\right) \frac{\partial \omega}{\partial l}\right]}{\cos \varphi - \frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} \left[\left(1 \pm k \frac{h}{R_0}\right) \frac{\partial \omega}{\partial h} \mp \frac{k \omega}{2 R_0}\right]}. \quad (6)$$

Для призматического русла с прямоугольным сечением принимая за переменные угол φ и глубину h и учитывая, что $\omega = bh$, $\gamma = b + 2h$,

$$R = \frac{h}{1 + 2 \frac{h}{b}}, \quad C = \frac{1}{n} R^2, \quad \frac{\partial \omega}{\partial l} = 0, \quad \frac{\partial \omega}{\partial h} = b, \quad \text{из (6) получим:}$$

$$\frac{dh}{d\varphi} = R_0 \frac{\left(1 + \frac{h}{R_0}\right) \sin \varphi - \frac{q^2 n^2}{h^{3+2y}} \left(1 + \frac{2h}{b}\right)^{1+2y}}{\cos \varphi - \frac{\alpha q^2}{g h^3} \left(1 \pm \frac{kh}{2R_0}\right)}, \quad (7)$$

где $q = Q/b$.

Определение места критического сечения φ_k и значение критической глубины h_k (рис. 1) находим из системы (8):

$$\begin{cases} \cos \varphi = \frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} \left[\left(1 \pm \frac{kh}{R_0}\right) \frac{\partial \omega}{\partial h} \mp \frac{k \omega}{2 R_0} \right], \\ \sin \varphi = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}, \end{cases} \quad (8)$$

который для прямоугольного сечения имеет вид:

$$\begin{cases} \cos \varphi = \frac{\alpha q^2}{g h^3} \left(1 \pm \frac{kh}{2R_0}\right), \\ \sin \varphi = \frac{q^2 n^2 \left(1 + \frac{2h}{b}\right)^{1+2y}}{h^{3+2y}}. \end{cases} \quad (8)$$

Полученные значения φ_k и h_k являются исходными координатами для построения кривой свободной поверхности в спокойном (до критического сечения) и бурном (после критического сечения) режимах движения.

Аналогичные преобразования уравнения (5) можно сделать для непрямоугольных каналов. При пренебрежительно малых значениях h/R_0 уравнение (5) превращается в дифференциальное уравнение, приведенное в [2]. Интегрирование (5) на ЭВМ производится аналогично методу, приведенному в [2].

Пример. $Q = 46,8 \text{ м}^3/\text{с}$, $b = 6,0 \text{ м}$, $R_0 = 5,0 \text{ м}$, $\varphi_0 = 0,4517$, $l_{01} = 0,004$, $l_{02} = 0,49$, $n = 0,017$, $\sigma = 1,1$, $2y = 0,391$, $k = 1,0$, призматическое русло прямоугольного сечения.

Решая систему (9), получаем координаты начального сечения для дальнейших исчислений с учетом центробежных сил $\varphi_k = 0,905$, $h_k = 1,776 \text{ м}$. При гидростатическом законе распределения давления эти величины будут $\varphi_k = 0,004$, $h_k = 1,896 \text{ м}$.

Решая на ЭВМ уравнение (7), получим координаты кривой свободной поверхности и величину давления без учета и с учетом центробежных сил, которые приводятся в таблице.

Таблица

φ	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
x , м	0,25	0,5	0,75	0,99	1,23	1,48	1,71	1,95	2,17
h , м	1,69 1,80	1,61 1,71	1,53 1,63	1,46 1,55	1,39 1,48	1,33 1,41	1,27 1,35	1,22 1,30	1,17 1,24
$h \cos \varphi$, м	1,69 1,80	1,60 1,70	1,51 1,61	1,43 1,52	1,35 1,43	1,27 1,35	1,20 1,27	1,13 1,19	1,06 1,12
p , кг/м ²	0,96 1,11	0,83 0,98	0,70 0,85	0,58 0,72	0,46 0,60	0,34 0,47	0,23 0,36	0,11 0,24	0,00 0,13

В таблице верхние строчки представляют значения при решении с учетом центробежных сил, а нижние—при гидростатическом законе распределения давления.

Выводы

1. При гидравлическом расчете каналов с криволинейным дном с небольшим радиусом кривизны за основу расчета нужно принять дифференциальное уравнение (5).

2. В уравнении (5), пренебрегая h/R_0 , получаем приближенное дифференциальное уравнение для потоков с большим радиусом кривизны.

3. Кривую свободной поверхности для призматического и непризматического участков с криволинейным дном удобно получить с помощью интегрирования (5) на ЭВМ, применяя в качестве координат центральный угол φ и глубину потока по нормали h .

4. Координаты критического сечения определяются, как корни системы (9).

Վ. Հ. ՔՈՔՄԱՋՅԱՆ

ԿՈՐ ՀԱՏԱԿՈՎ ԶՐԱՆՑՔՆԵՐԻ ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո մ

Ստացված է հեղուկի դանդաղ փոփոխվող ունհավասարաչափ շարժման դիֆերենցիալ հավասարումը կոր հատակով հունների համար, հաշվի առնելով ճնշման փոփոխման շեղումը հիդրոստատիկ ճնշումից կենտրոնախույս ուժերի պատճառով:

Տրված են այդ հավասարման մասնավոր ձևափոխումները ուղղանկյուն կտրվածքի սրիզմատիկ հունների համար և էՀՄ-ի միջոցով հավասարման ինտեգրման մեթոդները: Ստացված է կորի սկզբնական կետերը որոշելու հավասարումների սխեմներ:

Հոդվածի վերջում լուծված է թվային օրինակ և բերված են նդրակացություններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чоу В. Т. Гидравлика открытых каналов. Стройиздат, М., 1969.
2. Токмаджян В. О. К гидравлическому расчету плавных переломов открытых русел. «Изв. АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXIX, № 3, 1976.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Ю. В. ЧУЕВ, А. М. МЕЛКУМЯН, С. В. АРУТЮНЯՆ, Г. Б. МУРАДՅԱՆ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОРГСТРУКТУРЫ НИИ
ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

Характерной особенностью современных крупных НИИ является многотемность и наличие множества функционально различных подразделений, представляющих в совокупности довольно сложную структуру. От совершенства организационной структуры существенно зависят сроки и качество выполнения разработок и, в конечном итоге, эффективность деятельности НИИ.

Одной из задач совершенствования организационной структуры НИИ является группирование множества подразделений в соответствии с принятым критерием эффективности структуры. Эта задача схожа с возникающими в вычислительной технике и телефонии задачами компоновки элементов, связи между которыми заданы [1]. Критерием эффективности структуры при этом принимается максимум суммарных связей внутри групп элементов или минимум связей между группами.

Аналогичный критерий берется и в задачах административного разделения подразделений НИИ — группирования лабораторий в отделы или отделы в отделения [2]. При этом ограничивается только число отделов в отделениях. Однако, необходимо учесть, что в матрице взаимосвязей имеются и «диагональные» связи, характеризующие степень самостоятельности лабораторий, тогда как для совершенствования организационной структуры правильнее исходить из связей, отражающих взаимное сотрудничество лабораторий в выполнении тематики.

В более общем случае структуры НИИ содержат отделения, сформированные из отделов и самостоятельные отделы, подчиняющиеся непосредственно руководителю института.

Следовательно, постановка задачи будет такова. Целевая функция имеет вид:

$$\min_{\substack{k=\overline{1, K_1} \\ k=\overline{K_1+1, K_2} \\ l_k, j \\ l_k=j_k}} S_b = \min \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} - \left(\sum_{e=1}^{K_1} \sum_{l=l_{e,1}}^{l_{k,2}} \sum_{j=l_{k,1}}^{l_{k,2}} a_{ij} - \sum_{k=1}^{K_1} \sum_{l=l_{e,1}}^{l_{k,2}} a_{ii} + \sum_{K=K_1+1}^{K_2} a_{ii} \right) \right]$$

или

$$\max_{\left\{ \begin{array}{l} k=\overline{1, K_1} \\ k=\overline{K_1+1, K_2} \\ l_{k,j} \\ l_k=j_k \end{array} \right\}} S_d = \max \left[\sum_{k=1}^{K_1} \sum_{l=l_{k,1}}^{l_{k,2}} \sum_{j=l_{k,1}}^{l_{k,2}} a_{lj} - \sum_{k=1}^{K_1} \sum_{l=l_{k,1}}^{l_{k,2}} a_{ll} + \sum_{k=K_1+1}^{K_2} a_{ll} \right],$$

а ограничения — $K_{1\min} \leq K_1 \leq K_{1\max}$, $b_{k\min} \leq b_k$, $l_{k,1} \leq N_k \leq l_{k,2}$,

где $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, K_1$ — соответственно, число отделов и отделений; $k = K_1 + 1, K_2 + 2, \dots, K_2$ — номера самостоятельных отделов; a_{ij} — элемент матрицы взаимодействий отделов; $l_{k,1}$, $l_{k,2}$ — текущие значения нижней и верхней границ отделений; b_k — число специализированных отделов в отделениях.

Величины $K_{1\min}$ и $K_{1\max}$ определяются из условия управляемости — допустимого числа подчиненных у одного руководителя высшего звена. Согласно [3, 4, 5], оно может быть в пределах от 4-х до 6 (соответственно, $K_{1\min}$ и $K_{1\max}$). Введение $b_{k\min}$ диктуется необходимостью сохранения специализации отраслевых отделений.

Для нахождения наиболее совершенной структуры экспертно составляется таблица допустимых переходов подразделений. При этом эксперты исходят из матрицы взаимосвязей, а также руководствуются рядом неформализуемых соображений, как то, перспективность тех или иных работ, взаимоотношения руководителей и т. д.

В результате перебора и проверки на ограничения, для анализа машинной выдается ряд альтернативных вариантов организационной структуры, ранжированных по значению целевой функции. К реализации принимается вариант, которому эксперты дают наибольшее предпочтение.

Ниже приводится блок-схема алгоритма решения этой задачи, где приняты следующие обозначения:

a_{ij} — связь i -го отдела с j -ым отделом-темодержателем;

S — суммарная связь между всеми отделами;

S_d — сумма внутренних связей отделений;

S^- — сумма внутренних связей исходной структуры, ставшей внешней в данном варианте;

S^+ — сумма внешних связей исходной структуры, ставшей внутренней в данном варианте;

N — количество всех отделов;

M — количество отделов-темодержателей;

N_k — количество отделов в k -м отделении;

$N_{k\min}$, $N_{k\max}$ — минимальное и максимальное числа отделов в k -м отделении;

$K_{\text{эф}}$, $K_{\text{дф}}$ — коэффициенты эффективности исходной и данной структуры;

- K^- — множество отделений, из которых выведены отделы;
 K^+ — множество отделений, в которые введены отделы;
 S_d — сумма внутренних связей данной структуры;
 I_k — множество отделов отделений K исходной матрицы;
 I_k^- — множество отделов, выведенных из отделений K ;
 I_k^+ — множество отделов, введенных в отделения K ;
 J_k — множество отделов-темодержателей в исходной структуре;
 J_k^- — множество отделов-темодержателей, выведенных из отделений K ;
 J_k^+ — множество отделов-темодержателей, введенных в отделения K ;
 J_k^b — множество отделов-темодержателей отделений K в данном варианте.

Исходной информацией алгоритма являются матрица связей отделов $i=1,2,\dots, N$ с отделами-темодержателями $j=1,2,\dots, M$ и таблица допускаемых переходов отделов.

Ниже приводятся блок-схемы решения задачи при дополнительных ограничениях.

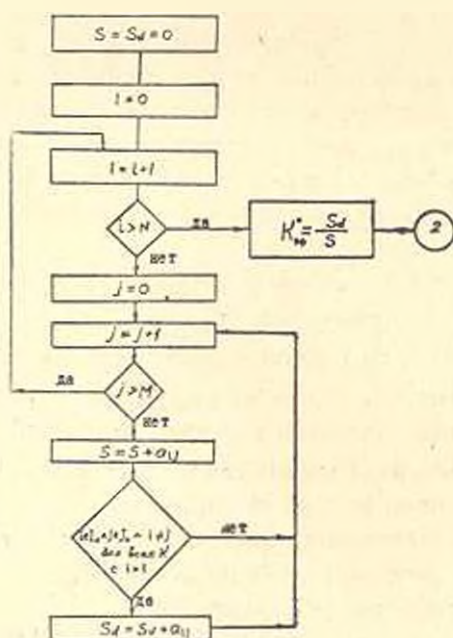


Рис. 1. Блок-схема определения $K^0_{эф} = \frac{S_d}{S}$ исходной структуры.

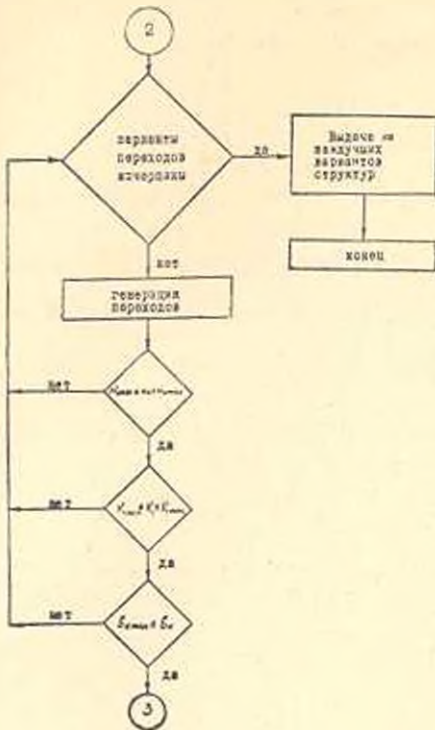


Рис. 2. Блок-схема генерации переходов.

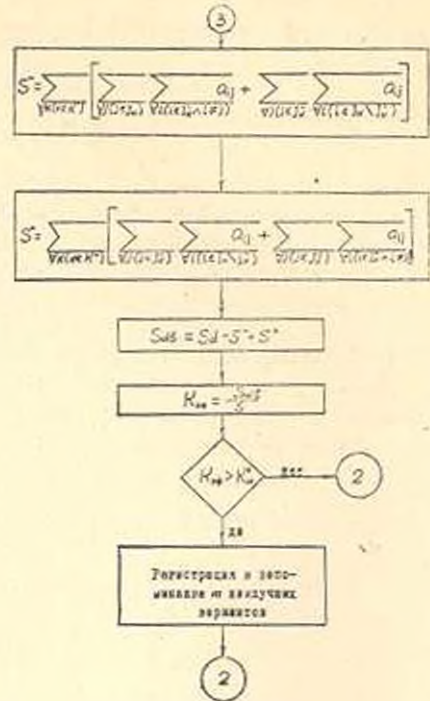


Рис. 3. Блок-схема определения K , ϕ варианта структур.

Ер III ИММ

Поступило 30.XII.1976

Гри. А. Григорьев, А. В. Степанович, А. В. Захарович, А. В. Степанович

ГЕНЕРАЦИЯ И РЕГИСТРАЦИЯ СТРУКТУР НА ЭКРАНЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ И ВАРИАНТОВ СТРУКТУР И РЕГИСТРАЦИЯ И РЕГИСТРАЦИЯ СТРУКТУР НА ЭКРАНЕ

А. В. ГРИГОРЬЕВ

Важнейшим из направлений является исследование структуры и ее свойств. В настоящее время в области исследования структуры и ее свойств достигнуты значительные успехи. В настоящее время в области исследования структуры и ее свойств достигнуты значительные успехи. В настоящее время в области исследования структуры и ее свойств достигнуты значительные успехи.

Важнейшим из направлений является исследование структуры и ее свойств. В настоящее время в области исследования структуры и ее свойств достигнуты значительные успехи. В настоящее время в области исследования структуры и ее свойств достигнуты значительные успехи.

Արդյունքում մեքենան առաջարկում է կազմակերպական կառուցվածքներ ի շարք տարրերակներ, որոնցից ընտրվում է գերազանցիկը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абрайтис Л. Б. Алгоритм для определения максимально связанных наборов элементов. «Автоматика и вычислительная техника», № 5, 1970.
2. Куперштох В. А., Миркин Б. Г. Упорядочение взаимосвязанных объектов. «Автоматика и телемеханика», № 6, 7, 1971.
3. Организация управления производством в капиталистических странах. Изд. «Прогресс», т. 7, М., 1972.
4. Dale E. Management. Theory and Practice, New York, McGraw-Hill Book Company, 1965.
5. Юквьяри Р. Проблемы структуры и управления деловых организаций США. Изд. «Ээстам Раамат», Таллин. 1968.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. А. ДЖАНПОЛЯДЯН, А. Н. САГОЯН

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рассмотрим систему обслуживания с одним прибором при эрланговском распределении времени обслуживания с интенсивностью μ , нагруженную пуассоновским источником с параметром λ и детерминированным ограничением, накладываемым на длительность пребывания требований в системе. По обозначениям Кендалла имеем систему массового обслуживания типа $M/E_k/1$ с ограниченным временем пребывания, где k — параметр закона Эрланга.

Целью данной работы является определение законов распределения времени ожидания требований в очереди и пребывания в системе, оценка потерь, возникающих из-за превышения допустимого времени пребывания.

Известно, что для определения вышеприведенных характеристик необходимо пользоваться интегральным методом анализа. Для описанной модели массового обслуживания имеют место следующие интегральные уравнения [1]:

$$F(x) = \int_0^x a(\xi) G(x + \xi) d\xi, \quad (1)$$

$$G(x) = \int_0^x F(\xi) S(x - \xi) d\xi, \quad (2)$$

$$x \leq n_0, \quad (3)$$

где $a(x)$, $S(x - \xi)$ — соответственно, плотности распределения вероятностей между двумя последовательными поступлениями и длительности обслуживания; n_0 — величина детерминированного ограничения, накладываемого на время пребывания требований в системе.

Для рассмотренного случая имеем:

$$a(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (4)$$

$$S(x) = \frac{\mu^k}{(k-1)!} x^{k-1} e^{-\mu x}. \quad (5)$$

Перепишем уравнение (1) в таком виде:

$$F(x) = \int_0^x a(\xi - x) G(\xi) d\xi. \quad (6)$$

Подставляя значения $a(x)$ и $S(x)$ из (4) и (5), соответственно, в (6) и (2), приводя их к удобной форме для дифференцирования и дифференцируя уравнение (6) один раз, а уравнение (2) k -раза, получаем:

$$(F(x) e^{-\lambda x})' = -\lambda e^{-\lambda x} G(x), \quad (7)$$

$$(G(x) e^{\mu x})^{(k)} = \mu^k F(x) e^{\lambda x}, \quad x \leq u_0. \quad (8)$$

После упрощения уравнение (7) принимает вид:

$$F'(x) - \lambda F(x) = -\lambda G(x). \quad (9)$$

Введем обозначение:

$$y = F(x) e^{\lambda x}. \quad (10)$$

Подставляя (9) в (8) и учитывая (10), получаем дифференциальное уравнение $(k+1)$ -го порядка с постоянными коэффициентами относительно y :

$$y^{(k+1)} - (\mu + \lambda) y^{(k)} + \lambda \mu^k y = 0, \quad y \leq e^{\lambda u_0}. \quad (11)$$

Заметим, что независимо от значений k , $y = e^{\mu x}$ является решением этого уравнения. Общее решение выглядит так:

$$y = A_0 e^{\mu x} + \sum_{i=1}^k A_i e^{r_i x}, \quad (12)$$

где r_i — корни уравнения $r^{k+1} - (\mu + \lambda) r^k + \lambda \mu^k = 0$; A_i — константы, которые определяются из следующих условий:

$$(y e^{-(\mu + \lambda)x})'_{x=0} = 0, \quad (y e^{-\mu x})_{x=u_0} = 1.$$

$$\left(\frac{(G(x) e^{\nu x})^{(j)}}{\mu^j} e^{-(\mu + \lambda)x} \right)_{x=0} = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, k). \quad (13)$$

$$G(x) = \left(y \left(1 + \frac{\mu}{\lambda} \right) - \frac{y'}{\lambda} \right) e^{-\lambda x}.$$

Наконец, находим $F(x)$ из (10) с учетом (12) и условия ограниченности $F(x)$ ($r_i \leq \mu$):

$$F(x) = A_0 + \sum_{i=1}^{k_1} A_i e^{-(\mu - r_i)x}, \quad x \leq u_0, \quad (14)$$

где k_1 — число корней характеристического уравнения, удовлетворяющих условию $r_i < \mu$.

После этого легко определить $G(x)$ из (9):

$$G(x) = A_0 + \sum_{i=1}^k A_i e^{-(\mu-r_i)x} \left(1 - \frac{r_i - \mu}{\lambda}\right), \quad x \leq u_0. \quad (15)$$

Вероятность потерь требований из-за времени пребывания, превышающего его допустимое значение (u_0), определяется формулой:

$$P_{\text{пот}}(u_0) = 1 - G(u_0).$$

Учитывая (15), получим:

$$P_{\text{пот}}(u_0) = C_0 - \sum_{i=1}^k A_i e^{-(\mu-r_i)u_0} \left(1 - \frac{r_i - \mu}{\lambda}\right), \quad (16)$$

где

$$C_0 = 1 - A_0.$$

Для частного случая, когда $K=1$, т. е. обслуживание подчиняется закону Пуассона, для $F(x)$, $G(x)$ и $P_{\text{пот}}(u_0)$ из (14), (15) и (16) получаем общезвестные формулы:

$$F(x) = \frac{1 - \psi e^{-(\mu-\lambda)x}}{1 - \psi e^{-(\mu-\lambda)u_0}}, \quad x \leq u_0,$$

$$G(x) = \frac{1 - \psi e^{-(\mu-\lambda)x}}{1 - \psi e^{-(\mu-\lambda)u_0}}, \quad x \leq u_0,$$

$$P_{\text{пот}}(u_0) = \frac{(1 - \psi) e^{-(\mu-\lambda)u_0}}{1 - \psi e^{-(\mu-\lambda)u_0}}, \quad \text{где } \psi = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Полученные результаты можно использовать при анализе систем обработки информации, работающих в реальном масштабе времени, т. е. при жестком ограничении времени реакции системы. Для подобных систем важной характеристикой является вероятность потерь информации, которая достаточно полно отражает возможности системы [2]. Одной из составляющих этой вероятности является вероятность потерь из-за превышения допустимого времени, которую можно определить с помощью формулы (16). Последняя показывает какую часть информации на выходе системы не пригодна для дальнейшего использования.

ЕрIII им. К. Маркса

Поступило 10.11.1977

Հ. Ա. ԽԱՆՈՒԳԱՆՅԱՆ, Ա. Ե. ՍԱՊՈՅԱՆ

ԶԱՆԻՎԱԾԱՅԻՆ ՍԳԱՍԱՐԿՈՒՄԻՆ ՈՒՐ ՄՈՌԵԼԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգիածում դիտարկում է զանգվածային սպասարկման մի համակարգ, որի մուտքին տրվում է պահանջների զանգվածային բաշխվածություն ունեցող

պահանջարկների հոսք, իսկ սպասարկման ժամանակը ենթարկվում է K-պարամետր ունեցող էրլանգի օրինքի: Համակարգում պահանջարկների գտնվելու ժամանակի վրա դրված է դետերմինացված սահմանափակում: Նկարագրված համակարգի համար որոշված են պահանջարկների հերթում սպասելու և համակարգում գտնվելու ժամանակահատվածների հավանականությունների բաշխման ֆունկցիաները, ղեկավարված են կորուստները, որոնք տեղի են ունենում պահանջարկի համակարգում գտնվելու ժամանակի սահմանափակման պատճառով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кофман А., Крюков Р. Массовое обслуживание. Теория и приложения. Изд. «Мир», М., 1965.
2. Сагоян А. Н., Джанджаниян А. А. Об одной характеристике системы обработки информации. Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. симп. «Проблемы совершенствования системы управления экономикой», Ереван, 1976.

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

է.

Է Ն Ն Ր Գ Ե Տ Ի Կ Ա

2. Թ. Աղաւթ, Գ. Ի. Միւրգոյան. Էլեկտրաէներգահամակարգերի դիւստիկ կայունութիւն	3
Վ. Ի. Խաչատրյան, Ա. Վ. Թեմուրջյան, Մ. Ա. Քալարէկյան, Յու. Ա. Ղազարյան, Խ. Գ. Իւսիւրեան, Ջ. Ա. Բալասանյան. Մեծ էներգահամակարգերի թնադարձադիմէկ մաթեմատիկական մոդելի կառուցման մասին	7

Մ Ե Ք Ի Ն Ա Շ Ի Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

Ս. Ի. Կարապետյան, Վարդան անաճղականութիւն Էտ և յոր յիտմա ոչ-զծային բլոկի հարմունիկ զծայնացումը	13
---	----

Է Լ Կ Կ Տ Ր Ա Տ Ե Խ Ն Ի Կ Ա

Է. Մ. Գիլտեյան, Վ. Ի. Վարպետյան, Հ. Հ. Մոմոյան, Ա. Պ. Տաւադյան. Ենկամայա-տորային մարտկոց-իմպուլսային կերպափոխիչ-հաստատուն Դոսանքի շարժիչ համակարգի մաթեմատիկական մոդելը	15
Ս. Մ. Մամիկոնյան, Է. Ա. Տոնոյան. Յերոմագնիսական զեղաձև էկրանի մագնիսական դիմադրութիւնը հաշվարկը	21

Հ Ի Գ Ր Ա Վ Ի Կ Ա

Վ. Հ. Թոմսոյան. Կոր հատակով ջրանցքներէ հիդրավիտիկոն հաշվարկի մասին	29
--	----

Գ Ի Տ Ա Կ Ա Ն Ն Ո Թ Ե Ր

Յու. Վ. Չոլ, Ա. Մ. Մելիքով, Ս. Վ. Հաբարյան, Հ. Ս. Մուրադյան. Գիտահետա-զոտական ինտիտուտի կազմակերպական կառուցվածքի օպտիմիզացիայի խնդրի լուծումը լրացուցիչ սահմանափակումներէ անկախութեան զեպրում	33
Հ. Ա. Հուննադանյան, Ա. Ն. Սաբոյան. Զանգվածային սպասարկման մի մոդելի մասին	35

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. Адонц, Г. Е. Мирзоян. Новый критерий расчета динамической устойчивости электроэнергетической системы	3
В. С. Хачатрян, А. В. Темурджян, М. А. Балабекян, Ю. А. Казарян, Х. Г. Демирчян, Д. А. Баласанян. К построению одной математической модели из области больших систем энергетики	7

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С. Р. Карапетян. Гармоническая линеаризация нелинейного блока «люфт с упругостью и сухое трение»	13
--	----

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. М. Диланян, В. С. Варпетян, А. А. Момджян, А. Н. Тарасян. Математическая модель системы «аккумуляторная батарея—импульсный преобразователь—двигатель постоянного тока»	16
Б. М. Мамиконян, Т. С. Тоноян. Расчет магнитного сопротивления ферромагнитного шарового экрана	24

ГИДРАВЛИКА

В. О. Тохмаджян. О гидравлическом расчете каналов с криволинейным дном	29
--	----

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Ю. В. Чув, А. Н. Мелкумян, С. В. Арутюнян, Г. Б. Мурадян. Решение задачи оптимизации оргструктуры НИИ при дополнительных ограничениях	31
А. А. Джанджалян, А. М. Сагоян. Об одной модели массового обслуживания	39