ISSN 1302 - 6461

AZƏRBAYCANMİLLİELMLƏR AKADEMİYASIНАЦИОНАЛЬНАЯАКАДЕМИЯНАУКАЗЕРБАЙДЖАНА
FİZİKA İNSTİTUTUИНСТИТУТ ФИЗИКИ
«AZƏRENERJİ» ASC ОАО «АЗЕРЭНЕРЖИ»
AZ.ETvəLAYİHƏ -AXTARIŞENERGETİKAİNSTİTUTUАЗ. НИиПИИ ЭНЕРГЕТИКИ

ENERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

П Р О Б Л Е М Ы Э Н Е Р Г Е Т И К И

POWER ENGINEERING PROBLEMS

ENERGETİKANIN KOMPLEKSPROBLEMLƏRİ *ELEKTROENERGETİKA * İSTİLİK ENERGETİKASI * ELEKTROFİZİKA*
* ELEKTROTEXNOLOGİYA * ENERJİMƏNBƏLƏRİ * İNFORMATİKA * EKOLOGİYA * XRONİKA

КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ * ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА * ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА * ЭЛЕКТРОФИЗИКА*
* ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ * ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ * ИНФОРМАТИКА * ЭКОЛОГИЯ * ХРОНИКА

COMPLEX PROBLEMS OF POWER ENGINEERING * THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING *
* THE THERMAL POWER ENGINEERING * ELECTROPHYSICS * ELECTROTECHNOLOGY * ENERGY SOURCES *
* INFORMATICS * ECOLOGY * CHRONICLE

1

2020

BAKI ☆ ELM ☆ БАКУ

ENERGETİKANINPROBLEMLƏRİ

elmi – texniki jurnal

№ 1 2020

Jurnal 2000-ciildən nəşr edilir

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Rəyasət Heyətinin qərarı ilə çap olunur

Redaksiya heyyəti

A. Həşimov (baş redaktor), R. Mustafayev (baş redaktorun müavini), K.Abdullayev, K.Dursun(Norveç), A.Hüseynov, T.Xalina (Rusiya), A.Kərimov, V.Kuznetsov(Ukrayna), Ə.Quliyev, K.Qurbanov (mə'sulkatib), (техникиредактор) E.Pirverdiyev, N.Rəhmanov, P.Rzayev, A.Şidlovski (Ukrayna), N.Tabatabaei (İran), N.Voropay(Rusiya), N.Yusifbəyli.

Redaksiyanın ünvanları: Bakı, Az-1143, H.Cavid prospekti,33, Az. MEAFizikaİnstitutu Bakı, Az-1602, H.Zərdabi prospekti, 94, Az.ETvə LAEI

Tel.: (994 12) 539-41-61; 539-44-02; 432-80-76
Faks : (994 12) 447 - 04 - 56; 498 - 63 - 59
E – mail : arif @ physics.ab.az

Nəşrin redaktoru :F.Rzayev

"Energetikanın Problemləri" jurnalıAzərbaycan RespublikasıMətbuat və İnformasiya Nazirliyində qeydiyyatdan Keçmişdir, qeydiyyat sayı B 507

Tiraj: 50 nüsxə

Bakı, «Elm» nəşriyyatı

ПРОБЛЕМЫЭНЕРГЕТИКИ

научно – технический журнал

№ 1 2020

Основан в 2000 году академиком Ч.М.Джуварлы

Печатается по постановлению Президиума Национальной Академии Наук Азербайджана

Главный редактор

академик НАН Азербайджана А.М. Гашимов

Адреса редакции:Az -1143, Баку,пр.Г.Джавида, 33, Институт Физики НАН Азербайджана
Az -1602, Баку, пр. Г. Зардаби, 94, АЗ.НИиПИИ Энергетики ОАО "Азерэнержи"

Тел.: (994 12) 539-41-61; 539-44-02; 432-80-76 ; Факс: (994 12) 447 - 04 - 56; 498–63 –59;
E – маил :arif@physics.ab.az

Баку, издательство «Элм»

УДК. 681.309

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ОПЕРАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

[1]ДЖАВАДОВ Н.Г, [2]МАМЕДОВ А.И, [2]ИБАДОВ А.А.

[1]Национальное Аэрокосмическое Агентство
[2]Институт Космических Исследований Природных Ресурсов
ibadov-anver@mail.ru

На базе развития теории операционного исчисления представлен новый упрощенный универсальный численный метод для компьютерного моделирования переходных процессов в сложных электрических цепях с распределенными параметрами без учета потерь в линии. Получены новые простые рекуррентные соотношения, легко реализуемые на компьютере.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, электрическая цепь с распределенными параметрами, численный метод.

Введение:В настоящее время большой класс электротехнических задач связан с исследованием переходных процессов в электрических цепях с распределенными параметрами, протекающих под воздействием напряжений произвольной формы [1-12].

В связи с этим, вопросы создания методов для математического моделирования переходных процессов, возникающих в электрических цепях с распределенными параметрами, при воздействии произвольного напряжения, являются важной теоретической и практической задачей, требующей своего решения.

Однако,данная проблема в научной литературе изучена еще недостаточно, что вызывает целый ряд трудностей как при проектировании, так и эксплуатации электрических цепей с распределенными параметрами[1-6, 9-11].

В настоящее время в условиях широкого внедрения компьютерной техники в практику инженерных расчетов, вопросам компьютерногомоделирования переходных процессов, возникающих в электрических цепях с распределенными параметрами, уделяется пристальное внимание.

Применение компьютерной техники для численного моделирования переходных процессов в электрических цепях с распределенными параметрами позволяет существенно расширять круг решаемых практических задач в указанной области.

Одним из эффективных численных методов для компьютерного моделирования переходных процессов в системах с распределенными параметрами, описываемых уравнениями в частных производных гиперболического и параболическоготипов, является новый численный метод [13-17], основанный на использование дискретного аналога интегрального уравнения свертки [8].

Преимуществом указанного нового подхода, предложенного в работах [13-17], является то, что он позволяет произвести компьютерное моделированиепереходных процессов в системах с распределенными параметрами без перехода в область дискретных изображений [9-11], а также осуществлять переход от Лапласовых изображений искомых функций в область оригиналов без нахождения корней характеристических уравнений, без разложения операторного коэффициента распространения волны и операторного волнового сопротивления в ряды, что существенно упрощает математические выкладки и повышает точность расчетов. Кроме того, предложенный новый подход[13-17], в отличие от существующих методов [1-12], в зависимости от

заданной точности расчета, позволяет заменить операцию непрерывного интегрирования суммированием, пользуясь формулами не только прямоугольников, но и трапецийСимпсона,Уэддля[7].

Указанные свойства нового подхода существенно расширяют круг решаемых практических задач.

В данной статье,на базе дальнейшего развития теории операционного исчисления, впервые в научной литературе рассматриваются вопросы, связанные с дальнейшим развитием работ [14-17] для разработки нового упрощенного численного метода, как для компьютерного моделирования переходных процессов вдоль трассы сложной электрической цепи с распределенными параметрами, (рис.1) так и для определения изменения напряжения в начале $U_н(t)$и тока в конце i_k(t) ее, привоздействии произвольного напряжения $U_0(t)$, заменяя операции непрерывного интегрирования суммированием, в данном случае, пользуясь формулой трапеций.

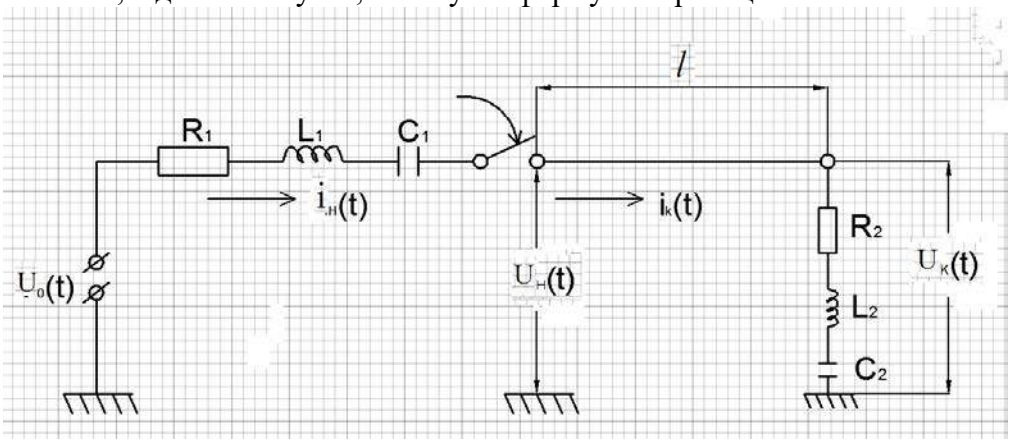


Рис.1. Структурная схема сложной нагруженной электрической цепи с распределенными параметрами.

1.Постановка задачи:В данной постановке задачи переходные процессы, протекающие в электрической цепи с распределенными параметрами, описываются волновыми уравнениями:

$$-\frac{\partial u}{\partial \mathrm{x}} = L\frac{\partial i}{\partial t},$$

$$-\frac{\partial i}{\partial \mathrm{x}} = c\frac{\partial u}{\partial t}, \qquad 0 \le x \le \ell \qquad (1)$$

где $U = U(x,t), i = i(x,t)$ – соответственно изменение напряжения и тока в произвольной точке цепи в любой момент времени;L,C – индуктивность и емкость цепи на единицу длины; ℓ- длина цепи с распределенными параметрами.

Начальные условия:

$$U(x,t)_{t=0} = 0, i(x,t)_{t=0} = 0$$

Граничные условия:

$$U(x,t)_{x=0} = U_н(t), i(x,t)_{x=l} = i_k(t),$$

где $U_н(t), i_k(t)$ – соответственнопроизвольные законы изменения напряжения в начале, тока в конце цепи с распределенными параметрами.

2.Решение задачи: Согласно предложенному подходу, при решении поставленной задачи на первом этапе необходимо получить Лапласово изображение для функций $U(x,t), i(x,t)$в операторной форме.

В связи с этим, при принятых начальных и граничных условиях, из системы дифференциальных уравнений (1) получаем следующие выражения для указанных функций в операторной форме:

$$U(x,t) = \frac{ch\nu(\ell - x)}{ch\nu\ell} U_н(s) - \rho I_k(s) \frac{sh\nu x}{ch\nu\ell} \quad (2)$$

$$I(x,t) = \frac{1}{\rho} \frac{ch\nu(\ell - x)}{ch\nu\ell} U_н(s) + I_k(s) \frac{sh\nu x}{ch\nu\ell}, \quad (3)$$

где s-оператор преобразования Лапласа, $\nu = s\sqrt{LC} = \frac{s}{\upsilon}$– коэффициент распространения вольны; $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ – волновое сопротивление цепи с распределенными параметрами; $\upsilon = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – скорость распространения волны; $U(x,s), I(x,s), U_н(s), I_k(s)$ – Лапласово изображение функций $U(x,t), I(x,t), U_н(t), I_k(t)$.

Второй этап решения данной задачи связан с осуществлением перехода от Лапласовых изображений (2), (3) в область оригиналов.

В связи с этим, согласно новому подходу, предложенному в работах [14-17], выражения (2), (3) можно представить в виде:

$$U(\delta,s)\left[\frac{1}{S} + k_1(s)\right] = [k_2(s) + k_3(s)]U_н(s) - \rho I_k(s)[k_4(s) - k_5(s)] \quad (4)$$

$$I(\delta,s)\left[\frac{1}{S} + k_1(s)\right] = \frac{1}{\rho}[k_2(s) - k_3(s)]U_н(s) + I_k(s)[k_4(s) - k_5(s)], \quad (5)$$

где $k_1(s) = \frac{e^{-2\nu l}}{s}, k_2(s) = \frac{e^{-2\nu l\delta}}{s}, k_3(s) = \frac{e^{-2\nu l(1-\delta)}}{s}, k_4(s) = \frac{e^{-\nu l(1-2\delta)}}{s}$, $k_5(s) = \frac{e^{-\nu l(1+2\delta)}}{s}$, $\delta = \frac{x}{2l}, k_1(s), k_2(s), \dots, k_5(s)$– передаточные функции.

На основе теоремы свертки [14-17], переходя от уравнений (4), (5) относительно изображений к уравнениям относительно оригиналов, получим:

$$\int_0^t U(t-\theta,\delta)1(\theta)d\theta + \int_{\frac{2l}{\upsilon}}^t U(t-\theta,\delta)k_1(\theta)d\theta = \int_{\frac{2l\delta}{\upsilon}}^t U_н(t-\theta)k_2(\theta)d\theta +$$

$$+ \int_{\frac{2l(1-\delta)}{\upsilon}}^t U_н(t-\theta)k_3(\theta)d\theta - \rho \int_{\frac{l(1-2\delta)}{\upsilon}}^t i_k(t-\theta)k_4(\theta)d\theta + \rho \int_{\frac{l(1+2\delta)}{\upsilon}}^t i_k(t-\theta)k_5(\theta)d\theta +$$

$$+ \rho \int_{\frac{l(1+2\delta)}{\upsilon}}^t i_k(t-\theta)k_5(\theta)d\theta \quad (6)$$

$$\int_0^t i(t-\theta,\delta)1(\theta)\,d\theta + \int_{\frac{2l}{\upsilon}}^t i(t-\theta,\delta)k_1(\theta)d\theta - \frac{1}{\rho}\int_{\frac{2l\delta}{\upsilon}}^t U_н(t-\theta)k_2(\theta)d\theta -$$

$$-\frac{1}{\rho}\int_{\frac{2l(1-\delta)}{\upsilon}}^{t} U_н(t-\theta)k_3(\theta)d\theta+\int_{\frac{l(1-2\delta)}{\upsilon}}^{t} i_k(t-\theta)k_4(\theta)d\theta+\int_{\frac{l(1+2\delta)}{\upsilon}}^{t} i_k(t-\theta)k_5(\theta)d\theta, \qquad (7)$$

где $k_1(t), k_2(t), \dots, k_5(t)$ −известные оригиналыхпередаточных функций $k_1(s), k_2(s), \dots\dots, k_5(s); k_1(t) = 1(t-2\tau), k_2(t) = 1(t-2\tau\delta), k_3(t) = 1\big(t-2\tau(1-\delta)\big), k_4(t) = 1\big(t-\tau(1-2\delta)\big), k_5(t) = 1\big(t-\tau(1+2\delta)\big), \tau = \frac{l}{\upsilon}$ −время распространения волны в один конец исходной электрической цепи с распределенными параметрами.

Интегральные уравнения (6), (7) могут быть решены численно, если заменить интегралы суммами, с помощью различных способов [14-17].

В связи с этим, используя связь между непрерывным временем t и дискретным $n(n = 0,1,2,3\dots\dots)$в виде$t = \frac{nT}{\lambda}$[9](где T $= 2\tau$ – абсолютный период повторения решетчатой функции) производим дискретизацию уравнений (6), (7) при выбранном интервале$\frac{T}{\lambda}$ заменяя операцию непрерывного интегрирования суммированием, в данном случае, пользуясь формулой трапеций [14-17].

При этом вместо (6), (7) относительно решетчатых функций $U[n,\delta], i[n,\delta]$можно представить следующие выражения:

$$\begin{aligned}
&\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0}^{n}(1[m]U[n-m,\delta]+1[n-m+1]U[m-1,\delta])+\\
&+\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]U[n-m,\delta]+k_1[m-1]U[n-m+1,\delta])=\\
&=\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=\lambda\delta}^{n}(k_2[m]U_н[n-m]+k_2[m-1]U_н[n-m+1])+\\
&+\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=\lambda(1-\delta)}^{n}(k_3[m]U_н[n-m]+k_3[m-1]U_н[n-m+1])-\\
&-\rho\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0,5\lambda(1-2\delta)}^{n}(k_4[m]i_k[n-m]+k_4[m-1]i_k[n-m+1])+\\
&+\rho\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0,5\lambda(1+2\delta)}^{n}(k_5[m]i_k[n-m]+k_5[m-1]i_k[n-m+1]) \qquad (8)\\
&\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0}^{n}(1[m]i[n-m,\delta]+1[n-m+1]i[m-1,\delta])+\\
&+\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]i[n-m,\delta]+k_1[m-1]i[n-m+1,\delta])=\\
&=\frac{1}{\rho}\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=\lambda\delta}^{n}(k_2[m]U_н[n-m]+k_2[m-1]U_н[n-m+1])-\\
&-\frac{1}{\rho}\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=\lambda(1-\delta)}^{n}(k_3[m]U_н[n-m]+k_3[m-1]U_н[n-m+1])+
\end{aligned}$$

$$+\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0,5\lambda(1-2\delta)}^{n}(k_4[m]i_k[n-m]+k_4[m-1]i_k[n-m+1])+$$

$$+\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0,5\lambda(1+2\delta)}^{n}(k_5[m]i_k[n-m]+k_5[m-1]i_k[n-m+1], \quad (9)$$

где$k_1[n],\dots,k_5[n]$- известные решетчатые функции;

$$k_1[n]=1[n-\lambda], k_2[n]=1[n-\lambda\delta], k_3[n]=1[n-\lambda(1-\delta)],$$

$$k_4[n]=1[n-0{,}5\lambda(1-2\delta)], k_5[n]=1[n-0{,}5\lambda(1+2\delta)]$$

Здесь

$$\sum_{m=0}^{n}(1[m]U[n-m,\delta]+1[n-m+1]U[m-1,\delta])=U[n,\delta]+$$

$$+\sum_{m=1}^{n}(1[m]U[n-m,\delta]+1[n-m+1]U[m-1,\delta]) \quad (10)$$

$$\sum_{m=0}^{n}(1[m]i[n-m,\delta]+1[n-m+1]i[m-1,\delta])=$$

$$=i[n,\delta]+\sum_{m=1}^{n}(1[m]i[n-m,\delta]+1[n-m+1]i[m-1,\delta]) \quad (11)$$

Выражение (8) с учетом (10) будет:

$$U[n,\delta]+\sum_{m=1}^{n}(1[m]\,U[n-m,\delta]+1[n-m+1]U[m-1,\delta])+$$

$$+\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]U[n-m,\delta]+k_1[m-1]U[n-m+1,\delta])=$$

$$=\sum_{m=\lambda\delta}^{n}(k_2[m]U_H[n-m]+k_2[m-1]U_H[n-m+1])+$$

$$+\sum_{m=\lambda(1-\delta)}^{n}(k_3[m]U_H[n-m]+k_3[m-1]U_H[n-m+1])-$$

$$-\rho\sum_{m=0,5\lambda(1-2\delta)}^{n}(k_4[m]i_k[n-m]+k_4[m-1]i_k[n-m+1])-$$

$$-\rho\sum_{m=0,5\lambda(1+2\delta)}^{n}(k_5[m]i_k[n-m]+k_5[m-1]i_k[n-m+1]) \quad (12)$$

Отсюда находим следующее рекуррентное соотношение, позволяющее последовательно вычислить функции U[n,δ]:

$$U[n,\delta]=\sum_{m=\lambda\delta}^{n}(k_2[m]U[n-m,\delta]+k_2[m-1]U[n-m+1,\delta])+$$

$$+\sum_{m=\lambda(1-\delta)}^{n}(k_3[m]U_H[n-m]+k_3[m-1]U_H[n-m+1])-$$
$$-\rho\sum_{m=0,5\lambda(1-2\delta)}^{n}(k_4[m]i_k[n-m]+k_4[m-1]i_k[n-m+1])+$$
$$+\rho\sum_{m=0,5\lambda(1+2\delta)}^{n}(k_5[m]i_k[n-m]+k_5[m-1]i_k[n-m+1])-$$
$$-\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]U[n-m,\delta]+k_1[m-1]U[n-m+1,\delta])-$$
$$-\sum_{m=1}^{n}(1[m]\,U[n-m,\delta]+1[n-m+1]U[m-1,\delta]) \qquad (13)$$

Выражение (9) с учетом (11) будет:

$$i[n,\delta]+\sum_{m=1}^{n}(1[m]\,i[n-m,\delta]+1[n-m+1]i[m-1,\delta])+$$
$$+\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]i[n-m,\delta]+k_1[m-1]i[n-m+1,\delta])=$$
$$=\frac{1}{\rho}\sum_{m=\lambda\delta}^{n}(k_2[m]U_H[n-m]+k_2[m-1]U_H[n-m+1])-$$
$$-\frac{1}{\rho}\sum_{m=\lambda(1-\delta)}^{n}(k_3[m]U_H[n-m]+k_3[m-1]U_H[n-m+1])+$$
$$+\sum_{m=0,5\lambda(1-2\delta)}^{n}(k_4[m]i_k[n-m]+k_4[m-1]i_k[n-m+1])+$$
$$+\sum_{m=0,5\lambda(1+2\delta)}^{n}(k_5[m]i_k[n-m]+k_5[m-1]i_k[n-m+1]) \qquad (14)$$

Отсюда находим следующее рекуррентное соотношение, позволяющее последовательно вычислить функции$i[n,\delta]$:

$$i[n,\delta]=\frac{1}{\rho}\sum_{m=\lambda\delta}^{n}(k_2[m]U_H[n-m]+k_2[m-1]U_H[n-m+1])-$$
$$-\frac{1}{\rho}\sum_{m=\lambda(1-\delta)}^{n}(k_3[m]U_H[n-m]+k_3[m-1]U_H[n-m+1])+$$
$$+\sum_{m=0,5\lambda(1-2\delta)}^{n}(k_4[m]i_k[n-m]+k_4[m-1]i_k[n-m+1])+$$
$$+\sum_{m=0,5\lambda(1+2\delta)}^{n}(k_5[m]i_k[n-m]+k_5[m-1]i_k[n-m+1])-$$

$$-\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]i[n-m,\delta]+k_1[m-1]i[n-m+1,\delta])-$$

$$-\sum_{m=1}^{n}(1[m]\,i[n-m,\delta]+1[n-m+1]i[m-1,\delta]) \qquad (15)$$

Погрешность равенств связана с величиной λ. Чем больше выбрано число λ, тем в меньшей мере характеристики непрерывной функции отличаются от соответствующих характеристик решетчатых.

Полученные рекуррентные соотношения (13), (15) позволяют определить изменение напряжения и тока в произвольной точке сложной нагруженной линейной электрической цепи с распределенными параметрами в любой момент времени и легко реализуются на компьютере.

В рекуррентные соотношения (13), (15) входят неизвестные функции $U_H[n]$, $i_K[n]$. Определение их значений осуществляется по следующей методике.

Для определения изменения напряжения $U_H[n]$, согласно рис.1 для начальной точки ($x=0$) данной электрической цепи с распределенными параметрами можно представить следующее дифференциальное уравнение:

$$U_0(t)=R_1 i_H(t)+L_1\frac{di_H(t)}{dt}+\frac{1}{C_1}\int_0^t i_H(\theta)d\theta+U_H(t), \qquad (16)$$

где $i_H(t)$ – изменение тока в начальной точке электрической цепи с распределенными параметрами.

При нулевых начальных условиях дифференциальное уравнение (16) в операторной форме можно представить в виде:

$$I_H(s)=\frac{U_0(s)-U_H(s)}{R_1+L_1 s+\frac{1}{C_1 s}} \qquad (17)$$

Выражение (17) можно представить в виде:

$$I_H(s)=\frac{b_1 s}{a_2 s^2+a_1 s+a_0}[U_0(s)-U_H(s)], \qquad (18)$$

$$\text{где } a_2=1,\ a_1=\frac{R_1}{L_1},\ a_0=\frac{1}{L_1C_1},\ b_1=\frac{1}{L_1}$$

Для определения оригинала Лапласового изображения$I_H(s)$ из (18) без использования теоремы разложения, без нахождения корней характеристического уравнения $a_2s^2+a_1s+a_0$, согласно новому подходу [14-17], выражение (178 можно представить в виде:

$$a_2 I_H(s)+W_1(s)I_H(s)=W_2(s)[U_0(s)-U_H(s)], \qquad (19)$$

$$\text{где} W_1(s)=a_1\frac{1}{s}+a_0\frac{1}{s^2},\quad W_2(s)=b_1\frac{1}{s}$$

На основе теоремы свертки, переходя от уравнения (19) относительно изображений к уравнению относительно оригиналов, получим:

$$a_2 i_H(t) + \int_0^t W_1(\theta) i_H(t-\theta) d\theta = \int_0^t W_2(\theta)[U_0(t-\theta) - U_H(t-\theta)]d\theta, \quad (20)$$

где $W_1(t)$, $W_2(t)$ - известные оригиналы передаточных функций $W_1(s)$, $W_2(s)$;
$W_1(t)=a_1+a_0 t$, $W_2(s)=b_1 \cdot 1(t)$

Решить полученное интегральное уравнение (20) в явном виде относительно искомой функции не представляется возможным. Оно может быть решено численно, если заменить интегралы суммами.

В связи с этим, согласно выше предложенному новому подходу, заменяя операцию непрерывного интегрирования суммированием, в данном случае пользуясь формулой трапеций, вместо (20) получим:

$$a_2 i_H[n] + \frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0}^{n}(W_1[m] i_H[n-m] + W_1[n-m+1] i_H[m-1]) =$$
$$= \frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0}^{n}[W_2[m](U_0[n-m] - U_H[n-m]) +$$
$$+ W_2[n-m+1](U_0[m-1] - U_H[m-1])] \quad (21)$$

где $W_1[n] = a_1 + a_0 \frac{nT}{\lambda}, \qquad W_2[n] = b_1$

Здесь

$$\sum_{m=0}^{n}(W_1[m] i_H[n-m] + W_1[n-m+1] i_H[m-1]) = W_1[0] i_H[n] +$$
$$+ \sum_{m=1}^{n}(W_1[m] i_H[n-m] + W_1[n-m+1] i_H[m-1]) \quad (22)$$

где $W_1[0] = a_1$,

$$\sum_{m=0}^{n}[W_2[m](U_0[n-m] - U_H[n-m]) + W_2[n-m+1](U_0[m-1] - U_H[m-1])] =$$
$$= W_2[0](U_0[n] - U_H[n]) + \sum_{m=0}^{n}[W_2[m](U_0[n-m] - U_H[n-m]) +$$
$$+ W_2[n-m+1](U_0[m-1] + U_H[m-1])] \quad (23)$$

где $W_2[0]=b_1$

Для определения значения решетчатой функции $i_H[n]$ выражение (21) с учетом (22), (23) будет:

$$a_2 i_H[n] + W_1[0]\frac{T}{2\lambda} i_H[n] + \frac{T}{2\lambda}\sum_{m=1}^{n}(W_1[m] i_H[n-m] + W_1[n-m+1] i_H[m-1]) =$$

$$= \frac{T}{2\lambda} W_2[0](U_0[n] - U_H[n]) + \frac{T}{2\lambda} \sum_{m=1}^{n} [W_2[m](U_0[n-m] - U_H[n-m]) +$$
$$+ W_2[n-m+1](U_0[m-1] - U_H[m-1])] \quad (24)$$

Решая уравнение (24) относительно решетчатой функции $i_H[n]$, получим следующее выражение:

$$i_H[n] = \frac{\frac{T}{2\lambda}}{a_2 + W_1[0]\frac{T}{2\lambda}} \{W_2[0](U_0[n] - U_H[n]) + B_1[n]\} (25)$$

где

$$B_1[n] = \sum_{m=1}^{n} [W_2[m](U_0[n-m] - U_H[n-m]) + W_2[n-m+1](U_0[m-1] -$$
$$- U_H[n-1])] - \sum_{m=1}^{n} (W_1[m] i_H[n-m] + W_1[n-m+1] i_H[m-1])$$

В рекуррентном соотношении (25) значение неизвестной функции $U_H[n]$ определяется по следующей методике.

При $\delta=0$ из рекуррентного соотношения (15) получаем следующее выражение для тока $i_H[n]$:

$$i_H[n] = \frac{1}{\rho}\left[\sum_{m=0}^{n} \left(k_2'[m] U_H[n-m] + k_2'[m-1] U_H[n-m+1]\right) - \right.$$
$$- \sum_{m=\lambda}^{n} \left(k_3'[m] U_H[n-m] + k_3'[m-1] U_H[n-m+1]\right)] +$$
$$+ 2 \sum_{m=0,5\lambda}^{n} \left(k_4'[m] i_k[n-m] + k_4'[m-1] i_k[n-m+1]\right) -$$
$$- \sum_{m=\lambda}^{n} (k_1[m] i_H[n-m] + k_1[m-1] i_H[n-m+1]) -$$
$$- \sum_{m=1}^{n} (1[m] i_H[n-m] + 1[n-m+1] i_H[m-1]) \quad (26)$$

где

$$k_2'[n] = 1[n], k_3'[n] = 1[n-\lambda], k_4'[n] = 1[n-0{,}5\lambda]$$

Здесь

$$\sum_{m=0}^{n} \left(k_2'[m] U_H[n-m] + k_2'[m-1] U_H[n-m+1]\right) =$$
$$= k_2'[0] U_H[n] + \sum_{m=1}^{n} \left(k_2'[m] U_H[n-m] + k_2'[m-1] U_H[n-m+1]\right) (27)$$

Выражение (26) с учетом (27) можно представить в виде:

$$i_H[n] = \frac{1}{\rho} U_H[n] + B_2[n] \qquad (28)$$

где

$$B_2[n] = \frac{1}{\rho}\Bigg[\sum_{m=1}^{n}\left(k_2'[m]U_H[n-m] + k_2'[m-1]U_H[n-m+1]\right) -$$
$$-\sum_{m=\lambda}^{n}\left(k_3'[m]U_H[n-m] + k_3'[m-1]U_H[n-m+1]\right)] +$$
$$+\sum_{m=0,5\lambda}^{n}\left(k_4'[m]i_k[n-m] + k_4'[m-1]i_k[n-m+1]\right) -$$
$$-\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]i_H[n-m] + k_1[m-1]i_H[n-m+1]) -$$
$$-\sum_{m=1}^{n}(1[m]i_H[n-m] + 1[n-m+1]i_H[m-1])$$

Подставляя значение решетчатой функции $i_H[n]$ из (28) в (25), получаем следующее рекуррентное соотношение для определения напряжения$U_H[n]$:

$$U_H[n] = \frac{\eta(W_2[0]U_0[n] + B_1[n]) - B_2[n]}{\frac{1}{\rho} + \eta W_2[0]} \qquad (29)$$

где

$$\eta = \frac{\frac{T}{2\lambda}}{a_2 + W_1[0]\frac{T}{2\lambda}}$$

В рекуррентном соотношении (29) в состав решетчатой функции $B_2[n]$ входит неизвестная функция$i_k[n]$ – изменение тока в решетчатой форме в конце электрической цепи с распределенными параметрами. Определение ее значения осуществляется по следующей методике.

Согласно рис.1 для конца электрической линии с распределенными параметрами относительно напряжения $U_k(t)$ можно представить следующее дифференциальное уравнение:

$$U_k(t) = R_2 i_k(t) + L_2\frac{di_k(t)}{dt} + \frac{1}{C_2}\int_0^t i_k(t)dt \qquad (30)$$

При нулевых начальных условиях дифференциальное уравнение (30) в операторной форме можно представить в виде:

$$I_k(s) = \frac{sC_2}{L_2C_2s^2 + R_2C_2s + 1}U_k(s) \qquad (31)$$

Выражение (31) можно представить в виде:

$$L_2C_2I_k(s) + W_2(s)I_k(s) = \frac{1}{s}C_2U_k(s), \qquad (32)$$

где

$$W_2(s) = R_2C_2\frac{1}{s} + \frac{1}{s^2},$$

$W_2(s)$ – передаточная функция.

На основе теоремы свертки [30-35], переходя от Лапласового изображения (32) в область оригиналов, получим следующее интегральное уравнение:

$$L_2C_2i_k(t) + \int_0^t W_2(\theta)i_k(t-\theta)d\theta = C_2\int_0^t 1(\theta)U_k(t-\theta)\,d\theta, \qquad (33)$$

где $W_2(t)=R_2C_2+t$

Далее, пользуясь формулой трапеций, интегральное уравнение (32) в решетчатой форме можно представить в виде:

$$L_2C_2i_k[n] + \frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0}^{n}(W_2[m]i_k[n-m] + W_2[n-m+1]i_k[m-1]) =$$
$$= C_2\frac{T}{2\lambda}\sum_{m=0}^{n}(1[m]U_k[n-m] + 1[n-m+1]U_k[m-1]) \quad (34)$$

где$W_2[n] = R_2C_2 + \frac{nT}{\lambda}$, $W_2[n]$- решетчатая функция.

Здесь

$$\sum_{m=0}^{n}(W_2[m]i_k[n-m] + W_2[n-m+1]i_k[m-1]) =$$
$$= W_2[0]i_k[n] + \sum_{m=1}^{n}(W_2[m]i_k[n-m] + W_2[n-m+1]i_k[m-1]) \qquad (35)$$

$$\sum_{m=0}^{n}(1[m]U_k[n-m] + 1[n-m+1]U_k[m-1]) =$$
$$= U_k[n] + \sum_{m=1}^{n}(1[m]U_k[n-m] + 1[n-m+1]U_k[m-1]) \qquad (36)$$

Выражение (34) с учетом (35), (36) будет:

$$L_2C_2i_k[n] + W_2[0]i_k[n]\frac{T}{2\lambda} + \frac{T}{2\lambda}\sum_{m=1}^{n}(W_2[m]i_k[n-m] + W_2[n-m+1]i_k[m-1]) =$$
$$= C_2\frac{T}{2\lambda}U_k[n] + \sum_{m=1}^{n}1[m]U_k[n-m] + +1[n-m+1]U_k[m-1]C_2\frac{T}{2\lambda} \qquad (37)$$

Выражение (37) можно представить в виде:

$$\left(L_2C_2 + W_2[0]\frac{T}{2\lambda}\right)i_k[n] = C_2\frac{T}{2\lambda}U_k[n] + A_1[n], \qquad (38)$$

где

$$A_1[n] = C_2 \frac{T}{2\lambda} \sum_{m=1}^{n} (1[m]U_k[n-m] + 1[n-m+1]U_k[m-1]) -$$
$$- \frac{T}{2\lambda} \sum_{m=1}^{n} (W_2[m]i_k[n-m] + W_2[n-m+1]i_k[m-1])$$

Выражение (37) можно представить в виде:

$$i_k[n] = \eta\big(C_2 U_k[n] + A_1'[n]\big), \qquad (39)$$

где

$$\eta = \frac{\frac{T}{2\lambda}}{L_2C_2 + W_2[0]\frac{T}{2\lambda}}, \quad A_1'[n] = C_2 \sum_{m=1}^{n} (1[m]U_k[n-m] + 1[n-m+1]U_k[m-1]) -$$
$$- \sum_{m=1}^{n} (W_2[m]i_k[n-m] + W_2[n-m+1]i_k[n-m])$$

В выражении (39) для определения значения напряжения $U_k[n]$, в рекуррентном соотношении (13) принимая $x = l$, получим:

$$U_k[n] = 2 \sum_{m==0,5\lambda}^{n} \big(k_2'[m]U_н[n-m] + k_2'[m-1]U_н[n-m+1]\big) -$$
$$-\rho \sum_{m=0}^{n} \big(k_4'[m]i_k[n-m] + k_4'[n-m+1]i_k[m-1]\big) +$$
$$+\rho \sum_{m=\lambda}^{n} \big(k_5'[m]i_k[m-1] + k_5'[m-1]i_k[n-m+1]\big) -$$
$$- \sum_{m=\lambda}^{n} (k_1[m]U_k[n-m] + k_1[m-1]U_k[n-m+1]) -$$
$$- \sum_{m=1}^{n} (1[m]U_k[n-m] + 1[n-m+1]U_k[m-1]) \qquad (40)$$

где

$$k_2'[n] = 1[n-0{,}5\lambda], k_4'[n] = 1[n], k_5'[n] = 1[n-\lambda]$$

Выражение (40) можно представить в виде:

$$U_k[n] = B_{22}[n] - \rho \sum_{m=0}^{n} \big(k_4'[m]i_k[n-m] + k_4'[n-m+1]i_k[m-1]\big) \qquad (41)$$

где

$$B_{22}[n] = 2 \sum_{m=0,5\lambda}^{n} \big(k_2'[m]U_н[n-m] + k_2'[m-1]U_н[n-m+1]\big) +$$

$$+\rho\sum_{m=\lambda}^{n} k_5'[m]\, i_k[n-m] + k_5'[m-1] i_k[n-m+1] -$$

$$-\sum_{m=\lambda}^{n}(k_1[m]U_k[n-m] + k_1[m-1]U_k[n-m+1]) -$$

$$-\sum_{m=1}^{n}(1[m]U_k[n-m] + 1[n-m+1]U_k[m-1])$$

Здесь

$$\sum_{m=0}^{n}\left(k_4'[m] i_k[n-m] + k_4'[n-m+1] i_k[m-1]\right) =$$

$$= k_4'[0] i_k[n] + \sum_{m=1}^{n}\left(k_4'[m] i_k[n-m] + k_4'[n-m+1] i_k[m-1]\right) \quad (42)$$

Выражение (41) с учетом (42) будет:

$$U_k[n] = B_{22}[n] - \rho k_4'[0] i_k[n] - \rho\sum_{m=1}^{n}\left(k_4'[m] i_k[n-m] + k_4'[n-m+] i_k[m-1]\right) \quad (43)$$

Выражение (43) можно представить в виде:

$$U_k[n] = B_{22}'[n] - \rho k_4'[0] i_k[n], \quad (44)$$

где

$$B_{22}'[n] = B_{22}[n] - \rho\sum_{m=1}^{n}\left(k_4'[m] i_k[n-m] + k_4'[n-m+1] i_k[m-1]\right)$$

Выражение (44) с учетом (39) будет:

$$i_k[n] = \eta\left[C_2\left(B_{22}'[n] - \rho k_4'[0] i_k[n]\right) + A_1'[n]\right] \quad (45)$$

Выражение (45) можно представить в виде:

$$i_k[n]\left(1 + \eta C_2 \rho k_4'[0]\right) = \eta\left[C_2 B_{22}'[n] + A_1'[n]\right] \quad (46)$$

Выражение (46) можно представить в виде:

$$i_k[n] = \frac{\eta}{1 + \eta C_2 \rho k_4'[0]}\left(C_2 B_{22}'[n] + A_1'[n]\right) \quad (47)$$

Следовательно, после определения значений решетчатых функций $U_H[n]$, $i_k[n]$ из рекуррентных соотношений (29), (47) осуществляется переход к нахождению изменения напряжения и тока в любой точке электрической цепи с распределенными параметрами без учета потерь в линии при произвольном законе изменения напряжения $U_0(t)$источника питания, с помощью рекуррентных соотношений (13), (15) в произвольный момент времени.

Преимуществом на базе развития теории операционного исчисления численного метода, по сравнению с численными методами [9-13], является то, что он позволяет найти переходные процессы в сложных электрических цепях с распределенными параметрами без учета потерь в линии, без перехода в область дискретных изображений, а также осуществлять переход от Лапласовых изображений искомых

функций (напряжение, ток) в область оригиналов без нахождения корней характеристических уравнений, минуя стадию использования теоремы разложения, что существенно упрощает математические выкладки и повышаются точность расчетов.

Кроме того, предложенный численный метод является весьма универсальным, в котором, в отличие от существующих методов [6, 9-13], при компьютерном моделировании переходных процессов, возникающих в сложных электрических цепях с распределенными параметрами без учета потерь в линии, при воздействии напряжения произвольной формы, в зависимости от заданной точности расчета, позволяет заменить операцию непрерывного интегрирования суммированием, пользуясь формулами не только прямоугольников, но и трапеций, Симпсона, Уэддля.

---

1. *Джуварлы Ч.М, Пашаев А.М, Гашимов А.М.* Основы теории электрических цепей. Б.: Элм, 2000. -480 с.
2. *Анго А.* Математика для электро и радиоинженеров. М.: Наука, 1964. -700 с.
3. *Левинштейн М.Д.* Операционное исчисление в задачах электротехники. М.: Энергия. 1972. – 358 с.
4. *Конторович М.И.* Операционное исчисление и процессы в электрических цепях. М.: Советское радио. 1975. – 320 с.
5. *Беляцкий А.Ф.* Теория линейных электрических цепей. М.: Радио и связь, 1986. – 320 с.
6. *Астрахан В.И.* О численном обращении изображений при расчете электрических цепей с помощью преобразования Лапласа. / Электричество, 1972, №12. – с. 73-76.
7. *Цыпкин Я.З.* Основы теории автоматических систем. М.: Физматгиз, 1977. – 558 с.
8. *Наумов Б.Н.* Теория линейных автоматических систем. М.: Физматгиз, 1972.–419 с.
9. *Кадымов Я.Б.* Переходные процессы в системах с распределенными параметрами. М.: Физматгиз, 1968. – 191 с.
10. *Кадымов Я.Б. Кулиев З.Я. Мамедов А.И.* Расчет переходных процессов в электрической системе, содержащей цепь с распределенными постоянными параметрами с учетом потерь и нелинейный элемент. / Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, 1972, №4. – с. 72-79.
11. *Алиев Н.Х., Кадымов Я.Б., Мамедов А.И.* Численный метод расчета переходных процессов в сложных неоднородных системах с распределенными параметрами. / Автоматика и телемеханика, 1976, №8. – с. 5-11.
12. *Кадымов Я.Б., Мамедов А.И., Алиев Н.Х.* Метод расчета в m связанных распределенных системах. /Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт, 1976, №3.с.68-73.
13. *Кадымов Я.Б., Листенгартен Б.А., Мамедов А.И.* Численный метод расчета переходных процессов в неоднородных системах с распределенными параметрами. /Изв. Вузов. Электротехника, 1979, №6. – с. 471-477.
14. *Пашаев А.М., Мехтиев А.Ш., Эфендиев О.З., Мамедов А.И.* Развитие теории операционного исчисления для компьютерного моделирования переходных процессов в электрических цепях с распределенными параметрами при учете потерь, при воздействии импульсного напряжения. // Проблемы энергетики, 2009, № 3-4. – с. 50-57.
15. *Пашаев А.М., Мехтиев А.Ш., Эфендиев О.З., Мамедов А.И.* Компьютерное моделирование переходных процессов в электрических цепях с распределенными параметрами при воздействии импульсного напряжения. // Проблемы энергетики, 2010, №2. – с. 62-72.
16. *Пашаев А.М., Мехтиев А.Ш., Мамедов А.И.* Обобщенный численный метод для компьютерного моделирования переходных процессов в электрических цепях с распределенными параметрами, при периодическом воздействии импульсного

напряжения прямоугольной формы. //Доклады НАН Азербайджана, 2010, №6. – с. 21-42.
17. *Пашаев А.М., Эфендиев О.З., Мамедов А.И. Азизов Р.Р.* Развитие теории операционного исчисления для численного моделирования переходных процессов в магистральных нефтепродуктопроводах при последовательной перекачке разносортных нефтепродуктов. //Научные труды Национальной Академии Авиации, посвященные 60-летию Д.Д.Аскерова, 2010, № 1. – с. 77-105.

PAYLANMIŞ PARAMETRLİMÜRƏKKƏBELEKTRİKDÖVRƏLƏRİNDƏ BAŞ VERƏNKEÇİDPROSESLƏRİNİNKOMPÜTERMODELLƏŞDİRİLMƏSİ ÜÇÜN ÜMUMİLƏŞDİRİLMİŞ ƏDƏDİ ÜSUL

CAVADOVN.H.,MƏMMƏDOVA.İ., İBADOVƏ.Ə.

Paylanmış parametrli, mürəkkəb elektrik dövrlərində baş verən keçid proseslərinin compute rmodelləşdirilməsi üçün ümumiləşdirilmiş ədədi üsul təklif edilmişdir.

Açar sözlər: kompüter modelləşdirməsi,paylanmış parametirli elektrik dövrəsi,ədədi üsul.

THE COMPUTER SIMULATION OF TRANSIENT PROCESSES IN ELECTRICAL CHAINS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

JAVADOV N.H., MAMMADOV A.I., IBADOV A.A.

On the base of developed operation calculus the computer simulation of transient processes in electrical chains with distrubuted parameters.

Keywordd:computer simulation,electrikdravewith distributed parameters, numerical method.

УДК. 33.80.Rv;73.50Pz;541.64;539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА И РАЗРЯДНОГО ПРОМЕЖУТКА НА ПРОЦЕСС ВОЗБУЖДЕНИЯ НАНОСЕКУНДНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА В ПЛОТНОМ ВОЗДУХЕ

[1]МАМЕДОВ Х.А., [2]ГАШИМОВ А.М., [3]ГУРБАНОВ Э.Д., [4]НАМАЗОВ М.Б., [5]ГУРБАНОВ К.Б.

[1]"Baku Engineering University
hmammadov@beu.edu.az
[2]Azerbaijan Scientific-Research and Design-Prospecting Power Engineering Institute
ahashimov@azerenerji.gov.az
[3]"Baku Engineering University
elqurbanov@beu.edu.az
[4]"Baku Engineering University
mnamazov@beu.edu.az
[5]Physics Institute of ANAS
arif@physics.ab.az

Настоящая статья посвящена исследованию взаимовлияния параметров потенциального электрода и разрядного промежутка при возбуждении наносекундного импульсного разряда в плотном воздухе (1-4 атм.), влияния различных диэлектрических насадок в конструкции потенциального электрода на характер возбуждения и формирования разряда, его структурные параметры (длина и ширина разрядной зоны), состояния поверхности электрода с малым радиусом кривизны до и после воздействия высокого импульсного напряжения короткой длительности.. Этиисследования направлены на усовершенствование кострукций отдельных компонентов (искровых разрядников высокого давления) высоковольтных импульсных устройств с целью обеспечения стабильной генерации коротких импульсов и создания более эффективных устройств при разработке импульсных генераторов. Предложены новые модели потенциальных электродов с использованием диэлектрических насадок, способствующих координации ионизационных процессов в разрядном промежутке. Показано, что изменение положения диэлектрических насадок друг относительно друга и острия потенциального электрода – катода в пределах 1-5 мм приводит к расширению разрядной зоны и формированию объемного наносекундного разряда. Выявлено, что уменьшение межэлектродного расстояния приводит к контрагированию импульсного разряда и его локализации на минеоднородностях рабочей поверхности катода. С увеличением радиуса кривизны потенциального электрода растет число микронеоднородностей на поверхности катода, способствующее более равномерному распределению максимальной напряженности поля.

Ключевые слова:наносекундный импульсный разряд, плотный воздух, потенциальный электрод, диэлектрическая насадка, межэлектродное расстояние, давление, поверхность катода, микронеоднородности, микровзрывы, радиус кривизны электрода.

Переход от традиционных высоковольтных источников генерации электрической энергии к импульынм требует решения ряда важных технических задач. Постоянное развитие и усовершенствование конструктивных компонентов отдельных импульсных устройств требует проведения неотложных экспериментальных работ и исследований в этом направлении. Импульсная энергетика является относительно новым научным направлением, непрерывно развивающимся в настоящее время и способствующим разработке новейших устройств и источников энергии для применения в различных технологических процессах [1-4]. Высоковольтное импульсное оборудование и отдельные его компоненты создаются на базе проведения широкомасштабных исследовательских работ и обработки полученных научных результатов [5-7]. Эти устройства вырабатывают энергию большой мощности и короткой длительности, которая может быть полезно использована в различных технологических процессов. С

другой стороны, практическое значимость применения высоковольтных импульсных устройств состоит в их энергоэффективности, экономической целесообразности и экологичности. С этой целью, проведение экспериментальных работ в направлении усовершенствования имеющихся и разработке новых конструкций отдельных элементов импульсной энергетики, изучение процессов при возбуждении импульсных электрических разрядов короткой длительности, поверхностных эффектов, возникающих при их генерации имеет очень важное научное и практическое значение.

В настоящей статье рассматриваются вопросы эрозии поверхности высоковольтных потенциальных электродов при возбуждении наносекундного импульсного разряда в плотном воздушном промежутке при различных атмосферных условиях (давление 1-4 атм.). Для проведения экспериментов в лаборатории Физики и техники высоких напряжений Института Физики НАН Азербайджана была разработана установка на базе генератора импульсных напряжений (ГИН) с выходным напряжением 60 кВ. ГИН собран на емкостных накопителях энергии с параметрами импульса на выходе 20/400 нс. В качестве электродной конструкции была предложена модель “игла-плоскость”, “стержень-плоскость” и “шар-плоскость” с диэлектрическими насадками из фарфора, оргстекла и фторопласта (рис.1) [8]. Положение насадок (1,2,7) варьировалось относительно друг друга и конца стержня в диапазоне 0-5 мм. Радиус стержня (1,5) варьировался в пределах 1-4 мм, а диаметр шарового электрода (6) составлял 16 мм. Электроды предварительно подвергались обработке в растворе дистиллированной воды (80%) и FeSO4 (20%), после чего они высушивались и приготавливались к проведению экспериментов. До и после воздействия высокого импульсного напряжения поверхность электродов исследовалась под микроскопом МПСУ-1 и фотографировалась с помощью цифровой фотокамеры. На поверхность стержневых электродов надевались насадки из фарфора (2) и фторопласта (3), а насадка из оргстекла (7) использовалась в конструкции шарового электрода (6). Применение фарворовой трубки способствовало возбуждению частичных разрядов в промежутке стержень-фарфор, а на поверхности фторопластовой насадки накапливались отрицательные ионы вследствие прилипания в воздушном промежутке электрона к нейтральной молекуле кислорода. Итак, варьируя местоположением насадок друг относительно друга мы добивались генерации пучков заряженных частиц с различной объемной структурой. В последнем случае (рис.1, с) фарфоровая трубка не используется из-за больших диаметральных размеров шара.

Таким образом, изменяя межэлектродное расстояние и давление воздушного промежутка мы исследовали изменение габаритных размеров структуры разряда (длину и ширину разрядной зоны) и различные поверхностные явления. Межэлектродное расстояние изменялось в диапазоне 5-20 мм. На рис.2 представлены интегральные фотоснимки свечения наносекундного разряда при различных радиусах кривизны потенциального электрода и результаты измерения геометрических размеров разрядной зоны на примере электродной системы игла-плоскость. Как уже укаывалось, положение диэлектрических насадок друг относительно друга и конца потенциального электрода варьировалось в пределах 1-5 мм при различных давлениях воздушного промежутка, радиусах потенциального электрода и межэлектродных расстояниях. Для облегчения процесса фотографирования разрядного свечения в качестве плоского электрода использовалась металлическая сетка, а фотокамера помещалась в нижней плоскости реактора (под сеткой). На потенциальный электрод подавался импульс отрицательной полярности.

Отметим, что возбуждение и развитие наносекундного импульсного разряда сначала снималось в видео режиме, а затем с помощью специальной компютерной программы были получены фиксированные интегральные фотоснимки. Как видно из рис.2, при одновременном использовании в конструкции потенциального электрода различного рода насадок и увеличении расстояния между их рабочими поверхностями,

габаритные размеры разрядного свечения (ширина и длина разрядной зоны) увеличиваются в диапазоне 9-26 мм и 9.4-25 мм соответственно (рис.2., а-в). С увеличением радиуса кривизны потенциального электрода (стержень-плоскость) и уменьшением межэлектродного расстояния разряд переходит от объемной диффузной формы (д) к локально-контрагированной (е). При этом в диффузной форме свечения наблюдается прикатодная плазма белого свечения и объемное свечение возбужденных молекул азота фиолетового цвета. С уменьшением межэлектродного расстония количество сгустков на катоде возрастает и каждый из них является началом формируемого контрагированного канала. С увеличением давления в воздушном промежутке до 4 атм., радиуса потенциального электрода (шар-плоскость) и наличию насадки из оргстекла напряженность поля в промежутке резко возрастает, наблюдается формирование светящегося шара (ж) белого свечения, что соответствует протеканию высокотемпературных термоионизационных процессов в межэлектродном пространстве. Итак, вариация параметров межэлектродного воздушного промежутка и потенциального электрода приводит к изменению объемных размеров возбуждаемого наносекундного разряда, режимов формирования высокоскоростных процессов в разрядном промежутке, что очекнь важно при разряботке и конструировании искровых разрядников высокого давления.

При формировании наносекундного импульсного разряда в плотном воздушном промежутке на потенциальном электроде и в его окрестности протекают различные физические процессы, отличные от традиционных явлений, происходящих при развитии электрических разрядов на постоянном и переменном напряжении. Среди них можно отметить микровзрывные процессы на катоде при воздействии коротковолнового импульсного напряжения. Следует отметить, что при вариации геометрических размеров потенциального электрода эти процессы приобретают групповой или локальный харакьер. На рис. 3 приведены фотоснимки поверхности катода до и после воздействия импульсного напряжения с характерными размерами кратеров при различных давлениях воздуха и радиусах кривизны потенциального электрода.

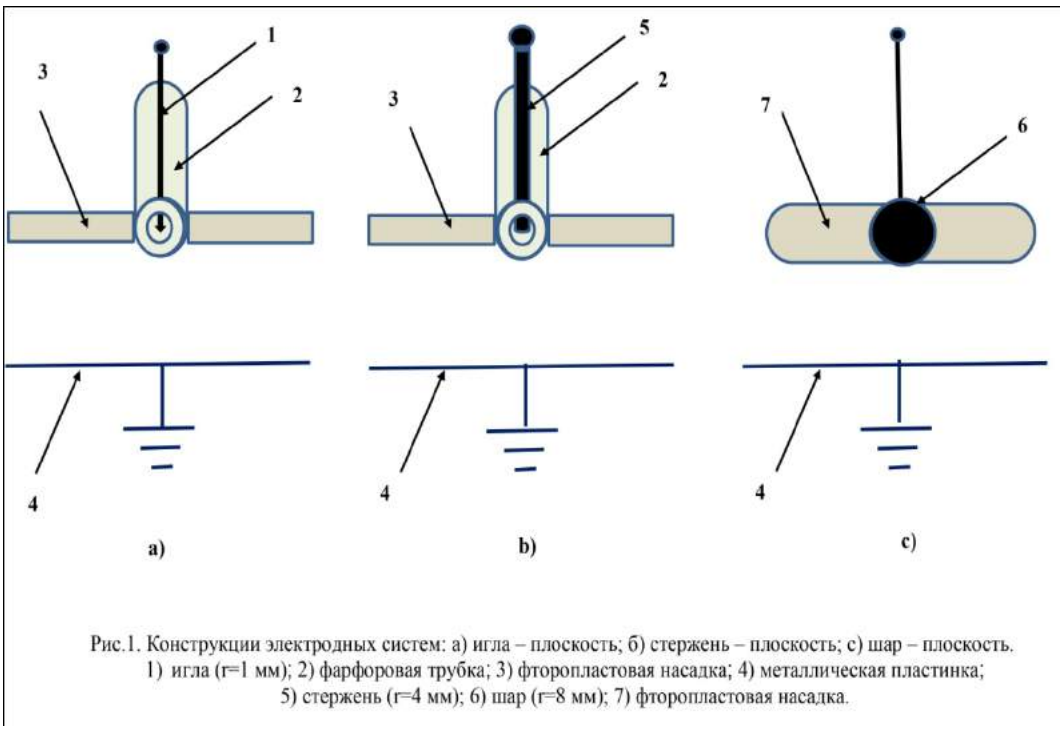
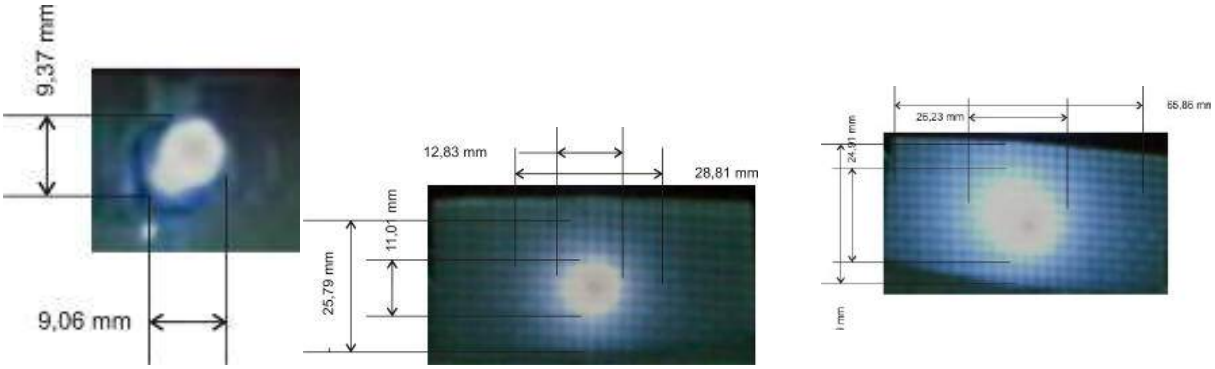


Рис.1. Конструкции электродных систем: а) игла – плоскость; б) стержень – плоскость; с) шар – плоскость.
1) игла (r=1 мм); 2) фарфоровая трубка; 3) фторопластовая насадка; 4) металлическая пластинка;
5) стержень (r=4 мм); 6) шар (r=8 мм); 7) фторопластовая насадка.



а) б) в)

г) д) е) ж)

Рис.2. Интегральные фотоснимки разрядного свечения при различных параметрах и конструкциях потенциального электрода и воздушного промежутка: а) игла (r=1 мм) – плоскость, p=1 атм, d=10 мм, фарфоровая трубка сдвинута на 5 мм относительно конца стержневого электрода; б) игла (r=1 мм) – плоскость, p=1 атм, d=5 мм, фарфоровая трубка сдвинута на 1 мм относительно конца стержневого электрода, а фторопластовая насадка – на 1 мм относительно торца фарфоровой трубки; в) игла (r=1 мм) – плоскость, p=1 атм, d=20 мм, фарфоровая трубка сдвинута на 4 мм относительно конца стержневого электрода, а фторопластовая насадка – на 3 мм относительно торца фарфоровой трубки; г) игла (r=1 мм) – плоскость, p=1 атм, d=3 мм, фарфоровая трубка сдвинута на 1 мм относительно конца стержневого электрода, а фторопластовая насадка – на 1 мм относительно торца фарфоровой трубки; д) стержень (r=4 мм) – плоскость, p=1 атм, d=10 мм (без насадки) е) стержень (r=4 мм) – плоскость, p=1 атм, d=5 мм (без насадки);;; ж) шар (r=8 мм) – плоскость, p=4 атм, d=10 мм, насадка из оргстекла сдвинута на 5 мм относительно рабочего конца шарового электрода.

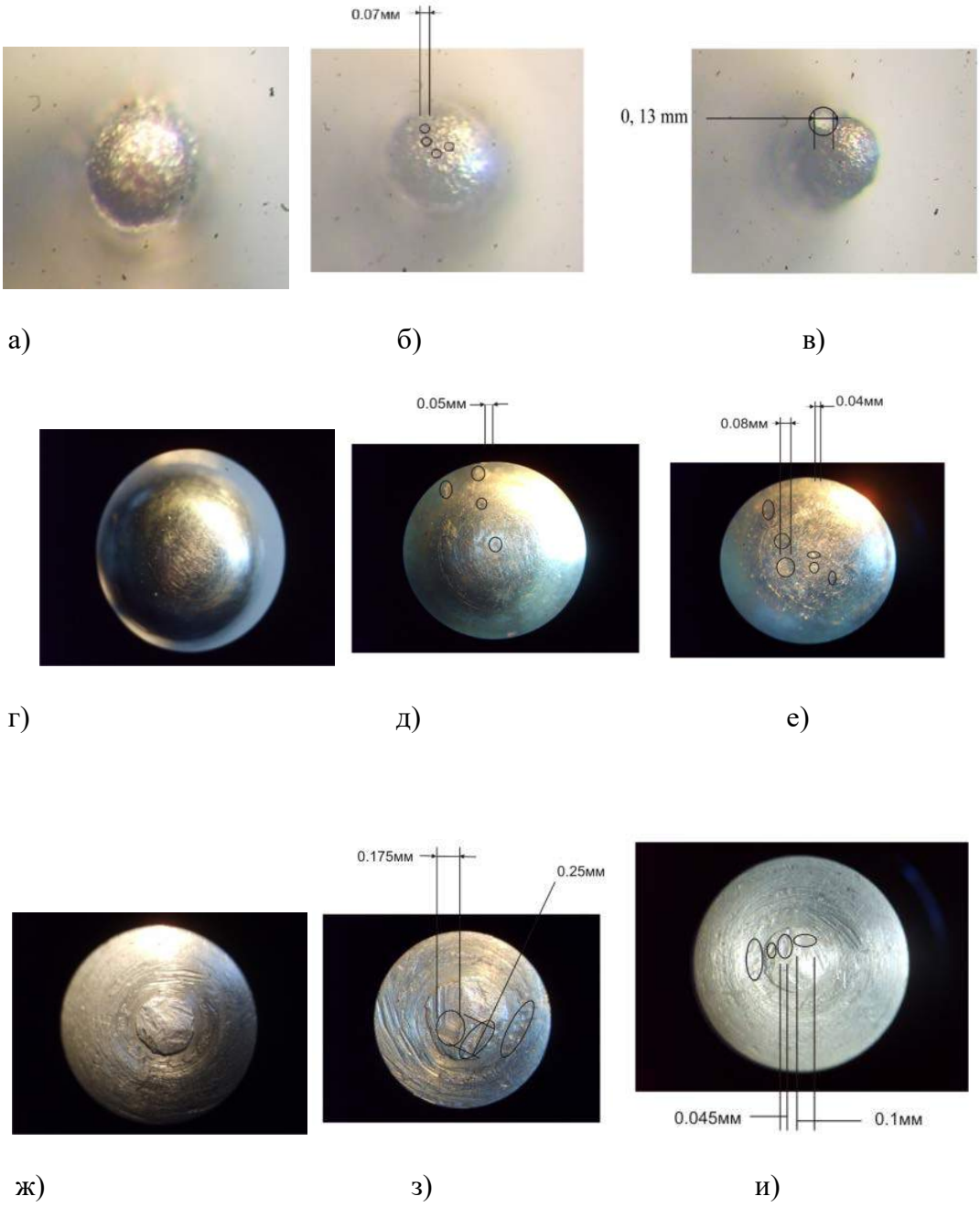


Рис.3. Фотоснимки поверхности потенциального электрода до и после воздействия импульсного напряжения короткой длительности: а) игла (r=1 см) до приложения напряжения; б) игла (r=1 см) после воздействия напряжения (p=1 атм.); в) игла (r=1 см) после воздействия напряжения (p=4 атм.); г) стержень (r=4 см) до приложения напряжения; д) стержень (r=4 см) после воздействия напряжения (p=1 атм.); е) стержень (r=1 см) после воздействия напряжения (p=4 атм.); ж) алюминиевый шар (r=8 см) до приложения напряжения; з) алюминиевый шар (r=8 см) после воздействия напряжения (p=1 атм.); и) алюминиевый шар (r=8 см) после воздействия напряжения (p=4 атм.).

Как видно из рис.3 на поверхности потенциального электрода (катода) имеются неоднородности – микровыступы, на которых возникает максимальная напряженность поля при воздействии высокого напряжения. С увеличением радиуса электрода и расширением его рабочей поверхности число таких неоднородностей возрастает и суммарная максимальная напряженность поля равномерно распределяется по всей поверхности. Наблюдаемое на фотоснимках групповое (рис.3, б) и локальное (рис. 3, в,д,з,и) распределение взрывных участков связано именно с неоднородностью

распределения напряженности поля на поверхности. С увеличением давления воздушного промежутка его пробивное напряжение увеличивается (как и при классических электрических разрядах) и возрастающая напряженность поля приводит к переходу от груповых микровзрывов к локальному (рис.3, б, в) с соответствующим увеличением диаметра микровпадин с 70 мкм (рис.3, б) до 130 мкм (рис.3, в). С увеличением радиуса кривизны потенциального электрода (r=4 см) размеры микровпадин увеличиваются с 50 мкм (рис.3, д) до 80 мкм (рис.3, е). Дальнейшее увеличение радиуса катода (r=8 см) приводит к некоторому уменьшению размеров микровпадин после воздействия импульсного напряжения. Это связано, видимо, с приближением конфигурации поля к однородной с увеличением радиуса кривизны потенциального электрода и соответственно уменьшением напряженности поля на нем.

Таким образом, при воздействии на плотный воздушный промежуток высоковольтных импульсов короткой длительности и возбуждении наносекундного импульсного разряда в приэлектродных областях, а также в объеме промежутка, протекает комплекс высокоскоростных физических процессов, не имеющих место при развитии классических электрических разрядов. Приэлектродные процессы приводят к формированию плазменного канала в окрестности потенциального электрода, взрывным процессам на микронеоднородностях из-за концентрации на них максимальной напряженности поля, генерации электронов высокой энергии, вызывающих бурную ионизацию воздушного промежутка и переходу разряда от диффузной формы к объемной при больших давлениях воздуха. Одновременно, происходит бурная бомбардировка положительными ионами поверхности катода, его нагрев и как следствие термоэлектронная эмиссия с его поверхности. Применение диэлектрических насадок в конструкции потенциального электрода приводит к расширению разрядной зоны и инициации процессов ударной ионизации вдали от катода. Это происходит вследствие возбуждения частичных разрядов в области катод-фарфоровая трубка и генерацией отрицательных ионов кислорода, скапливающихся на поверхности фторопластовой насадки, их дальнейших распадом в области сильного поля с образованием свободных электронов, расширяющих область ионизации. Расширение разрядной зоны при выдвижении диэлектрических насадок друг относительно друга и конца потенциального электрода связано с увеличением области частичныз разрядов в промежутке катод-диэлектрическая насадка, концентрации отрицательных ионов и соответственно свободных электронов. Как уже отмечалось, с увеличением радиуса кривизны потенциального электрода число микронеоднородностей на поверхности растет, которые являются локальным центром ионизационных процессов вблизи электрода. С уменьшением межэлектродного расстояния, диффузный либо объемный разряд переходит в контрагированный, причем колоичество плазменных каналов соответствует числу микронеоднородностей на поверхности потенциального электрода.

Итак, варьированием параметров воздушного промежутка, геометрических размеров потенциального электрода и учетом его конструктивных особенностей, возможно обеспечение регулирования физических процессов, протекающих в меэлектродном пространстве, что очень важно при разработке и конструировании высоковольтных импульсных разрядников высокого давления, обеспечивающих требуемый фронт генерируемого импульса и частоту его следования в соответствии с поставленной задачей.

---

1. *Gurbanov E.D.* Influence of construction of electrode system on development of nanosecond discharges in air at high pressures. The 10-th International conference on technical and physical problems of electrical engineering TPE-2014, Conference Proceedings, Baku, p. 375-378.

2. *Гурбанов Э.Д.* Методика разработки высокочастотных импульсных устройств на основе импульсных трансформаторов. Проблемы энергетики, Баку, 2015, № 2, с.39-47.
3. *Гурбанов Э.Д.* Методика расчета параметров разрядной цепи при разработке высоковольтных импульсных установок технологического назначения. Проблемы энергетики, Баку, № 3, 2015, с. 57-64.
4. *Гашимов А.М., Гурбанов Э.Д.* Разработка высоковольтных импульсных установок и обеспечение мер безопасности при их эксплуатации. Энергетика. Изв. высш. Учеб.заведений и энерг. объединений СНГ, Минск, 2016, т. 59, № 2, с. 95-105.
5. *Gurbanov E.D.* Influence of parameters of the electrode design on a luminescence form of the pulsed discharges in overvoltage gaps. IJTPE, 2015, issue 23, vol. 7, № 2, p. 49-54.
6. *Гурбанов Э.Д.* О генерации озона в импульсном коронном разряде. Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, Bakı, cild. 18, № 4, 2015, s. 65-72.
7. *Mammadov H. A., Hashimov A.M., Gurbanov E.J., Namazov M.B, Tabatabaei N M., Gurbanov K.B.* Investigation of breakdown processes in dense air gaps and their effect on the insulation of dischargers under the influence of short duration high-voltage pulses. 15th International Conference on "Technical and Physical Problems of Electrical Engineering TPE-2019, 14-15 October 2019, Rumeli University.
8. Istanbul, Turkey, Conference Proceedings, p.246-252.
9. *Gurbanov E.J., Mekhtizadeh R.N., Bondyakov A.S., Kazimov Sh.A.* The role of dielectric nozzle on X-radiation of runaway electrons during high voltage breakdown. The 7-th International conference on technical and physical problems of power engineering TPE-2011, Conference Proceedings, Lefkoşa, North Cyprus, p. 333-335.

SIX HAVADA NANOSANİYƏLİ QAZ BOŞALMASININ HƏYACANLANMASINA POTENSİAL ELEKTROD VƏ QAZ BOŞALMASI ARALIĞININ PARAMETRLƏRİNİN QARŞILIQLI TƏSİRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

MƏMMƏDOV H.A., HƏŞİMOV A.M., QURBANOV E.C., NAMAZOV M.B., QURBANOV K.B.

Təqdim olunan məqalə six hava aralığında (1-4 atm.) naosaniyəli impuls qaz boşalmasının həyacanlanma prosesinə potensial elektrod və hava aralığının parametrlərin qarşılıqlı təsirinin öyrənilməsi, qaz boşalmasının həyacanlanma və formalaşma prosesinə və struktur parametrlərinə (qaz boşalması zonasının uzunluğu və eni) potensial elektrodun konstruksiyasında mövcud müxtəlif dielektrik başlıqların təsirinin, qısa müddətli yüksək impuls gərginliklərin təsirindən qabaq və sonra kiçik radiuslu elektrodun səthinin tədqiqatına həsr edilmişdir. Bu tədqiqatlar yüksək gərginlikli impuls avadanlığının ayrı ayrı komponentlərinin (yüksək təzyiqli qığılcım boşaldıcıları) təkmilləşdirilməsi, qısa impulsların stabil generasiyasının təminatı və impuls generatorların işlənilməsi zamanı daha effektiv cihazların yaradılması məqsədilə aparılır. Qaz boşalması aralığında ionlaşma proseslərinin koordinasiyası üçün potensial elektrodlarda dielektrik başlıqların istifadə olunan yeni modelləri təklif edilmişdir. Göstərilmişdir ki, dielektrik başlıqların vəziyyətinin bir birinə və potensial elektrodun-katodun ucluğuna qarşı 1-5 mm civarında dəyişməsi (hərəkəti) qaz boşalması zonasının genişlənməsi və həcmi nanosaniyəli qaz boşalmasının formalaşmasına səbəb olur. Müəyyən edilmişdir ki, elektrodlar arası məsafənin azaldılması impuls qaz boşalmasının katodun səthində mövcud olan mikroçıxıntılarda lokallaşmasına imkan yaradır.

Qeyd edilmişdir ki, potesial elektrodunun əyrilik radiusu artdıqca katodun səthindəki mikroçıxıntıların sayı artır və bu səbəbdən orada maksimal elektrik sahənin daha bərabər paylanması baş verir.

Açar sözlər: nanosaniyəli impuls qaz boşalması, sıx hava, potensial elektrod, dielektrik başlıq, elektrodlar arası məsafə, təzyiq, katodun səthi, mikroçıxıntılar, mikropartlayışlar, elektrodun əyrilik radiusu.

RESEARCH OF INTERACTION OF POTENTIAL ELECTRODE AND DISCHARGE GAP PARAMETERS ON EXCITING A NANOSECOND PULSE DISCHARGE IN DENSE AIR

MAMMADOV H.A., HASHIMOV A.M., GURBANOV E.J., NAMAZOV M.B., GURBANOV K.B.

This article is devoted to study of mutual influence of parameters potential electrode and discharge gap on excitation of nanosecond pulsed discharge in dense air (1-4 atm.), effect of various dielectric nozzles in design of potential electrode on excitation and formation of discharge, its structural parameters (length and width of discharge zone), state of electrode surface with a small radius of curvature before and after exposure to short duration high pulse voltage. These studies aimed at improving construction of individual components (high-pressure spark gaps) of high-voltage pulse devices in order to ensure stable generation of short pulses and create more efficient devices in development of pulse generators. New models of potential electrodes using dielectric nozzles that facilitate coordination of ionization processes in discharge gap are proposed. It is shown that change in position of dielectric nozzles relative to each other and the tip of potential electrode — cathode within 1–5 mm leads to expansion of discharge zone and formation of volume nanosecond discharge. It was found that decrease in interelectrode distance leads to contraction of pulsed discharge and its localization on mineral heterogeneities of cathode working surface. With an increase in radius of curvature of potential electrode, number of microinhomogeneities on cathode surface is increased, which contributes to a more uniform distribution of maximum field strength.

Keywords: nanosecond pulsed discharge, dense air, potential electrode, dielectric nozzle, interelectrode distance, pressure, cathode surface, microinhomogeneities, microexplosions, electrode curvature radius.

Pacs:42.55.Ye, 73.63.Fg, 87.64.Je

SPREY KOATİNQ ÜSULU İLƏ TƏBƏQƏNİN ÜZƏRİNƏ ÇÖKDÜRÜLMÜŞ KARBON NANOBORULARIN RAMAN ANALİZİ

[1]ABASZADƏ R.Q., [1]ASİMOV Ə.A., [1]MƏMMƏDOVA S.A., [1] ƏLƏKBƏROVR.İ., [1]ƏLİYEV O.Ə., [2]NƏBİYEV A.M., [3]ƏLİYEVE.M., [4]SƏFƏRƏLİYEV Ş.K., [5]KAPUŞ O.A.

[1]Azərbaycan MEA-nın H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Az-1143, Bakı şəhəri H.Cavid pr. 131
[2]Bakı Dövlət Universiteti, Z.Xəlilov küç., 23, Bakı, 1048, Azərbaycan
[3]Helmholts-Centrum Polimer Araşdırmaları İnstitutu, Almaniya, Maks-Plank küç.1, 21502,Gestac şəhəri, Almaniya.
[4]Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, Az1000, Bakı şəhəri, Z.Əliyeva küç., 18.
[5]Ukrayna Milli Elmlər Akademiyası, V.E.Laşkarov adına Yarımkeçiricilər Fizikası İnstitutu,Nauky pros.41, 02000, Kiev, Ukrayna.
abaszada@gmail.com, r.abaszada@physics.science.az

Təqdim olunan məqalə elektrik qövsü metodu ilə alınmış karbon nanoborunun və qadoliniumla aşqarlanmış karbon nanoborunun SiO_2 təbəqəsinin üzərinə sprey koatinq metodu ilə çökdürülmüş və raman analizinə baxılmışdır. Göstərilmişdir ki, tədqiq edilən metodun xüsusiyyətindən asılı olaraq karbon nanoboruların intensivlikləri və tezlikləri uyğun olaraq dəyişir.

Açar sözlər:karbon nanoboru, qadolinium, raman səpilməsi, sprey çökdürülmə metodu.

Giriş: Son illər aparılan tədqiqat işlərinin əksəriyyəti qrafen əsaslı materialların tədqiqinə həsr olunmuşdur. Belə ki, ilk dəfə olaraq yapon alimi İidjima tərəfindən karbonun boruşəkilli formada tədqiqi həyata keçirilmişdir [1]. Karbon nanoboruları mühüm mexaniki, optik və elektrik xassələrinə görə geniş tətbiq imkanlarına malikdirlər [2,3]. Karbon nanoboruları, özləri-nin geniş tətbiq sahələri ilə yanaşı, nanoelektronikada, molekulyar elektronikada, fotonikada, energetikada, tibbdə və elmin müxtəlif sahələrində geniş tətqiq olunur [4,5,6].

Qrafen əsaslı materialların tədqiqi əvvəlki illərlə müqayisədə daha da geniş vüsət almışdır [7]. Karbon nanoboruların alınması üçün ən çox istifadə olunan aerozol [8], elektrik qövsü [9], lazer ablyasiya [10], kimyəvi buxar çökdürülmə [11] metodları vardır. Nadir torpaq elementlərinin geniş tətbiq sahələri vardır. Radioelektronikada, cihazqayırmada, maşınqayırma-da, kimya sənayesində geniş tətbiq imkanlarına malikdirlər. Karbon nanoboruların raman səpilməsi spektrində ikiqat rezonans hadisəsinin təbiəti [12] və ikiqat rezonans pikinin müşahidə olunması kriteriyaları göstərilmişdir [13]. Nadir torpaq elementləri içərisində özünün fiziki xüsusiyyətlərinə görə fərqlənən qadolinium olduqca maraqlıdır. Bu baxımdan karbon nanoboru-ların qadoliniumla aşqarlanması həyata keçirilmişdir.

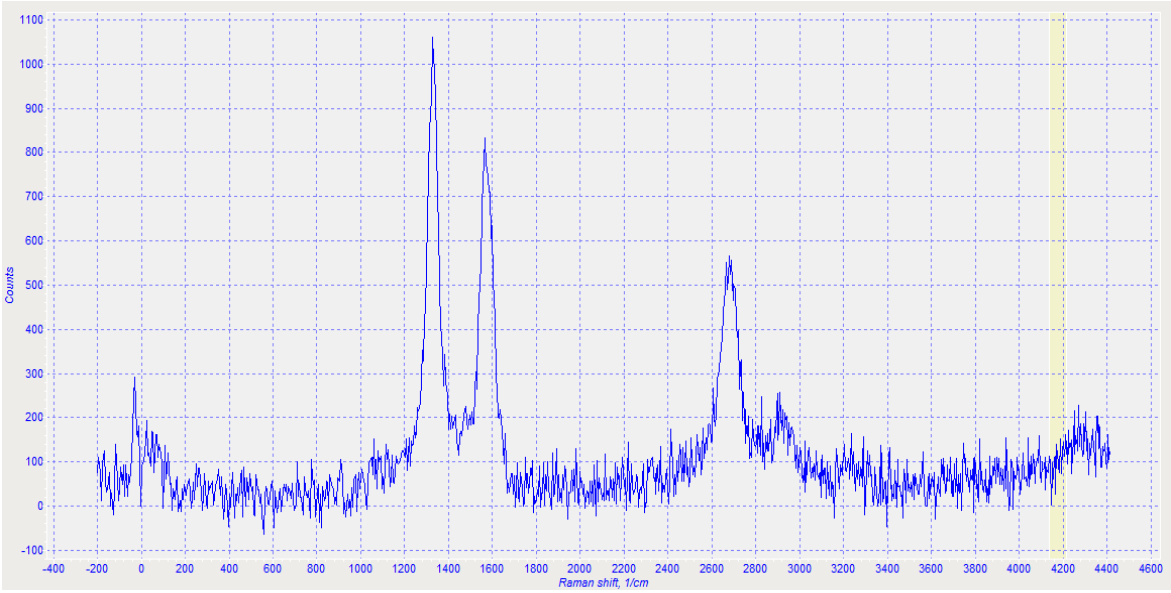
Təcrübi hissə. Karbon nanoboruların müxtəlif alınma metodları vardır. Bu metodlar içərisində elektrik qövsü (*arc* discharge) metodu özünəməxsusluğu ilə seçilir. Bizdə bu metoddan istifadə edərək karbon nanoboruları sintez etmişik [14,15]. Sintez edilmiş karbon nanoboruları funksionallaşdırılmış və daha sonra qadoliniumla aşqarlanmışdır [16].

Aşqarlanma prosesi növbəti mərhələdə həyata heçirilmişdir: 0,02 qram Gd_2S_3 ilə 0,08 qram (1-20% nisbətində) funksionallaşdırılmış karbon nanoboru (FCNTs) petri şüşəsində qarışdırılaraq 150 millilitrlik kolbaya daxil edilmişdir. Üzərinə 50 millilitr distillə suyu əlavə edilmiş, kolbadaki qarışıq əks soyuducu ilə təchiz olunmuş maqnit qarışdırıcıda 6 saat müddətində qarışdırılmışdır. Alınmış məhlul sprey metodundan istifadə edilərək

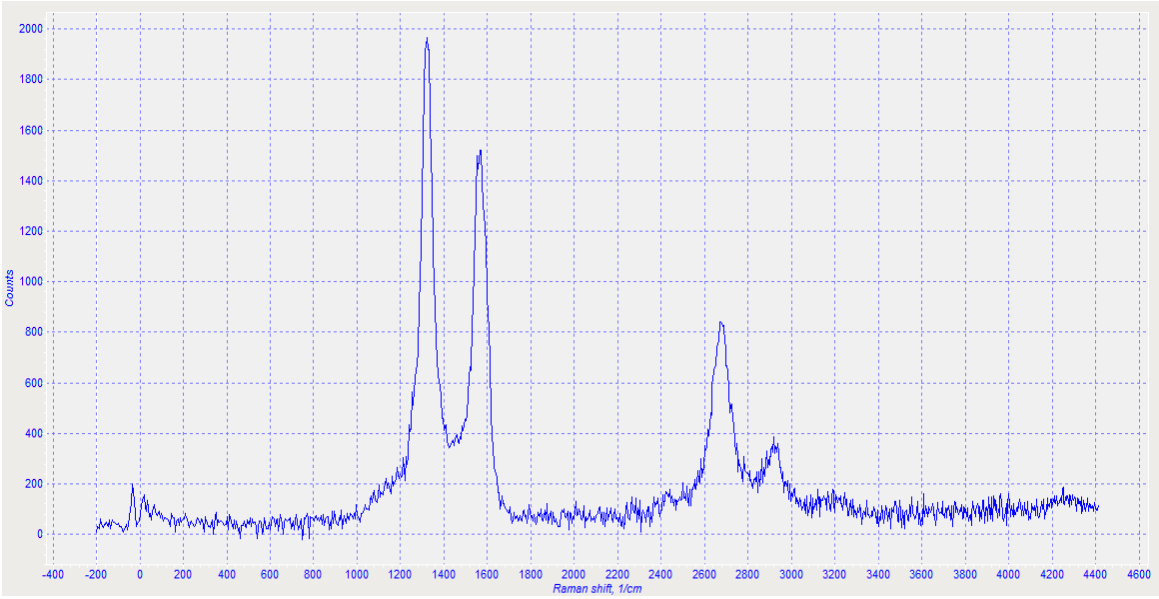
SiO_2təbəqəsinin üzərinə çökdürülmüşdür. Raman səpilməsi qrafen əsaslı materialların dioqnostika edilməsi üçün mühüm metod hesab olunur.

Raman səpilməsi spektrlərinin ölçülməsi Nanofinder 30 (Tokyo İnstr, Japan) konfokal raman mikrospektrometrində aparılmışdır. Həyəcanlandırıcı mənbə kimi 532nm dalğa uzunluğu və 10mVt olan maksimal gücə malik Nd:YAG lazerindən istifadə olunmuşdur. Bu zaman spektral ayıretmə qabiliyyəti $0,5sm^{-1}$ –dir. Detektor kimi (-70^0C) -ə qədər soyudulan və fonon hesabi rejimdə işləyən CCD kamerasından istifadə edilmişdir.

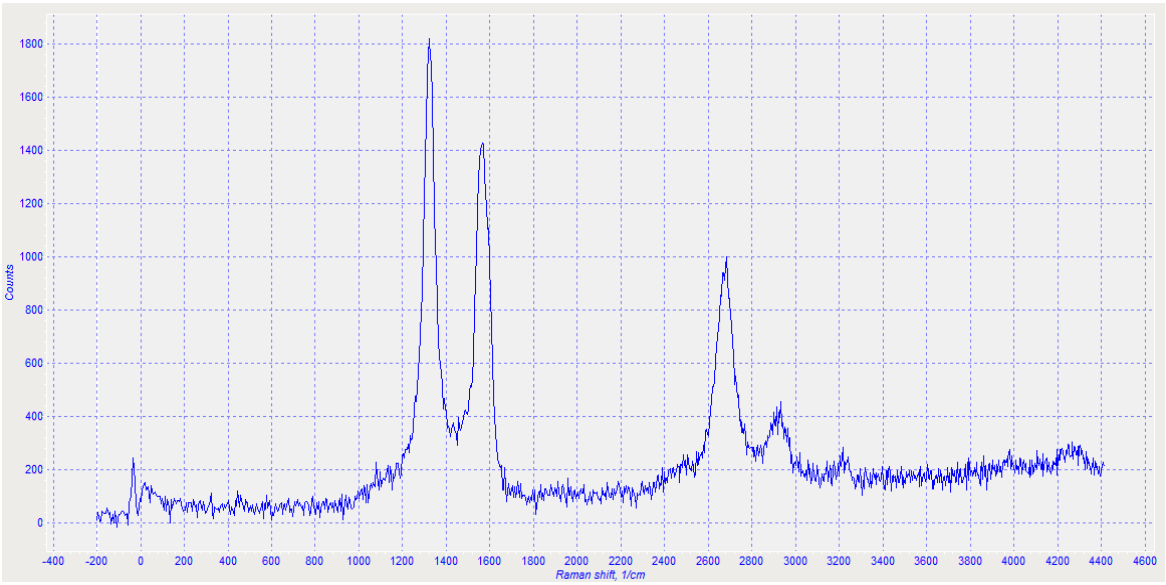
Nəticələr və onların müzakirəsi:



Şək.1. Sintez olunmuş karbon nanoborunun raman səpilməsi.



Şək.2. Bir qat sprey çökdürülmə metodu ilə alınmış karbon nanoborunun raman səpilməsi.



Şək.3. İki qat sprey çökdürülmə metodu ilə alınmış karbon nanoborunun raman səpilməsi.

Raman səpilməsi metodu müxtəlif həndəsi formaya malik karbon əsaslı nümunələrin diaqnostikası üçün əvəzolunmaz metodlardan hesab olunur. Şəkil 1 -də Raman analizinə əsasən D piki uyğun olaraq tezliyi 1338sm^{-1} -də intensivliyi isə 817 -də; G pikinintezliyi 1595sm^{-1}intensivliyi isə 703 -də, 2D piki tezliyi isə 2676sm^{-1}intensivliyi də uyğun olaraq 421 -də müşahidə olunmuşdur. Raman analizinin bu nəticələri göstərir ki, D pikinin intensivliyi, G pikinin intensivliyi ilə müqayisədə daha intensiv xarakter daşıyır. Qeyd etmək lazımdır ki, elektrik qövsü metodundan istifadə edərək yüksək keyfiyyətli karbon nanoborunun alınmış və raman analizi ilə təsdiq edilmişdir. Şəkil 2 -də sprey çökdürülmə metodundan istifadə edərək alınmış nümunənin SiO_2 təbəqəsinin üzərinə bir qat çökdürülməsi ilə Raman analizinə baxılmış və D piki uyğun olaraq tezliyi 1350sm^{-1} -də intensivliyi isə 1966 -da; G pikinintezliyi 1593sm^{-1}intensivliyi isə 1520 -də, 2D piki tezliyi isə 2673sm^{-1}intensivliyi də uyğun olaraq 841 -də müşahidə olunmuşdur. Şəkil 3 -də sprey çökdürülmə metodundan istifadə edərək alınmış nümunənin SiO_2 təbəqəsinin üzərinə iki qat çökdürülməsi ilə Raman analizinə baxılmış və D piki uyğun olaraq tezliyi 1350sm^{-1} -də intensivliyi isə 1819 -da; G pikinintezliyi 1594sm^{-1}intensivliyi isə 1425 -də, 2D piki tezliyi isə 2712sm^{-1}intensivliyi də uyğun olaraq 1000 -də müşahidə olunmuşdur. Şəkillərdən də göründüyü kimi bir qat ilə müqayisədə iki qat çökdürülmə metodu zamanı intensivliklərin kəskin dəyişdiyi müşahidə olunmuşdur.

1. *Iijima S.,* Synthesis of Carbon Nanotubes, Nature, 354, 1991, pp.56-58.
2. Loiseau A., Understanding Carbon Nanotubes, Lect. Notes Phys. 2006, vol.677, pp. 495-543.
3. *Reich S., Thomsen C., Maultzsch J.,* Carbon nanotubes, Basic Concepts and Physical Properties, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim,2004, pp. 31-115.
4. *Jorio A., Dresselhaus G., Dresselhaus M.S.,* Carbon Nanotubes, Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and Applications, Topics in Applied Physics, 2008, vol.111, p.720.
5. *Макунин А.В., Чеченин Н.Г.,* Синтез и свойства наноуглеродных структур: учебное пособие, М.: Университетская книга,2011, стр 150.
6. *O'Connell M.J.,* Carbon nanotubes: Properties and applications, 1st edition, CRC Press, 2006, p. 360.

7. *Zheng Li*, *Zheng Liu*, *Haiyan Sun*, *Chao Gao*,Superstructured Assembly of Nanocarbons: Fullerenes, Nanotubes, and Graphene, Chemical Reviews, 2015, №115, vol.15, pp.7046-7117.
8. *Nasibulin A.G., Moisala A., Brown D.P., Jiang H., Kauppinen E.I.,*A novel aerosol method for single walled carbon nanotube synthesis, Chemical Physics Letters, 402, 2005, pp.227–232.
9. *Journet C, Maser W.K. Bernier P., Loiseau A., Lamy de la Chapelle M., Lefrant S., Deniard P., Lee R., Fischer J.E.* Large-scale production of single-walled carbon nanotubes by the electric-arc technique, Nature, 1997, vol.388, pp.756-758.
10. *Krätschmer W., Lamb L.D., Fostiropoulos K., Huffman D.R.,* Solid C60: A New Form of Carbon, Nature, 1990, vol.347, pp.354-358.
11. *Kong J., Cassell A.M., Dai H.J.* Chemical vapor deposition of methane for single walled carbon nanotubes, Chem.Phys.Lett., 1998, vol.292, pp.567-574.
12. *Zhonghua Y., Louis B.,* Rayleigh and Raman Scattering from Individual Carbon Nanotube Bundles, J.Phys.Chem., B.105, 2001, pp.1123-1134.
13. *Thomsen C.,* Raman scattering in carbon nanotubes, Appl.Physics 108, (2007), pp.115–232.
14. *Ando Y., Zhao X.,* Synthesis of carbon nanotubes by arc-discharge method, New diamond and frontier carbon technology, 2006, vol.16, no.3, pp.122-137.
15. *Abaszadə R.Q., Məmmədova S.A., Ələkbərov R.İ., Nəbiyev A.M., Əliyev E.M., Səfərəliyev Ş.K., KapuşO.A.,* Karbon nanoboruların alınması və analizi, Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri, 2019, №3, səh.11-19.
16. *Abaszadə R.Q., Məmmədova S.A., Ələkbərov R.İ., O.Ə.Əliyev, Nəbiyev A.M., Əliyev E.M., KapuşO.A., Səfərəliyev Ş.K.,* Karbon nanoboruların funksionallaşdırılması və raman səpilməsi vasitəsi ilə analizi, 2019, vol. XXVII №4, section: Az, səh. 9-14.

РАМАН АНАЛИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НАНЕСЕННЫХ СПРЕЙ МЕТОДОМ НА ПОДЛОЖКУ

АБАСЗАДЕР.Г., АСИМОВА.А., МАМЕДОВАС.А., АЛЕКБЕРОВР.И., АЛИЕВ О.А., НАБИЕВА.М., АЛИЕВЕ.М., САФАРАЛИЕВШ.К., КАПУШ О.А.

Статья представляет собой исследование с помощью комбинационного рассеяния углеродных нанотрубок, получаемых дуговым методом, которые напылялись на слое SiO_2 с помощью спирей - метода. Показано, что интенсивности и частотыв спектрах напиленных углеродных нанотрубок существенно изменяются.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, гадолинии, комбинационное рассеяние, спирей метод.

RAMAN ANALYSIS OF CARBON NANOTUBESDEPOSİTED ON A SUBSTRATE BY SPRAY METHOD

ABASZADER.G., ASİMOVA.A., MAMADOVAS.A., ALAKBAROVR.İ., ALİYEVO.A., NABİEVA.M., ALİEVE.M., SAFARALİYEVSh.K., KAPUSHO.A.

The paper is a study using Raman scattering of carbon nanotubes obtained by the arc method, which were deposited on a SiO2 layer using the spray method. It was shown that the intensities and frequencies in the spectra of deposited carbon nanotubes significantly change.

Keywords: Carbon nanotubes, gadolinium, Raman scattering, spray coating method.

UOT 533.933

CİVƏ PLAZMASINDA İONLARIN PAYLANMA FUNKSİYASININ TƏYİNİ

HÜSEYNOV T.X., QƏRİBOV Q.İ., SƏFƏROV V.H., RƏSULOV E.A., ALLAHVERDİYEV Ş.A.

Bakı Dövlət Universiteti
htarlan@mail.ru

Civə buxarının qövs boşalması plazmasında ionların enerjilərə görə paylanma funksiyası təcrübi olaraq zond üsulu ilə tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, stasionar halda ionların paylanma funksiyası Maksvel paylanmasından kəskin fərqlənir. E/p nisbəti böyüdükcə, paylanma funksiyasının maksimumunun azalma sürəti ləngiyir. Bundan başqa, sərbəst qaçış yolunda ionların qazandıqları sürət, atomların istilik hərəkət sürətlərindən böyük olur və plazmada rezonans yükötürmə prosesi üstün rol oynayır.

Açar sözlər: qövs boşalması plazması, anizotrop plazma, ionların paylanma funksiyası, zond üsulu, plazmada yükdaşıyıcıların radial paylanması, cərəyanın modullaşdırılması, differensiallayıcı siqnal.

İonların iştirakı ilə baş verən plazmakimyəvi reaksiyaların öyrənilməsində, ionların yürüklüyünün təyin edilməsində, plazmadakı neytral komponentin qızması və s. proseslərdə ionların enerjilərə görə paylanma funksiyasının tədqiq edilməsi böyük maraq kəsb edir. Müasir dövrdə ən çox öyrənilən elm sahələrindən biri də plazma nanotexnologiyasıdır, belə ki, burada müxtəlif materialların səthinin plazma təsiri ilə təmizlənməsi, ion dəstəsi ilə səthin bombardman edilməsi yolu ilə səthin aşındırılması prosesləri həyata keçirilir [1].
İonların paylanma funksiyası (İPF) nəzəri olaraq tam öyrənilmişdir. Lakin arqon boşalmasında uzununa istiqamətdə ion spektral xətlərinin Dopler şürüşməsinin spektroskopik üsulla ölçmələrinin aparıldığı [2] işindən əlavə demək olar ki, digər təcrübi tədqiqatlar aparılmamışdır. Ona görə də bu sahədə yeni təcrübi tədqiqatların aparılması xüsusi maraq doğurur.

Təqdim olunan işdə sabit elektrik sahəsində civə buxarının qövs boşalması plazmasında ionların enerjilərə görə paylanması təcrübi olaraq öyrənilmişdir.

İPF-IN ÖLÇÜLMƏSİNİN NƏZƏRİ ƏSASLARI

İPF-i təyin etmək üçün zondun voltamper xarakteristikasının müsbət potensial hissəsindən istifadə edilir. Zond xarakteristikasının həmin hissəsində plazmadakı ionlar ləngidici elektrik sahəsində hərəkət edirlər. Bu halda, ionların enerjisi kiçik olduğuna görə, zondun müsbət potensialında müstəvi zonddakı elektron cərəyanı potensialdan asılı olmur və sabit qalır, müstəvi zonddakı elektron cərəyanının ikinci tərtib törəməsi isə sıfra bərabər olur. Göstərilən şərtlər daxilində ionlar tormozlayıcı elektrik sahəsində hərəkət etdiyindən, ion cərəyanının zamana görə ikinci tərtib törəməsi paylanma funksiyası haqqında tam məlumat daşıyır. Buna görə də, tədqiq etdiyimiz 0÷1 V potensial intervalında I_U'' ifadəsi ionların paylanma funksiyasını təsvir edir. I_U'' qeyd edilərkən, demodullaşma və fazaya görə detektəetmə texnikasının köməyi ilə boşalmada elektrik cərəyanının sabit qalmasına əsas diqqət yetirilir.

Aksial-simmetrik plazmada sferik koordinat sistemində simmetriya oxu istiqamətində ionların sürətlərə görə paylanma funksiyası azimutal bucaqdan asılı deyil:

$$F_{ia}(r,\mathrm{v}) = F_{ia}(r,V,\theta) \tag{1}$$

Burada $V = |\mathrm{v}|$, θ – polyar bucaqdır. Plazmadan zondun səthinə düşən ion cərəyanını ölçərkən fərz edirik ki, zondun potensial çəpərini keçən bütün ionlar zond tərəfindən udulur və onun səthindən ikici elektron emissiyası hadisəsi baş vermir:

$$I = qS\int V_n F_{ia}(\mathrm{v})d\mathrm{v} = \frac{2qS}{m^2}\int_0^{2\pi} d\phi' \int_{qU}^{\infty} \varepsilon d\varepsilon \int_0^{\theta'_{\max}} F_{ia}(\varepsilon,\theta',\phi')\cos\theta' \sin\theta' d\theta' . \qquad (2)$$

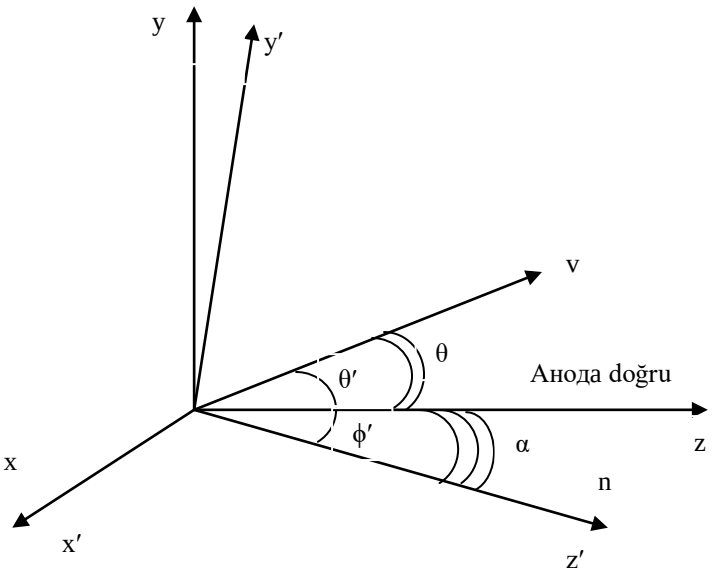
Burada V_n – sürət vektorunun zondun səthinə normal istiqamətdəki toplananı, $V_n = \upsilon cos\,\theta' \geq \upsilon_{min} = (2qU/m)^{1/2}$; m – ionun kütləsi, U – zondun müsbət potensialı, ε = $mv^2/2$, ϕ′, θ′ - uyğun olaraq, polyar oxu sferik koordinat sistemində olan v vektorunun azimutal və polyar bucaqlardır. (2) ifadəsini U-ə görə iki dəfə differensiallasaq:

$$I''_U = \frac{q^3 S}{m^2}\left[\int_0^{2\pi} F_{ia}(qU,\theta'=0,\phi')d\phi' - \int_0^{2\pi} d\phi' \int_{qU}^{\infty} \frac{\partial}{\partial(qU)} F_{ia}(\varepsilon\theta'_{\max},\phi')d\varepsilon\right]. \qquad (3)$$

(2) ifadəsində inteqral altında olan funksiya İPF-i təsvir etdiyi üçün (3)-də dekard koordinat sistemindən polyar koordinat siteminə keçək. Bu məqsədlə θ′-ı θ və ϕ′-ı isə α ilə əvəz edək (şəkil 1.):

$$\cos\theta = \cos\theta'\cos\alpha + \sin\theta'\sin\alpha\cos\phi',$$

Burada $\cos\theta' = \sqrt{\frac{qU}{\varepsilon}}\cos\alpha + \sqrt{1-\frac{qU}{\varepsilon}}\sin\alpha\cos\phi'$.



Şək.1. Məsələnin həndəsi təsviri: n – zondun səthinə yönəlmiş normaldır.

Onda:

$$I_U^{II}(qU,\alpha) = \frac{2\pi q^3 S}{m^2}\left[F_{ia}(qU,\alpha) - \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} d\phi' \int_{qU}^{\infty} \frac{\partial}{\partial(qU)} F_{ia}(\varepsilon,\theta^*)d\varepsilon\right] \qquad (4)$$

(4) tənliyi İPF-ı üçün axtardığımız inteqral tənliyi ifadə edir. Paylanma funksiyasının aşkar şəklini tapmaq üçün $F_{ia}(\varepsilon, \theta)$ və $I_U^{II}(qU, \alpha)$ funksiyalarını Lejandr həddlərinin cəmi şəklində sıraya ayıraq:

$$F_{ia}(\varepsilon, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} F_{ia}^n(\varepsilon) P^n(\cos\theta), \tag{5}$$

$$I_U^{II}(qU, \alpha) = \frac{2\pi q^3 S}{m^2} \sum_{n=0}^{\infty} F^n(qU) P^n(\cos\alpha). \tag{6}$$

Qeyd edək ki, Lejandr həddləri fiziki mənaya malik olub, onların köməyi ilə plazmanın parametrlərini tapmaq olur. Məsələn, f_0 həddi ionların konsentrasiyasını:

$$n = \frac{4\pi\sqrt{2}}{m^{3/2}} \int_0^{\infty} \sqrt{\varepsilon}\, f_0(\varepsilon) d\varepsilon$$

və f_1 həddi plazmada ion cərəyan sıxlığını:

$$f_1 = \frac{8\pi q}{3m^2} \int_0^{\infty} \varepsilon f_1(\varepsilon) d\varepsilon .$$

ifadə edirlər. (5) və (6) ifadələrini (4)-də nəzərə alsaq, F_{ia}^n ilə F^n arasında əlaqə yarada bilərik:

$$F_{ia}^n(qU) = F^n(qU) + \int_{qU}^{\infty} F_{ia}^n(\varepsilon) \frac{\partial}{\partial(qU)} P^n\left(\sqrt{\frac{qU}{\varepsilon}}\right) d\varepsilon . \tag{7}$$

Burada Lejandr həddləri haqqında

$$P^n(\cos\theta') = P^n(\cos\alpha) P^n\left(\sqrt{\frac{qU}{\varepsilon}}\right) + 2\sum_{k=1}^{n} \frac{(n-k)!}{(n+k)!} P_k^n(\cos\alpha) P_k^n\left(\sqrt{\frac{qU}{\varepsilon}}\right) \cos k\phi' .$$

toplama teoremindən istifadə edilmişdir.

(7) ifadəsi Volterin II növ inteqral tənliyi adlanır. Volter operatorundan istifadə edərək, F_{ia}^n-nı tapmaq olar:

$$F_{ia}^n(qU) = F^n(qU) + \int_{qU}^{\infty} F^n(\varepsilon) R^n(qU, \varepsilon) d\varepsilon . \tag{8}$$

Burada $R_j(qU, \varepsilon) = \frac{2 - (j+1)}{qU} \sum_{k=0}^{j/2} a_{kj} \left(\frac{\varepsilon}{qU}\right)^{\frac{j-2k-1}{2}}$, $a_{kj} = (-1)^k \frac{(2j-2k)!(j-2k)}{k!(j-k)!(j-2k)!}$, $j = 0, 2, 4\ldots$

$j = 0, 2, 4\ldots$ qiymətləri üçün həmin operatorun açıq şəkli:

$$R_0(qU, \varepsilon) = 0;$$

$$R_2(qU,\varepsilon)=\frac{3\varepsilon^{1/2}}{2u^{3/2}};$$

$$R_4(qU,\varepsilon)=\frac{5\varepsilon^{1/2}}{4u^{3/2}}\left(7\frac{\varepsilon}{u}-3\right);$$

$$R_6(qU,\varepsilon)=\frac{21\varepsilon^{1/2}}{16u^{3/2}}\left(33\left(\frac{\varepsilon}{u}\right)^2-30\frac{\varepsilon}{u}+5\right).$$

(8) ifadəsində *n*-ci komponent üçün (5)-i nəzərə alsaq:

$$F_{ia}^{n}(qU)=\frac{(2n+1)m^2}{4\pi q^3 S}\int_{-1}^{1}I_U''(qU,x)P^n(x)dx$$

və ya

$$F_{ia}^{n}(qU)=\frac{(2n+1)m^2}{4\pi q^3 S}\int_{-1}^{1}\left[I_U''(qU,x)+\int_{qU}^{\infty}I_U''(\varepsilon,x)R''(qU,\varepsilon)d\varepsilon\right]P^n(x)dx. \qquad (9)$$

tətbiq edilən üsul üçün əsas ifadəni alarıq. Burada $x=\cos\alpha$.

Nəticədə, (5) sırasında birinci üç həddüçün:

$$F_{ia}^{0}(qU)=\frac{m^2}{4\pi q^3 S}\int_{-1}^{1}I_U''(qU,x)dx,$$

$$F_{ia}^{1}(qU)=\frac{3m^2}{4\pi q^3 S}\int_{-1}^{1}\left[I_U''(qU,x)+\frac{1}{2qU}\int_{qU}^{\infty}I_U''(\varepsilon,x)d\varepsilon\right]xdx,$$

$$F_{ia}^{2}(qU)=\frac{5m^2}{8\pi q^3 S}\int_{-1}^{1}I_U''(qU,x)+\frac{3}{2(qU)^{3/2}}\int_{qU}^{\infty}\sqrt{\varepsilon}I_U''(\varepsilon,x)d\varepsilon\left](3x^2-1)dx.$$

Beləliklə, birtərəfli müstəvi zond üsulu ilə zondun müxtəlif mənfi potensiallarında $I_U^{II}(qU,\alpha)$ kəmiyyətini ölçüb, (5) və (9) ifadələrinə görə F_{ia}^{n} həddlərini və İPF-i hesablamaq olar. (9) tənliyi ixtiyari dərəcəli anizotrop plazma üçün ödənilir.

CİVƏ BUXARIBOŞALMASINDA İONLARINPAYLANMA FUNKSİYASININFORMALAŞMASI

Təcrübiqurğuvə zondunpotensialınagörə zondcərəyanınınikincitərtibtörəməsinin ölçülmə üsulu [5]-işində ətraflı verilmişdir.Həmin işdə istifadə edilən modullaşmış siqnalın riyazi ifadəsi:

$$U(t)=\Delta\varepsilon(1+\cos\omega_1 t)\cos\omega_2 t. \qquad (10)$$

şəklindədir.

Tətbiqedilən üsuldaapparatfunksiyası $|z|<2\sqrt{2}$ olduqda [82]:

$$A(z)=\frac{8}{\pi}\int\limits_{\frac{|z|}{2\sqrt{2}}}^{1}\left[\frac{u^2-\frac{z^2}{8}}{u}(1-u)\right]^{1/2}du \qquad (11)$$

və $|z|>2\sqrt{2}$ olduqdaisə

$$A(z)=0.$$

Burada $z=\frac{\sqrt{2(\varepsilon'-\varepsilon)}}{\Delta\varepsilon}$, Δε – differensiallayıcı siqnalın amplitudur.

Təcrübi işdə differensiallayıcı siqnalın optimal amplitude qiyməti seçilmiş (Δε) və qeydetmə sisteminin xəttiliyinə nəzarət edilmişdir. İstifadə edilən parametrlərin qiymətləri: Δε = 0,05; 0,1 və 0,2 *V*; $\omega_1 = 6\cdot10^3$ *Hs*; $\omega_2 = 6\cdot10^5$ *Hs* götürülmüşdür.

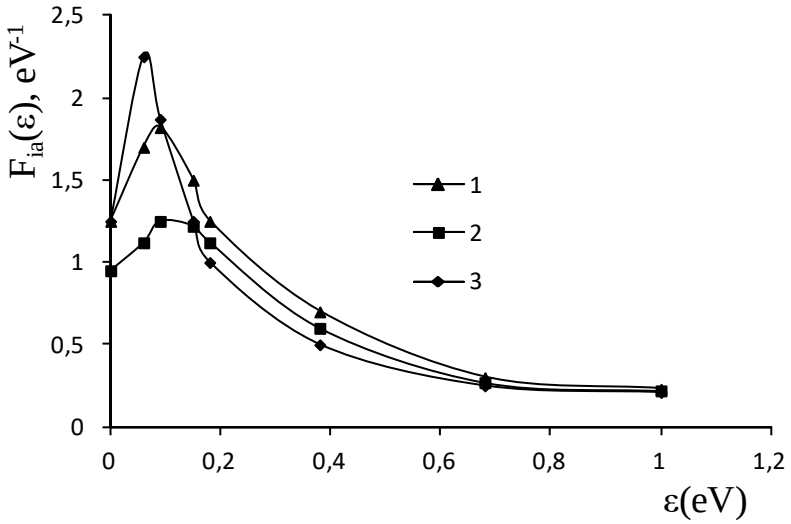
İPF-idəqiq ölçmək məqsədi ilə zond ölçmələrinə təsir edən bütün amillər hərtərəfli təhlil edilmişdir [4]. Ölçmələrdə buraxılan xətaları azaltmaq məqsədi ilə boşalma borusuna katoddan 20 və 25 *sm* uzaqlıqda olan iki müstəvi və sferik (diametric 0,3 *mm*) zondlar yerləşdirilmişdir. Zondlardan biri əsas, digəri isə köməkçi funksiyasını icraedir. Ölçmələr aparıldıqda, aparat funksiyasının xətasının [4], cüt-cüt toqquşmaların [6], zondun ölçüsünün, onun səthinin çirklənməsinin [3] və s. təsirləri nəzərə alınmışdır.

Ölçmələr civə buxarının 10^{-3} *Tor*, cərəyan sıxlığının j = 100 mA/sm^2, E/p = 400 *V/smTor*və neytral atomlarınT_a = 410 *K* temperature qiymətlərində (11) apparat funksiyasının köməyi ilə aparılmışdır.

Zondun mənfi potensial oblastlarında I_U'' kəmiyyəti elektronların sürətlərə görə paylanma funksiyası ilə mütənasib olan, zond cərəyanının electron hissəsindən təyin edilmişdir. Potensialın tədqiq olunan 0÷1 *V* oblastında I_U'' kəmiyyəti ionların paylanmasını təsviredir. I_U'' kəmiyyəti qeyd edilərkən, boşalmada electron cərəyanının stabil qalmasına əsas diqqət yetirilmişdir.

Aparılan ölçmələrdənməlum olmuşdur ki, elektronların temperature yüksəldikcə, ionların paylanma əyrisinin quyruq hissəsi yüksək enerjilər oblastına doğru genişlənir. Verilmiş temperaturda alınan paylanma funksiyaları Maksvel paylanmasından fərqlənir, paylanma əyrisində elektrik sahəsi ilə müəyyən olunan, atomların istilik hərəkətinin enerjisinə uyğun qiymətlərdə maksimum müşahidə edilir və həmin maksimum yüksək enerjilər oblastına doğru getdikcə, kiçilir. İonların paylanma əyrisindəki maksimumun kiçilməsinə səbəb, dəstədəki sürətli ionların öz enerjilərini dəstədən kənarda hərəkət edən yüklü zərrəciklərə ötürməsidir. Bundan başqa, differensiall ayıcı siqnalın qiyməti artdıqca, İPF-ın mütləq qiymətidə azalır və paylanma funksiyasının kəskin dəyişdiyi enerji oblastlarında həmin effect daha güclü müşahidə edilir. Təcrübi ölçmələrdən alınan həmin nəticə nəzəri hesablamalardan alınan nəticələrlə üst-üstə düşür. İonların enerjilərə görə paylanma funksiyasının formasını aşkar etmək üçüncivə buxarının qövs boşalması plazmasında aşağı təzyiqdə ($p = 10^{-3}$*Tor*) və $E/p \approx 400$ *V/sm Tor*-da bir tərəfi keçirici olan müstəvi zondun köməyi ilə $F_{ia}^{n} = f(\varepsilon)$asılılığı ölçülmüşdür (şəkil 2). Həmin şəkildən güründüyü kimi enerji artdıqca, İPF-ın anizotropluğu daha da yüksəlir. Buhalda ən böyük anizotropluq enerjinin kiçik ε = 0,05*eV* qiymətində müşahidə edilir. Buna səbəb ölçmələrin güclü elektrik sahələrində aparılmasıdır. Qeyd edək ki, Lejandr həddlərinin sıraya ayrılışına uyğun olaraq İPF-nın həmin şəkildə formalaşması realdır. İPF-da anizotropluq artdıqca, onu təsvir edən həddlərin sayı da artır. Bundan başqa, ionların enerjisi artdıqca, həddlərin sayı da artır, çünki İPF-ı anizotrop olur və ionlar radial istiqamətdə yaranaraq, paylanır. Yaranan ionlar tətbiq edilən xarici elektri ksahəsinin istiqamətində sürətlənərək hərəkət edirlər. Qeyd edək ki, baxdığımız civənin müsbəti onları halında, $E/p \approx 400$ *V/smTor* qiymətində, ionların enerjisi

0,1 *eV* olduqda, İPF-ın formasını aşkar etmək üçün, Lejandr həddləri sırasında 7 həddin olması kifayət etmir.



Şək.2. Civə buxarı plazmasında müstəvi zond üsuluilə ölçülmüş Hg^+ionların enerjiyə görə paylanma funksiyasının enerjidən asılılığı: cərəyan sıxlığı j = 100 mA/sm^2; təzyiq $p = 10^{-3}$ *Tor*; E/p = 400 *V/smTor*; nopmal atomların temperaturu isə T_a = 410 *K*. 1 – Δε = 0,1 *V*; 2 – Δε = 0,2 *V*; 3 –Δε = 0,05 *V*.

NƏTİCƏ

Şəkil 2-dən göründüyü kimi Δε – apparat funksiyası artdıqca, İPF-in forması və maksimumu dəyişmir. İonların enerjisi artdıqca, İPF-ın azalma sürəti ləngiyir. Paylanması izotropluğa və Maksvel paylanmasına yaxın olan İPF-ın maksimumu, yenicə yaranmış ionlar hesabına formalaşır. Həqiqətən də, yükötürmə prosesi yenicə yaranan ionların konsentrasiyanı formalaşdırır. Sürətli zərrəciklər dəstəsi misalı ilə bunu asanlıqla izah edə bilərik. Dəstədəki zərrəciklərin sürəti yüksək olduqca, dəstənin saxlanması üçün konsentrasiyanın qiyməti kiçik olur. Nəticədə, E/p nisbəti artanda, İPF-nın aşağı düşmə sürəti yavaşıyır. Odur ki, İPF, $\varepsilon_0 \approx E/p_0\sigma$ parametri ilə təyin olunur və verilmiş halda qiyməti, ionların sürətinin yüksək olduğu güclü elektrik sahələrində təyin edilir. Burada σ – rezonans yükötürmə prosesinin effektiv kəsiyidir. Həmin şəkildən güründüyü kimi bütün hallarda İPF, maksimuma malikdir.

Beləliklə, İPF-i təsvir etmək üçün Lejandr sırasında həddlərin sayını baxdığımız üsulla təyin edə bilərik.

---

1. *Ключарев А.Н., Мишшаков В.Г., Тимофеев Н.А.* Введение в физику низкотемпературной плазмы. М: СП6ГУ, 2008.
2. *Фриш С.Э., Каган Ю.М.* Спектроскопическое изучение движения ионов в плазме I.// ЖТФ, 1947. Т. 17, с. 577–584.
3. *Demidov V.I., Godyak V.A.* Probe measurements of electron-energy distributions in plasmas: what can we measure and how can we achieve reliable results? // J. Appl. Phys., 2011. Vol. 44. p. 233001.
4. *Мустафаев Ф.С., Грабовский А.* Зондовая диагностика анизотропной функции распределения электронов в плазме. // ТВТ, 2012. Т. 50, № 6. с. 841.
5. *Muradov A.Kh., Huseynov T. Kh.* Noiseless Gaseous Discharge in Conic Tube and its Dynamic Properties. // Radioelectronics and Communications Syistems, USA, 2010. Vol. 53**,** No9. p. 475–479.
6. *Verboncoeur J.P.* Particle simulation of plasmas: review and advances.//Plasma Phys. Control. Fusion., 2005. Vol. 47**.** A231 – A260.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ В РТУТНОЙ ПЛАЗМЕ

**ГУСЕЙНОВ Т. Х., ГАРИБОВ Г. И.,
САФАРОВ В.Г., РАСУЛОВ Э.А., АЛЛАХВЕРДИЕВ Ш.А.**

Экспериментально исследована зондовым методом функция распределения ионов по энергиям в плазме дугового разряда в парах ртути, и выявлено, что в стационарном состоянии функция распределения ионов резко отличается от максвелловского распределения. С ростом отношения E/p скорость уменьшения максимума функции распределения снижается. Кроме этого, скорость, набранная ионами на длине свободного пробега, становится больше скорости теплового движения атомов, и в плазме преобладающую роль играет процесс резонансной перезарядки.

Ключевые слова: плазма дугового разряда, анизотропная плазма, функция распределения ионов, зондовый метод, радиальное распределение носителей заряда в плазме, модуляция тока, дифференцирующий сигнал.

DETERMINATION OF THE DISTRIBUTION FUNCTIONS OF IONS IN THE MERCURY PLASMA

**HUSEYNOV T.Kh., QARIBOV Q.I.,
SAFAROV V.H., RASULOV E.A., ALLAKHVERDIYEV Sh.A.**

The energy distribution function of ions in the arc discharge plasma of the mercury steam was investigated by the prob method and it was found that distribution function of the ions differs from Maxwell distrubution sharply. With the increasing E/p ratio decreasing speed of maximum of distribution function is delays. Furthermore, the velocity of the particles during free path is higher than thermal velocity of atoms and the resonans charge-transfer processes play a major role in plasma.

Key words: arc discharge plasma, anisotropic plasma, distribution function of ions, prob method, radial distribution of charge carried in plasma, modulation of current, differentiating signal.

SULU MƏHLULLARDA MİS–GERMANİUM SULFİDLƏRİNİN ƏMƏLƏGƏLMƏ ŞƏRAİTİNİN TƏDQİQİ

HÜSEYNOV Q.M., KAZIMOV M.H., RZAYEVA A.B.

AMEA Naxçıvan Bölməsi Təbii Ehtiyatlar İnstitutu
qorxmazhuseynli@rambler.ru

Məqalədə Cu^{+}–Ge^{4+}–S^{2-} sistemində ion tarazlığının analizinə əsasən Cu_2S və GeS_2 birləşmələrinin və onlar əsasında üçlü tiobirləşmələrin hidrokimyəvi çökdürülmə şəraitinin termodinamik hesablamalarının nəticələri verilmişdir. Bu nəticələr müvafiq sulfidlərin çökdürülməsi üçün reaksiya qarışığının tərkibini müəyyən etməyə imkan vermişdir. Hidroksid, trilon B və çaxır turşusu məhlullarında mühitin pH-dan asılı olaraq Ge^{4+}, Cu^{+} ionlarının və onun kompleks formalarının qatılıqları təyin edilmiş, qatılıq payının pH-dan asılı olaraq dəyişməsi hesablanmış və α–pH qrafik asılılığı qurulmuşdur. $pC_b - f(pH)$ diaqramları qurulmuş, hidroksid, trilon B və çaxır turşusu mühitlərindəbərk fazalarının alınma şəraitinin sərhədləri dəqiqləşdirilmişdir. Alınmış nəticələr əsasında təcrübi olaraq 70^0 və 100^0C-də Cu_2GeS_3, Cu_4GeS_4 və Cu_8GeS_6 birləşmələrinin nanotəbəqələri alınmış və onların mikromorfologiyası öyrənilmişdir.

Açar sözlər: mis(I) tiogermanat, ion tarazlığı, hidrokimyəvi çökdürmə, alınma şəraiti, termodinamik hesablama, qrafik, bərk faza.

Mis(I) tiogermanatlar müasir texnikanın mühüm funksional materialları sırasına daxildir. Bu sinif birləşmələr (Cu_2GeS_3, Cu_4GeS_4 və Cu_8GeS_6) perspektivli yarımkeçirici, foto-, seqneto- və termoelektrik xassəli materiallar kimi istifadə olunur və ya tətbiq üçün əhəmiyyətli hesab edilir [1, 4, 6, 8-12]. Cu–Ge–S sisteminin Cu_2S–GeS_2 politermik kəsiyində Cu_2GeS_3, Cu_4GeS_4 və Cu_8GeS_6 tərkibli birləşmələr alındığı məlumdur[8, 11, 12]. Bunlardan Cu_2GeS_3 və Cu_8GeS_6 birləşmələrində yaxşı yarımkeçirici xassələr müşahidə edilmişdir [6]. Qeyd olunan birləşmələr yüksək temperaturda (927-977^0C və ya 1200-1250 K) elementar komponentləri və ya germanium(IV) sulfid və mis(I) sulfidi vakuumlaşdırılmış (~10^{-2} Pa) kvars ampullarda birgə əritməklə alınır [1, 9-12]. Bu birləşmələrin homogenləşməsi üçün yüksək temperatur (850-920^0C) və uzun vaxt (2-5 gün) tələb olunur. Buna görə də bir çox ikili və üçlü tiobirləşmələrin alınmasında daha perspektivli metod hidrokimyəvi çökdürmə hesab edilir [5, 7]. Hidrokimyəvi metod istifadə olunan qurğuların sadəliyi və sintez şəraitinin asan nizamlanması ilə fərqlənir. Hidrokimyəvi çökdürmə zamanı altlıq üzərində müxtəlif təbiətli, xassəli və formalı təbəqələr alınır. Adətən, hidrokimyəvi çökdürmə ilə alınan nazik təbəqələrdə maddələrin nanoölçülü hissəcikləri formalaşır [7]. Bu baxımdan, mis(I) tiogermanatların sulu məhlullardan hidrokimyəvi çökdürmə metodu ilə alınması və onların xassələrinin öyrənilməsi aktual məsələlərdən biridir.

Məqalədə Cu^{+}–Ge^{4+}–S^{2-} sistemində ion tarazlığının analizinə əsasən Cu_2S və GeS_2 birləşmələrinin alınma şəraitinin termodinamik hesablamalarının nəticələri verilmişdir. Bu nəticələr müvafiq sulfidlərin çökdürülməsi üçün reaksiya qarışığının tərkibini müəyyən etməyə imkan vermişdir.

Metalın sulfid fazasının əmələgəlmə şəraitinin sərhədlərinin hesablanması üçün əvvəlcə sulfidləşdirici reagent kimi istifadə olunan tioamidlərin parçalanmasını nəzərdən keçirək. Hidrokimyəvi çökdürmə prosesinin əsasını bir sıra reaksiyalar təşkil edir: tioamidin parçalanması, hidrogen-sulfidin ionlaşması və sulfid ionlarının meral ionları ilə qarşılıqlı təsiri [7].

İlkin təcrübi nəticələrə əsasən Cu_2S, GeS_2 və Cu_2S–GeS_2 təbəqələrinin alınması üçün dörd sulu məhluldan ($H[CuCl_2]$, $GeCl_4$, trilon B və çaxır turşusu) istifadə edilmişdir.

Cu_2S və GeS_2 birləşmələrinin tiokarbamid ($CS(NH_2)_2$) və tioasetamidlə (CH_3CSNH_2) çökdürülməsi zamanı baş verən reaksiya tənliklərini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$CuL_x^+ + CS(NH_2)_2 + OH^- \rightarrow Cu_2S\downarrow + xL + CN_2^{2-} + H_2O;$$
$$CuL_x^+ + CH_3CSNH_2 + OH^- \rightarrow Cu_2S\downarrow + CH_3COONH_4 + xL;$$
$$GeL_x^{4+} + CS(NH_2)_2 + OH^- \rightarrow GeS_2\downarrow + xL + CN_2^{2-} + H_2O;$$
$$GeL_x^{4+} + CH_3CSNH_2 + OH^- \rightarrow GeS_2\downarrow + CH_3COONH_4 + xL.$$

Metal duzlarının minimum miqdarına əsasən müvafiq sulfidlərin əmələgəlmə şəraitinin sərhədləri müəyyən edilmişdir. Belə ki, sulfid fazalarının əmələ gəlməsi prosesin başlanğıcı hesab edilir. Çox duru məhlullarda az həll olan birləşmələr üçün metal və sulfid ionlarının aktivliyi vahidə bərabərdir. Belə halda əmələ gələn bərk fazanın başlanğıc ölçüsü (Δ_b) miqdarı olaraq mərkəzlərin ölçüsünü ifadə edir. Mərkəzlərin ölçüsünü müəyyən etmək üçün aşağıdakı bərabərlikdən istifadə edilmişdir:

$$HH_{GeS_2}.\Delta_b = \left[Ge^{4+}\right]_b \cdot \left[S^{2-}\right]_b^2 = \left[Ge^{4+}\right]_t \cdot \left[S^{2-}\right]_t^2 = \dot{I}H_{GeS_2},$$

burada HH_{GeS_2} – germanium-sulfidin həllolma hasili; $\dot{I}H_{GeS_2}$ – germanium-sulfidin ion hasili; $\left[Ge^{4+}\right]_b$, $\left[S^{2-}\right]_b^2$, $\left[Ge^{4+}\right]_t$ və $\left[S^{2-}\right]_t^2$ isə müvafiq olaraq germanium və kükürd ionlarının başlanğıc və tarazlıq qatılıqlarıdır.

Sistemdə kompleks əmələgəlməni nəzərə alaraq Ge^{4+} ionlarının miqdarı ion tarazlığının analizinə əsasən hesablanmışdır:

$$\left[Ge^{4+}\right] = \alpha_{Ge^{4+}} \cdot C_{Ge},$$

burada $\alpha_{Ge^{4+}}$ – reaksiyaya daxil olan Ge^{4+} ionlarının qatılıq payı; C_{Ge} – məhlulda olan Ge^{4+} ionlarının ümumi qatılığıdır.

$\alpha_{Ge^{4+}}$ qatılıq payını hesablamaq üçün 298 K-də sistemdə əmələ gələn komplekslərin davamsızlıq sabitlərinin qiymətlərindən istifadə edilmişdir:

$$\alpha_{Ge^{4+}} = \frac{1}{1 + \frac{[L_1]}{K_1} + \frac{[L_1]^2}{K_{1,2}} + \cdots \frac{[L_1]^n}{K_{1,2\ldots n}} + \frac{[L_1]}{K_{n+1}} + \frac{[L_2]}{K_{n+2}}},$$

burada L_1 və L_2 – liqandların qatılığıdır.

Tiokarbamidin və tioasetamidin parçalanması aşağıdakı reaksiya tənlikləri üzrə baş verir:

$$CS(NH_2)_2 \leftrightarrow H_2S + H_2CN_2;$$

$$CH_3CSNH_2 \leftrightarrow CH_3COONH_4 + H_2S.$$

Buradan tiokarbamidin parçalanma reaksiyasının tarazlıq sabitini aşağıdakı kimi hesablanmışdır:

$$K_p = \frac{\left[H_2S\right]_t \cdot \left[H_2CN_2\right]_t}{\left[CS(NH_2)_2\right]_t} = \frac{\left[S^{2-}\right]_t \cdot \left[CN_2^{2-}\right]_t \cdot \left[H_3O^+\right]^4}{\left[CS(NH_2)_2\right]_t \cdot k_{H_2S} \cdot k_{H_2CN_2}},$$

burada k_{H_2S} və $k_{H_2CN_2}$ – hidrogen-sulfidin və sianamidin ionlaşma sabitidir; $\left[CN_2^{2-}\right]_t$, $\left[H_3O^+\right]_t$ və $\left[CS(NH_2)_2\right]_t$ – isə müvafiq ionların tarazlıq qatılığıdır.

Tioasetamidin parçalanma reaksiyasının tarazlıq sabitini aşağıdakı kimi hesablanmışdır:

$$K_p = \frac{\left[H_2S\right]_t \cdot \left[CH_3COONH_4\right]_t}{\left[CH_3CSNH_2\right]_t} = \frac{\left[S^{2-}\right]_t \cdot \left[H_3O^+\right]^2}{\left[CH_3CSNH_2\right]_t \cdot k_{H_2S} \cdot k_{H_2CN_2}},$$

burada $\left[CH_3CSNH_2\right]_t$ – tioasetamidin tarazlıq qatılığıdır.

pH-dan və germanium duzunun minimum qatılığından asılı olaraq tiokarbamid və tioasetamidlə çökən sulfidin əmələgəlmə sərhədini təyin etmək üçün aşağıdakı bərabərliklərdən istifadə edilmişdir:

$$pC_b = \frac{1}{2} pHH_{GeS_2} - p\alpha_{Ge^{4+}} - \frac{3}{2}(pk_{H_2S} - pH_b + \frac{1}{2} pK_p + \frac{1}{2} p(CS(NH_2)_2) + \frac{1}{2} p\frac{\beta_c}{\beta_s}) - \frac{2\sigma V_M}{2{,}3RTr_b}; \quad (1)$$

$$pC_b = \frac{1}{2} pHH_{GeS_2} - p\alpha_{Ge^{4+}} - \frac{3}{2}(pk_{H_2S} - pH_b + \frac{1}{2} pK_p + \frac{1}{2} p(CH_3CSNH_2) + \frac{1}{2} p\frac{\beta_c}{\beta_s}) - \frac{2\sigma V_M}{2{,}3RTr_b} \quad (2)$$

Burada p – mənfi onluq loqarifmanın göstəricisi; C_b – bərk fazanın əmələ gəlməsi üçün kifayət edən metal duzunun minimum miqdarı; σ – xüsusi səth enerjisi (C/m^2); V_M – molyar həcm; r_b – mərkəzlərin radiusu (m); R – universal qaz sabiti; T – prosesin temperaturu (K); β_s və β_c – sabit kəmiyyətlərdir. Sabit kəmiyyətlər aşağıdakı bərabərliklərlə təyin edilmişdir:

$$\beta_s = \left[H_3O^+\right]^2 + k_{HS^-} \cdot \left[H_3O^+\right] + k_{H_2S};$$

$$\beta_c = \left[H_3O^+\right]^2 + k_{HCN_2^-} \cdot \left[H_3O^+\right] + k_{H_2CN_2},$$

burada k_{HS^-} və $k_{HCN_2^-}$ – hidrogen-sulfidin və sianamidin birinci mərhələ üzrə ionlaşma sabitidir.

(1) və (2) bərabərlikləri qatılaşmanın böhran nöqtəsi üçün Tomsan-Osvald bərabərliyini xarakterizə edir. Bu bərabərliklərlə ilkin və son mərkəzlərin ölçüsünü təyin etmək mümkündür. Sulfidlərin alınmasının nəzəri və təcrübi nəticələrinə əsasən məlum olmuşdur ki, GeS_2-nin alınması heterogen mexanizm üzrə gedir. Xalkogenid məkəzlərinin böhran radiusu (r_b) $(3{,}2\text{-}3{,}8)\cdot 10^{-9}$ m aralığında olur. GeS_2 üçün əmələgəlmə sərhədinin hesablanmasında $\sigma = 1{,}5 \ \ C/m^2$ və $r_b = 3{,}5 \cdot 10^{-9} m$ götürülmüşdür [2, 3].

(1) və (2) bərabərlikləri üzrə aparılan hesablamaların nəticələri əsasında $pC_b - f(pH)$ qrafik asılılığı qurulmuşdur. Fikrimizcə bu asılılıq GeS_2 bərk fazasının əmələgəlmə şəraitinin sərhədlərini tam ifadə edir. Oxşar qaydada Cu_2S, $Ge(OH)_4$ birləşmələrinin əmələgəlmə şəraitinin sərhədləri təyin edilmişdir. Prosesin ilkin mərhələsində hidroksid fazası sulfid fazasının nüvəsində, həmçinin təbəqədə qarışıq şəklində ola bilər. $Ge(OH)_4$ birləşməsinin əmələgəlmə şəraitinin sərhədləri aşağıdakı kimi təyin edilmişdir:

$$HH_{Ge(OH)_4} = \left[Ge^{4+}\right] \cdot \left[OH^-\right]^4.$$

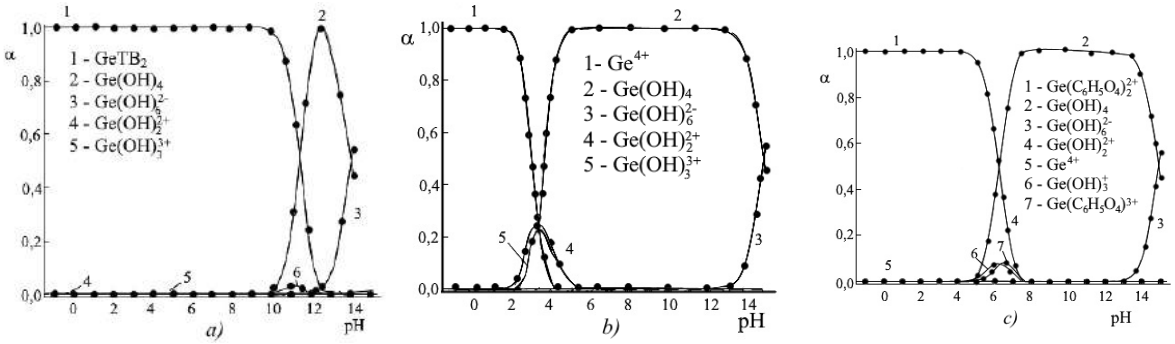
Bu bərabərlikdə suyun ionlaşma sabitini (K_V) nəzərə aldıqda aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$HH_{Ge(OH)_4} = \frac{K_V^4}{\left[H_3O^+\right]^4} \cdot \alpha_{Ge^{4+}} \cdot C_{Ge}.$$

Bu bərabərliyi loqarfmalasaq alarıq:

$$pC_b = HH_{Ge(OH)_4} - \alpha_{Ge^{4+}} - 4pK_V + 4pH\ .$$

Qrafikləri qurmaq üçün sonuncu hesablamalarda hidroksid, trilonat və çaxır turşusu sistemlərində mühitin pH-dan asılı olaraq Ge^{4+} və onun kompleks formalarının qatılıqları təyin edilmişdir. Hidroksid, trilonat (trilon B=0,1 mol/l) və çaxır turşusu (tartrat=0,05 mol/l) sistemlərində mövcud olan germanium komplekslərinin qatılıq payının pH-dan asılı olaraq dəyişməsi hesablanmış və qrafik qurulmuşdur (şək. 1).



Şək.1. Trilonat (*a*), hidroksid (*b*) və çaxir turşulu (*c*) sistemində germaniumun ion və molekulyar formalarının qatılıq payının pH-dan asılılığı.

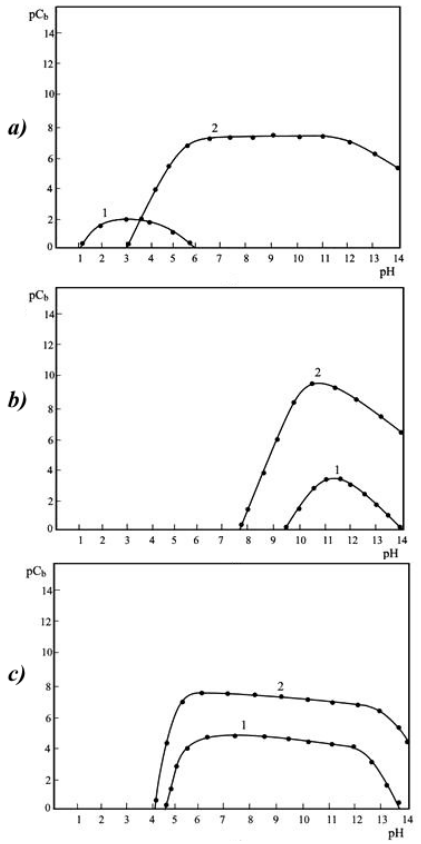
Qrafiklərin analizindən məlum olur ki, germanium(IV) sulfid fazasının əmələ gəlməsi prosesi liqandların növü və qatılığından asılı olaraq dəyişir. Hidroksid sistemindən fərqli olaraq trilonat və çaxır turşusu sistemlərində bərk sulfid fazasının əmələgəlməsi yavaş gedir. (1) və (2) tənliklərindən istifadə edərək GeS_2 birləşməsinin hidrokimyəvi çökdürülmə şəraiti hesablanmışdır. Hesablamalarda istifadə olunan məhlulların qatılıqları nəzərə alınmışdır: $[CS(NH_2)_2]$=0,5 mol/l; $[CH_3CSNH_2]$=0,2 mol/l; $[C_6H_6O_4]$=0,4 mol/l; Trilon B=0,1 mol/l.

$pC_b - f(pH)$ qrafik asılılığını qurmaq üçün (1) və (2) tənliklərində istifadə olunan termodinamik kəmiyyət və sabitlər aşağıdakı kimi olmuşdur:

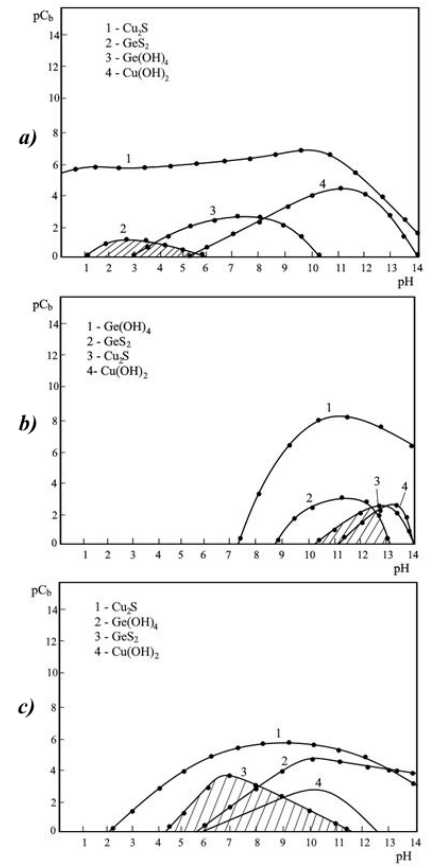
$$pK_c(TK) = 22{,}48;\ pK_c(TAA) = 6{,}0;\ pK_V = 14;\ pk_{H_2S} = 19{,}88;$$
$$pk_{HS^-} = 6{,}99;\ pHH_{GeS_2} = 74{,}5;\ pHH_{Ge(OH)_4} = 32{,}9\ [3].$$

Bu parametrlər əsasında aparılan hesablamalar qrafik olaraq GeS_2 və $Ge(OH)_4$ birləşmələrinin əmələgəlmə sahələrini təyin etməyə imkan vermişdir (şək. 2).

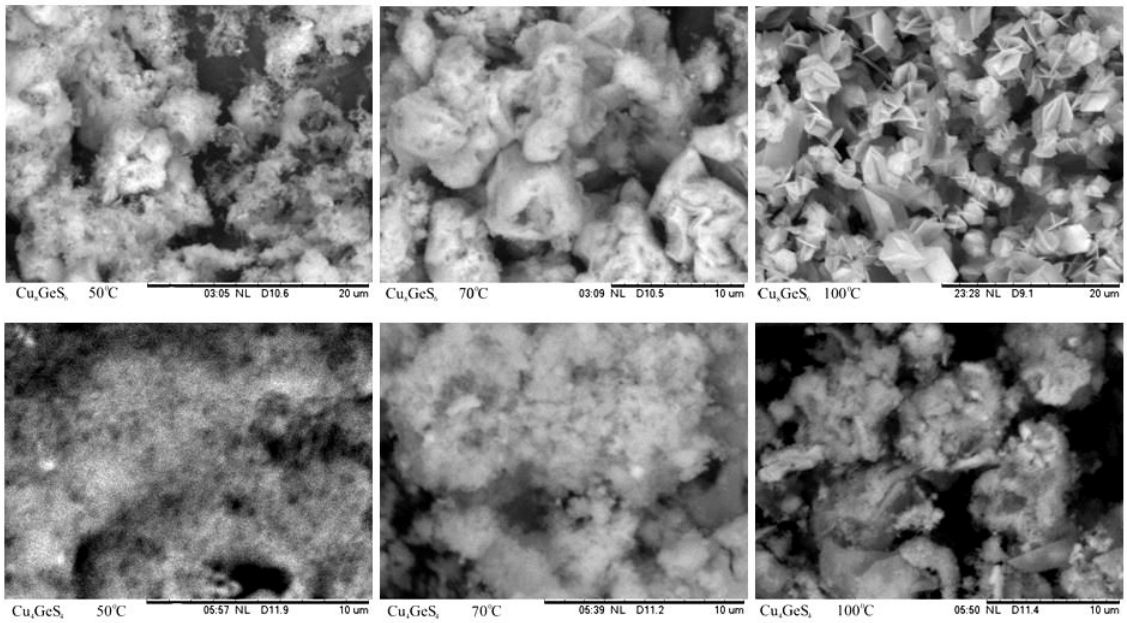
Üçlü sulfidləri çökmə sərhədlərini təyin etmək üçün Cu_2S və $Cu(OH)_2$ birləşmələrinin hidrokimyəvi çökdürülmə şəraiti hesablanmışdır. Bu hesablamalarda misin əsas komplekslərinin davamsızlıq sabitlərinin qiymətlərindən istifadə edilmişdir (cədv.).



Şək. 2. Hidroksid (a), trilonat (b) və çaxır turşulu (c) sistemlərdə GeS_2 və $Ge(OH)_4$ bərk fazalarının alınma şəraitinin sərhədləri: 1 – GeS_2; 2 – $Ge(OH)_4$.



Şək.3. Hidroksid (a), trilon B (b) və çaxır turşulu (c) məhlullarda $H[CuCl_2]$–$GeCl_4$–$CS(NH_2)_2(CH_3CSNH_2)$ sistemlərindəbərk fazalarının alınma şəraitinin sərhədləri.



Şək.4. 70^0C və 100^0C-də alınmış Cu_2GeS_3, Cu_4GeS_4 və Cu_8GeS_6 birləşmələrinin SEM şəkilləri.

Cədvəl

Misin əsas komplekslərinin davamsızlıq sabitləri (pk_b) [3]

$CuOH$	$CuOH^+$	$Cu(OH)_2$	$Cu(OH)_3^-$	$Cu(OH)_4^{2-}$	CuY^{2-}
14,7	7,0	13,68	17,0	18,5	18,8

Bundan əlavə hesablamalarda ədəbiyyatda [2, 3] verilmiş aşağıdakı kəmiyyətlərin qiymətlərindən istifadə edilmişdir:

$$pHH_{Cu_2S} = 60{,}6;\ pHH_{Cu(OH)_2} = 19{,}66;\ V_M^{Cu_2S} = 28{,}4\cdot 10^{-6}\,C/m^2;$$
$$\sigma = 1{,}5C/m^2;\ r_b = 3{,}5\cdot 10^{-9}\,m;\ T = 298K.$$

Yuxarıda qeyd olunan nəticələr əsasında hidrokimyəvi çökdürmə metodu vasitəsilə Cu–Ge–S sistemində mövcud olan üçlü birləşmələrin (Cu_2GeS_3, Cu_8GeS_6 və Cu_4GeS_4) və onlar əsasında əmələ gələn dəyişkən tərkibli fazaların çökdürülmə şəraiti təyin edilmişdir. $pC_b - f(pH)$ diaqramları qurulmuş, Cu_2S və GeS_2 birləşmələrinin birgə çökmə şəraiti müəyyənləşdirilmişdir. Hidroksid, trilon B və çaxır turşusu mühitlərində $H[CuCl_2]$–$GeCl_4$–$CS(NH_2)_2(CH_3CSNH_2)$ sistemlərindəbərk fazalarının alınma şəraitinin sərhədləri dəqiqləşdirilmişdir (şək. 3).

Şəkil 3, a-dan göründüyü kimi hidroksid sistemində Cu_2S və GeS_2 birləşmələrinin birgə çökmə sahəsi (ştrixlənmiş) pH=1-6 aralığında müşahidə olunur. pH=3-5,3 aralığında alınan sulfid fazaları içərisində $Ge(OH)_4$ fazası, pH=5,3-6 aralığında isə $Cu(OH)_2$ fazası mövcud olur. pH>6 olduqda Cu_2S fazasının tərkibində $Ge(OH)_4$ və $Cu(OH)_2$ qarışığı olur.

Trilon B məhlulunda $H[CuCl_2]$–$GeCl_4$–$CS(NH_2)_2(CH_3CSNH_2)$ sistemlərində(şək. 3, b) Cu_2S və GeS_2 birləşmələrinin birgə çökmə sahəsi pH=10,2-13,1 aralığında müşahidə olunur. Bunun səbəbi mis və germaniumun trilon B ilə əmələ gətirdiyi xelat tipli komplekslərin davamsızlıq sabitlərinin qiymətlərinin yüksək olmasıdır.

Çaxır turşusu məhlulunda Cu_2S və GeS_2 birləşmələri fərdi şəkildə pH=4,3-5,8 aralığında çökür(şək. 3, c). pH=5,8-6,1 aralığında sulfid fazalarının tərkibində $Ge(OH)_4$, pH=6,1-11,5 aralığında $Ge(OH)_4$+$Cu(OH)_2$ fazaları olur. pH>11,5 olduqda isə tərkibində $Ge(OH)_4$+$Cu(OH)_2$ fazaları olan Cu_2S birləşməsi alınır.

$pC_b - f(pH)$ diaqramları əsasında təcrübi olaraq 70^0 və 100^0C-də Cu_2GeS_3, Cu_4GeS_4 və Cu_8GeS_6 birləşmələrinin nanotəbəqələri alınmışdır (şək. 4). Təcrübi nəticələr nəzəri hesablamaların nəticələri ilə yaxşı uyğun gəlmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, 100^0C-də birləşmələr daha yüksək çıxıma malik olur. NaOH məhlulunda birləşmələrin çıxımı 97,4-98,3%, trilon B məhlulunda 78,9-81,7%, çaxır turşusu məhlulunda isə 79,01-87,19% aralığında olur.

Ümumiyyətlə, alınan nəticələrdən məlum olur ki, Cu_2S və GeS_2 birləşmələrinin fərdi şəkildə birgə çökməsini təmin etmək üçün ilkin komponentlərin, kompleks əmələgətiricilərin (NaOH, trilon B və çaxır turşusu) miqdarını və mühitin pH-nı dəqiq seçmək lazımdır. Digər tərəfdən, fazaların çökdürülmə müddəti və formalaşması temperaturdan asılıdır.

---

1. *Бабанлы М.Б., Юсибов Ю.А., Абишев В.Т.* Трехкомпонентные халькогениды на основе меди и серебра. Баку: БГУ, 1993, с. 342.
2. *Волков А.И., Жарский И.М.* Большой химический справочник. Мн.: «Современная школа» 2005, с.608.
3. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989, с. 448.
4. *Марушко Л. П., Пискач Л. В., Парасюк О. В., Олексеюк І. Д., Пехньо В. І.* Фазовые равновесия в системе Cu_2GeS_3–Cu_2GeSe_3. Научный вестник Волынского национального университета имени Леси Украинский, 2008, с. 11-16.
5. *Марков В.Ф., Маскаева Л.Н.* Особенности формирования пленок сульфидов металлов из водных растворов. // Бутлеровские сообщения, г. Казань, 2011, Т.24, №2, с. 42-50.
6. *Палатник Л. С., Комник Ю. Ф., Белова Е. К., Атрощенко Л. В.* Исследование тройных полупроводниковых соединений, содержащих медь и элементы IV и VI групп. // Кристаллография, 1961, Т. 6, Вып. 6, с. 960–964.
7. *Туленин С.С., Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Кузнецов М.В.* Гидрохимическое осаждения и исследование тонких пленок в системе Cu_2S–In_2S_3. // Интернет-конф. «Бутлеровские чтения», г. Казань, 2013, Т.33, №1, с.97-103.
8. *Зотова Т. В., Карагодин Ю. А.* Исследование характера фазового равновесия в тройных системах Cu–Ge(Sn)–S по разрезам $Ge(Sn)S_2$–Cu_2S. // Сб. науч. тр. по проблемам микроэлектроники. Сер.технология спецматериалов и интегральных схем. М.: МИЭТ, 1976, Вып. XXVIII, с. 174–181.
9. *Khanafer M., Rivet J., Flahaut J.* Étude du système Cu_2S–GeS_2. Surstructure du composé Cu_2GeS_3. Transitionde phase de Cu_8GeS_6. // Bul. Soc. Chim. France, 1973, № 3, p. 859–862.
10. *Leticia M. de Chalbaud, Diaz G. de Delgado, Delgado J. M., Mora A. E., Sagredo V.* Synthesis and singlecrystalstructural study of Cu_2GeS_3. // Materials Research Bulletin, 1997, Vol. 32, № 10, p. 1371–1376.
11. *Michelle D. Regulacio, Si Yin Tee, Suo Hon Lim, Zheng Zhang and Ming-YongHan.*Selective formation of ternary Cu–Ge–S nanostructures insolution. // Electronic Supplementary Material (ESI) for Cryst. Eng. Comm., 2018, p. 51-58.
12. *Fernández B. J., Henao J. A., Delgado J. M.* Synthesis and characterization of some ternary compounds of the Cu_2–IV–VI_3 family. // Crystal Res. Technol., 1996, Vol. 31, p. 65–68.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДНО-ГЕРМАНОВЫХ СУЛЬФИДОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

ГУСЕЙНОВ Г.М., КАЗИМОВ М.Г., РЗАЕВА А.Б.

Встатье представлены результаты термодинамических расчетов условий гидрохимического осаждения соединений Cu_2S и GeS_2 и их тройных тиосоединений по данным анализа ионного баланса в системе Cu^{+}–Ge^{4+}–S^{2-}. Эти результаты позволили определить состав реакционной смеси для осаждения соответствующих сульфидов. Определены концентрации ионов Ge^{4+}, Cu^{+} и их комплексные формы в растворах гидроксида, триллона В и уксусной кислоты на основе pH среды. Рассчитаны изменение доли концентрации в зависимости от pH и устанавлены графическая зависимость α–pH. Установлены графики $pC_b - f(pH)$ и уточнены границы условий получения твердых фаз в растворах гидроксида, трилона Б и уксусной кислоты. На основании полученных результатов экспериментально получены нанопленки соединений Cu_2GeS_3, Cu_4GeS_4 и Cu_8GeS_6 и исследована микроморфология при 70^0 и 100^0C.

Ключевые слова:тиогерманат меди(I), ионный равновесия, гидрохимическое осаждение, условия получения, термодинамический расчет, графика, твердая фаза.

INVESTIGATION OF OBTAINING CONDITIONS OF COPPER-GERMANIUM SULPHIDES IN AQUEOUS SOLUTIONS

HUSEYNOV G.M., KAZIMOV M.H., RZAYEVA A.B.

The article presents the results of thermodynamic calculations of the hydrochemical deposition conditions of Cu_2S and GeS_2 compounds and their triple thiocompounds according to the analysis of the ion balance in the Cu^{+}–Ge^{4+}–S^{2-} system. These results allowed to determine the structure of the reaction mixture for the deposition of the corresponding sulfides. The concentrations of Ge^{4+}, Cu^{+} ions and their complex forms are determined based on the pH of the condition in hydroxide, trillon B, and acetic acid solutions, and concentration portion change depending on pH is calculated and the α–pH graphical dependence is established. $pC_b - f(pH)$ diagrams are established, the boundaries of acquisition conditions of the solid phases in hydroxide, trilon B and acetic acid conditions are specified. Based on the obtained results, nanolayers of Cu_2GeS_3, Cu_4GeS_4 and Cu_8GeS_6 compounds were obtained and micromorphology was studied experimentally at 70^0 and 100^0C.

Keywords: copper(I) thiogermanate, ion balance, hydrochemical deposition, obtaining conditions, thermodynamic calculation, graphic, solid phase.

УДК 678.017: 620.17

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КИНЕТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Алиева И.К., Велиев Т.М.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
AZ 1000, Азербайджан, г. Баку, ул.З.Алиевой, 18.
iradealiyevakerim@gmail.com

Измерялось распределение по электрической долговечности τ_E полимерных композиций (ПК) полипропилен-полиэтилен низкой плотности (ПП-ПЭНП) в постоянном по знаку поле. Сравнивались результаты непрерывных опытов и опытов с прерыванием действия поля на образцах, оставшихся целыми после выдержки в течение времени, отвечающего среднему значению $\lg\tau_E$. В перерывах варьировались продолжительность перерыва, температура, напряжение поля противоположного знака, в зависимости от чего наблюдалась различная степень регенерации электропрочностных свойств композиции ПП–ПЭНП. Установлена способность накапливающихся зарядов к регенерации (вплоть до полной). Показано, что накапливающиеся изменения под действием электрического поля в кинетике электрического разрушения ПК являются обратимыми.

Ключевые слова: полимерные композиции, надмолекулярная структура, кинетика электрического разрушения, электрическая долговечность, накопительные процессы.

Введение. Создание композиционных материалов на основе кристаллизующихся полимеров находят широкое применение в различных высоковольтных устройствах в качестве изоляционных материалов. При этом пленки этих материалов испытывают воздействие электрических полей. Поэтому проблема электрической прочности и работоспособности полимерных композиционных пленок привлекает большое внимание. Установлено, что пробой полимеров и их композиции выступает не как событие критического характера, а как явление, имеющее кинетическую природу. Кинетический характер электрического разрушения этих материалов проявляется прежде всего в том, что пробой происходит при различных значениях электрического поля (E), но за разное время τ действия E, причем чем меньше E, тем больше τ[1-3]. Эффект электрической долговечности τ_E означает, что под действием поля в образце происходят процессы, подготавливающие материал к пробою. Отсюда следует, что этот процесс состоит из последовательности неких элементарных актов, время ожидания которых определяет его скорость. Элементарные процессы приводят к образованию локальных изменений, накопление которых за время τсоздает условия зарождения и развития магистрального пробоя. Поэтому важными являются вопросы обратимости и необратимости этих элементарных процессов, подготавливающих пробой ПК.

В настоящей работе проводилось выяснение степени обратимости элементарных процессов в механизме электрического разрушения полимерных композиций ПП-ПЭНП.

Объекты и методика исследований. Все измерения проводились в постоянном по знаку электрическом поле. Напряженность задаваемого электрического поля, действующего на образец, выражалась как $E = U/d$, где U – приложенное к электродам напряжение, d – толщина образца. Объектами исследования были взяты оптимальных полимерных композиций полипропилен–полиэтилен низкой прочности (ПП:ПЭНП=80:20) с различными надмолекулярными структурами (НМС)[4]. Толщина пленок составляла 20÷30 мкм. Электрическая долговечность измерялась в ячейке с

прижимными полированными электродами. Пробой фиксировался по импульсу тока в цепи.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1, а и б показаны интегральные функции распределения медленно охлажденных (МО) быстро- охлажденных (БО) образцов полимерных композиций ПП-ПЭНП, соответственно, по $\lg\tau_E$ при соответствующих Е и Т. По оси ординат отложена функция $1-n_\tau/n$, где n – полное число образцов в серии; n_τ – число образцов, оставшихся целыми после времени выдержки τ.

Как видно, графики этих функций дляτ_E имеют единообразную S-форму с эффективной шириной распределения $\Delta\lg\tau \simeq 1 \div 1{,}5$. Форма распределения близка к нормальному распределению случайных величин (интегралу вероятности). Ширина распределения обусловлена, очевидно, вариацией структуры, дефектности образцов и т.д.

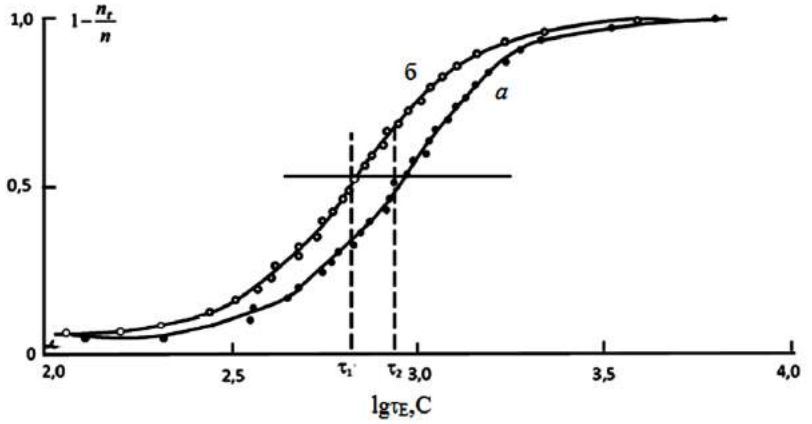


Рис.1. Интегральное распределение образцов по времени ожидания пробоя (долговечности) в постоянном электрическом поле. Т=120 К.
а – МО образцов ПП-ПЭНП, 30 образцов, Е=2,5·10^8 В/м;
б – БО образцов ПП-ПЭНП, 30 образцов, Е=5,5·10^8 В/м.

Из рис.1, *а* и б определились значения электрической долговечности τ_1=871 с и τ_1=661 с, соответственно, отвечающие пробитию половины числа МО и БО образцов ПП-ПЭНП. Далее брались новые серии таких же образцов и выдерживались при таких же значениях Е и Т в течение времени τ_1, после чего электрическое поле снималось. В результате оставалась не пробитой половина числа образцов, с которыми и производились дальнейшие операции.

Смысл и способ анализа данных схематически пояснен на рис.2. Здесь кривая 1 – верхняя часть кривых распределения рис.1, т.е. построенная от уровня 0,5 на рис.1 и перенормированная на полное число оставшихся не пробитым образцов (с ординатой $1-n_\tau/0{,}5n$). Если допустить, что после выдержки под напряженностью электрического поля в течение времени τ_1 в оставшихся не пробитыми образцах накопившиеся изменения за время перерыва рассосались (полная регенерация), то тогда после вторичного приложения той же электрического поля распределение этих образцов по вторичной долговечности должно совпасть с кривой 1. Если же после выдержки τ_1 и снятия поля накопившиеся изменения полностью сохраняются за время перерыва, то распределение образцов по вторичной долговечности должно получаться путем перестроения кривой 1 от значений по $\lg\tau$ к значениям $\lg(\tau-\tau_1)$ и принять вид кривой 2 (рис.2), т.е. пойти в области меньших значений τ, особенно в области начальной (нижней) части распределения. Наконец, если в перерыве между снятием поля и повторным ее приложением в образцах прошла частичная регенерация накопившихся

изменений, то распределение образцов по вторичной долговечности должно пойти между кривыми 1 и 2, т.е. соответствовать кривой 3.

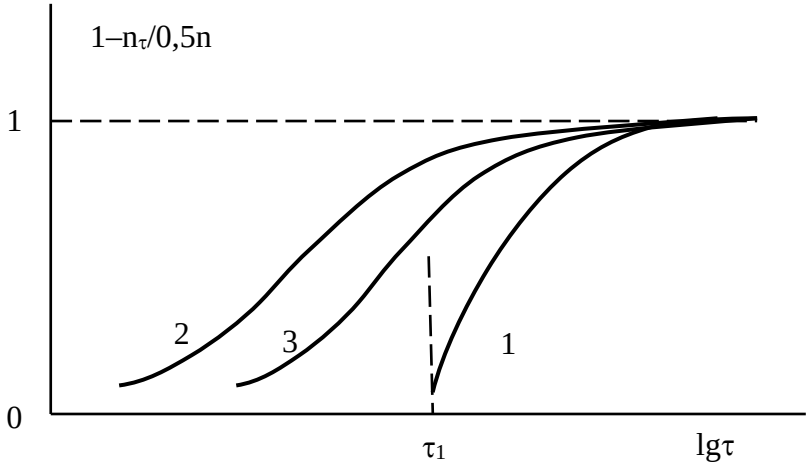


Рис. 2. Схема распределения образцов по долговечности:
1 – пробитые за время, превышающее τ_1; 2 – то же распределение, но по $\lg(\tau-\tau_1)$ – по вторичной долговечности; 3 – распределение по вторичной долговечности тех же образцов при их частичной регенерации.

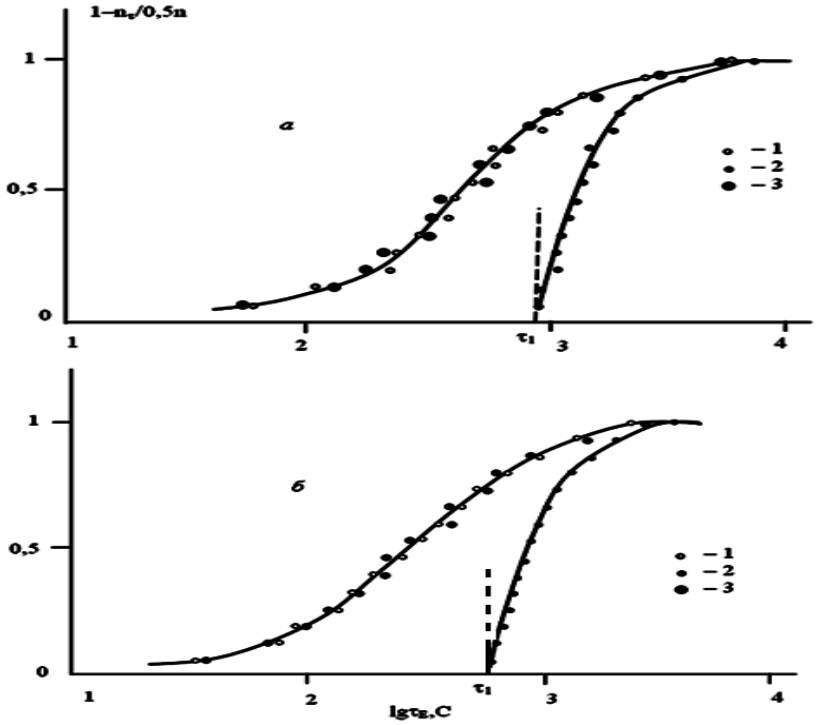


Рис.3. Интегральное распределение образцов по электрической долговечности Т=120К:
а – МО образцов ПП-ПЭНП, 30 образцов, $E=2{,}5\cdot10^8$ В/м;
б – БО образцов ПП-ПЭНП, 30 образцов, $E=5{,}5\cdot10^8$ В/м.

Обратимся к результатам опытов с прерыванием действия электрического поля.

На рис.3 *а* и б точками 1 – представлены распределения по электрической долговечности при непрерывном действии поля для МО и БО образцов полимерных композиций ПП-ПЭНП, соответственно, с долговечностью, превышающей τ_1=871 с и τ_1=661 с, т.е. перенормированные от *n* на 0,5*n*верхние части кривых распределения (рис.1). Точки 2 – результаты перестроения точек 1 по координате $\lg(\tau-\tau_1)$. Точки 3 – экспериментальные данные по вторичной долговечности после выдержки образцов под нагрузкой в течение времени τ_1 и перерыва действия поля 10^3с при Т=120К. Близость

точек 2 и 3 на рис.3 а и б свидетельствует о том, что за время первой выдержки под нагрузкой τ_1 в композиционных образцах накопились изменения, которые сохранились в перерыве действия поля при тех же температурах, в которых действовала нагрузка, и привели к более низким значениям вторичной долговечности.

Итак, на данной стадии исследования для МО и БО образцов полимерных композиций ПП-ПЭНП закономерности кинетики электрического разрушения оказались единообразными. Т.е. в условиях кинетики электрического разрушения при низких температурах накапливающиеся изменения в обоих композиционных образцах выступают как необратимые.

Перейдем теперь к опытам, когда во время перерыва (снятия поля) будем менять воздействие на образцы.

Для электрического разрушения во время «отдыха» были применены два вида воздействия: повышение температуры, а также наложение на образец постоянного электрического поля противоположного знака (противополе). Результаты представлены на рис.4 и 5 соответственно.

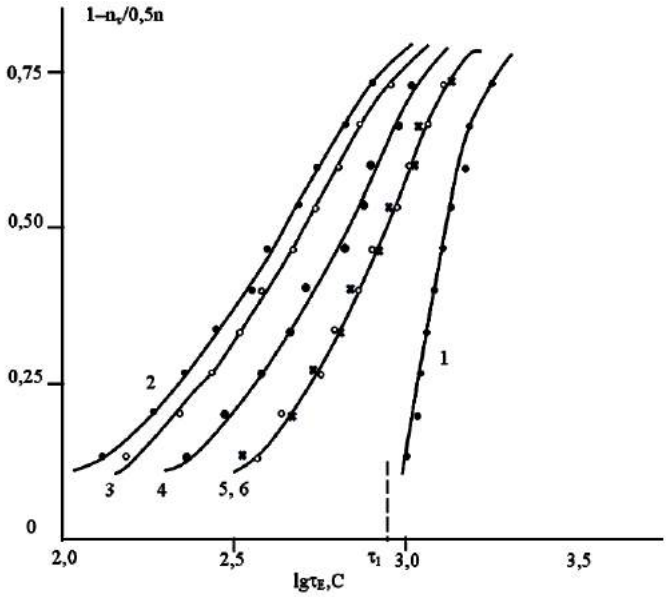


Рис.4. Интегральное распределение МО образцов ПП-ПЭНП по долговечности для электрического разрушения $E=2{,}5\cdot10^8$ В/м; Т=120К. Точки: 1 – пробитые за время, превышающее τ_1=871 с; 2 – измеренное распределение образцов по вторичной долговечности после «отдыха» в течение 10^3 с при 120К; 3, 4, 5, 6 – после «отдыха» в течение 10^3 с при 293, 313, 333, 353К, соответственно (частичная регенерация прогревом).

На рис.4 (кривые 3, 4, 5, 6) показано распределение МО образцов ПП-ПЭНП по вторичной долговечности, когда во время перерыва действия электрического поля образцы выдерживались при 293, 313, 333 и 353К в течение 10^3с, соответственно. Видно, что произошло смещение распределения в сторону повышения вторичной долговечности. В соответствии со смыслом кривой 3 на рис.2, это означает определенную степень регенерирование изменений в МО образцах ПП-ПЭНП. Соответствующие данные для БО образцах ПП-ПЭНП являются подобными.

На рис.5 показано влияние противополя на вторичную долговечность МО образцов ПП-ПЭНП. Видно, что и здесь за время «отдыха» происходит регенерация накопившихся изменений. При этом регенерацию можно сделать практически полной (кривая 1 – светлые точки на рис.5).

Таким образом, можно считать, что накапливающиеся изменения под действием электрического поля в кинетике электрического разрушения полимерных композиций ПП-ПЭНП являются обратимыми.

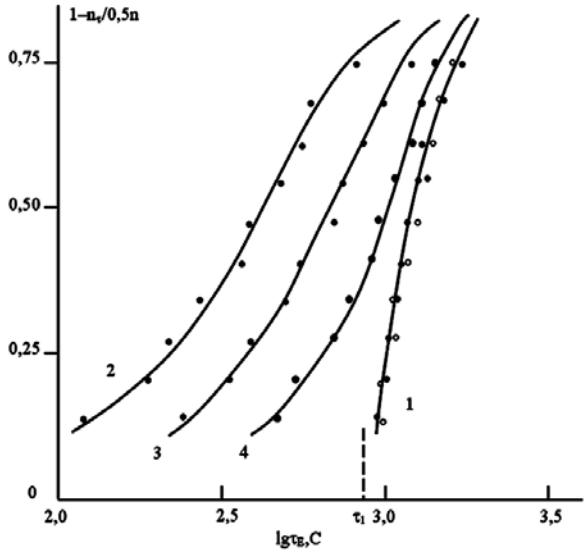


Рис.5. Интегральное распределение МО образцов ПП-ПЭНП по долговечности для электрического разрушения $E=2{,}5\cdot10^8$ В/м, Т=120К: 1 – черные точки – пробитые за время, превышающее $\tau_1=871$ с; светлые точки – прошедшие регенерацию при действии противополя $E_{пп}= 2{,}5\cdot10^8$ В/м, 10^3с, 120К (полная регенерация противополем); 2 – измеренное распределение образцов по вторичной долговечности после «отдыха» в течение 10^3с при 120К; 3, 4 – после «отдыха» в течение 10^3с при 120К и действия противополя (частичная регенерация противополем): 3 – $E_{пп}=1{,}0\cdot10^8$ В/м; 4 – $E_{пп}=2{,}0\cdot10^8$ В/м.

Вопрос об элементарных актах процесса, определяющего электрическую долговечность полимера и их композиции, остается пока недостаточно выясненным. Имеющиеся данные свидетельствуют о флуктуационном механизме этих актов [5-7]; обсуждаются различные процессы на электронном и атомно-молекулярном уровне [1-3, 8,9]. Полученные в настоящей работе данные о регенерируемости изменений, накопление которых приводит к электрическому разрушению (пробою) полимерных композиций, позволяют сделать некоторые заключения о характере этих изменений, по крайней мере, для исследованных случаев. По-видимому, здесь накапливаются изменения только на электронном уровне. Молекулярные перегруппировки, разрывы молекул, очевидно, заметной роли не играют. Наиболее естественным представляется для находящегося под электрическим напряжением композиционного материала формированием в нем со временем объемных зарядов, по достижению достаточной величины которые и наступает пробой. Объемный заряд может формироваться как из инжектированных электронов (гомозаряд), так и за счет внутренней ионизации полимерных молекул в электрическом поле с переходом электронов от полимерных молекул в межмолекулярные ловушки [10-12].

При приложении электрического поля, инжектированные из катода электроны, начинают прыжковый (из ловушки в ловушку), пошаговый (с шагом ~1 нм) дрейф в сторону анода [2]. В результате образуется и накапливается облако отрицательного заряда, движущегося к аноду [2,3]. В работе [13] детально рассмотрена дальнейшая эволюция зарядового состояния полимера в межэлектродном пространстве: формирование и встречное движение положительного объемного заряда вблизи анода; возникновение автоколебательного режима эволюции объемных зарядов, обусловленного положительной обратной связью между зарядами и полями у электродов; резкое возрастание тока, приводящее к пробою диэлектрика. В такое последовательности событий подготовки полимера и их композиции к пробою основное время занимает наиболее медленный процесс– формирование отрицательного объемного заряда при прыжковом дрейфе электронов по полю.

Заключение о направленном прыжковом транспорте электронов как о процессе, контролирующем подготовку диэлектрика к пробою, подтверждается экспериментальными данными по возможности регенерирования исходного состояния полимера и их композиции путем включения поля противоположной полярности (противополя) после выдержки образца в поле начальной полярности [14-16]. Противополе вызывает транспорт электронов в обратном направлении и тем самым ведет к «рассасыванию» объемного заряда, сформировавшегося в поле начальной полярности. Такая операция приводит даже к тому, что электрическая долговечность полимерных диэлектриков в противополе (после действия начального поля) оказывается более высокой, чем в непрерывно действующем поле [14]. Это свидетельствует о способности «элементов разрушения», вызываемое действием поля, к регенерированию.

Регенерационные эффекты, требующие перемещения зарядов для их встречи друг с другом, согласуются с представлением о том, что именно транспорт зарядов может являться процессом, контролирующим кинетику электрического разрушения полимерных композиций.

Выводы. Изучена регенерация электропрочностных свойств полимерных композиций при низких температурах – восстановление электрической долговечности путем нагревания или действием поля противоположной полярности. На основе статистического анализа кинетики регенерации сделано заключение, что регенерация обусловлена рассасыванием объемных зарядов, накопление которых ведет к пробою полимерных композиций.

---

1. *Алиева, И.К.* Кинетика механического и электрического разрушение полимеров /И.К. Алиева,Т.М. Велиев – Баку: АГМА - 2018. - с.192.
2. *Слуцкер А.И.* Механизмы элементарных актов в кинетике электрического разрушения полимеров/ А.И.Слуцкер, В.Л. Гиляров, Д.Д. Каров, Ю.И. Поликарпов // Высокомолекулярные соединения, - Москва: - 2007.- т.49(А), №10,- с. 1790-1800.
3. *Слуцкер А.И.* Особенности кинетики электрического разрушения полимеров / Слуцкер А.И., Велиев Т.М., Алиева И.К., Алекберов В.А., Поликарпов Ю.И., Каров Д.Д. //ФТТ, - 2016.- т.58. №9,- с.1826-1835.
4. *Аббасов С.А., Мамедов Ш.В., Велиев Т.М., Алекперов В.А.* Исследование прочностных свойств и структуры композиции на основе полипропилена и полиэтилена// Баку:- Физика,-1995,-с.1,-№1,-с.50-55.
5. *Рагимов, Я.Г.,* Молекулярный механизм разрушения полиэтилена под действием сильного электрического поля // Рагимов Я.Г., Мамедов Ш.В., Абасов С.А., Алекперов В.А. // Издательство «Элм»,-Баку:- Доклады -1988. №5, с.44-47.
6. *Колесов С.Н., Музыченко Т.Н., Токарь Е.И.* Электрические свойства каучуковых композитов // Электричество,- 1992,- вып.4,- с.61-65.
7. *Ушаков В.Я., Робежко А.Л., Ефремова Г.В.* Закономерности разрушения полимеров при длительном нагружении электрическим полем // ФТТ,- 1984,- т.26,- №1,- с.45–49.
8. *Закревский В.А., Пахотин В.А., Сударь Н.Т.* Старение и разрушение (пробой) полимерных пленок в переменном электрическом поле //ФТТ,- 2019, -т.61,- №10,- с.1953–1959.
9. *Воробьев Г.А., Еханин С.Г. Несмелов Н.С.* Электрический пробой твердых диэлектриков // ФТТ,- 2005, - т.47, - вып.6,- с.1048-1054.
10. *Слуцкер А.И., Поликарпов Ю.И., Гиляров В.Л.* Об элементарных актах в кинетике электрического разрушения полимеров // ЖТФ,- 1996, - т.66, - №4,- с.105–113.
11. *Закревский В.А., Сударь Н.Т.* Ионизационный механизм электрического разрушения (пробоя) полимерных диэлектрических пленок // ФТТ,- 2013, -т.55,- №7,- с.1298–1303.

12. *Закревский В.А., Сударь Н.Т.* Влияние объемного заряда на закономерности электрического разрушения полимеров // ЖТФ,-2006, - т.76, - №12,- с.52-56.
13. *Закревский В.А., Сударь Н.Т.* Электрическое разрушение тонких полимерных пленок // ФТТ, - 2005, - т.47, - №5, - с.931-936.
14. *Слуцкер А.И., Велиев Т.М., Алиева И.К., Алекберов В.А, Абасов С.А.* Некоторые вопросы электрической прочности полимеров //Письмо в ЖТФ, 1991, т.17, №13, с. 67-72.
15. *Алиева И.К., Велиев Т.М., Асилбейли П.Б., Садыгова А.Р., Исмаилов И.М.* О характере процесса рассасывания накопившихся изменений в кинетике электрического разрушения полимерных композиций // Проблемы энергетики, - 2017,- №1,- с. 62-68.
16. *Алиева И.К., Асилбейли П.Б., Велиев Т.М., Сафиев Э.С., Алекперов В.А.* Накопительные процессы в кинетике электрического разрушения полимерных композиций ПП-ПЭНП при умеренных температурах // Проблемы энергетики, -2015,- №12,- с. 62-68.

POLİMER KOMPOZİTLƏRİN ELEKTRİK DAĞILMA KİNETİKASINDA ELEMENTAR PROSESLƏR

ƏLİYEVA İ.K., VƏLİYEV T.M.

Müxtəlif molekulyar üstlü quruluşa malik polipropilen – aşağı sıxlıqlı polietilen kompozitlərin sabit elektrik sahəsində yaşama müddətinə τ_E (deşilmənin gözlənilmə zamanı) görə paylanması ölçülmüşdür. Elektrik sahəsinin fasiləli və fasiləsiz təsiri zamanı deşilməyən nümunələrin yaşama müddətləri müqayisə edilmişdir. Fasilə zamanı temperaturun və əks istiqamətli sahənin qiymətindən və təsir müddətindən asılı olaraq polimer kompozitlərin elektrik möhkəmlik xassələrinin müxtəlif dərəcədə regenerasiyası müşahidə olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, polimer kompozitlərin elektrik dağılması zamanı yığılan yüklərtam regenerasiya olunma qabiliyyətinə malikdirlər və bu da elektrik dağılması kinetikasında yığılan dəyişiliklərin dönən proses olmasını göstərir.

Açar sözlər:polimer kompozitlər, molekulyar üst strukturu,, elektrik dağılma kinetikası, elektrik yaşama müddəti, yığılma prosesləri.

.

ELEMENTARY PROCESSES IN KINETICS OF ELECTRIC DESTRUCTION OF POLYMER COMPOSITIONS

ALIYEVA I.K., VELIYEV T.M.

The distribution of electrical life of the polymer composites of low density polypropylene-polyethylene in a content sign field was measured. The results of continuous experiments and experiments with interruption of the field effect on samples remaining intact after exposure for a time corresponding to the average value of $lg\tau_E$. During breaks, the break duration, temperature and field strength of the opposite sign were varied, depending on which a different degree of regeneration of the electric strength properties of the PP-LDPE composites were observed. The ability of accumulating charges to regenerate (up to full) was established. It was indicated that the accumulated changes under the influence of an electric area in the kinetics of electric destruction of PC are reversible.

Keywords: Polymer composites, supramolecular structure, kinetics of electrical destruction, electrical durability, storage processes.

УДК 621.833

OPTIC FIBER SENSING BASED IOT SYSTEMSFOR ENERGY FACILITIES

HAJIYEV Y.M.

Azerbaijan State Oil and Industry University
Baku , Azerbaijan
yhajiyev@gmail.com

The growth number of the Internet of Things (IOT) applications has become a new sign in the industry automation segment. IoT is to connecting things to the Internet in order to retrieve information from energy facilities to control and regulate them from anywhere. Our paper presents a way in which power producing and distribution objects to be embedded with fiber based sensors to perform their monitoring and sensing. The development of the technology of the IOT and the fiber-optical sensor it is a new round revolution in information technology. The combination of the sensing of parameters and transmitting them over fiber network is a big issue have been considered carefully in paper. Thus the fiber-optical IOT has a promising development prospect. This article outlines IOT's current status, the key components of IOT, the theoretical frame and the applications that stands behind of IOT.

Keywords: Internet of Things, Application Layer Protocols, fiber sensors, fiber networks, transmitting techniques.

Introduction

The growth of Internet of Things (IOT) is the latest trend [1,2] of IT-development focusing on moving to realizing the concept of hyperconnected world. One of the popular definition is - "The Internet of Things refers to technologies that allow networked devices to sense other devices and interact and communicate with them." IOT is fitted by different information sensing devices, that in accordance with the agreed protocol, are interconnected through the Internet, and support information exchange and communication to enable to control, to manage, to regulate different real world objects. industrial objects and domestic equipments through the Internet. The 'Things' mean the real world objects – industrial and technological processes and domestic equipments [3,4].

Development of the IOT encompasses a set of major technological innovations such as miniaturized modern electronic, nanotechnology, networking and other newest smart technologies. One of key component is a newest sensing techniques, information processing and acquisition methods.

General principle of IoT organization is depicted in below diagram.

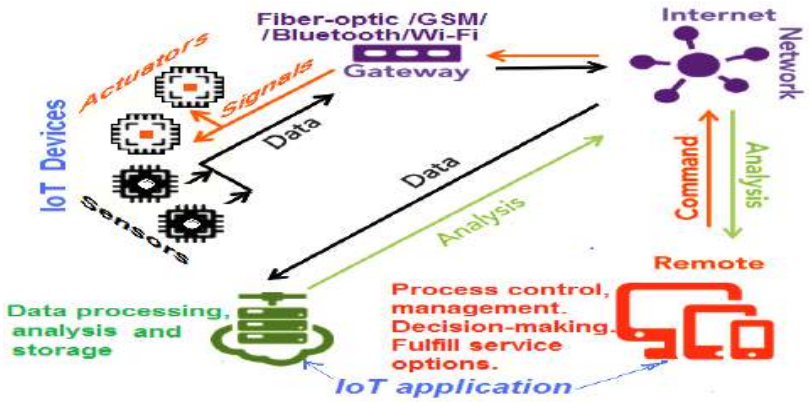


Fig.1. General principle of IoT organization.

As can be seen from the figure, the IoT is combined from sensors and actuators through which the IoT "feels" and manages the objects that are called ‘things’. Measured data from the sensors [5,6], as well as control signals to the actuators are transmitted through gateway over fiber-optical, GSM, Bluetooth, Wi-Fi and other communication channels.

Over gateway, data and codes are transmitted via Internet to control units to manage relevant IoT related services.

The specific field where IoT applications have been successfully implemented [5,7] is the energy industrial processes and specifically the energy resources. Those types of applications allow remotely control over embedded sensors what is happening in energy power module or machines when we are not there, automatically adjust the working regimes. Other applications allow sensors, embedded in our power units to communicate to inform about force majéur situation in energy delivery performance and etc.

The most common IoT applications designed for domestic services, widely use wireless networks made up from Mobile Communications (GSM), Bluetooth, Wi-Fi and etc. [2, 7] do allow two way communication between sensing devices and smart home appliances, particularly when combined with smartphones, tablets and PCs.

However in many of heavy industrial and technological facilities allocated areas the environmental conditions are seriously too harsh to allow wireless networks to operate properly. That necessitates the widely using of *fiber network* and *optical fiber sensing technologies* to build of IoTs in the field of energy, producing and distribution.

Thefiber-optic communications networksprovide the best reliable and flexible means of processing of acquired data and transmitting it around a facility.

Optimized Architecture of Internet of Things

According to ITU-T recommendations, the structure of IoT is made up [7,9] from lamination of *five layers* — sensor networks, access network, backbone network, middleware and application platforms.

The simplified architecture of the Ubiquitous Sensor Network (USN) based on M2M i.e. "machine to machine" abbreviation includes the intelligent and interactive link between human, machine and system, to automatically transfer the data contained in these devices.

In accordance with the current universal approved network architecture of IoT, the basic configuration structure of Internet of Things is broadly divided into three layers: perception/sensing layer, network layer and application layer, as it pictured in Fig. 2.

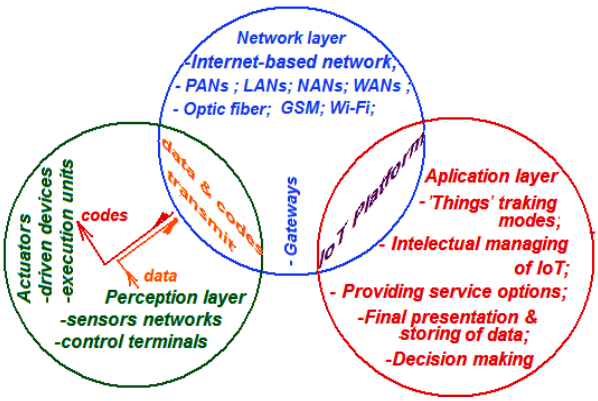


Fig.2. General organization layered structure of IoT.

Perception layer, —is subdivided into perceived control and communication interlayers. Perceived or sensing interlayer consists of various types of sensor networks, control modules, and variety of terminals.

Sensing interlayer realizes acquisitions of underlying data collected from sensing devices, and transmit it to the upper layer via wireless or fiber-optic connections.

Network layer, —collects the data from the lower *perception layer* and passes them to the Internet. Network layer is configurated over the topology of existing networks, by means of expanding and merging of different heterogeneous networks into form of unified integrated information exchange network.

Network's range is conditionally categorized in four classes — *Personal Area Networks (PANs)*, *Local Area Networks (LANs)*, *Neighborhood Area Networks (NANs)*, and *Wide Area Networks (WANs)*.

Below picture depicts the communication technologies employed in IoT.

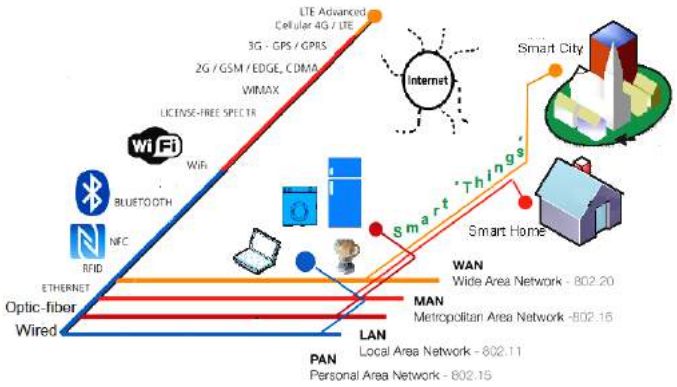


Fig.3. Communication technologies widely used in IoT.

PANs works over wireless lines with low radio transmission power, operate on tiny batteries and cover a range of about 10 m. *LANs* might be built over wired or wireless lines, or their combination . The wireless *LANs* (*WLANs*) cover a range up to 100 m. *NANs* are mostly wireless and can cover area with 25 km in diameter. *NAN* supports high power levels of transmitting, but usually carries low data traffic. Finally, *WANs* are able to operate over extensive area and in most cases for *WANs* the fiber optical network is used.

Network layer is to support integration and expansion the existing heterogeneous networks. Network topologies that widely used in IoT are *star* and *mesh*. *Star topology* is to enable central node to operate as a gateway for all other adjacent nodes. *Mesh topology* is to enable capability to connect individually to various other nodes, when several other nodes can operate as a gateway. *Mesh network* can expand covering range by means of many hops.

Application layer, — is the application center or control center of IoT system. Application layer receives information from the *Network layer* and process that information to the form convenient to fulfill the management of the current application.

III. Optical Fiber Sensing Technologies in IoT

At the *perception layer* the IoT utilizes mainly techniques [6,7] for data acquisition from wide variety of types of sensors are designed to measure exact and adequate information on processes are running in controlled entity.

Unfortunately, the most of smart wirelessly working non-contact sensors couldn't be employed in power entities because of hard severe exploiting conditions.

The fiber optical sensors (FOS) and affiliated sensing techniques have many advantages over other types of conventional sensors, so the development of fiber optical sensor and

measuring technology has become a new direction for development of smart instruments and probes for energy segment.

FOS conditionally can be divided into *two categories* by sensing principle:

- *functional sensors* or intrinsic type (directly sensing type), the role of optical fiber in which, are both the signal transmission and sensing of relevant physical parameters.

- *second category* is known as *non-functional sensors*, non intrinsic type (light transmission type), which only operates as an fiber optical transmitter of the signal gotten from relevant optical sensor.

In *1st category* FOS ─ the modulated light (laser beam) pulses are fed into optical fiber and then are beamed to explored object. Upon interaction the optical characteristics of pulses (e.g., light intensity, wavelength, frequency, phase, modifier state, etc.) are changed. That changes is caught by light detector and after demodulation, the system detects the parameters of explored object [14].

In 2nd category FOS ─ the optic fibers are not directly implicated in process of sensing of parameters of explored object. The function of optic fibers, here is limited to transferring the detected data from sensors to network layer of IoT. The wide variety of separate sensors might be used here and they have to be equipped with converters to transform sensed signals from electrical or other forms to optical signals, to be transmitted via optic fiber.

IV.Sensing techniques to probe physical parameters for Optic Fiber based IoT

Sensors form the front end of IoT, and they are to sense the physical/chemical parameters [4,6, 7] of objects, to convert it into a signal suitable for processing (e.g. optical, electrical and etc.).

In *2nd category* FOS the optic fibers are not implicated in process of sensing of parameters of explored object. Here the any typical sensor, operating on the basis of any physical principles, can be used to be connected to fiber optic networks.

For the *1st category of FOS* the sensing are performing by the fiber-optic lines themselves.

The specific physical properties of fiber allow to create the sensors to probe different (temperature, pressure, displacement, etc.) physical parameters of objects.

The most commonly used effect in fiber-optic sensors is the Fabry Perot effect, as well as its special cases. Based on this effect, a number of pressure sensors, deformation /force sensors operate.

The figure below illustrates the operation of the pressure sensor realized on the basis of the Fabry Perot interferometer.

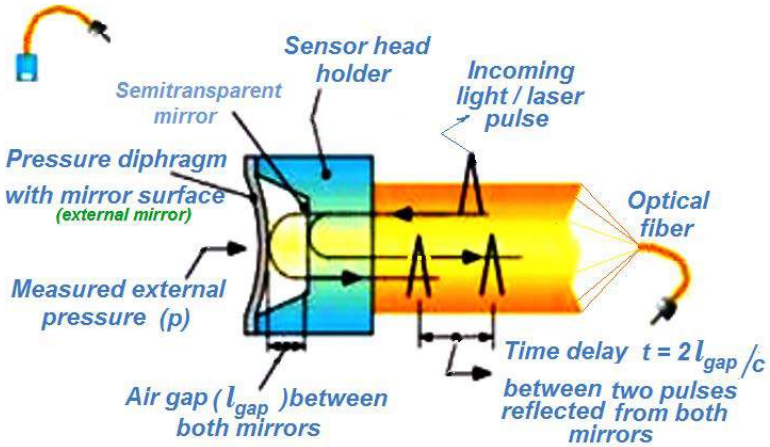


Fig.4. Conceptual schema of fiber-optic pressure sensor based on Fabry Perot interferometer.

The sensor holder on above diagram has a semitransparent mirror that is formed on the inner surface of the diaphragm, which is bulged inward under pressure [4,6]. The stronger the pressure, the more the diaphragm bends and the smaller the distance between the mirrors.
The light / laser probe pulses coming out optical fiber are split into two impulses on a semi-transparent mirror. The first is directly reflected from the semitransparent mirror back into the optical fiber. The second pulse crosses the semi-transparent mirror and then reflects off the mirror surface of the diaphragm and enters back to the fiber.

The time delay between two reflected pulses determines the amount of deflection of the diaphragm, which, in turn, will determine the value of the measured pressure.

$$t_{delay} = 2l_{gap} / c \qquad (1)$$

For continuous measurement of dynamically changing external pressure, a series of light pulses should be fed into the system to repeat the measurements many-fold.

Based on the same basic principle the transducer type sensors for measuring temperature, displacement, strain, force and etc. were created.

In below diagram the principal schema [7,8] of optical fiber based temperature sensor is depicted.

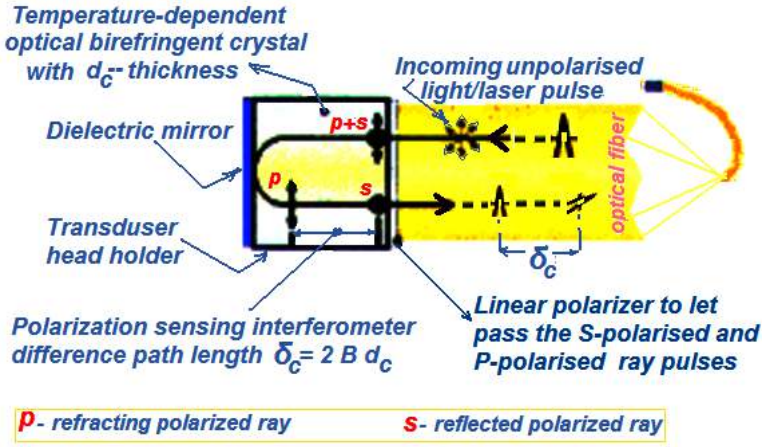


Fig.5. Conceptual schema of fiber-optic temperature transducer/sensor based on polarization interferometer.

The unpolarized probing light/laser pulse through fiber is fed to *linear polarizer* that is placed at the input of birefringence crystal is used for transduction mechanism. *Polarizer splits* pulse in two different — ***s***- and ***p***- *polarized* light pulses.

P- polarized light is polarized in the plane of incidence, not strong reflects from surface of optical crystal, but it refracts inside of crystal. The refraction degree varies with the temperature of the crystal.

S-polarized light is polarized perpendicular to plane of incidence. It is reflected from crystal surface and reflection degree varies with the incidence angle. In case of perpendicular incidence – no reflection for S- polarized light and no undergo refraction inside of crystal.
At a special angle known as Brewster's angle, no *p*-polarized light is reflected from the surface, thus all reflected light must be *s*-polarized. Both polarized light pulses fall into optical birefringent crystal.

P-polarized pulse undergoes refraction up to reach mirror and after reflection back to linear polarizer.

S-polarized pulse runs straight to mirror and then is reflected straight back to linear polarizer. Thus, it is obvious, that travel path of ***p****-polarized* pulse longer than path of ***s****-polarized* pulse.

Path length difference between them:

$$\delta_c = 2 \bullet B \bullet d_c \qquad (2)$$

Where B – temperature dependent birefringence; d – crystal thickness.

With increasing of crystal temperature the refraction will strengthen and difference between paths of both polarized pulses will increase.

That difference is the temperature measurand [9]. The transducer signal output as function of temperature T is given by following equation:

$$\delta_c(T) = S \bullet T + \delta_0 = 2 \bullet \frac{\partial B}{\partial T} d_c \bullet T + \delta_0 \qquad (3)$$

It is seen from above equation that sensitivity of transducer depends of temperature coefficient of crystal birefringence—$\frac{\partial B}{\partial T}$. So sensor can be designed for various temperature ranges.

Interferometer [8] is used also for creating sensor that measured displacement of external object. The schema of that sensor is depicted in diagram below.

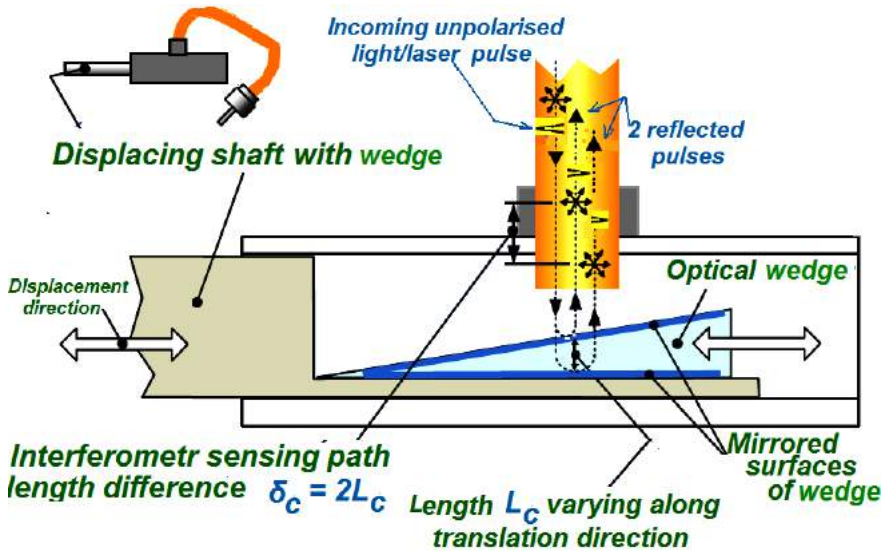


Fig. 6. Conceptual schema of Displacement sensor based on Fizeau interferometer.

As it is seen from diagram [8] the glass wedge-prism with two mirrored surfaces are fixed over shaft of sensor. The shaft being in mechanical contacts with external object is sliding depending of displacement of object.

The modulated unpolarized incoming pulse is fed to sensor via optic fiber. Pulse partially reflected from first mirrored surface of wedge, and partially from second mirrored rear surface.

The path difference between two reflected pulses is

$$\delta_c = 2 \bullet L_c \qquad (4)$$

where L_c - the height of the cross-section of the wedge at this point.

L_c - varies linearly along the wedge and forms time delay (δ_c) between pulses reflected from 1st and 2nd mirrors:

$$t_{delay} = \delta_c / c = 2L_c / c \qquad (5)$$

To meter the displacement, it is necessary to calibrate magnitude of the displacement on the thickness of the wedge at the different positions. From the measured by interferometer the value of t_{delay} it is easy to calculate the wedge thickness at current position, and, knowing calibration ratio, to derive the magnitude of shaft displacement.

As in the case of pressure sensor, temperature sensors, and motion sensor, one of the critical components is the modulator that forms probing light pulses to be fed to sensor. The ratio and relative duration of the probing light/laser have to be tuned precisely and interval between probing pulses must be several time longer than interval between both reflected pulses.

VI. Conclusions and Outlook

IOT framework technology and fiber optic sensing technology has been studied in this paper. The conceptual principles of optical fiber sensing technology applications are analyzed in IOT perception layer, and the specific applications of the optical fiber sensing things are studied in mine functional operability, that fiber-optic sensor network is found to provide greater new options for supporting functionality of modulator. Based on this, it could be predicted that the fiber-optic sensing things will have the greater perspectives for operatively controlling and monitoring of energetical facilities.

Our paper focuses on physical principles of working of designed IoT based system to be used in power producing and power distribution systems.

The optical fiber sensor (OFS) considered in paper for using in IoT systems for controlling and regulation of power industry objects has many advantages compared to traditional sensing techniques.

OFS used the newest technological advances achieved in the field of fiber optic technology, laser technology and optical detection. OFS is greatly promoted in the information transmission and sensing aspects, and it has a wide range of applications.

---

1. *Ramos, C.; Marreiros, G.; Santos, R.; Freitas, C.F.* Smart Offices and Intelligent Decision Rooms.In *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*; Nakashima, H., Aghajan, H., Augusto, J.C., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2010; pp. 851–880.
2. *Reijula, J.; Gröhn, M.; Müller, K.; Reijula, K. Human* well-being and flowing work in an intelligent work environment. *Intell. Build. Int.* 2011, *3*, 223–237.
3. *Doukas, C.* Building Internet of Things with the Arduino; CreateSpace: North Charleston, SC, USA, 2012.
4. *Zhao, C.; Li, X.S.; Chen, J.S.* Study on the application of internet of things in the logistics in forest industry. Appl. Mech. Mater. 2011, *97–98*, 664–668.
5. *Want, R.* Near field communication. IEEE Pervasive Comput. 2011,*10*, 4–7.
6. *Arduino—HomePage*. Available online: http://arduino.cc/ (accessed on 26 December 2013).
7. *Ashton, K.*That ―Internet of Things‖ Thing. RFiD J. 2009, *22*, 97–114.
8. White-light polarization interferometry technology Opsens Inc. Jean Talon Nord, bureau 125, Quebec QC, G1N 4N6 Canada. Pp. 1-6, www.opcens.com.
9. *Hajiyev Y.,* "Digital Modulator for fiber-optical networks", 8th IEEE Conference AICT, Baku, Azerbaijan, 2015.

ENERJİ OBYEKTLƏRİNİN “ƏŞYALAR İNTERNETİ” NƏZARƏT SİSTEMLƏRİNDƏ OPTİK – LİFLİ SENSORLARIN TƏTBİQİ

HACIYEV Y.M.

Əşyalar İnternetinə aid (IOT) tətbiqlərin energetika sənayesində prosesslərin və qurguların avtomatlaşdırma seqmentində yeni bir inkişaf istiqamətinə çevrilmişdir. Enerji obyektlərin iş parametrlərinə istənilən yerdən nəzarət etmək və tənzimləmək İnternet üzərindən IOT vasitəsi ilə yerinə yetirilir. Məqaləmizdə enerji istehsalı və yayılması obyektlərinin monitorinqi və nəzarət yerinə yetirmək üçün fiber əsaslı sensorların obyektlərin üzərində yerləşdirilməsi təklif olunur. İOT texnologiyası və fiber-optik sensorun inkişafı informasiya texnologiyaları sahəsində yeni mərhələdir. Parametrlərin ölçülməsi və fiber şəbəkə üzərindən ötürülməsi ilə əlaqədər bir çox məsələlər araşdırılıb həll yolları göstərilmişdir. Beləliklə, fiber optik IOT perspektivli inkişaf imkanlarına malikdir. Bu məqalədə IOT-in mövcud vəziyyəti, İOT-in əsas komponentləri, nəzəri əsaslar və IOT-nin arxasında olan tətbiqlər öz əksini tapır.

Açar sözlər: əşyalar interneti, fiber optik şəbəkələr, tətbiqi səviyəli protokollar, fiber sensorlar, fiber üzərindən siqnalların paylanması, siqnalların ötürmə texnikaları**.**

ФИБЕР – ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ В СИСТЕМАХ “ИНТЕРНЕТ – ВЕЩЕЙ” ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

ГАДЖИЕВЯ.М.

Рост числа приложений Интернета вещей (IOT) стал новым знаком в сегменте автоматизации отрасли. IoT заключается в подключении вещей к Интернету для получения информации от энергетических объектов, чтобы контролировать и регулировать их из любого места. В нашей статье представлен способ, с помощью которого объекты, производящие и распределяющие электроэнергию, должны быть встроены с помощью волоконно-оптических датчиков для их мониторинга и измерения. Развитие технологии IOT и волоконно-оптического датчика - это новый виток революции в информационных технологиях. Комбинация восприятия параметров и передачи их по оптоволоконной сети является большой проблемой, тщательно рассмотренной в статье. Таким образом, волоконно-оптический IOT имеет многообещающую перспективу развития. В этой статье описывается текущее состояние IOT, ключевые компоненты IOT, теоретическая основа и приложения, стоящие за IOT.

Ключевые слова:интернет вещей, протоколы прикладного уровня, оптоволоконные датчики, оптоволоконные сети, методы передачи.

1.

УДК 535.215

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$

САБЗАЛИЕВА Ч.Э.

Институт Физики НАН Азербайджана,
г. Баку, пр. Г. Джавида 131, Az-1143,
ch.sabzaliyeva@mail.ru

Сообщается об исследовании электрических и фотоэлектрических характеристик гетероструктуры GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$, полученного на подложках из арсенида галлия, ориентированных в плоскостях (100) и (111)A GaAs, методом магнетронного распыления и з двух магнетронов со смещенными друг к другу магнитными системами. В качестве мишеней были использованы прессованные порошки материалов $A^IB^3C^6_2$.

Ключевые слова: GaAs - $CuIn_{0.7}Ga_{0.3}$ $(Se_{0.9}S_{0.1})_2$ гетеропереходы, эффективные СЭ, согласованные параметры кристаллических решеток, магнетронное распыление из двух источников одновременно.

Введение. Одним из наиболее перспективных методов получения электроэнергии из возобновляемых источников является фотоэлектрическое преобразование солнечного излучения с использованием высокоэффективных гетероструктурных солнечных элементов на основе медьсодержащих халькогенидных полупроводниковых материалов. Эффективность таких систем может превысить эффективность традиционных кремниевых солнечных батарей в 2-3 раза при ожидаемом снижении стоимости одного ватта установленной мощности солнечных энергоустановок.

Фотоэлектрическое преобразование солнечного излучения в СЭ на основе тонкопленочных $CuInSe_2$, $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$ $CIG(S,Se)_2$, благодаря удачному сочетанию фотоэлектрических и энергетических параметров этих полупроводников, открывает перспективы существенного повышения эффективности, и снижения стоимости солнечной электроэнергии.

Ключевой проблемой создания СЭ на основе полупроводников I–III–VI2 является разработка технологии получения поглощающего слоя с воспроизводимыми физическими характеристиками. Возможным способом повышения эффективности преобразования за счет увеличения внутреннего электрического поля и расширения области пространственного заряда является применение соединения $Cu(In,Ga)Se_2$ (CIGS) с шириной запрещенной зоны 1.1 - 1.4 эВ. Кроме того, использование этого материала предоставляет возможность управления зонной структурой поглощающего слоя посредством варьирования соотношения Ga/(In+Ga) по глубине слоя. Корректировка профилей Ga/(In+Ga) по глубине поглощающего слоя позволяет улучшить значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания, что приводит к увеличению КПД солнечных элементов на основе CIGS плёнок.

К настоящему времени на основе материалов из $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$ ($CIG(S,Se)_2$),созданы различные гетеропереходы[1, 7-9], барьерные структуры: гомо p-n-переходы[5, 6], и барьеры Шоттки [10]. В принципе, интерес к гетеропереходам на основе $CIG(S,Se)_2$ возрос после сообщения о получении $CuInSe_2$-CdS гетероструктур с к.п.д. 12% [4].

В данной работе сообщается о получении GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ гетеропереходов методом магнетронного распыления в атмосфере аргона.Приводятся

результаты исследования электрических и фотоэлектрических свойств гетеропереходов GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$.

Тонкопленочная технология на основе материалов с высоким коэффициентом поглощения, таких как CdTe, $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$, которые применяются в виде поликристаллических пленок позволяют значительно снизить расход и стоимость используемого материала. Подобная технология является высокоэффективной при использовании таких материалов, менее энергозатратной и дешевой. Качественные $CuInSe_2$-GaAs гетероструктуры впервые были получены методом жидкостной эпитаксии в работе [2] и методом магнетронного распыления [1].

В настоящее время значительное внимание исследователей привлекают многокомпонентные полупроводниковые соединения группы $CIG(SeS)_2$, которые обладают свойствами, необходимыми для создания высокоэффективных преобразователей энергии электромагнитного излучения в электрическую; широкий диапазон значений энергии запрещенной зоны (~1- 2.35 эВ), прямозонность материалов, высокие значения коэффициента поглощения ($\alpha \sim 10^5$ $см^{-1}$), возможность получения этих полупроводников как n-, гак и p-типа проводимости.

Одним из требований к гетеропереходам для создания эффективных солнечных преобразователей, является условие совпадения параметров кристаллических решеток. В качестве подложечного материала для получения эпитаксиальных слоев материалов $A^IB^3C^6_2$ могут служить пластины из арсенида галлия, германия, кремния и фосфида индия, так как имеется широкий диапазон составов $CuIn_{1-x}Ga_x(Se_{1-y}S_y)_2$, которые совпадают по параметрам кристаллической структуры с этими материалами [1]. В этой работе в качестве подложечного материала были использованы арсенид галлиевые пластины с ориентацией плоскости (111) и (100)А как n-, так и p-типа проводимости. Параметр кристаллической решетки арсенида галлия и $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ близки, Eg на основе работы [1] имеет значение около 1.12 эВ. Этот материал мог бы служить компонентом, основным поглощающим материалом в многослойных-многокаскадных концентраторных СЭ [3].

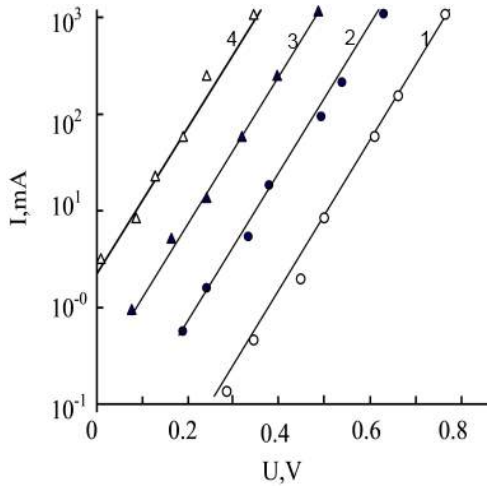
Техника эксперимента. Гетероструктуры GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ получались осаждением пленки $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ на поверхность GaAs ($n=9\cdot10^{15}$ $см^{-3}$) методом магнетронного распыления (МР) по методике, указанной в работах [11,1,2]. Одновременно получали пленки на подложках из оптического стекла и полиамида для оптических измерений, контроля качества, и для определения ее толщины и состава пленки. В качестве мишеней были использованы прессованные порошки материалов $CuIn_{1-x}Ga_x(Se_{1-y}S_y)_2$, различного состава. Рентгенографические исследования пленок показали, что при выбранном режиме получения пленок на (III) поверхности GaAs растет монокристаллическая пленка $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ в направлении (112). Эпитаксиальные слои при методе МР их получения, имели зеркальный блеск.

Электрические и фотоэлектрические свойства GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ гетеропереходов: Гетеропереходы имеют n-GaAs/p-$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$- диодную Вольт-Амперную характеристику как в работе [2]. Прямое направление соответствует приложению к $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ положительного смещения. Токовое напряжение отсечки составляет 0,85В при температур 300К. В обратной ветви вольтамперной характеристики имеется тенденция к насыщению. На рис.1. представлена температурная зависимость прямой ветви Вольт–Амперной характеристики **GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$**гетероперехода.

Как видно, при малых значениях напряжения (U<0,7 В при T=288K) токи увеличиваются по экспоненциальному закону, причем наклоны экспоненциальных участков не зависят от температуры. Это указывает на то, что на токопрохождение оильно влияет и туннельный механизм.

На рис.2 приведены температурные зависимости обратного тока (кривая I, при U=1.0 В) и тока насыщения (кривая 2) - J_o. Видно, что обратный ток и той насыщения

J_oизменяются с температурой по закону $J \sim \exp(-E_a/kT)$, где E_a=0,80 эВ - энергия активации, которая соответствует высоте энергетического барьера на границе раздела между п-GaAs и р- $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$. Значение высоты барьера (E_a=0,80 эВ), определенное из температурных зависимостей - J_o и$J_{обр}$, хорошо согласуется с тоновым напряжением отсечки (0,80 эВ). Все полученные р- $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$/п-GaAs гетероструктуры являлись светочувствительными. Плотность фототока короткого замыкания и напряжения холостого хода составляли значение $J_{к.з.}$ =30мА/см^2 , ($U_{х.х.}$=0.7 В. при освещении структуры белымсветом плотносею мощности 100 мВт/см^2 со стороны пленки $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$. При этом GaAs всегда заряжается отрицательно.



На рис.1. Прямые ветви вольтамперных характеристик GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ гетероперехода при температурах (Т=300 К (I), 340 К (2) 380 К (3) и Т=420 К(4)) в полулогарифмическом масштабе.

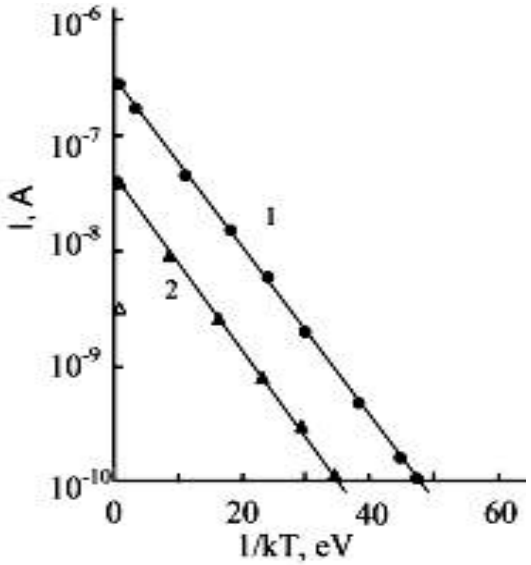


Рис.2. Температурные зависимости обратного тока (кривая I) при U=1.0 В и тока насыщения (кривая 2).

На рис.3 показаны спектральные зависимости фоточувствительности p-$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$/n-GaAs гетероструктуры при освещении со стороны пленки (кривая I) и подложки (кривая 2). Как видно, гетероструктуры проявляют фоточувствительность в области длин волн 0,48-1 мкм. Чувствительность гетероструктуры в области коротких волн можно объяснить тем, что пленки из $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ были достаточно тонкими (~100 нм). Кванты с энергией больше Eg арсенида галлия проходя через тонкие пленки $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ поглощаются в GaAs. Фоточувствительность в случае освещения со стороны пленки значительно больше, чем при освещении со стороны подложки (кривая 2). Такое поведение спектральной чувствительности позволяет создание селективных приемников, чувствительных в области длин волн (0.9-1.0) мкм электромагнитного излучения. Кроме того, из-за высокого значения концентрации носителей дырок в $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$(более, чем 10^{17} $см^{-3}$) основная часть диффузионного потенциала падает на GaAs, а поэтому фотоносители, созданные в GaAs разделяются более эффективно.

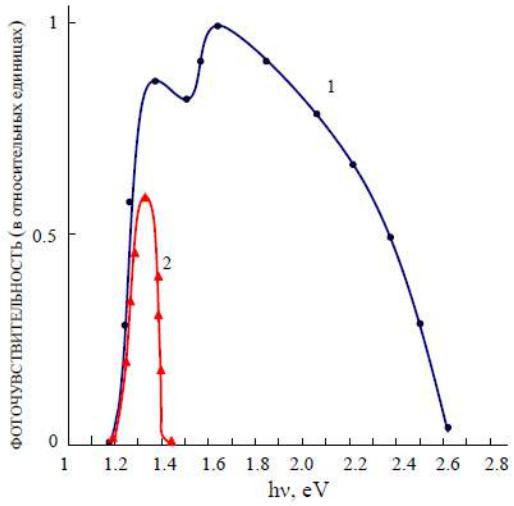


Рис. 3. Спектральные зависимости плотности фототока короткого замыкания p- $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$/n-GaAs гетероперехода. T=300 K.
Кривые 1 и 2 соответствуют случаю освещения гетероперехода со стороны p- $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$и GaAs соответственно.

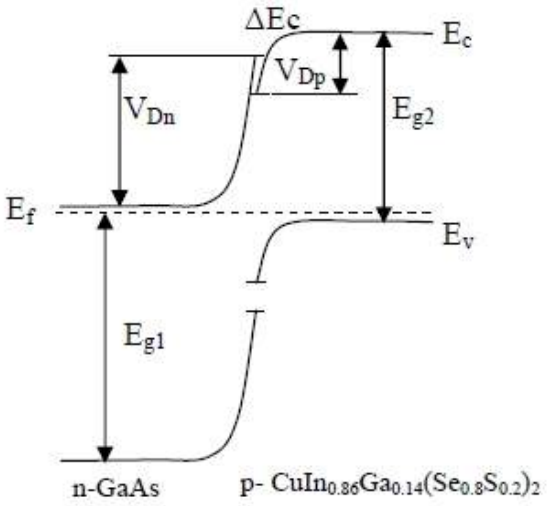


Рис.4. Энергетическая зонная диаграмма p- $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$/n-GaAsгетероперехода.

Таким образом, на основании измерения электрических и фотоэлектрических характеристик построена энергетическая зонная диаграмма гетероперехода p- $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$/n-GaAs (рис. 4). Из энергетической зонной диаграммы следует, что изменением соотношения концентраций дырок и электронов в $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$и GaAs есть возможность увеличить фоточувствительность p-$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$/n-GaAs гетеропереходов.

Таким образом, высокие значения коэффициента выпрямления, тока короткого замыкания и напряжения холостого хода полученных $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$-GaAs гетероструктур указывают на то, что при описанном технологическом методе получается резкая гетерограница и при этом роль граничных состояний несущественна.

Выводы.Таким образм, проведенное исследование по получению и исследованию GaAs-$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ гетероструктур показало, что метод магнетронного распыления из двух магнетронов со смещенными магнитными системами может быть применена для наращивания p- $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ тонких пленок сложного состава. Высокое значение фото-чувствительности полученных $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$/n-GaAs-гетероструктур указывают на то, что при описанном технологическом режиме полученные гетеропереходы являлись резкими и при этом роль граничных состояний были несущественными.

---

1. *АбдулзадеН.Н., АгалиеваС.Т., АхмедоваД.А., МурсакуловН.Н., СабзалиеваЧ.Э.* Проблемы Энергетики. №3, 2019, с.: 53-58.
2. *СабзалиеваЧ.Э.* Проблемы Энергетики. №4, 2019, с.: 31-35
3. *Джафаров Т.Д., Садыгов М.С., Мурсакулов Н.Н.*Получение и сойства $CuInSe_2$-GaAs гетеропереходов. Препринт №287 Институтта Физики АН Аз.ССР, Баку-1988, с-14.
4. *Abdulzadə N.N., AndreevV.M., ƏhmədovaD.A., MursakulovN.N., Səbzəliyeva Ç.Ə., YakuşevM.* // AJPFİZİKA 2018 vol. XXIV №3, section: Az p: 165-167
5. *Abdulzadə N.N., Ağaliyeva S.T., Əsgərova K.Ə., Əhmədova D.A., Səbzəliyeva Ç. E., Zamanova A.K., Mursakulov N.N.* Maqnit sistemləri sürüşdürülmüş iki maqnetrondan tozlandirilma üsulu ilə nazik təbəqəli günəş elementləri üçün $CuIn_{1-x}GaxSe_2$ təbəqələrinin alinmasi və tədqiqi. // AJP Fizika, volume XXIV N1, section: Az p: 13-167.
6. *Ciszer T.F.* // J Crist.Growth 1984, v70, N1-2, p.405-410.
7. *Miglorato P, Tell B., Shay J.L., Kusper H.M.* // Appl.Phys.Lett.1974, v.24, N5, p.227-228.
8. *Gonzales J., Rincon C., Redondo A., Negreyte P.* // Jap.J.Appl.Phys. 1980, v.19, suppl.19-3, p.29-32.
9. *Wagner S., Say J.L., Migliarato P., Kasper H.M.* //Appl.Phys.Lett.1974, v.25, N8, p.434-435.
10. *Shay J.L., Wagner S., Kasper H.M.* // Appl.Phys.Lett., 1975, v.27, p.89-90.
11. *Endo S., Irie T.* // Jap.J.Appl.Phys. 1980, v.19, suppl 19-3, p.53-58.
12. *Parkes J., Tomlinson R.D., Hampshire M.J.* Electrical // Solid St.Electron., 1973, v.16, p 773-777.
13. *Nelson H.* Epitaxial growth from liquid state and its application to the fabrication of tunnel and laser diodes. "RCA Rev."1963, v.24, p.603
14. *Гременок В.Ф., Залесский В.Б., Мурсакулов Н.Н., Тиванов М.С.*Тонкопленочные солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$ со структурой халькопирита. Баку “ЭЛМ”, 2013 -250 с.
15. *Zaretskaya P., Gremenok V.F., Ivanov I.A.,Zalesski V.B, Mursakulov N.N., Abdulzade N.N., Sabzaliyeva Ch.E..* //AJP “Fizika”, 2010, vol.XVI, N2, Series: En, 2010, p.403-407.
16. *MudryiA.V., KorotkiA.V., GremenokV.F., ZaretskayaE.P., ZalesskiV.B., MursakulovN.N., AbdulzadeN.N., SabzaliyevaCh.E.* // AJP “Fizika”, 2010, vol. XVI, N2, Series: En, p.408-413.
17. *Gremenok V.F., Mudryi A.V., Korotki A.V., Zaretskaya E.P., Ivanov I.A., Abdulzade N.N.,*

*Mursakulov N.N., Sabzaliyeva Ch.E.*Characterization of CuİnSe2 thin films from nanoparticle precursors. The First International Scientific Conference “Nano-technology and its use in Technique”. ATU, 15-16 December, 2010 Baku, p. 132-137.
18. *Zaretskaya E.P., Gremenok A.P., Odrinsky V.F., Abdulzade N.N., Mursakulov N.N., Sabzaliyeva Ch.E.* // AJP “Fizika”, 2012, vol. XVIII, N2, Series: En, p. 20-23.
19. *Zaretskaya E.P., Victorov I.A., Goncharova O.V., Leonova T.R., Gartner M., MursakulovN.N., N.N. Abdulzade, Ch.E. Sabzaliyeva*.//AJP, 2012, vol.XVIII, N4, p.26-30.

GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$HETEROKEÇİDLƏRİN ELEKTRİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

SƏBZƏLİYEVA Ç.E.

Məqalədə GaAs oturacaqlarının cilalanmış (100) и (111)Amüstəviləri üzərində maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetrondan maqnetron tozlandırılması üsulu ilə böyüdülmüş $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ təbəqələri əsaslı GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ heterokeçidlərin elektrik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqindən bəhs edilir. Maqnettron tozlandırılması üçün hədəf qismində toz halına salınmış $A^IB^3C^6_2$ materialının preslənməsi nəticəsində düzəldilmiş hədəflərdən istifadə edilmişdir.

Açar sözlər: GaAs - $CuInxGa_{1-x}(Se_yS_{1-y})_2$ heterokeçidləri, effektiv günəş elementi, uyğunlaşmış kristallik qəfəs parametrləri, eyni vaxtda iki mənbədən magnetron tozlandırılması.

ELECTRICAL AND PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF THE GaAs/ $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$HETEROJUNCTIONS

SABZALIEVA CH.E.

In this paper, a study of the electrical and photoelectric preperties of GaAs/ $CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ heterostructures is reported. GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ heterojunctions, was grown on (100) and (111)AGaAs, by magnetron sputtering method from two magnetrons with shifted magnetic systems. As targets, pressed powders of $A^IB^3C^6_2$ materials were used.

Keywords: GaAs - $CuInxGa_{1-x}(Se_{1-y}S_y)_2$ heterojunctions, effective SC, wel-matched crystal lattice parameters, magnetron sputtering from two sources simultaneously.

UOT 615.09.09.29

$p\text{-}(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}/n\text{-}TlInSe_2$ HETEROKEÇİD QURULUŞLU GÜNƏŞ ELEMENTİ VƏ ONUN PARAMETRLƏRİ

ƏBİLOV Ç.İ., HƏSƏNOVA M.Ş.

Azərbaycan Texniki Universiteti, Elektronika kafedrası, Bakı,
cabilov@yahoo.com, mhsh28@mail.ru

$Ni\text{-}SnO_2/p\text{-}(CuInS_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}/n\text{-}TlInSe_2/Ni$ quruluşlu günəş elementi yaradılmış, onun tətbiqi parametrləri öyrənilmişdir. Bu məqsədlə $(CuInS_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}$ bərk məhlulunun və $TlInSe_2$ birləşməsinin ayrı-ayrılıqda fotovoltaik xassələri tədqiq edilmiş, onların yüksək fotohəssaslığa malik olduqları aşkar edilmişdir. Heterokeçidin ekvivalent elektrik sxemi və energetik diaqramı qurulmuş, onun işıqda və qaranlıqda VAX-ları, qısa qapanma cərəyanının açıq dövrə gərginliyindən asılılığı tədqiq edilmişdir. Günəş elementinin çıxış gücü qiymətləndirilmiş, f.i.ə-nın n=6,5%, qısa qapanma cərəyanının I_{sc}=0,88 mA və açıq dövrə gərginliyinin U_{oc}=16,8 mV qiymətlərində olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

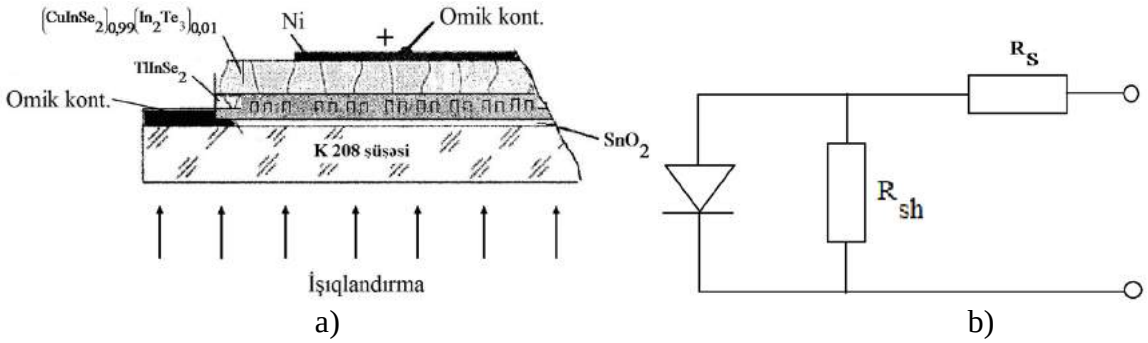
Açar sözlər:günəş elementi, heterokeçid, energetik diaqram, çıxış gücü, f.i.ə.,qısa qapanma cərəyanı, açıq dövrə gərginliyi

Giriş. Hazırda alternativ enerji mənbələrinin yaradılması, təkmilləşdirilməsi və onları üçün yeni tərkibli struturların alınması istiqamətində geniş tədqiqat işləriaparılır. Xüsusilə də günəş batareyaları üçün yeni tərkibli yarımkeçirici materialların və bərk cisim quruluşlarının alınması və tədqiqi sahəsində yerinə yetirilən işlər çox aktualdır. Si, CdS, GaAs, $CuInSe_2$, Cu_2ZnSnS_4 və bu kimi materiallar artıq günəş batareyalarınında tətbiq taparaq səmərəli enerji mənbələri kimi fayda verməkdədirlər [1-3]. Adətən, günəş batareyaları p-n keçidi şəklində hazırlandığından, belə keçidlərinin ikinci materialları da faydalı fotoelektrik xassələrinə malik olmalıdır. [4] işində göstərilmişdir ki, $TlInSe_2$ birləşməsi yüksək fotoelektrik xassələrinə malikdir və o, fotovoltaik material kimi pespektivlidir. Həmçinin, eyni xüsusiyyətlərə $p\text{-}(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}$ tərkibli bərk məhlul ərintisi də malikdir [5] . Göstərilənləri nəzərə alaraq tərəfimizdən $p\text{-}(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}/n\text{-}TlInSe_2$ quruluşlu heterokeçid yaradılmış, onun fotoelektrik, voltamper və digər xassələri tədqiq edilmişdir. Heterokeçidin energetik diaqramı və ekvivalent elektrik sxemi tərtib edilmiş, nazik təbəqələrin yerləşdirilmə quruluşu təsvir olunmuşdu.

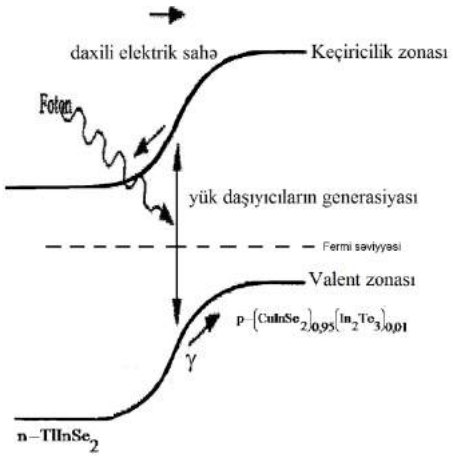
Təcrübi hissə. Elementin yarımkeçirici materiallarının əvvəlcə bircins kristalları alınmış, sonra altlıq kimi götürülən K-208 tipli şüşə üzərinə [6]-da verilən texnologiya ilə onların nazik təbəqələri çökdürülmüşdür. (K-208 şüşəsi elektron sənayesi müəssisələrində optik və fotohəssas cihazların istehsalında istifadə edilən və səthi SnO_2 şəffaf nazik keçirici təbəqə ilə örtürülmüş təmiz tərkibli xüsusi şüşədir). Səthində SnO_2 olan bu şüşənin üzərinə əvvəlcə $TlInSe_2$ birləşməsi, sonra isə onun üzərinə $(CuInSe_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}$ bərk məhlul ərintisi çökdürülmüşdür. Yaradılan nazik təbəqələrin qalınlığı ~ 4-6 mkm. tərtibində olmuşdur. Altlıq K208 şüşəsi dairəvi olduğundan yaradılan nazik təbəqələr də dairəvi alınmışdır. Lakin onların diametri şüşənin səthindəki SnO_2 təbəqəsinin diametrindən kiçikdir və SnO_2-nın artıq qalan səthində sonradan maska üsulu ilə omik kontakt olan nikel materialından nazik təbəqə yaradılmışdır. Belə nikel kontakt təbəqəsi strukturun üst səthində də qoruyucu maskaların köməyilə formalaşdırılıb.

Nəticələr və onlarin müzakirəsi. Yaradılan günəş elementinin struktur sxemi şəkil 1a -da verilmişdir. Şəkil 1b-də isə onun ekvivalent sxemi göstərilmişdir. Sxemdə işıq enerjisinin

elektrik enerjisinə çevrilməsi mexanizmini daha aydın təsəvvür etmək üçün günəş elementinin qurulan energetik diaqramına müraciət etmək olar (şəkil 2).



Şək.1. Yaradılan günəş elementinin struktur sxeminin en kəsiyi (a) və onun ekvivalent sxemi (b).



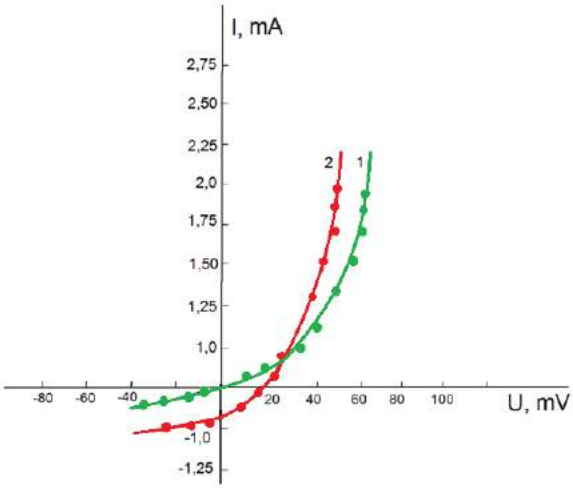
Şək.2. p-$(CuInSe_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}$/n-$TlInSe_2$ quruluşlu heterokeçidin energetik diaqramı.

Göründüyü kimi, günəş elementində yükdaşıyıcıları günəş enerjisini daşıyan fotonları udaraq həyəcanlanır və valent zonasından keçiricilik zonasına keçməyə başlayırlar. Yaranan elektron-deşik cütlər p-n keçidində mövcud olan potensial çəpərdəki elektrik sahəsinin təsirindən ayrılırlar və fotovoltaik prosesin baş verməsi üçün zəmin yaradırlar.

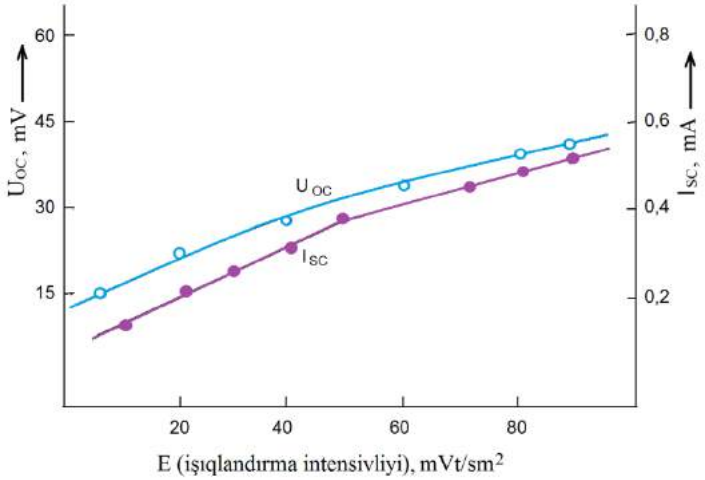
Yaradılan günəş elementinin qaranlıqda və işıqda çəkilən VAX-ları şəkil 3-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi, xarakteristikanın əks qolu işıqlandırılmaya qarşı daha həssasdır. Hər iki VAX-ın (qaranlıq və işıqda) əks qollarında xəttilik mövcuddur, lakin -30 mV gərginliklərdə əks qollarda zəif sınma müşahidə edilir. Yerinə yetirilən ölçmələrdən məlum olmuşdur ki, heterokeçidin qısa qapanma fotocərəyanı (I_{sc}) işıqlandırma intensivliyinin (E) dəyişməsindən aşağıdakı kimi asılıdır.

$$I_{sc} \sim E^m$$

Məlum olmuşdur ki, bu asılılıq xətti olaraq artır və asılılığın meyilinə əsasən m–kəmiyyətinin qiymətini hesablamaq olar. 4 saylı şəkildə heterokeçidin açıq dövrə gərginliyinin və qısa qapanma cərəyanının işıqlandırma enerjisindən asılılığı göstərilmişdir. Göründüyü kimi, I_{sc}~ f(E) asılılığı xətti olaraq artmağa meyl göstərir.

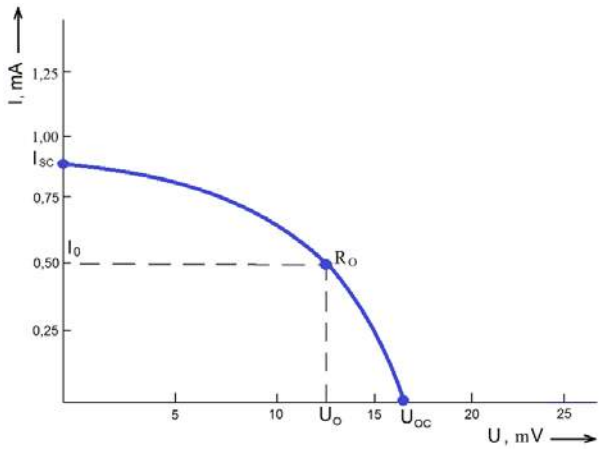


Şək.3. SnO_2 – $TlInSe_2/(CuInSe_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}$ quruluşunun qaranlıqda (1) və işıqda (2) çəkilən volt-amper xarakteristikaları.



Şək. 4. Qısa qapanma cərəyanının (I_{sc}) və açıq dövrə gərginliyinin (U_{oc}) işıqlandırmaintensivliyindən asılılığı.

Bu asılılıqdakı informasiyalardan istifadə edərək günəş elementinin çıxış gücünü qiymətləndirmək olar. Bu məqsədlə $U_{oc} = \dfrac{1}{A \ln\left[\left(\dfrac{In_{SC}}{In_S}\right)+1\right]}$ ifadəsindən istifadə edilir ki, burada da $A = \dfrac{q}{nkT}$. Formuladakı n – kəmiyyəti işıqlandırma zamanı ideallaşdırma faktoru sayılır və onun qiyməti $\ln I_{sc} \sim f(U_{oc})$ asılılığından hesablanır. Lakin günəş elementinin çıxış gücünü müəyyənləşdirmək üçün sadəcə $I_{SC} \sim f(U_{OC})$ asılılığından da istifadə etmək olur. Hazırlanan quruluşlu günəş elementinin belə bir asılılığı şəkil 5-də göstərilmişdir. Qrafikdən məlum olur ki, günəş elementi quruluşunda $I_0 = 0{,}5\,mA$ və $U_0 = 13{,}0\,mV$ tərtibindədir. Yəni burada $P_0 = I_0 U_0 = 6{,}5\,mVt$ və $R_0 = 26\,om$. Ölçmələrdən və 5 saylı şəkildən məlum olmuşdur ki, yaradılan günəş elementində qısa qapanma cərəyanı $I_{SC} = 0{,}88\,mA$, açıq dövrə gərginliyi isə $U_{OC} = 16{,}8\,mV$ qiymətlərinə malikdirlər.



Şək.5.Yaradılan quruluşun işıqda volt-amper xarakteristikasının fotogenerasiyarejiminə uyğun hissəsi.

Buradan $I_{SC} \cdot U_{OC} = 14{,}784\,\text{mVt}$. Digər tərəfdən məlumdur ki, nazik təbəqəli günəş elementnin 1 sm^2 səthindən götürülən maksimal gücü $P_m = FF \cdot I_{Si} \cdot U_{OC}$ ifadəsi ilə qiymətləndirmək olar.Burada da FF kəmiyyəti forma əmsalı və yaxud, voltamper xarateristikasının doldurulma əmsalı sayılır. Onun qiyməti $FF = I_0 U_0 / I_{SC} U_{OC} = 0{,}44$ kimi tapılmışdır.Günəş elementlərində enerji çevrilməsinin səmərəliliyi, yəni f.i.ə. $\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{SC} U_{OC}}{P}$ ifadəsi ilə müəyyənləşdirilir. (burada P_{in} – elementə təsir edən şüanın gücüdür. Onun adətən maksimal qiymətini 100 mVt/sm^2 bərabər, yəni 100%-ə ekvivalent kimi qəbul etmək olur). Təcrübi olaraq $\eta = \frac{(FF \cdot I_{SC} U_{OC})}{P} 100\% = FF \cdot I_{SC} U_{OC}$ kimi hesablanır ki, buna əsasən də hazırlanan quruluşlu günəş elementinin f.i.ə. $\eta \approx 6{,}5\%$ tərtibində olur. Bu qiymət $CuInSe_2 / GaAs$, $CdS / CdTe$ və digər quruluşlu günəş elemenlərinin [7,8] müvafiq göstəricilərinə yaxındır və $CdS / CuGeSe_{0,90}Te_{0,10}$, $InTe / CuInSe_2$ quruluşlu günəş elemenlərinin [9] müvafiq göstəricilərindən üstündür.

NƏTİCƏ

Ni-SnO_2/p-$(CuInSe_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}$/n-$TlInSe_2$/Ni quruluşlu günəş elementi hazırlanmış, onun tətbiqi parametrləri öyrənilmişdir. Bu məqsədlə $(CuInS_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}$ bərk məhlulunun və $TlInSe_2$ birləşmələrinin ayrı-ayrılıqda fotovoltaik xassələri tədqiq edilmiş, onların yüksək fotohəssaslığa malik olduqları aşkar edilmişdir. Heterokeçidin ekvivalent elektrik sxemi və energetik diaqramı tərtib edilmişdir. Həmçinin elementin işıqda və qaranlıqda VAX-ları, qısaqapanma cərəyanı və açıq dövrə gərginliyinin işıqlandırma intensivliyindən asılılıqları tədqiq edilmişdir. Bu asılılıqlara görə günəş elementinin çıxış gücü və VAX-nın doldurma əmsalı qiymətləndirilmiş, onun f.i.ə.-nın $\eta \approx 6{,}5$ %, qısaqapanma cərəyanının I_{sc}=0,88 mA və açıq dövrə gərginliyinin U_{oc}=16,8 mV qiymətlərində olduğu aşkar edilmişdir.

1. *Миника Дж.* Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики (Перевод с анг. проф. И.П. Гавриловой). М., Мир,- 1988, -139 с.
2. *Matthew G., Panthani C., Jackson S., Dariya K.R., Dong J.R., Teybor B.H., Vahid A.A., Yoxan Yn. AndBrienA.K.* $CuInSe_2$quetumdotSolarcelleswithhighopen- cirautvoltage //j. Phys. Chem. Lett. -2013.-Vol 4 (12)-pp. 2030-2034.
3. *Башкиров С.А., Кондроток Р., Гременок В., Юшкенос Р.Л., Тюхов И.И.* Тонкие пленки $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$ для использования в солнечных элементах третьего поколения // Ж. Альтернативная энергетика и экология.- 2016-№15-с.31-53.

4. *Исмаилов Н.Д.. Абилов Ч.И., Гасанова М.Ш.* О фотопроводимости $TlInSe_2$ // Физика и техн. полупроводников.- 2017-т.51,-№5 - с.663-666.
5. *Heydərov R.E., Həsənova M.Ş.* Günəş elementləri üçün p-$(CuInSe_2)_{1-x}(In_2Te_3)_x$ materialların alınması və xassələrinin öyrənilməsi. Bakı, AzTU- 2004- s.17.
6. *Бакин А.С., Чеснокова Д.Б., Яськов Д.А.* Лимитирующие стадии роста эпитаксиальных слоев $Pb_{1-x}Sn_xTe$ //Изв.АН.ССР, Неорган. Материалы.-1987-том 23-№1- с.48-51.
7. *Salmanov V.M., Bayramov A.İ., Ağayeva A.A.* $CuInSe_2$/GaAs heterokeçidində fotovoltaik çevrilmə // BDU- nun xəbərləri, Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası. -2001-№1- s.46-51.
8. *Fathi N.M., Bağıyev E.A., Kərimova A.M., Əliyeva Y.N., Balıyeva N.O., Vəliyeva R.V., Məmiyev Z.Q., Bayramov A.N.* "Substrate" konfiqurasiyalı CdTe əsaslı günəş elementləri // Azərb. Fizika jurnalı. -2014-cild XX-№4-s.17-20.
9. *Roughieh Rousina and G.K. Shivakumar* Photovoltaic properties of n-$CuInSe_2$ / p-InTe.// İranian journal of science and Technology- 1990-vol.14- № 2 and 3- pp. 165-171.

СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ С ГЕТЕРОПЕРЕХОДНОЙ СТРУКТУРОЙ p-$(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}$/n-$TlInSe_2$И ЕГОПАРАМЕТРЫ

АБИЛОВ Ч.И., ГАСАНОВА М.Ш.

Создансолнечный элемент со структуройNi-SnO_2/p-$(CuInS_2)_{0,99}(In_2Te_3)_{0,01}$ /n-$TlInSe_2$/Ni, изучен его прикладные параметры. С этой целью в отдельности исследованы фотовольтаические свойства твердых растворов $(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}$и соединения $TlInSe_2$, выявлено что они обладают высокой фоточуствительностью. Построена эквивалентная электрическая схема и энергетическая диаграмма гетероперехода, исследованы темновые и световые вольтамперные характеристики, а также токи короткого замыкания и напряжения холостого хода. Оценено выходная мощность солнечного элемента, определены значения к.п.д. $\eta = 6{,}5\%$, тока короткого замыкания $I_{k.k} = 0{,}88$ mA и напряжения холостого хода $U_{x.x.}$=16,8 mV солнечного элемента.

Ключевые слова: солнечный элемент, гетеропереход, энергетическая диаграмма, выходная мощность к.п.д., ток короткого замыкания, напряжение холостого хода.

SOLAR ELEMENT WITH p-$(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}$/n-$TlInSe_2$ HETEROJUNCTIONS STRUCTURE AND ITS PARAMETERS

ABILOV CH.I., HASANOVA M.SH.

A solar element with Ni-SnO2/p-(CuInS2)0,99(In2Te3)0,01/n-TlInSe2/Ni structure was created and its application parameters were studied. For this purpose, photovoltaic properties of (CuInS2)0,99(In2Te3)0,01 solid solution and TlInSe2 combination have been investigated separately, and they have been found to have high photochemical sensitivity. An equivalent electrical circuit and power diagram of the heterocyclic has been established, its VACh in the light and darkness and the dependence of short-circuit current on open circuit voltage was investigated. The output power of the solar element was evaluated, it was determined that for Eff, $\eta \approx 6{,}5\%$ for short circuit current, Isc=0,88 mA and for open circuit voltage, Uoc=16,8 mV.

Keywords:solar cell, heterojunction, energy diagramc, output power, Eff., open circuit voltage,short circuit current.

UOT 536.77:547.442

QUBA -XAÇMAZ ZONASININ GEOTERMAL SULARI VƏ İSTİLİK ENERGETİKASINDA ONLARDAN İSTİFADƏNİN PROQNOZLAŞDIRILMASI

BABAYEVA S.Ş., BABAYEV N.İ.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
babayeva_sevinc64@mail.ru

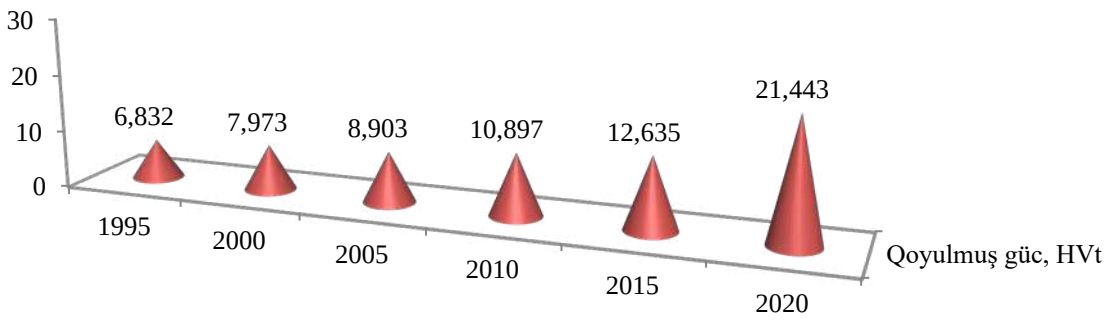
Məqalədə Azəbaycan Respublikasının Quba-Xaçmaz zonasının termal sularının kimyəvi tərkibinin öyrənilməsi üzrə tədqiqatlar aparılmışdır. Bölgənin beş mineral su mənbəyinin(Cimi 2, Cimi 4, Qalaaltı, İstisu, Yalama) kimyəvi tərkibinin eksperimental tədqiqi aparılmışdır, müəyyən edilmişdir ki, bu suların tərkibi əsasən $Na^{+} + K^{+}$ (21,03 – 2777,45) mq / l, Ca^{2} (5 – 380) mq / l, Mg^{2} (6 – 72) mq / l, $SO^{-2}{}_{4}$ (24.6 – 444.42) mq / l, minerallaşma (695.92 – 8501,12) mq / l, Cl^{-} (8,88 – 4668,25) mq / l, HCO^{3} (183 – 762,5) mq/l-dən ibarətdir. Əldə edilmiş eksperimental məlumatlar Azərbaycan Respublikasının müvafiq təbii ehtiyatlarının dünya məlumat bazasının genişləndirilməsinə, bu sulardan istilik energetikasında, kimya sənayesində, tibbdə istifadəyə imkan verir.

Açar sözlər: geotermal, geotermal suların kimyəvi tərkibi, geotermal istilik təchizatı, elektrik enerji hasilatı,alternativ enerji, tektonika,su sərfi.

Azərbaycanda gedən siyasi və iqtisadi inkişaf müasir energetikanın inkişaf istiqamətinə əsaslı təsir göstərir.Bu, xüsusilə yanacağın qiymətinin dəyişməsi və yanacağın nəqli ilə əlaqədardır.Ətraf mühitin qorunmasına qoyulan şərtlərin sərtləşdirilməsi də müasir energetikanın inkişaf istiqamətinə təsir göstərən amillərdəndir.Belə ki, regionlar ənənəvi enerji resursları ilə yanaşı qeyri ənənəvi enerji resurslarından istifadə edərək,onu inkişaf etdirməyə önəm verirlər. Yalnız Azərbaycan deyil,dünya üzrə bir-birindən enerji asılılığı olan dövlətlər də altenativ enerjidən istifadəyə maraqlıdırlar.

Beynəlxalq Energetika Agentliyinin məlumatına əsasən 2018-ci ildə 2017-ci iilə nisbətən alternativ energetikadan alınan enerji artımı 180 heqavatt (HVt) təşkil etmişdir.198 ölkədən 195-i 2018-ci ildən 2030-cu ilə qədər alternatıv enerji hesabına enerji istehsalını hər il 300 HVt-dan çox artırmağa razılaşmışlar.Energetikada digər alternativ enerji növləri ilə yanaşı,geotermal enerji də prioritet yerlərdən birini tutur.Beləki,istilik təchizatı sistemlərinin təkmilləşdirilməsi və yeni sxemlərin işlənilməsində geotermal enerjidən istifadə gündəmdə olan məsələlərdəndir.

Şəkil 1-də dünyada geotermal elektrik stansiyaların qoyulmuş gücünün illər üzrə artımı göstərilmişdir.



Şək.1. Dünyada geotermal elektrik stansiyaların qoyulmuş gücünün illər üzrə artımı.

Geotermal enerji–yerin dərin qatlarının enerjisidir.Yerin təkinin istiliyi su, buxar, qızmış maddələr vasitəsilə yerin səthinə çıxarılır.Elektrik və istilik enerjisi istehsalı nöqteyi nəzərindən istilik daşıyıcı kimi su və su buxarından istifadə ənənəvidir.İstilik təchizatında istilik daşıyıcının temperaturu 100 ^{o} C-dən aşağı ola bilər. Lakin elektrik enerjisi istehsalında 100 ^{o} C-dən yüksək olmalıdır.Günəş və külək enerjisindən fərqli olaraq,getermal enerji daimi və arası kəsilməzdir.Geotermal enerji ehtiyatlarına malik olmaq hər ölkəyə nəsib deyil.Bu,əsasən,ərazisində vulkanizm prosesləri inkişaf etmiş dövlətlərə məxsusdur.

Elektroenergetikada,sənayedə və kənd təsərrüfatında geotermal enerjinin geniş və effektiv istifadə sahəsi istiləşdirmə, ventilyasiya, qurutma, isti və texniki su ilətəchizatdır.Geotermal elektrik stansiyalar dünyanın 30 ölkəsində işləyərək,10 min MVt-dan çox enerji istehsal edirlər.Bu sahədə ABŞ,Filippin,Meksika,İndoneziya,İtaliya,Yaponiya,Yeni Zelandiya,İslandiya liderlik edir.İslandiyada həyat göstəricilərinin yüksək olması,onun iqtisadiyyatının geotermal enerjiyə bağlanması ilə əlaqədardır.

Hal hazırda geotermal istilik təchizatında istilik nasoslarından istifadə geniş vüsət alıb. Almaniya,ABŞ və Kanada bu texnologiyadan geniş istifadə edir.

Geotermal energetikadan istifadənin spesifik xüsusiyyətləri var. Hər bir istilik və elektrik hasil edən stansiya özünəməxsusdur.Belə ki, buna işçi mühit,geotermal mənbənin yerləşmə dərinliyi,geotermal suyun temperaturu və kimyəvi tərkibi təsir göstərir.

Adətən geotermal energetika iki tip regionda inkişaf edir.Təbii qaynar mənbələri olan regionlar bu enerji növündən daha geniş istifadəyə maraqlıdırlar.Bundan başqa yanar faydalı qazıntıları məhdud olan və ya daşınması iqtisadi cəhətdən baha başa gələn ölkələr bu növ enerjidən istifadəyə üstünlük verir.Elə ölkələr var ki,geotermal enerjidən alınan istilik və elektrik enerjisi ona olan tələbatının əsas hissəsini ödəyir.Bu texnologiya ilə Amerikanın San-Fransisko şəhərində tələb olunan enerjinin 1/3 hissəsi geotermal enerji hesabina ödənir.Polşada istismarda olan 4 geotermal stansiyadan biri kurort şəhəri olan Zakopanın bütün enerji tələbatını ödənilir.Litvanın Klaypeda şəhərinin isti su təchizatı geotermal stansiya hesabına reallaşır.

Dünya miqyasında geotermal energetika perspektivli istiqamətlərdəndir.Alternativ Enerji Mənbələri üzrə Beynəlxalq Agentliyin (İRENA) məlumatlarına əsasən təqdim olunan 38 ölkə geotermal enerjinin hasilatının 500 % -ə qədər artırılmasına səs vermişdir.Bu sahənin inkişafı ətraf mühitin korlanmasının qarşısını alan səbəblərdən ən vacibi olacaqdır.

Hazırda İndoneziya özünün 3,5 HVt geotermal gücü ilə dünya üzrə üçüncüdür.Bu ölkə 2025-ci ilə qədər bu gücü 6 HVt –a çatdırmağı proqnozlaşdırır.

54 ölkədən ibarət Afrika Alyansı şərqi Afrika səhrasında geotermal enerji əsasında alternatıv energetikadan alınan gücü 10 HVt-a çatdırmağı planlaşdırır. Qlobal Geotermal Alyansın məlumatlarına əsasən 90 dövlətin bu enerji növünü inkişaf etdirməyə potensialı var.Lakin hələlik 24 ölkə bundan istifadə edir.Buna səbəb ölkələrin siyasi qeyri-sabitliyi,prosedurun yerinə yetirilməsi çətinliyi, quyuların qazılmasına yüksək kapital qoyuluşu,kəşfiyyat-istismar riski olmuşdur. Elm və texnikanın inkişaf etmiş bu günki səviyyəsi imkan verir ki, quyuların qazılmasına çəkilən xərcləri və kəşfiyyat-istismar riski aşağı salınsın.

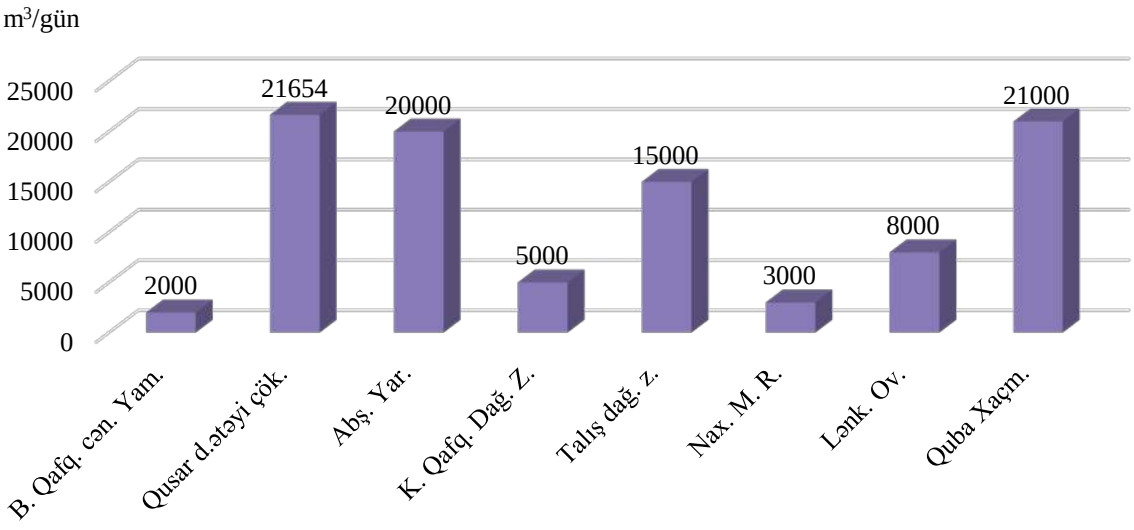
Düzdür, hələlik neft ehtiyatları var, lakin bu resurslar istifadə olunaraq azalıb tükən-dikcə,yerin daha dərin qatlarında yerləşən nefti çıxarmaq,geotermal enerjidən istifadədən daha baha olacaq.Dünya dövlətləri də bunu görür və dəyərləndirir.Azərbaycanın yaxın qonşularından olan Rusiyanın Kamçatka,Saxalın,Qafqaz,Stavropol,Krasnodar vilayətlərində quyu qazaraq,geotermal enerji əldə etmək olar.Bu suların temperaturu 70 -126 ^{o}C arasında dəyişir. Eyni zamanda bu geotermal sular təbii yolla yerin tərkindən çıxırlar.Beləliklə, heç bir böyük xərc çəkmədən bu regionlardakı yaşayış və sənaye müəssisələri geotermal enerji hesabına həm qızdırıla,həm də isti su ilə təmin oluna bilər.Geotermal mənbədən alınan istilik, qazanxa-nadan alınan istilikdən 4 dəfə ucuz başa gəlir.

Azərbaycan mineral və termal sular ilə zəngin bir dövlətdir.Son zamanlar Azərbaycanda alternativ energetikadan istifadənin bütün sahələri kimi geotermal mənbələrə də böyük maraq

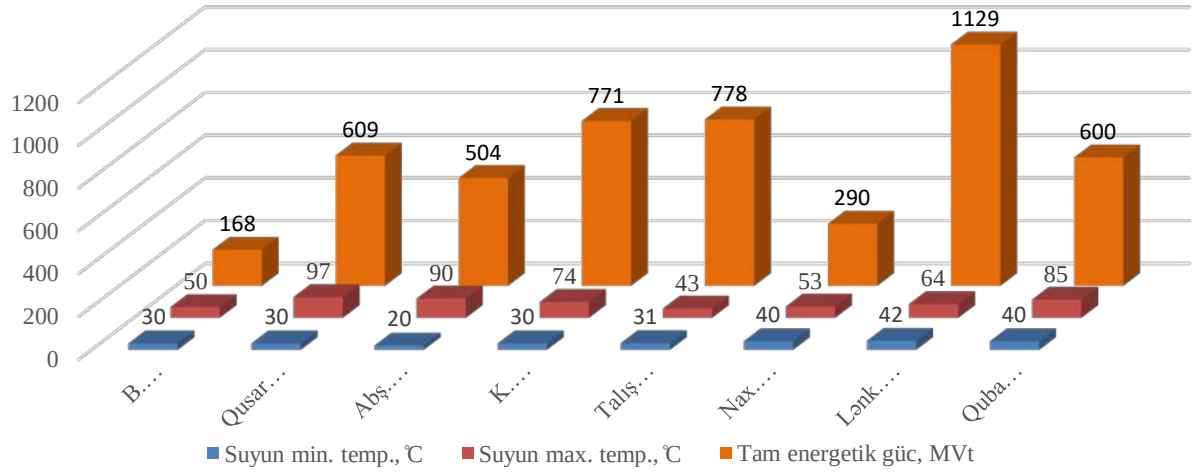
artmışdır.Buna görə də alimlər də tətqiqat obyekti kimi geotermal suların öyrənilməsinə böyük maraq göstərirlər.Bu suların tətbiq sahələri geniş olub,kənd təsərrüfatını,tibbi,sənayedə və kommunal təsərrüfatda istiləşdirməni əhatə edir. Azərbaycanda geotermal enerji potensialı 800 MVt –a yaxın qiymətləndirilir. Burada yerin istilik enerjisindən istifadə etmək məqsədə uyğundur. Azərbaycanın Böyük və Kiçik Qafqaz əraziləri,Abşeron yarımadası,Talış dağları,Kür çökəkliyi, Xəzər-Quba,Lənkəran-Astara-Masallı, Yalama-Xudat və s. Regionları üçün geotermal mənbələr xarakterikdir.Bu geotermal mənbələr üçün geotermal suların temperaturu 100^{o} C-ni aşmır.(Kürdəmir rayonu Carlı termal su yatağı 100^{o}C-dən artıqdır).Bu mənbələr,əsasən,aşağı potensiallı sayılsa da,həmin ərazilərdə yerləşən məişət və müxtəlif təyinatlı obyektlətin istilik enerjisinə olan tələbatını ödəmək iqtidarındadırlar.Məhz buna görə də, hal-hazırda Azərbaycanda olan geotermal enerjidən az da olsa, istixanalarda və müalicə məqsədilə istifadə olunur.Bu məqsədlə istifadə olunan geotermal mənbələr Lənkəran,Kür çayı hövzəsi (Carlı,Muradxanlı,Sor-Sor),Gəncə,Yalama-Xudat regionlarındadır.Eyni zamanda bu sular həm də yüksək minerallıdırlar. (15 qr/l–dən çox). Bu istilik enerjisindən istiləşdirmə,hər hansı kənd təsərrüfatı məhsulunu qurutma, və s üçün istifadə etmək olar.Hələlik geotermal mənbələrin istiliyindən elektrik enerjisi alınması üçün istifadə edilmir.Lakin gələcəkdə istilik nasoslarının tətbiqi ilə elektrik enerjisi də almaq olar.

İstilik təchizatını təmin edın avadanlığın, bu avadanlıqları özlərində birləşdirən sistemlərin təhlükəsiz,iqtisadi cəhətdən səmərəli işini təmin etmək üçün həmin avadanlığın kimyəvi su rejimini düzgün təşkil etmək vacib məsələlərdəndir.Bununla yanaşı geotermal sular kimyəvi tərkibindən asılı olaraq, insan orqanizmi üçün də təhlükə yarada bilər.Ona görə də istiləşdirmə məqsədi ilə istifadə etməmişdən əvvəl,bu suların kimyəvi tərkibinin öyrənilməsi vacib məsələlərdəndir.

Respublikada 1000 –dən çox mineral su mənbəyi var.Hidrotermal suların debiti təxminən sutkada 50 mln litrdir.Böyük Qafqazın şimal-şərqində bu suların temperaturu 82-85 ^{o}C, bəzi yerlərdə isə 90-105 ^{o}C –dir. (şəkil 2,şəkil 3).



Şək.2. Azərbaycanda olan geotermal mənbələrin proqnozlaşdırılan su ehtiyatı.



Şək.3. Azərbaycanda olan geotermal suların temperaturları və geotermal mənbələrin tam energetik gücləri.

Təxmini hesablamalara görə Azərbaycanda geotermal enerjinin gətirdiyi istilik enerjisi,200000 ton bərk yanacağın yanmasından alınan istilik enerjisinə bərabərdir.Hal hazırda bu geotermal suların istiliyindən əhali kustar üsulla istifadə edir.Geotertermal mənbələrin çox böyük hissəsi həm də mineral tərkibli olub, müalicəvi xarakter daşıyır. Azərbaycanın iqlimi,landşaftı imkan verir ki, bu məkanlarda kurort zonaları salınsın. Bu zaman həmin ərazilərdə olan sanotoriya, pansionat və digər təyinatlı müəssisələrin isti su təchizatını və isidilməsini bu geotermal mənbələr hesabına ödəmək prioritet məsələlərdən olacaq.Respublikamızda termal su yataqları çoxdur.Təkcə,Carlı yatağında 3 saylı quyunu 3050 m dərinlikdən böyük təzyiqlə qalxan və gündəlik sərfi 20000 m^3 olan suyun yer səthində temperaturu 100 ^oC-dən artıqdır.

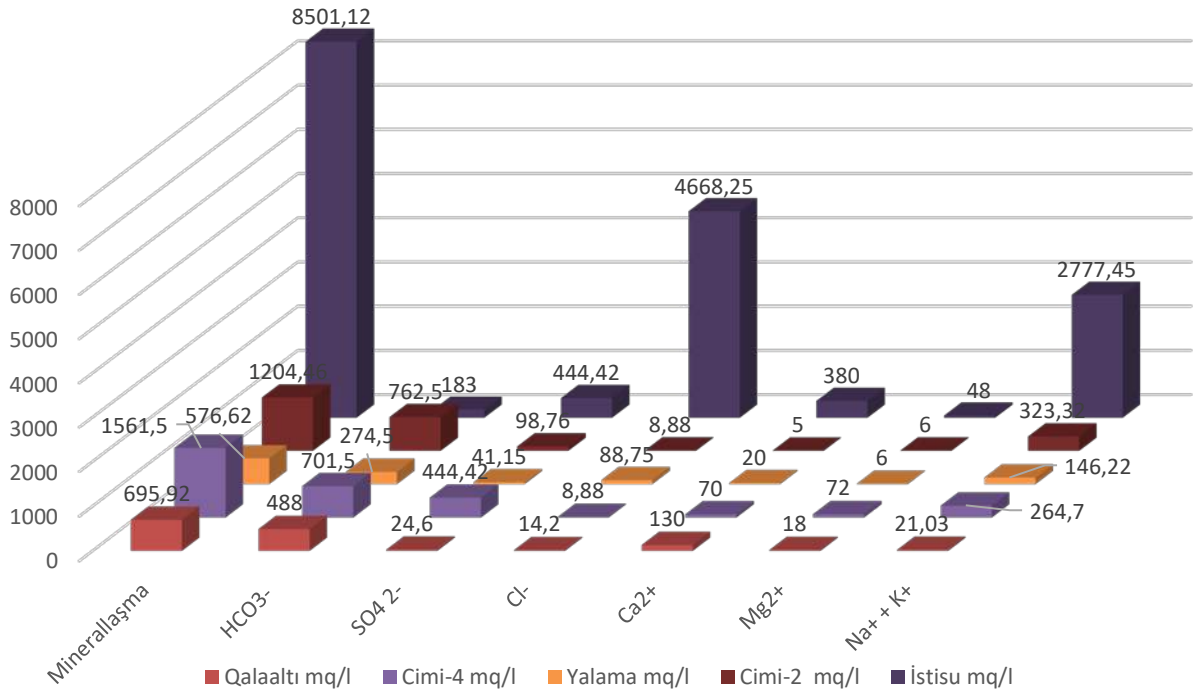
Hələ keçən əsrin sonlarında,Azərbaycan Dövlət Geologiya Komitəsinin apardığı elmi işlər əsasındaQuba –Xaçmaz zonasındakı geotermal mənbələrin sənaye məqsədləri üçün istifadəsini təsdiqləmişdir.

Quba-Xaçmaz zonasındakı geotermal mənbələr gur sululuğu ilə xarakterizə olunurlar.Buradakı geotermal suların temperaturu 35 ^oC-dən 85-86 ^oC-dək dəyişir.Sanitar – gigiyenik şərtlərə əsasən istiləşdirmə üçün istifadə olunacaq isti suyun temperaturu 80 ^oC-dən çox,55-60 ^oC –dən az olmamalıdır.

Müasir Azərbaycanın turizm sektorunun inkişafı,bu ərazidəki kurort zonalarında istiləşdirməni geotermal mənbə hesabına aparılmasını labüd edir.Energetik qurğuların fasiləsiz və qəzasız işini təmin etmək üçün geotermal suların kimyəvi tərkibinin öyrənilməsi vacibdir.Bu məqsədlə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin "Neft – qaz geologiyası " və "Enerji istehsalı texnologiyaları" kafedralarının birgə işi nəticəsində Quba – Xaçmaz geotermal sularının kimyəvi tərkibi və gələcəkdə onların istiləşdirmədə istifadə istiqaməti araşdırılmışdır.

Quba-Xaçmaz zonası tektonik aktivliyi ilə seçilir.Məhz,bu xarakterik xüsusiyyətinə görə belə zonalarda termal və mineral suların temperaturu,yeraltı axma sürəti və kimyəvi tərkibi zamandan asılı olaraq dəyişir.Bunu son 35-40 ilin tədqiqatları da sübut edir. Beləki, bu sular xlorlu- kalsiumlu tipə aiddirlər.Tərkibində yod,brom, bor,stronsium və b. elementlər var.Bu sular çox yüksək lay təzyiqi ilə xarakterizə olunurlar(300-700 atm.).

Quba-Xaçmaz zonasındakı geotermal suların kimyəvi tərkibi əsasən HCO^{3-},SO_4^{2-},Cl,Ca^{2+},Mg^{2+},Na^{+},K^{+},(şəkil 4),qismən isə NO^{2-},NO^{3-},NH^{4+},Fe^{3+},Cu^{2+},Al^{3+} Zn^{2+}ionlarından (şəkil 5)ibarətdir.



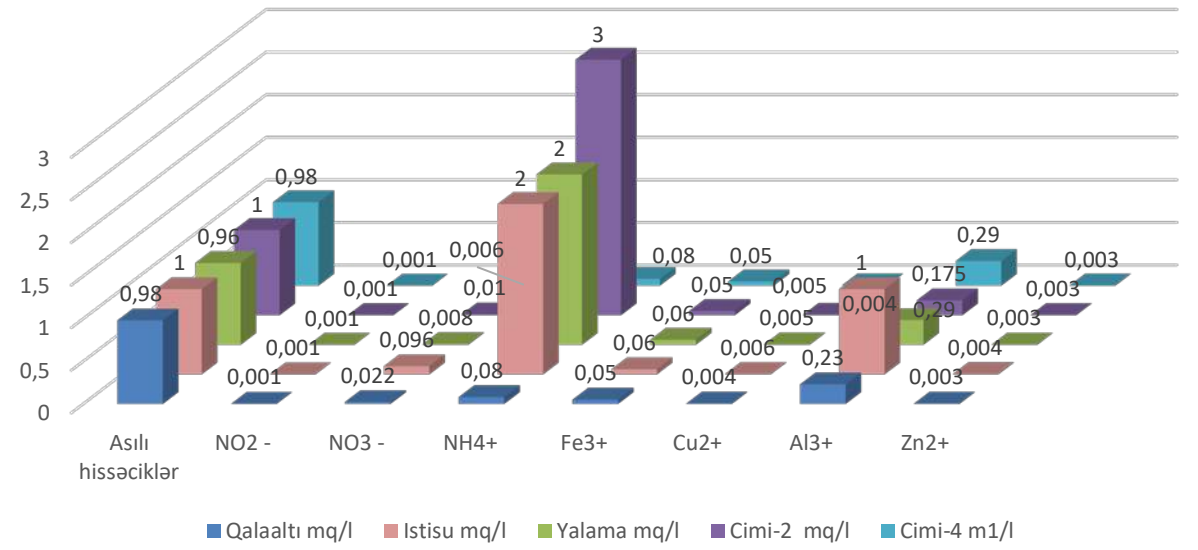
Şək.4. Quba-Xaçmaz zonasındakı geotermal suların kimyəvi tərkibi.

Bu hövzənin geotermal sularının minerallaşma dərəcəsi 576,2 mq/l – 1561,5 mq/l intervalında dəyişir.Tədqiqatlar göstərir ki,quyuların dərinliyi artdıqca, suların minerallıq dərəcəsi də artır.

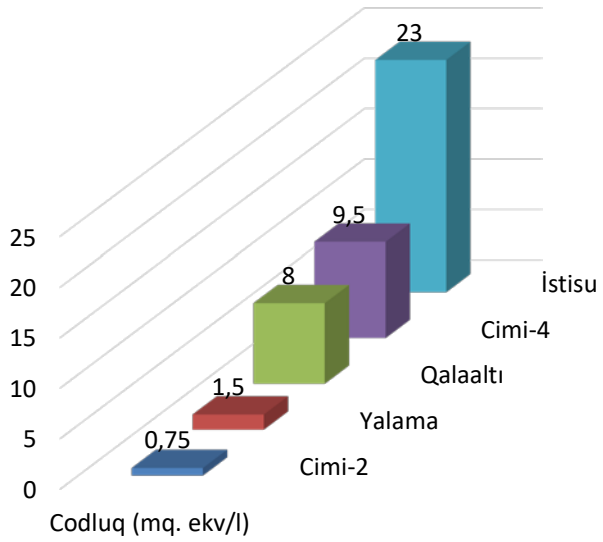
Quba-Xaçmaz zonasındakı geotermal suların tərkibindəki Ca ionları da geniş diapazonda dəyişir.Beləki,bu ionların miqdarının çox olması istilik mübadiləsi işində problemlər yaradır (məsələn, Cimi -4 –də).

Quba-Xaçmaz zonasındakı geotermal suların tərkibindəki asılı hissəciklərin miqdarı çox kiçik intervalda dəyişir (şəkil 5).

Bu regionun geotermal sularının codluğu 0,75-23,0 mq.ekv/l intervalında dəyişir (şəkil 6).İstilik təchizatında az codluqlu sulardan istifadə məqsədə uyğundur.Lakin debiti çox olan mənbələrdə geotermal sular kimyəvi təmizləndikdən sonra istiləşdirmə məqsədi ilə istifadə oluna bilər.



Şək.5. Quba-Xaçmaz zonasındakı geotermal suların kimyəvi tərkibi(ardı).



Şək.6. Quba–Xaçmaz zonasının geotermal sularının codluq göstəriciləri.

Bundan başqa bu suların tərkibində Rn,Th,U, Ra və başqa radioaktiv elementlərin olması diqqəti çəkir.Quba–Xaçmaz zonasının geotermal sularının tərkibində radon və radium elementləri radioaktiv tarazlıq vəziyyətində deyil. (radonun miqdarı radiumdan çoxdur). İstilik təchizatında bu sulardan istifadə zamanı onların ətraf mühiti çirkləndirməməsi üçün qapalı sistemdə dövr etməsi təmin edilir.

Quba–Xaçmaz zonasının geotermal sularından istilik təchizatında istifadə əsasən istilik mübadiləsi qurğularında və bu sularla kontaktda olan səthlərdə korroziya və ərpin yaranması ilə problemlər yarada bilər. Geotermal istilik təchizatı sxemləri tərtib edilərkən, əvvəlcədən bu suların istiləşdirməyə birbaşa verilməsinin, qazan və istilik mübadilə aparatlarında maksimum qızdırılmasının mümkünlüyü, korroziyanın və ərp əmələ gəlməsinin qarşısını alacaq tədbirlər planının hazırlanması vacibdir.

Oksigen ən aqressiv qaz olub, korroziyaya səbəb olur.Bu suların tərkibində oksigen yoxdur.Lakin istilik təchizatı sisteminin kipsizliyindən suyun tərkibinə daxil ola bilər.Ona görə də istilik təchizatı sistemlərinin boru kəmərlərinin hermetikliyini təmin etmək üçün qaynaq birləşməli hazırlanmalıdır.Yivli birləşmələrdən maksimum az istifadə olunmalıdır.İstilik sisteminin konservasiyası zamanı sistemə oksigenin sizmasının qarşısını almaq üçün geotermal su ilə təmasda olan bütün kommunikasiya və avadanlıqlar su ilə doldurulmalıdır.

Bundan başqa istilik mübadilə səthlərinin korroziyasına səbəb geotermal suyun minerallılığı, pH–ı,təzyiqi, temperaturu,onun tərkibindəki hidrogen sulfid və s.-dir.Korrozoyaya qarşı tətbiq olunan metodlardan biri deqazasiyadır.Burada sudan aqressiv qazlar (hidrogen sulfid və karbon qazı) kənarlaşdırılır.

Quba–Xaçmaz zonasının geotermal sularının tərkibində kalsium karbonatın olması yerin səthinə çıxana qədər təzyiqin azalması nəticəsində karbon qazı sudan ayrılır.Beləliklə,həmin suyun tərkibində kalsiumun miqdarı artır ki,bu istilik mübadilə aparatlarının səthlərində çöküntü şəklində toplanır. Bu zaman su hərəkət edən borulardan istilik pis keçir və qəza halları baş verir.Daha doğrusu,çöküntülərin suyun tərkibində qalması isitmə sistemin avadanlığının istilik-texniki xarakteristikalarını pisləşdirir,bu zaman borularda hidravliki müqavimət artır və sistemdə qəza halları baş verir.

Quba–Xaçmaz zonasının geotermal sularından istiləşdirmə məqsədilə istifadə etdikdə, kalsium karbonat çöküntülərin qarşısını almaq üçün suyun polifosfat emalını tətbiq etmək və ya ona kükürd turşusu əlavə edərək, pH-ını 6,5-7,5 intervalında saxlamaq məqsədə uyğun sayılır.

Quba-Xaçmaz zonasının geotermal sularının tərkibi yod və brom elementləri ilə zəngindir (Cədvəl.1.). Bu keyfiyyətinə görə Yalama 6,Xudat 112,Nabran 111,Xaçmaz 4,geotermal mənbələri xüsusilə fərqlənirlər.Yuxarıda adları çəkilən mənbələrin suyundan bu elementləri ayıraraq kimya sənayesində və tibbdə geniş istifadə etmək olar.Bu sulardan müalicəvi və sanator-kurort sahəsində də geniş istifadə etmək mümkündür.

Cədvəl 1.

Quba-Xaçmaz zonasının geotermal sularının tərkibindəki yod və brom elementlərinin miqdarı.

Geotermal mənbə	Yodun miqdarı,q/l	Bromun miqdarı,q/l	Geotermal mənbə	Yodun miqdarı,q/l	Bromun miqdarı,q/l
Yalama,5	0,85	-	Nabran,111	13,22	141,4
Yalama,6	25,91	208,1	Xudat,11	0,98	4,96
Nabran,7	0,65	8,78	Xudat,20	8,6	40,7
Nabran,9	1,4	7,5	Xudat,112	7,6	276,6
Nabran1/90	16	64,5	Xudat,113	1,36	20,7
Nabran,14	1,78	19,1	Xudat,116	137,1	16,96
Nabran,12	4,6	11,7	Xaçmaz,4	15,8	203,3
Nabran ,110	5,25	38,5	Xaçmaz,115	0,74	19,9

Ümumiyyətlə,aparılan tədqiqatlardan belə nəticə çıxır ki, Azərbaycanda geotermal enerjidən istilik energetikasında geniş istifadə etmək olar.Bundan başqa,aşağı potensiallı sulardan istilik nasosları ilə kombinə olunmuş rejimlərdə elektrik enerjisi də almaq olar. Geotermal suyun kimyəvi tərkibinin öyrənilməsi onun tətbiq sahələrini dəqiqləşdirir və istifadə metodikasının işlənməsinə şərait yaradır.Belə ki,bu sulardankimya sənayesində,tibbdə,energetikada istifadə reallaşa bilər.Bu isə Azərbaycanın iqtisadi inkişafına təkan verər.

1. *Долинский А.А.,Ободович А.Н., Резакова Т.А. //* Возобновляемая энергетика.Развитие геотермальной энергетики в мире.İSSN 0204-3602. Пром. Теплотехника,2016,т.38,№ 3 стр.49-56.
2. *Rybach L.İ.* // Status and Prospects of Geothermal Energy Proc. World Geothermal Congress-2010. Bali, Indonesia.
3. *Дуникова Д.О., ПопеляО.С. //* Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность.2016 Материалы Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемаяэнергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность», Сколково, 13-14октября 2016 г.– Москва: РАН. 2016. – 274 с.
4. Углубленный обзор политикиАзербайджанав области энергоэффективности. Секретариат Энергетической Хартии. 2013.
5. IRENA (2018 г.), «Преобразование глобальной энергетической системы: дорожная карта до 2050 г.», Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби (ISBN 978-92-9260-059-4).
6. *Тагиев И.И.,ИбрагимовИ.Ш.,Бабаев А.М.* Ресурсы минеральных и термальных вод Азербайджана, “Чашиоглы”Баку,2001,168 с.
7. *İmanovaT.A.*//“Перспективы использования термальных вод междуречья Самур – Атачай” в народном хозяйстве.Bakı Universitetinin xəbərləri №1.Təbiət elmləri seriyası,2005.
8. *Присяжнюк В.А. //* Физико-химические основы предотвращения кристаллизации солей на теплообменных поверхностях.Журнал «Сантехника, отопление, кондиционирование». – 2003. - № 10. – с. 26 – 30.

9. *Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. //* Перспективные технологии освоения геотермальных ресурсов. ИзвестияРАН. Энергетика. 2014. N5. С. 144-157.
10. *Алхасов А.Б., Каймаразов А.Г.*//Современное состояние и перспективы освоениянизкопотенциальныхгеотермальных ресурсов Восточного Предкавказья.Юг России:экология,развитие. 2012. Т. 7, N4. С. 7-18.
11. *Талыбов М.А. //*Химический состав (Катионы) геотермальных, минеральных и питьевых вод Ярдымлинскогорайона Азербайджана.Махачкала. Мониторинг. Наука и технологии. Россия. 2012. 1(10). с.48-53.
12. *Бабаев Н.И. //*Термальные воды Азербайджана-экологически чистый и экономически выгодный альтернативный источник энергии.Материалы Международной Научно-практической Конференции,Баку, 24-25 декабря 2014,с 27-35.

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ КУБА-ХАЧМАЗСКОГО РЕГИОНА ИПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ТЕПЛОТЕХНИКЕ

БАБАЕВА С.Ш., БАБАЕВ Н.И.

В статье исследован химический состав термальных вод Губа-Хачмазской зоны Азербайджанской Республики. Было найдено экспериментальное исследование химического состава пяти источников минеральной воды в регионе (Джими 2, Джими 4, Галаалты, Исти-су, Ялама), которые в основном содержали Na + + K + (21,03 - 2777,45) мг / л, Ca2 (5 - 380) мг / л, Mg2 (6 - 72) мг / л, SO-24 (24,6 - 444,42) мг / л, минерализация (695,92 - 8501,12) мг / л, Cl- (8,88) - 4668,25) мг / л, HCO3 (183 - 762,5) мг / л. Полученные экспериментальные данные позволяют расширить мировую базу данных соответствующих природных ресурсов Азербайджанской Республики, использовать их в теплоэнергетике, химической промышленности, медицине.

Ключевые слова: геотермальная энергия, химический состав геотермальных вод, геотермальное теплоснабжение, производство электроэнергии, альтернативная энергетика,расход воды.

GEOTHERMAL WATERS OF THE GUBA-KHACHMAZ REGION AND FORECASTING THE USE OF THEM IN HEAT ENGINEERING

BABAYEVA S.SH., BABAYEV N.I.

The article examines the chemical composition of the thermal waters of the Guba-Khachmaz zone of the Republic of Azerbaijan. An experimental study was found out the chemical composition of five sources of mineral water in the region (Jimi 2, Jimi 4, Galaalti, Isti-su, Yalama), which mainly contained $Na^+ + K^+$ (21.03 - 2777.45) mg / l, Ca^2 (5 - 380) mg / l, Mg^2 (6 - 72) mg / l, SO-24 (24.6 - 444.42) mg / l, mineralization (695.92 - 8501.12) mg / l, Cl- (8.88) - 4668.25) mg / l; HCO3 (183 - 762.5) mg /l. The obtained experimental data allow expanding the world database of relevant natural resources of the Republic of Azerbaijan, using them in the heat power emgineering, chemical industry, and medicine.

Key words: geothermal energy, the chemical composition of geothermal water, geothermal heating supply, electricity production, alternative energy, water consumption.

УДК 621.313.3

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В ВЭУ

ГАСАНОВА Л.Г.

Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский Институт Энергетики
gasanovalg@mail.ru

В статье на базе обзора литературы приведено обоснование разработки универсальных методов математического моделирования частотноуправляемых синхронных и асинхронных генераторов различных видов, применяемых в системной ветроэнергетике.

Ключевые слова: ветроэлектрические установки, электрическая сеть, математическая модель, электромеханические преобразователи, частотноуправляемые синхронные и асинхронные генераторы, скорость ветра

Развитие научных методов анализа и исследования режимов работы современных ветроэлектрических установок, работающих в энергосистеме, началось практически вместе с выпуском и внедрением первых промышленных ветроустановок в конце 70-х и начале 80-х годов прошлого столетия. Хотя первые работы о принципах работы ветроэлектрических установок малых мощностей появились раньше в 50-60 годы, однако системные исследования отсутствовали.

Исследованию режимов работы ветроэлектрических установок, работающих на электрическую сеть, посвящено значительное количество работ, притом «география» этих работ обширна – этими вопросами интенсивно занимаются в Европе (Дания, Германия, Испания, Англия), в Америке (преимущественно в США), в Азии (Китай, Индия). Эти исследования посвящены обширному спектру рассматриваемых вопросов: исследование ветроэнергетических характеристик регионов, пригодных для системной ветроэнергетики; исследование характеристик и эффективности функционирования самих ветродвигателей; исследование и оптимизация режимов работы электромеханических преобразователей применяемых в системной ветроэнергетике, и наконец исследование вопросов совместной работы ветроэлектрических установок параллельно с энергосистемой.

Каждая из вышеуказанных направлений является отдельной самостоятельной проблемой в общей проблематике глобальных вопросов разработки и функционирования промышленных системных ветроэлектрических установок (ВЭУ) крупных мощностей, работающих на электрическую сеть. В настоящей статье очерчен круг исследований только электромеханическими преобразователями (т.е. электрическими машинами) ВЭУ. На наш взгляд, этот узел ВЭУ является наиболее важным и сложным, но самое главное, он является наиболее легко управляемым (в том числе по оптимальным законам) узлом ВЭУ, позволяющим повысить устойчивость и эффективность работы всей ВЭУ при его работе на электрическую сеть.

Целью настоящей статьи является на базе проведенного обзора технической литературы обоснование разработки универсальных, относительно просто реализуемых, методов математического моделирования частотноуправляемых синхронных и асинхронных генераторов различных видов, применяемых в системной ветроэнергетике.

Так как рассматриваются крупные ВЭУ мегаваттного класса, работающих на электрическую сеть то, естественно, сеть и потребители предъявляет повышенные требования в первую очередь к качеству вырабатываемой электроэнергии, достижению экономической и технологической эффективности функционирования ВЭУ, которые обеспечивает соответствующая автоматика и системы управления.

Обработка и анализ многочисленных источников технической литературы, показывает, что на сегодняшний день в системной ветроэнергетике мегаваттного класса получили распространение и продолжают успешно внедряться системы электромеханического преобразования ветровой энергии в электрическую, состоящие из частотноуправляемых «классических» синхронных и асинхронных генераторов с короткозамкнутым ротором и содержащие преобразователи частоты в цепях статора этих машин. Причем преобразователи частоты, применяемые в ветроэнергетике выполнены на полностью управляемых GTO – тиристорах, либо на IGBT силовых транзисторах.

Помимо вышеуказанных генераторов, большое распространение в ветроэнергетике получили генераторы, выполненные на базе асинхронных машин двойного питания (АМДП), управляемые преобразователями частоты со стороны ротора, а также частотноуправляемые синхронные генераторы с постоянными магнитами, т.е. генераторы у которых отсутствует электромагнитное возбуждение.

Применение вышеуказанных схем генерации электрической энергии определяются типом и мощностью ветродвигателя, ветровыми характеристиками региона, где устанавливается ВЭУ, условиями выдвигаемыми электрическими сетями в местах их присоединения, характером нагрузки и т.п.

Для всех электромеханических преобразователей применяемых в ветроэнергетике непреложным является одно обстоятельство – в качестве энергоносителя в них является ветровой поток, скорость которого и определяет мощность выдаваемую ВЭУ в энергосистему.

Скорость ветра величина непостоянная, диапазон его изменений может достичь значительных величин, более того значительных величин может достичь и скорость изменения флуктуаций скорости ветра (т.е. ускорений).

Все это диктует необходимость знания и умения определять динамические режимы работы электромеханических преобразователей управляемых преобразователями частоты и применяемых в современных ВЭУ.

Как было отмечено, помимо изучения динамических режимов и обеспечения устойчивости работы частотноуправляемых генераторов ВЭУ, важное значение имеет проблема повышения эффективности функционирования ВЭУ в квазистационарных режимах работы, обеспечение качества выдаваемой в сеть электрической энергии.

Конечно, имеется множество источников технической литературы, преимущественно зарубежной, где вышеуказанные вопросы в той или иной степени получили свое разрешение. Ниже проводится краткий обзор литературы, позволяющий определить степень полноты исследования и освещения того или иного вопроса.

В работах [1, 2] охарактеризованы ветроэнергетический потенциал республики, перспективы применения возобновляемых источников энергии в Азербайджане, в том числе и ветроэнергетики, вопросы обеспечения энергетической безопасности республики при условии широкого внедрения возобновляемых источников энергии, в том числе и ветровой. Разработано технико-экономическое обеспечение строительства ВЭС мощностью 50 кВт в Азербайджане. Сформулирована дальнейшая политика по внедрению возобновляемых источников энергии в энергосистему республики. В статьях [3, 4] проведены анализ путей развития ветроэнергетики России, с учетом правовых проблем,особенности инновационных проектов ВЭУ с асинхронными генераторами, обзор ветроэнергетики Китая. В трудах [5,6] освещены общие вопросы теории электрических машин и аппаратов, математическое моделирование и экспери-

ментальное исследование, расчет параметров режимов их работы как в установившихся, так и в переходных режимах, затронуты вопросы их работы в анормальных режимах,рассмотрены некоторые вопросы частотного управления асинхронными машинами, а также освещены вопросы работы электрических машин в энергосистеме.

В работах [7, 8] рассматриваются вопросы применения возобновляемых источников энергии, комплектации ветроэлектрических станций, приводится сравнение режимных возможностей различных ветроэнергетических установок и их управление. Затронуты вопросы повышения эффективности ВЭУ путем регулирования угла установки лопастей ветродвигателя. Проведен анализ возможностей использования разных типов генераторов для ВЭУ, освещены вопросы оптимальной селекции ветровых турбин.

В работах [9, 10] освещены общие вопросы применения синхронных генераторов в ВЭУ – вопросы их выбора, экспериментального исследования, определение оптимального варианта генератора для ВЭУ. В работах [11, 12] описаны многополюсные синхронные генераторы с постоянными магнитами для ВЭУ; проведена оценка производительности ветроустановок и их эффективности с помощью метода вероятности фактов событий. Представлена система оперативной диагностики технического состояния ВЭУ. В статьях [13, 14] освещаются вопросы конструкции синхронных генераторов ВЭУ с постоянными магнитами. Изучаются вопросы влияния конфигурации катушек обмоток статора. Даются новые аналитические выражения для расчета конфигураций катушек. Рассматриваются возможности дальнейшего развития конструктивных параметров синхронных генераторов с постоянными магнитами с осевым направлением магнитного потока для бесступенчатых ВЭУ. Изучены траектории движения магнитного потока, особенно пути его утечки в роторе. Показано, что ширина и уровень насыщения железа оказывает важное влияние на распределение магнитного потока в синхронной машине с постоянными магнитами. В работах [15, 16] показаны особенности работы синхронных генераторов с постоянными магнитами в системах преобразования ветровой энергии в электрическую. Особенное внимание уделено вопросах их конструирования с целью максимального использования магнитной энергии постоянных магнитов. Проведено моделирование и управление ветроэлектрических установок с указанными машинами.

В работах [17, 18] приведены сведения о машинах двойного питания, применяемых в ветроэнергетических системах. Проведено моделирование ветровой турбины с переменной частотой вращения, исследованы некоторые вопросы устойчивости их работы. Представлены результаты анализа переходных процессов в этих машинах, рассмотрены некоторые вопросы работы ВЭУ большой мощности на слабые электрические сети. Описана динамика управления мощностью АМДП, контроль режимов его работы в условиях непостоянства сетевого напряжения. В статьях [19, 20] рассмотрены вопросы стабилизации параметров ВЭУ с помощью преобразователя частоты, предложение конструкции синхронного генератора на постоянных магнитах для ВЭУ, которая, по мнению авторов, отличается высокой эффективностью. Освещены вопросы моделирования асинхронного генератора и асинхронной машины двойного питания с конденсаторным самовозбуждением, предложена схема регулятора напряжения для асинхронного генератора ВЭУ, проведена оптимизация систем управления ВЭС. Авторами предложена система оперативной диагностики технического состояния ВЭУ, а также, предложена оценка эффективности ВЭУ с помощью метода вероятности факторов событий. Рассмотрена электромеханическая система аварийного торможения ВЭУ. Предложено использование в ВЭУ высокочастотных генераторов с целью повышения мощности ВЭУ. В статьях [21, 22] представлены схемы, описан принцип работы асинхронной машины двойного питания в качестве генераторов ВЭУ. Записаны в комплексной форме дифференциальные уравнения этих машин, указаны пути их решения при

неизменных значениях скорости ветра. Показаны преимущества применения указанных генераторов в ВЭУ. Освещены вопросы их управления и повышения эффективности. В зарубежных статьях [23, 24] широко используется для моделирования режимов работы АМДП ВЭУ программа MatlabSimulink. Разработана имитационная модель для контроля активной и реактивной мощности генератора ВЭУ, выполненного на базе АМДП. Проведено сравнение данной системы с другими альтернативными системами. Проведены некоторые исследования по влиянию ВЭУ с АМДП на электрическую сеть. Представлены результаты работы ВЭС с АМДП при нарушениях в энергосистеме на которую они работают.

Цикл исследований посвящен преобразователям частоты, применяем в ВЭУ [25, 26] и гармоническому анализу их выходных параметров. В результате даны рекомендации по схемам преобразователей, которые позволяют существенно увеличить их выходную мощность. Проанализирован гармонический состав выходного напряжения преобразователей частоты ВЭУ и предложены меры по их снижению с помощью фильтрации.

В статьях [27, 28, 29] представлены предложения по повышению устойчивости и эффективности параллельной работы ветроэлектрических станций с энергосистемой. При этом учитывается стохастический характер изменения скорости ветра – энергоносителя. Изучены вопросы перехода энергосистемы с традиционной системой генерации мощностей к системам с распределенной генерацией, основу которой составляют электростанции, выполненные на базе возобновляемых источников энергии.

Таким образом, из обзора литературы можно сделать вывод, что на сегодняшний день нет универсальных и относительно простых и доведенных до инженерного восприятия методов моделирования и исследования динамических и статических режимов работы системных ВЭУ мегаваттного класса, электрические генераторы которых снабжены частотными преобразователями, не в полной мере освещены вопросы управления и оптимизации режимов работы этих ВЭУ.

На базе этого, нами предлагаются методы математического моделирования электрических машин переменного тока, применяемых в системной ветроэнергетике. Оригинальность методов моделирования электромеханических преобразователей предложенных нами заключается в том, что они являются, во-первых универсальными, т.е. в одной структуре позволяют исследовать разные виды и типы машин, а во вторых они позволяют относительно просто воспроизводить все способы управления этих машин, естественно, что для машин переменного тока основным способом управления является частотное как для синхронных так и для асинхронных машин, а также управление возбуждением синхронных машин и амплитудой напряжения для асинхронных машин.

ВЫВОДЫ

На базе обзора технической литературы по исследованию режимов работы ВЭУ крупных мощностей работающих на энергосистему, выявлено, отсутствие универсальных методов математического моделирования частотноуправляемых электрических машин переменного тока ВЭУ, которые позволили бы исследовать в инженерной постановке весь спектр вопросов установившихся и динамических режимов работы этих машин.

---

1. *Мустафаев Р.И.* Динамические режимы электромеханических преобразователей ветроэлектрических установок, работающих на электрическую сеть. Автореф. на соиск. докт. тех. наук, 1990, М., МЭИ., с. 48.

2. *YusifbəyliN.A., NəsibovV.X., Əlizadə R.R.*EnerjiTəhlükəsizliyinə ümumiyanaşma. Mürəkkəbenerjisisteminin ənənəvi, alternativenerjimənbələrininvə elektrik şəbəkələrinininkişafı şəraitində effektivliyinintəminiməsələləri // Elmi ƏsərlərToplusu, 2010, s. 33–43
3. *Гусев А.Л., Соломин Е.В.* Ветроэнергетика Китая (краткий обзор) // Альтернативная энергетика и экология, 2014, № 17 (157), с. 10–23.
4. *Елистратов В.В.*Возобновляемая энергетика, Изд.2-е, доп. СПБ:Наука, 2013, с.308.
5. *Копылов И.П.* Электромеханические преобразователи энергии. М.: Энергия, 1973, 400 с.
6. *Шрейнер Р.Т.* Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УРО РАН, 2000, 654 с.
7. *Никишин А.Ю., Казаков В.П.* Современные ветроэнергетические установки на базе асинхронных машин // Современные проблемы науки и образования, 2012, № 6, с. 112–122.
8. *Gertmar L.* Power Electronics and Wind Power https://pdfs.semanticscholar.org /6cc8/9604f4b0e028286afac2016e02f25a183031.pdf
9. *Абдулкадыров А.И., Рустамов Р.* Математическое моделирование в электромеханике. LAPLambertAcademicPublischig, Берлин-Москва, 2015, 303 с.
10. *Абдуллаев Я.Р.* Теория магнитных систем с электромагнитными экранами, Изд. ФМЛ «Наука», Москва, 2000, 288 с.
11. *Ковалев Л.К., Ковалев К.Л., Тулинова Е.Е. Иванов Н.С.* Многополюсные синхронные генераторы с постоянными магнитами для ветроэнергетических установок // Электричество, 2013, №8, с. 2–8.
12. *Лысенко В.С.* Анализ технологической модернизации в ветроэнергетике// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2014, №4, с.8–20.
13. *Bing X., Jian-Xin S., Luk P. C. K., Weizhong F.* Comparative Study of Air-Cored Axial-Flux Permanent-Magnet Machines With Different Stator Winding Configurations // IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, v.62, No. 2, pp. 846–856.
14. *Faiz J., Ebrahimi B. M., Rajabi-Sebdani M., Khan M. A.* Optimal design of permanent magnet synchronous generator for wind energy conversion considering annual energy input and magnet volume / in International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009, pp. 1–6.
15. *Sadeghierad M., Lesani H., Monsef H., Darabi A.* Leakage flux consideration in modeling of high speed axial flux PM generator / in IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2008, pp. 1–6.
16. *Parviainen A., Niemela M., Pyrhonen J.* Modeling of axial flux permanent-magnet machines // IEEE Transactions on Industry Applications, 2004, v.40, No. 5, pp. 1333–1340.
17. *Akhmatov V.* Modeling of variable-speed wind turbines with doubly-fed induction generators in short-term stability investigations / in Proc. 3rd Int. Workshop Transmission Networks for Offshore Wind Farms, Stockholm, Sweden, 2002, pp. 1–23.
18. *Bogalecka E.* Dynamics of the power control of double fed induction generator connected to the soft grid / in Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron., Budapest, 1993, pp. 509–513.
19. *Кунцевич П.А.* Метод вероятности факторов событий в приложении к оценке эффективности ветровых электростанций // Электротехника, 2014, №5, с. 22–31.
20. *Соломин Е.В., Сироткин Е.А., Козлов С.В.* Электромеханическая система аварийного торможения ветроэнергетической установки, Электроэнергетика, 2016, № 1 (30), с. 19–23.
21. *Malinowski M., Kazmierkowski M. P., Hansen S., Blaabjerg F., Marques G. D.* Virtual-flux-based direct power control of three-phase PWM rectifiers // IEEE Trans. Ind. Appl., 2001, v.37, No. 4, pp. 1019–1027.

22. *Morren J., de Haan S. W. H.* Ride through of wind turbines with doubly-fed induction generator during voltage dip // IEEE Trans. Energy Conversion, 2005, v.20, No. 2, pp. 435–441. https://wenku.baidu.com/view/e76ad9bafd0a79563 c1e72af .html.
23. *Garg A., Singh R.P.* Dynamic Performance Analysis of IG based Wind Farm with STATCOM and SVC in MATLAB / SIMULINK // International Journal of Computer Applications, 2013, v. 71, No.23, pp. 6–14.
24. *Hopfensperger B., Atkinson D.J., Lakin R.A.* Stator-flux oriented control of a cascaded doubly-fed induction machine // IEEE Proceedings on Electric Power Applications, 1999, v.146, No. 6, pp. 597–605.
25. *Kesraoui M., Chaib A., Meziane A., Boulezaz A.* Using a DFIG Based Wind Turbine for Grid Current Harmonics Filtering. Energy Conversion and Management, 2014, v. 78, pp. 968-975 URL:http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman. 2013. 07.090.
26. *Reis dos F. S., Islam S., Tan K., Ale J.*, et al. Harmonic mitigation in wind turbine energy conversion systems / in Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC'06. 37th IEEE, 2006, pp. 1–7.
27. *Protensko K., Xu D.* Modeling and control of brushless doubly-fed induction generators in wind energy applications // IEEE Transactions on Power Electronics, 2008, v.23, pp. 1191–1197.
28. *Arbi J., Ghorbal M.B., Slama-Belkhodja I., Charaabi L.* Direct virtual torque control for doubly fed induction generator grid connection // IEEE Trans. Industrial Electronics, 2009, v.56, No. 10, pp. 4163–4173.
29. *Рахманов Н.Р., Курбацкий В.Г., Гулиев Г.Б., Томин Н.В.* Краткосрочное прогнозирование выработки мощности ветроэнергетических установок для обеспечения надежности электрических сетей // Актуальные проблемы надежности систем, 2015, №66, с.397–404.

KÜLƏK ELEKTRİK STANSİYALARINDA GENERATOR KİMİİSTİFADƏ OLUNAN ELEKTRİK MAŞINLARININ İŞ REJİMLƏRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ METODLARININ ƏSASLANDIRILMASI

HƏSƏNOVA L.H.

Məqalədə ədəbiyyatın icmalına əsasən hazırlanmış külək energetikasında tətbiq olunan tezlik çeviricisi ilə idarə olunan müxtəlif növ sinxron və asinxron generatorların riyazi modelləşdirilməsinin universal metodlarının işlənib hazırlanmasının əsaslandırılması verilmişdir.

Açar sözlər: külək elektrik stansiyaları, elektrik şəbəkəsi, riyazi model, elektromexaniki çeviricilər, tezliklə idarə olunan sinxron və asinxron generatorlar, küləyin sürəti.

JUSTIFICATION OF METHODS OF INVESTIGATION OF OPERATING MODES OF ELECTRIC MACHINES IN WIND POWER PLANTS

HASANOVA L.H.

In this article, based on the review of the literature, justification of developing universal methods of the mathematical modeling of frequency-controlled synchronous and induction generators of various types used in wind power generation systems is presented.

Keywords: wind power installations, electric network, mathematical model, electromechanical converters, frequency-controlled synchronous and asynchronous generators, wind speed.

UOT 621-317.7;621-319

İNDUKSİON LEVİTASİYALI ŞAQULİ OXLU KÜLƏK GENERATORUNUN İSTİLİK HESABI

ABDULLAYEV Y.R., CAHANGİROV Ə.N., MƏRUFOV İ.M.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
cahangirov.ali@gmail.com, I.Marufov@asoiu.edu.az

Şaquli oxlu külək generatorunun induksion sistemi tərpənməz təsirlənmə dolaqlarından və elektromaqnit qüvvələrin təsirindən levitasiya olunan qısa qapanmış dolaqlardan ibarətdir. Dolaqlardan axan cərəyanların təsirindən onlarda aktiv güc itkiləri yaranır, nəticədə dolaqlar qızırlar. Qızma nəticəsində levitasiya dolağında "istilik dreyfi" baş verir və levitasiya hündürlüyü bir qədər azalır. Belə arzuolunmaz effektin təsirini azaltmaq üçün induksion levitasiya sisteminə dolaqların yüksək elektrik keçiricilikli naqillərdən hazırlanması təklif olunmuşdur.

Açar sözlər: induksion levitasiyalı, şaquli oxlu, külək generatoru, istilik hesabı, istilik dreyfi, təsirlənmə dolağı, levitasiya dolağı.

Giriş: Hal- hazırda külək energetikası başqa istiqamətlərə nisbətən daha sürətlə inkişaf edir. Hazırda bir çox ölkələrdə müxtəlif təyinatlı və konstruksiyalıminlərlə külək qurğuları mövcuddur. Kiçik və orta güclü (50 kVt qədər) külək generatorları kiçik fermer təsərrufatlarını, adaların yaşayış məntəqələrini və tele qüllələrini, magistral yolları, aqrosənaye komplekslərini və başqa local obyektləri elektrik enerjisi ilə təchiz edirlər. külək qurğularının qiyməti və onların vasitəsi ilə istehsal olunan elektrik enerjisinin maya dəyəri çox da yüksək deyil. Ekspertlərin rəyinə görə külək generatorlarının 1kVt qoyuluş gücünün qiyməti 1000 dollara yaxındır. Ona görədə faydalı iş əmsalı yüksək olan külək qurğularının yaradılması aktualdır. Şaquli oxlu maqnit levitasiyalı külək generatorları horizontal oxlu külək generatorlarından fərqli olaraq bir sıra üstünlüklərə malikdirlər.

Şaquli oxlu maqnit levitasiyalı külək generatorları horizontal oxlu külək generatorlarından fərqli olaraq bir sıra üstünlüklərə malikdirlər:

- Mexaniki kontaktların və sürtünmənin olmamasına görə küləyin 7 m/san –dən çox aşağı sürətlərində səssiz və uzun müddət işləyə bilirlər.
- İstismar xərclərinin az olması
- Faydalı iş əmsalının yüksək olması
- Küləyin sürətinin çox aşağı olan regionlarda lokal obyektlərin elektrik enerjisi ilə təchizatında effektiv işlənməsi

Mərkəzi Asiyada və bir çox ölkələrdə istismar olunan və nümayiş etdirilən şaquli oxlu maqnit levitasiyalı külək generatorların inkişaf prespektivləri artıq təsdiq olunmuşdur. Onların tətbiqi və istismarı ilə bağlı elmi tədqiqat işləri sürətlə gedir. Külək generatorunun faydalı iş əmsalının artırılması ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olan bahalı ənənəvi generatoru olan ehtiyacın tədricən azalmasına və daha çox külək enerjisinin istehsalına yol açır. Ona görə də induksion levitasiyalı və sabit maqnitlər əsasında qurulmuş şaquli oxlu külək generatorlarının təkmilləşdirilməsinə və layihə məsələlərinin həllinə daha çox diqqət verilir.

Məsələnin qoyuluşu

Şəkil 1-də induksion levitasiyalı külək genratorunun levitasiya sisteminin prinsipial sxemi verilmişdir. Üçubuqlu maqnit sistemi 1 olan polad nüvənin aşağı hissəsində tərpənməz təsirlənmə dolağı 2 qoyulmuşdur. Bu dolaq dəyişən cərəyan mənbəyindən qidalanır. Onun yuxarı hissəsində qısa qapanmış levitasiya dolağı 3 yerləşdirilmişdir. TD-də naxan cərəyan I_1

LD-də dəyişən cərəyan I_2 induksialandırır və nəticədə qaldırıcı elektromaqnit qüvvəsi F_e yaradır. Elektromaqnit qüvvənin təsirindən LD müəyyən hündürlükdə h (levitasiya hündürlüyü) qərarlaşır. Elektromaqnit qüvvəsi F_e turbinin və LD-nin ağırlıq qüvvələrini (P_tvə P_a) tam konpensasiya edərək levitasiya effekti yaradır.

Elektromaqnit qüvvəsi və cərəyanları aşağıdakı düsturlardan təyin olunurlar:

$$F_e=0.5\,\lambda(I_1W_1)^2 = P_T + P_a \quad (1)$$

$$I_1=\frac{1}{W1}\sqrt{\frac{2}{\lambda}(P_t + P_a)} = \frac{K_u U_1}{\omega W_1^2 \lambda(h_0+h)} \quad (2)$$

$$I_2=b_2\frac{W_1}{W_2}I_1 \quad (3)$$

Burada W_1 və W_2 dolaqların sarğılar sayıdır ; $b_2 = 0.97 \div 0.98$ dolaqların arasındakı maqnit əlaqəsini xarakterizə edən əmsaldır ; λ – LD-nin hərəkət etdiyi işçi hava aralığının xüsusi maqnit keçiriciliyidir.

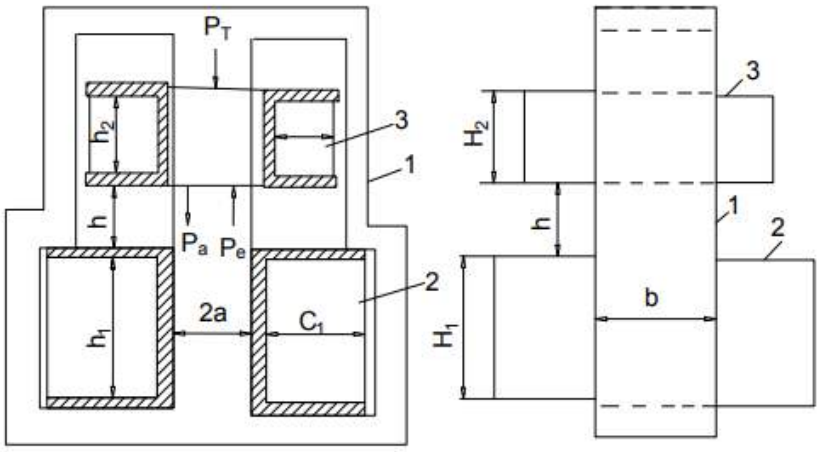
(1) və (2) düsturlarından alınır:

$$F_e = \left(\frac{1}{2\lambda}\right)\cdot\left(\frac{k_U U_1}{\omega(h_0+h)}\right)^2 \frac{1}{w_1} \quad (4)$$

K_u–TD-nin aktiv gərginli düşküsünü I_1 R nəzərə alan əmsaldır; h-levitasiya hündürlüyü; h_0 - ekvivalent hündürlükdür.

$$h_0 = \frac{h_1}{3n_\lambda} + \frac{h_2}{3}\ ; n_\lambda = \frac{\lambda}{\lambda_S} \quad (5)$$

Dolaqlardan axan cərəyanların təsirindən onlarda aktiv güc itkiləri yaranır, nəticədə onlar qızırlar və "istilik dreyfi " effekti əmələ gəlir. "İstilik dreyfi" təsirindən qısa müddət ərzində levitasiya olunan dolaq bir qədər aşağı sürüşür. Belə arzuolunmaz effektin təsirini azaltmaq üçün istilik zaman sabitini azaltmaq lazımdır. Bu məqsədlə dolaqlar elektrik keçiriciliyi böyük olan (məsələn misdən) materiallardan hazırlanmalıdır. Ona görə də induksion levitasiyalı maqnit sistemlərinin dolaqlarını mis naqillərdən hazırlamaq təklif olunur.



Şək.1. İnduksion levitasiyalı maqnit sisteminin prinsipial sxemi.

Məsələnin həlli.

1. Levitasiya dolağının istilik hesabı

Şəkil 2 və 3-də LD-nin soyuma səthləri və əsas ölçüləri göstərilmişdir.

Burada

S_{x1} və S_{x2} xarici (yan) səthlər ; $S_d^{`}$ və $S_d^{``}$- orta çubuğa yaxın olan daxili səthlər ; S_u və S_a – üst və alt səthlər ; karkasın qalınlığı Δ_k ilə , karkasla nüvə arasındakı hava boşluğu Δ_0 ilə işarə olunmuşdur. Ümumi daxili ölçü $2\Delta=2(\Delta_k+\Delta_0)$ təşkil edir.

Şəkil 2-də LD-nin ölçüləri verilmişdir.

LD-nin ümumi soyuma səthi

$$s_{t_2} = s_x + s_d + s_a + s_u (6)$$

Burada

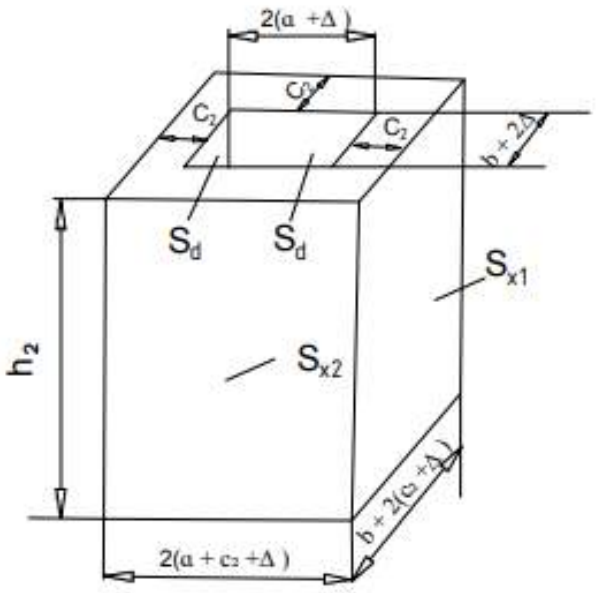
$$S_x = h_2(\Pi_2 + 4C_2) ; S_d = 0{,}5h_2 \cdot (\Pi_2 + 4\Delta) ; S'_a + S_u = 2c_2l_2$$

$$l_2 = \Pi_2 + 4C_2 + 4\Delta \approx \Pi_2 + 4C_2 ; \Pi_c = 2(2a + b) ; \Pi_2 = \Pi_c + 4\Delta$$

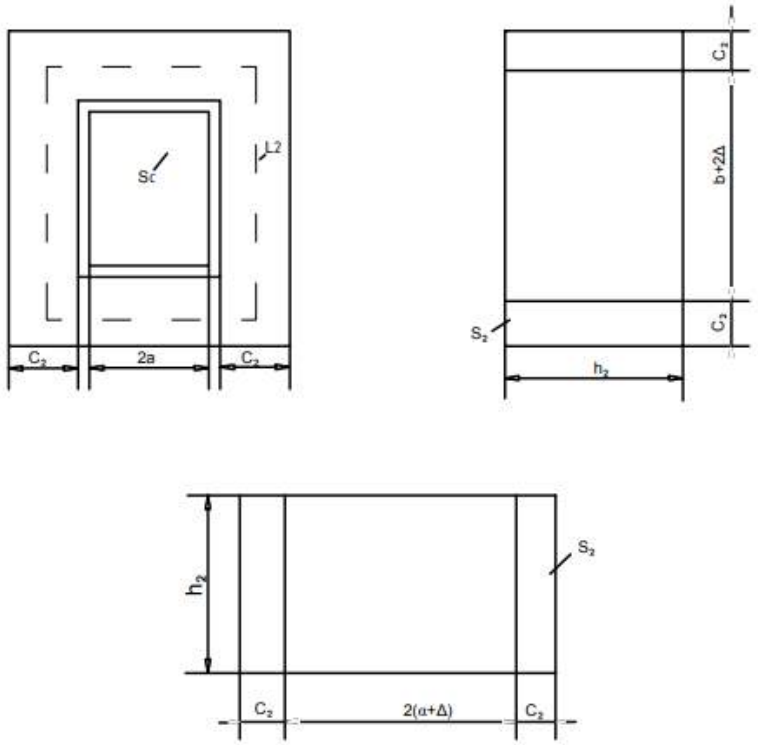
$$\Delta = \Delta_0 + \Delta_K ; 2\Delta_0 \approx 2\Delta_K \approx 1 * 10^{-3}; \quad (7)$$

LD-nin səthlərindən soyuma şəraitləri müxtəlif olduqlarından ümumi səthin sahəsini aşağıdakı düsturla hesablayırlar

$$s_{t_2} = s_x + \eta_t(s_d + s_a + s_u) \quad (8)$$



Şək.2. LD-nin soyuma səthlərinin təyini.



Şək. 3. LD-nin ölçülərinin təyini.

Burada η_t əmsalı təcrübədən təyin olunur və müxtəlif səthlərdən istilikötürmənin effektivliyini göstərir. Polad nüvə dəyişən cərəyanda qızdığı üçün dolağın nüvəyə yaxın olan səthi üçün η_t=0 qəbul edilir. Bu halda $\eta_t S_d$=0 və (8) düsturu aşağıdakı kimi yazılar:

$$s_{t_2} = s_x + \eta_t(s_a' + s_u) = s_x + \eta t(2C_2 l_2) \qquad (9)$$

Karkassız bandaneli dolaqlar üçün η_t=0.9, karkaslı dolaqlar üçün η_t=1.7 və dolaq birbaşa nüvəyə sarınan halda η_t = 2.4 qəbul olunur.

S_x-in ifadəsini (7)–dan (8)-ə yazandan sonra alırıq

$$s_{t_2} = 8\eta_t C_2^2 + 2(2h_2 + \eta_t + \Pi_0)C_2 + h_2\,\Pi_0$$

Yaxud $h_2=\Pi_{e2}\,C_2$ olduğunu nəzərə alandan sonra alırıq

$$s_{t_2} = n_t C_2^2 + (\frac{\Pi_0}{4} + \frac{\Pi_0}{4} \cdot n_t')C_2 \qquad (10)$$

Yaxud

$$s_{t_2} = \frac{n_t}{4} \cdot C_2(\Pi_0 + 4C_2) \qquad 11)$$

Burada

$$n_t' = \frac{n_{e_2}}{2\eta_t}\,; n_t = 1 + n_t'$$

(11) düsturundan görünür ki, LD soyutma səthinin sahəsi ölçüsüz əmsallardan Π_{e2} və η_t asılıdır. Bu əmsallar hesablamalarda təqribi qəbul olunduqları üçün ($\Pi_{e2}\approx 2\div 6$ və $\eta_t\approx 1.7$) yuxarıda alınan düstur (11) ilkin hesablamalar üçün istifadə oluna bilər.

Temperatur artımı üçün məlum olan Nyuton düsturundan istifadə etməklə dolayı yolla tələb olunan soyuma səthinin sahəsini S_{t2}təyin etmək çətin deyil.

$$s_{t_2} = \frac{P_2}{k_T \tau_2} \qquad (12)$$

Aktiv güc itkiləri P_2 və aktiv müqaviməti r_2 aşağıdakı düsturlardan tapılır:

$$P_2 = I_2^2 r_2 = \frac{F_2^2 \rho_2 l_2}{k_{32} \cdot n_{e_2} \cdot c_2^2} \qquad (13)$$

$$r_2 = \rho_2 \cdot \frac{l_2 W_2^2}{k_{32} n_{e_2} c_2^2} \qquad (14)$$

Onda

$$\tau_2 = \frac{F_2^2 \rho_2 l_2}{k_T k_{32} s_{t2} n_{e_2} C_2^2} \qquad (15)$$

$$s_{t_2} = \left(\frac{\rho_2}{\tau_2}\right) \cdot \frac{F_2^2 l_2}{k_T \cdot k_{32} n_{e_2} c_2^2}$$

$$\frac{c_2^2}{l_2} \cdot s_{t_2} = \left(\frac{\rho_2}{\tau_2}\right) \cdot \frac{F_2^2}{k_T k_{32} n_{e_2}} \qquad (16)$$

Xüsusi elektrik müqaviməti ρ_2 temperatur artımından asılıdır.

$$\rho_2 = \rho_{20}[1+ \alpha_0 (\tau+35-20)] = \rho_{20}\alpha_0 (1+\frac{253,452}{\tau_2})$$

Burada α_0=0.0042 1/c; ρ_{20}=2.78 *10^{-8} Om*m, ətraf mühitin tempraturu θ_0=35 °C nəzərdə tutulur. ρ_2/τ_2–nın qiymətləri cədvəldə verilmişdir. (11) və (16) riyazi ifadələrinə əsasən alırıq

$$\frac{c_2^2}{l_2} \cdot S_{t_2} = \frac{c_2^2}{\Pi_0 + 4c_2} \cdot s_{t_2} = \frac{n_t}{4} \cdot c_2^3$$

$$c_2^3 = m_t \left(\frac{\rho_2}{\tau_2}\right) \cdot \frac{F_2^2}{k_T k_{32}} \qquad (17)$$

Burada işarə olunmuşdur

$$m_t = \frac{4}{n_{e_2} n_t}$$

Ampersarğıların qiyməti F_2 riyazi modelin (4 və 5) düsturlarından tapılır. (17) düsturlarından LD-nin qalınlığını tapırıq

$$c_2 = \sqrt[3]{mt \left(\frac{\rho_2}{\tau_2}\right) \cdot \frac{F_2^2}{k_T k_{32}}} \qquad (18)$$

Cədvəl 1-də ölçüsüz əmsalların n_t', n_t və m_t levitasiya əmsalından $П_{e2}$ asılı olan qiymətləri verilmişdir. Levitasiya əmsalı $П_{e2}$ artdıqca m_t əmsalı azalır, nəticədə LD –nin qalınlığı c_2 də azalır. Bu halda temperaturun τ_2 verilmiş qiyməti üçün hündürlük h_2 artır.

(18)–ci ifadəyə əsasən LD-nin qalınlığı təyin olunandan sonra qalan parametrləri hesablamaq çətin deyil:

$$h_2=n_{e_2}c_2\ ;\ S_2=h_2c_2\ ;\ e_2=П_0+4c_2\ ;\ F_2=b_2F_1;\ j_2=\frac{F_2}{k_{32}\cdot S_2}$$

2. Təsirlənmə dolaqlarının istilik hesabı

Təsirlənmə dolağının ölçülərinin işarələri şəkil 4-də verilmişdir. TD-nin polad nüvəyə sıxılmışalt və hündürlük boyu səthlərinin istiliköturmələrini nəzərə olmadan yazmaq olar:

$$S_{t1}=S_{x1}+\eta_tS_u=(П_1+8c_1)\ (h_1+\eta_tC_1) \qquad (19)$$

Yaxud

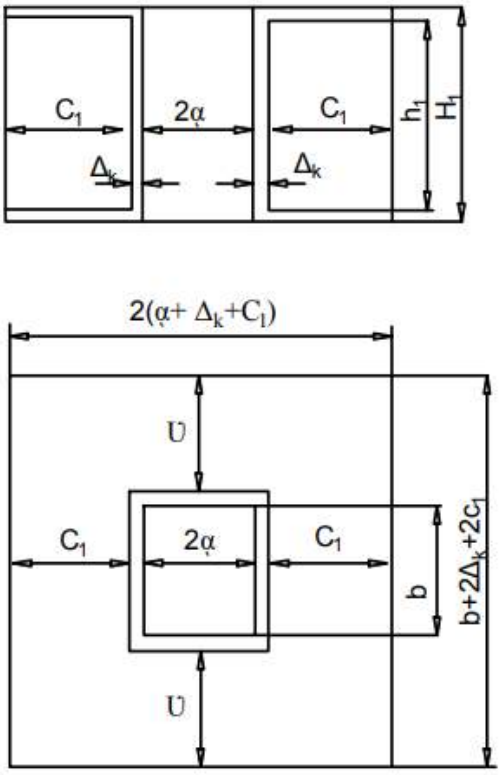
$$S_{t1}=8(n_{e1}+\eta_t)c_1^2+П_1(n_{e1}+\eta_t)c_1=8m_t\,c_1^2+m_tП_1c_1$$

Burada

$$S_{x1}=h_1(П_1+8c_1);\ h_1=n_{e_2}c_1\ ;П_1=\ П_0+4\Delta_k$$

$$S_u=c_1(П_1+8c_1)\ ;П_1=\ П_0+8\Delta_k\ ;\ m_t=n_{e1}+\eta_t$$

(19)-dan alırıq



Şək.4. TD-nin ölçülərinin təyini.

$$\frac{S_{t_1}}{S \cdot m_t} = c_1^2 + \frac{\Pi_1}{8} \cdot c_1$$

TD-nin orta naqilin uzunluğu (şəkil 4)

$$l_1 = \Pi_c + 8\Delta_k + 4C_1 = \Pi_1 + 4C_1 \quad (20)$$

Onda

$$\frac{l_2}{l_1} \approx \frac{\Pi c + 4C_2}{\Pi c + 4C_1}$$

Burada $4\Delta_0 + 4C_2 \approx 4C_2$; $4\Delta_k + 4C_1 \approx 4C_1$; $4\Delta_k \ll \Pi_c$ qəbul edilmişdir.

Cədvəl 1

n_t' , n_t və m_t əmsalların qiymətləri

n_{e2}	2	3	4	5	6
n_t'	0.636	0.955	1.273	1.592	1.920
n_t	1.636	1.955	2.273	2.592	2.920
m_t	1.222	0.682	0.439	0.308	0.170

TD-nin temperatur artımı Nyuton düsturundan tapılır:

$$\tau_1 = \frac{p}{k_T S_{t_1}} = F_1^2 \frac{\rho_1 \, l_1}{k_{31} S_{t1}} = F_1^2 \frac{\rho_1 (\Pi_1 + 4C_1)}{k_T S_{t_1}} \quad (22)$$

(22) –dən alırıq

$$\frac{S_{t_1}}{\Pi_1 + 4C_1} = F_1^2 \frac{\rho_1 / \tau_1}{k_T k_{31}} \quad (23)$$

(19)-dən S_{t1} –in qiyməti təyin olunur

$$S_{t1} = 8 m_t c_1 (c_1 + \frac{\Pi_1}{8}) = m_t c_1 (8C_1 + \Pi_1) \quad (24)$$

Onda (24) –i (23) –də yerinə yazsaq alarıq

$$\frac{C_1 (8C_1 + \Pi_1)}{4C_1 + \Pi_1} = F_1^2 \frac{\rho_1 / \tau_1}{k_T k_{31} m_t} \quad (25)$$

Sonuncudan TD-nin qalınlığı üçün kvadrat tənlik alınır

$$C_1^2 - (\frac{A}{2} - \frac{\Pi_1}{8}) C_1 - \frac{A}{8} \Pi_1 = 0 \quad (26)$$

Buradan təyin edirik

$$C_1 = \frac{1}{2} (\frac{A}{2} - \frac{\Pi_1}{8}) \pm \sqrt{\frac{1}{4} (\frac{A}{2} - \frac{\Pi_1}{8})^2 + \frac{A}{8} \Pi_1}$$

Yaxud

$$C_1=\frac{1}{16}[(4A-\Pi_1)\pm\sqrt{16A^2+\Pi_1^2-6A\Pi_1}\,] \quad (27)$$

Burada

$$A=F_1^2\frac{\rho_1/\tau_1}{k_T k_{31} m_t} \quad (28)$$

Məlumdur.
Sonra hesablayırıq:

$$h_1=n_{e1}C_1\,;\ s_1=h_1\,C_1\,;\ l_1=\Pi_c+4C_1;\ \ j_1=F_1/k_{31}\,S_1$$

İstilik dreyfinin azaldılması: Temperaturun artımının ani qiyməti τ(t) onun qərarlaşmış qiymətindən τ_q və istilik zaman sabitindən T_i asılıdır:

$$\tau\,(t)=\tau_q\,(\,1-e^{\frac{t}{T_i}}) \quad (29)$$

İstilik zamanı sabiti isə naqillərin kütləsindən m, xüsusi istilik tutumundan c, istilikötürmə əmsalından k_t və istilikötürmə səthindən S_t asılıdır.

$$T_i=\frac{mc}{k_t St} \quad 30)$$

Sonuncu düsturdan görünürki, zaman sabitinin T_i ən effektiv azaldılması üsulu xüsusi istilik tutumu c kiçik olan naqillərdən istifadə etmək olar. Bu məqsədlə dolaqlar elektrik keçiricilikləri böyük olan naqillərdən hazırlanmalıdırlar. Dolaqların kütlələrin azaldılması, yaxud istilikötürmə səthlərinin artırılması üsulları müəyyən məhdudiyyətlərlə bağlıdırlar, məsələn qabarit ölçülərin artırılması ilə.

NƏTİCƏ

İnduksion levitasiyalı şaquli oxlu külək generatorunun istilik hesabını aparmaq üçün levitasiya tənliyindən, dolaqların tempratur artımlarının Nyuton düsturlarından və dolaqların soyuma səthlərinin düsturlarından istifadə olunmuşdur. "istilik dreyfinin" təsirini azaltmaq üçün induksion sistemin istilik zaman sabitinin azaltmaq lazımdır. Bu məqsədlə dolaqlar elektrik keçiriciliyi yüksək olan naqillərdən hazırlanmalıdır.

1. *Bernhoff H., Eriksson S., Leijon M.* Evalution of different turbine consepts for wind power. // Reneweable & Sustainable Energy Reviews. – 2006?12(5)/ - Pp.1419-1434.
2. *Абдуллаев Я.Р.* Теория магнитных систем с электромагнитными экранами.«Главная редакция физико-математеческой литературы издательство Наука», М 2000, с. 288.
3. *Абдуллаев Я.Р.* Теория и применение многофункционалных линейных индукционных подвесов. Баку, Военное издателство, 1996, с. 297.
4. *Абдуллаев Я.Р.* Электромагнитный расчет магнитных систем с подвижными экранами.Электричестрво, 2007. № 12
5. *Абдуллаев Я.Р., Керимзаде О.О.* Определение размеров магнитной системы постоянного тока с учетом принципа соразмерности. "Электричество" М.2010. №3. с.46-55.
6. *Абдуллаев Я.Р.* Оптимизация левитационного экрана электромеханического преобразователя усилий. "Электротехника".М.2008.№12,с.51-59.

7. *Абдуллаев Я.Р., Керимзаде Г.С., Мамедова Г.В.* Расчет электромеханических управляющих устройств с левитационными елементами. Москва. Электрочество,2004, с.42-49.
8. *Абдуллаев Я.Р., Керимзаде Г.С., Мамедова Г.В., Пириева Н.М.* Проектирование электрических аппаратов с индукционными левитационными элементами. Электротехника, №4, 2015г.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОГО ЛЕВИТРА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

АБДУЛЛАЕВ Ю.Р., ДЖАХАНГИРОВ А.Н., МАРУФОВ И.М.

Индукционная система ветрогенератора с вертикальной осью состоит из короткозамкнутых пустот, которые налагаются силами иммобилизации и электромагнитными силами. Они вызваны потерей активной мощности в результате протекающих токов, и в результате они нагреваются. Тепло вызывает «тепловой дрейф» на пятке, а высота левитации немного уменьшается. Чтобы уменьшить эффект такого нежелательного эффекта, была предложена система индукционной левитации для заполнения пустот кабелями с высокой электропроводностью.

Ключевые слова: индукционная левитра, вертикальная ось, ветрогенератор, тепловой калькулятор, тепловой дрейф, ударная пробка, левитационное заполнение.

THERMAL CALCULATION OF THE INDUCTIVE LEVITRA OF THE VERTICAL AXIS OF THE WIND GENERATOR

ABDULLAYEV Y.R., JAHANGIROV A.N., MARUFOV I.M.

The induction system of a vertical axis wind generator consists of short-circuited voids, which are superimposed by immobilization forces and electromagnetic forces. They are caused by the loss of active power as a result of flowing currents, and as a result they heat up. Heat causes a “thermal drift” on the heel, and the height of the levitation decreases slightly. To reduce the effect of such an undesirable effect, an induction levitation system has been proposed for filling voids with high conductivity cables.

Keywords: induction levitra, vertical axis, wind generator, heat calculator, heat drift, shock plug, levitation filling.

UOT 621.4

İSMAYILLI RAYONU, GİRDİMANÇAY ÜZƏRİNDƏ "İSMAYILLI-3" KSES-in HİDROENERGETİK POTENSİALININ TƏDQİQİ

VƏLİYEV C.Z.

Bakı Mühəndislik Universiteti
valiyev.cz@mail.ru

Məqalədə Girdimançay üzərində nəzərdə tutulmuş "İsmayıllı-3" KSES-in hidroenergetik potensialının qiymətləndirilməsinə baxılmışdır. Bu məqsədlə çayın çoxillik məlumatları əsasında hidrologiyası araşdırılmış və müvafiq təminat faizlərinə uyğun maksimum su sərfləri təyin edilmişdir. SES-in suqəbuledicisinin götürdüyü sərfə və itkilər nəzərə alınmaqla hesablama basqısına uyğun qoyulmuş gücü, illik enerji istehsalı təyin edilmişdir.

Açar sözlər: suqəbuledici, su sərfləri, basqılı derivasiya borusu, itkilər, sürət, hesablama basqısı, qoyulmuş güc, enerji istehsalı.

Azərbaycan Respublikasında alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə olunması üzrə Dövlət Proqramı "Azərbaycan Respublikasının Prezidentinin 21 oktyabr 2004-cü il Sərəncamı" qəbul olunmuş və 16 noyabr 2009-cu ildə "Azərbaycan Respublikasında alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiqilə bağlı əlavə tədbirlər haqqında" Sərəncam imzalamışdır. Qeyd olunan Sərəncamların, göstərişlərinin, eləcə də Azərbaycanın Regionlarının 2009–2013-cü illərdə sosial–iqtisadi inkişafına dair Dövlət Proqramının yerinə yetirilməsi üçün ərazimizdə yerləşən çoxsaylı kiçik çayların, kanal və başqa suaxarların enerji potensiallarının mənimsənilməsi məqsədilə geniş işlər aparılır. Qeyd edilən proqramın davamı olaraq Girdimançay üzərində "İsmayıllı-3" KSES-in tikilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

Girdimançayın axımının hidroenergetik potensialının öyrənilməsi üçün mövcud topoqrafik xəritədən istifadə edilmişdir. Burada çayın məcrasına və onun sahilyanı hissələrinə İsmayıllı rayonunun Qaraqaya kəndindən başlayaraq aşağıya doğru 8400 m uzunluğundakı trassa boyu ərazinin xəritəsinə baxılmışdır. Çayın üzərində suqəbuledici qurğu ∇865.0 m yüksəkliyində KSES isə ∇640.0 m yüksəkliyində yerləşdirilmişdir. Buna uyğun derivasiya borusunun uzunluğu 8400 m olub, SES-nın su sərfi çayın orta çox illik su axınının təminat əyrisi və çayın ekoloji axını nəzərə alınmaqla Q=4,5 m^3/san, onun qoyulmuş gücü 10.0 MVt və il ərzində işləməsini T=4000 saat qəbul etməklə illik enerji istehsalı 30.0 mln kVt saat hesablanmışdır.

Yuxarıda yerinə yetirilən işlərin analizi nəticəsində "İsmayıllı-3" KSES-in binasının Bakı-İsmayıllı-Qəbələ avtomobil körpüsünə yaxın yerləşdirilməsi məqsədəuyğun hesab edilmişdir.

Kiçik Su Eektrik Stansiyasının (KSES) baş qurğusunun İsmayıllı inzibati rayonunda Girdimançayın üzərində Qaraqaya kəndinə yaxın yerləşdirilməsi nəzərdə tutulur.

Qaranohur məntəqəsi zonasında Girdimançay və onun qolları olan Kürd-Qobu, Dəliçay çaylarının məcrası yataqları və onların əhatəsinin topoqrafik materialları, eləcə də həmin çayların hidroloji və metroloji materialları analiz edilib öyrənilmişdir. Bu işlərin gedişində Girdimançayın Qaranohur məntəqəsində mövcud enerji potensiallarının qiymətləndirilməsi və onların istifadə olunması imkanlarının araşdırılması nəzərdən keçirilmişdir.

Aparılmış müvafiq tədqiqatlar nəticəsində İsmayıllı rayonu, Girdimançay üzərində "İsmayıllı-3" KSES-in planı şəkil 1-dəverilmişdir.

Basqılı hovuzun dibinin yüksəkliyi ∇861.90 m səviyyəsindədir. Onun qarşısında zibiltutan tor qoyulmuşdur. Basqılı hovuzda suyun səviyyəsi ∇865.00 m təşkil edir. Basqılı

hovuzun flütbetinin qalınlığı 0,75 m-dir. Hesabat sərfini Q_{SES}=4.5 m^3/san buraxan zaman, su ∇865.00 səviyyəsində suaşıranın qaşından axaraq SES-in basqılı hovuzuna tökülür (şəkil 2). Bu zaman yaranan basqını [1,2] təyin edək:

$$H = \left(\frac{Q}{mb\sqrt{2g}}\right)^{2/3} = \left(\frac{4.5}{0.36 \cdot 6.0 \cdot 4.43}\right)^{2/3} = 0.60\ m\ (\nabla 865.60\ m)$$

Q_{SES}=4.5 m^3/san su sərfi SES-in suqəbuledicisindən keçən zaman su səviyyəsi ∇865.00 m olur. Bu zaman, su səviyyəsindən suqəbuledicinin girişinin yuxarı astanasına qədər məsafə və girişə yaxınlaşma sürəti

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 4.5}{3.14 \cdot 1.5^2} = 2.55\ m/s$$

$$S=0.52 \cdot V \cdot h^{0.5}=0.52 \cdot 2.55 \cdot 1.5^{0.5}=1.62\ m(\nabla 863.38\ m)$$

Suqəbuledicinin girişində dib səviyyə: Dib ∇=∇863.38-1.5=∇861.88 m olacaqdır.SES-in suqəbuledicisinin uzunluğu 6.4 m olub, basqılı hovuza birləşir. Suqəbuledicinin eni 5.0 m-dən 1.5 m-ə keçir. d=1500 mm-lik təzyiqli borunun girişində ölçüsü 4.7x1.5 m olan zibiltutan tor, 1.5x1.8 m ölçüsündə olan müstəvi dərinlik bağlayıcısı, 0.4x1.0 m ölçüdə aerasiya şaxtası və 1.5x1.5 m ölçüdə düzbucaqlı sahə, uzunluğu 1.10 m d=1500 mm olan sahəyə keçir.

Basqılı boru kəməri suqəbuledici qurğudan çay axınını KSES binasına gətirilməsini təmin edir. Bu boru kəməri diametri d=1500 mm, divarın qalınlığı t=12.0 mm-lik polad borudan layihələndirilib. Layihədə polad borunun uzunluğu L=8400 m-dir. SES binasına yaxınlaşanda polad boru dörd hissəyə şaxələnmişdir.

Basqılı boru kəmərində hidravliki zərbənin yaranmaması üçün Pelton tipli çalovlu turbinlərdə müvafiq qurğular nəzərdə tutulmuşdur. Basqılı borunun ümumi itkiləri nəzərə alınmaqla hesablama basqısı H_h=201.7 m təyin edilmişdir. H_h=202 m qəbul edirik.

Hesablama basqısı və sərfi məlum olduqda derivasiya borusunun əlverişli diametri [1,5] əsasən aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$d_ə = \sqrt[7]{\frac{5,2Q^3}{H}},$$

burada $d_ə$ – derivasiya hesabat borusunun diametridir; Q – boruda suyun sərfi, Q=4.5 m^3/san; H – boruda axınının statiki təzyiqi, H_{st} = 225 m.

Beləliklə,

$$d_ə = \sqrt[7]{\frac{5,2 \cdot 4,5^3}{226,5}} = 1,12\ m.$$

Derivasiya borusunun diametri d=1,5 m qəbul olunur.

KSES-in statik basqısı H=225 m və borunun diametri d=1,5 m olduğunu bilərək, derivasiya borusunun qalınlığı δ=12 mm qəbul edilir.

Derivasiya borusu boyu basqı itkisini Darsi-Veysbaxa görə [2,3,4,5] aşağıdakı ifadədən hesablamaq olar:

$$h_{uz} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\upsilon^2}{2g},$$

burada λ - boruda hidravliki müqavimət əmsalı; ℓ-derivasiya borusunun uzunluğu, ℓ =8400 m; d-borusunun diametri; υ-boruda suyun sürətidir.

Derivasiya borusunun diametri d = 1,5 m-ə uyğun, onun en kəsik sahəsi

$$\omega = 0{,}785\ d^2 = 0{,}785\cdot(1{,}5)^2 = 0{,}785\cdot 2{,}25 = 1{,}77\ m^2\text{-dir.}$$

Onda derivasiya borusunda axının sürəti

$$\upsilon = \frac{Q}{\omega} = \frac{4.5}{1.77} = 2.55 m/san$$

Borunun uzunluğu boyu hidravliki müqavimət əmsalını A.D.Alşulun aşağıdakı düsturundan təyin edirik:

$$\lambda = 0.11\left(\frac{68}{Re} + \frac{Kэ}{d}\right)^{0.25}$$

burada g=9,81 m/san^2; Kə-borunun eklvivalent kələ-kötürlük əmsalıdır, Kə =0,012; d - borunun diametri; d=1,5 m-dir.

Reynolds ədədi

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{2.55 \cdot 1.5}{1.01 \cdot 10^{-6}} = 3.787129 \cdot 10^6$$

$$\lambda = 0.11\left(\frac{68}{Re} + \frac{Kэ}{d}\right)^{0.25} = 0.11\,\frac{3.14599}{31.623} = 0.0109$$

Yuxarıdakı ifadədən borunun uzunluğu boyu yaranan basqı itkisi üçün alırıq:

$$h_e = \lambda\frac{L}{d}\cdot\frac{v^2}{2g} = 0.0109\cdot\frac{8400}{1.50}\cdot\frac{2.55^2}{19.62} = 20.23\ m$$

Derivasiya borusunda yaranan yerli itkiləri uzununa itkilərin 15% kimi qəbul edirik. Onda boru boyu yerli itkilər:

$$h_{yer}=0{,}15\cdot h_{uz} = 0{,}15\cdot 20.23 = 3.03\ \text{m.}$$

Beləliklə, derivasiya traktı boyu yaranan ümumi itki üçün alırıq:

$$\Sigma h_w = h_{yer} + h_{uz} = 3.03 + 20.23 = 23.26\ \text{m.}$$

Nəticədə KSES-in hesablama basqısı:

$$H_h = H_{st} - \sum h_w = 225 - 23.26 = 201.74\ \text{m.}$$

$$H_h = 202\ \text{m qəbul edirik.}$$

Burada hidroaqreqatın qoyulmuş gücü aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$N = 9.81 Q h \eta_{aqr.},$$

BuradaQ - axının sərfi; Q_{SES} =4.5 m^3/san;

H - aqreqatın hesablama basqısı, H_h=202.0 m;

$\eta_{aqr.}$ - aqreqatın faydalı iş əmsalıdır, $\eta_{aqr.}$ = 0,85.

Onda SES-in işçi gücü aşağıdakı ifadədən hesablanır.

$$N= 9.81Qh\eta_{aqr.}=9,81\cdot4,5\cdot202.0\cdot0,85=7,5 \text{ MVt}$$

İllik enerji istehsalı:

$$E=9.81\cdot Q\cdot H\eta_{aqr.}\cdot T=NT,$$

burada Q - suyun orta sərfi, m^3/san; H - aqreqatın basqısıdır, m; $\eta_{aqr.}$- faydalı iş əmsalıdır, T- aqreqatın il ərzində işlədiyi saatların miqdarı, T=4000saat qəbul edilmişdir.

SES-in N=7,5 MVt işçi gücünə uyğun illik elektrik enerjisi istehsalı:

$$E=NT=7,5\cdot4000=30,0 \text{ mln.kVt.saat.}$$

SES-in suqəbuledicisinin götürdüyü Q_{SES}=4,5 m^3/san sərfə və H_h=202 m hesablama basqısına uyğun hidroaqreqatların sayı 4 ədəd (1-ehtiyat) olmaqla qoyulmuş gücü Nq.=10 MVt, işçi gücü N=2.5x3=7.5 MVt və il ərzində işləməsini T=4000 saat qəbul etməklə illik enerji istehsalı E=30.0 mln.kVt.saat təyin edilmişdir. Verilmiş parametrlərə uyğun Çalovlu Pelton tipli turbin seçilmişdir.

SES binası maşın zalından və quraşdırma meydançasından ibarətdir. Planda ölçüləri 40.50x21.55-dir. Aqreqatın oxundan yerə qədər olan məsafə isə1.50 m götürülmüşdür. SES binasının alt hissəsi (SES binasının üstündən dibinə qədər olan məsafə) ∇638.5-∇633.1=5.4 m-dir.

Maşın zalında texnoloji avadanlıqlar, kran və digər köməkçi avadanlıqlar yerləşdirilir. Binanın üstü örtülüdür.

Kranaltı yolun səviyyəsi quraşdırma meydançasına gətirilən avadanlıqların boşaldılması və onların maşın zalına daşınması üçün 7.55 m qəbul edilmişdir.

Maşın zalının quraşdırma meydançası da daxil olmaqla ümumi uzunluğu 40.50 m-dir. Burada əsasən təbii işıqlanmadan istifadə olunacaqdır.Maşın zalının eni həm kran, həm də texnoloji avadanlıqların yerləşdirilməsi şərtilə sütundan sütuna 15.05 m təşkil edir. Maşın zalında hidrogenerator, və onların köməkçi avadanlıqları yerləşdirilir.

Aqreqat blokunun ölçüləri texnoloji və konstruktiv tələblərə görə müəyyən olunmuşdur. Hidroaqreqatların oxları arasındakı məsafə, generatorların yerləşdirilməsi və onların arasındakı keçidləri nəzərə almaqla 8.6 m qəbul edilmişdir.

Maşın zalının eni 15.5m, xidmət korpusunun eni isə 6.05 m-dir. Bir-biri ilə pilləkənlər vasitəsilə əlaqələndirilmişdir.

SES binasının yeraltı hissəsi bütün istiqamətlərdə konstruksiyanın sərtliyini təmin etmək məqsədilə monolit dəmir beton qəbul edilmişdir. Bünövrənin altında 10sm qalınlığında B10 sinifli betondan hazırlıq qatı verilmişdir (şəkil 3).

"İsmayıllı-3" KSES-in əsas texniki-iqtisadi göstəriciləri aşağıdakı cədvəldə verilimişdir.

Cədvəl 1

Göstəricilərin adı	Göstəricilər
SES-in tipi	Basqılı derivasiyalı
SES-in sinifi	IV
Qoyulmuş gücü MVt	10.0
İllik enerji istehsalı, mln kvt·saat	30.0
Hesablama sərfi, m^3/san	4.5
Hesablama basqısı, m	202
Hidroaqreqatların sayı, əd.	4 (1 - ehtiyat)
Turbin	Çalovlu Pelton tipli
İşçi güc, MVt	7.5

NƏTİCƏ

1. Aparılmış tədqiqatların nəticələrinin işləmələrinə əsasən Girdimançay üzərində nəzərdə tutulmuş "İsmayıllı-3" KSES-in hidroenergetik potensialı hesablanmışdır. Göstərmək lazımdır ki, Girdimançayın hidroloji məlumatlarının işləmələri nəticəsində onun maksimum su sərfləri, eləcə də çoxillik orta su sərflərinin təminat əyriləri hesablanıb, tərtib olunmuşdur. Beləliklə, Girdimançayın 3% təminatlı sel axımı $Q_{3\%}$ = 220 m^3/san, 5% təminatlı maksimum su sərfi $Q_{5\%}$ = 192,0 m^3/san, 10% təminatlı su sərfi isə $Q_{10\%}$=185 m^3/san təyin olunmuşdur. Girdimançayın çoxillik orta su sərflərinin təminat əyrisindən onun 50% təminatlı su sərfi 5,4 m^3/san təşkil edir. Çayın aşağı axımında sanitar su sərfinin saxlanması şərtindən KSES-in hesablama su sərfi Q_{SES}=4,5 m^3/san qəbul olunur. Qalan Q=0.9 m^3/san sanitar su sərfi çaya buraxılır.

2. SES-in suqəbuledicisinin götürdüyü Q_{SES}=4,5 m^3/san sərfə və H_h=202 m hesablama basqısına uyğun hidroaqreqatların sayı 4 ədəd (1-ehtiyat) olmaqla qoyulmuş gücü Nq.=10 MVt, işçi gücü N=2.5x3=7.5 MVt və illik enerji istehsalı E=30.0 mln.kVt.saat təyin edilmişdir.Verilmiş parametrlərə uyğunÇalovlu Pelton tipli turbin seçilmişdir.

---

1. *Железняков Г.В., Ибадзаде Ю.А.*и др."Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения". М.Стройиздат, 1983.
2. *Киселев П.Г.* "Справочник по гидравлическим расчетам". М., Энергия, 1972.
3. *Карелин В.Я., Волшаник В.В.* "Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций". М.: Энергоатомиздат, 1986, 200 с.
4. *Беглярова Э.С.* и др. "Компоновка сооружений малых деривационных гидроэлектростанций". М., ГУП, 1999, 152 с.
5. İsmayıllı rayonu, Girdimançay üzərində "İsmayıllı-3" KSES. TİƏ. "AzET və LAEİ" MMC, arxiv materialı, Bakı, 2016.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА «ИСМАИЛЛЫ-3» МГЭС НА Р.ГИРДИМАНЧАЙ ИСМАИЛЛИНСКОГО РАЙОНА

ВЕЛИЕВДЖ.З.

В статье рассмотрена оценка гидроэнергетического потенциала «Исмаиллы-3» МГЭС на р.Гирдиманчай. С этой целью,рассмотрена гидрология многолетних данных реки и определены соответствующие процентные обеспеченности максимальных расходов реки. В соответствии с расходом и расчетным напором водозабора ГЭС определена установленная мощность и годовая выработка электроэнергии.

Ключевые слова: водозабор, расход воды, напорная труба, потери, скорость, расчетное давление, выходная мощность, выработка электроэнергии.

RESEARCHING HYDROELECTRIC POTENTIAL OF "ISMAILLI-3" SHPS ON THE RIVER GIRDIMAN

VALIYEVJ.Z.

In the article, the hydroelectric potential calculation of "Ismailli-3" SHPS on the river Girdiman is conserned. In view of this, hydrology of long-term river's dates are analyzed and maximum flow discharge is defined. In accordance with water intake discharge HPS and design head installed capacity and annual output of power are defined.

Keywords: water intake, water flow, pressure pipe, losses, speed, design pressure, power output, power generation.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ – НЕЙМАНА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА МЕТОДОМ ФУРЬЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕ ТРИВИАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

ЗЕЙНАЛЛЫ С.М.

Гянджинский Государственный Университет
subhiya.zeynalli@rambler.ru

В рассмотренной работе были найдены удовлетворяющие не тривиальные переменные методом разложений, уравнений Лапласа с помощью рядов.

Ключевые слова: уравнение,функция, формула, функционал, множество, коэффициент, оптимальное управление, система.

Решениезадачи Коши-Неймана для уравнения Лапласа имеет вид:

$$u(x,t)=\frac{1}{k}\exp\{-\sqrt{k}\}\cos kx\, shk(1+t)\,,\quad k\in N\,. \tag{1}$$

Кроме того, при $k\to\infty$ функция $\varphi_1(x)$ равномерно стремится к нулю и притом не только сама, но и все ее производные принадлежат $L_2(0,\pi)$. Однако решение (1) при любом $t>-1$ имеет вид косинусоиды со сколь угодно большой амплитудой и не принадлежит пространству $L_2(Q)$.

Для того чтобы функция $\varphi_1(x)$ удовлетворяла условию $\{\exp(2k)\varphi_{1k}\}_{k=1}^{\infty}\subset l_2$ необходимо и достаточно, чтобы коэффициенты Фурье φ_{1k} имели асимптотику для больших k порядка $\exp\{-(2+\varepsilon)k\}$, где $\varepsilon>0$. В рассматриваемом нами примере имеем асимптотику всего лишь равную $\exp\{-\sqrt{k}\}$, которая явно недостаточно для корректности задачи Коши-Дирихле для уравнения Лапласа.

Постановка задачи :

В области $D=\{(x,t)\,|\,0\le x\le\pi,\quad -1\le t\le 1\}$ рассматривается граничная задача

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\quad u=f(x,t),(x,t)\in D_T\,, \tag{2}$$

$$\frac{\partial u(0,t)}{\partial x}=0,\ \frac{\partial u(\pi,t)}{\partial x}=0,\ t\in[-1,1], \tag{3}$$

$$u(x,-1)=\varphi_0(x),\frac{\partial u(x,-1)}{\partial x}=\varphi_1(x),\ x\in(0,\pi)\,. \tag{4}$$

Предполагается, что $\frac{\partial u(x,1)}{\partial x}\in U_s$, где U_S- выпуклое замкнутое множество из $L_2(0,\pi)$, $0\in U_\partial$ и $f\in L_2(Q),\varphi_0\in W_2^1(0,\pi),\varphi_1\in L_2(0,\pi)$- заданные функции.

Решение задачи (1)-(3) является задачей Коши-Неймана для эллептического уравнения, является некорректно поставленной [1].

Поставим в соответствие (1)-(4) следующую задачу оптимального управления: найти минимум функционала

$$J(\nu) = \frac{1}{2}\int_0^{\pi} [u(x,-1) - \varphi_0(x)]^2 dx \tag{5}$$

в U_S при ограничениях

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad u = f(x,t), (x,t) \in D_T, \tag{2}$$

$$\frac{\partial u(0,t)}{\partial x} = 0, \frac{\partial u(\pi,t)}{\partial x} = 0, \ t \in (1,1), \tag{3}$$

$$\frac{\partial u(x,-1)}{\partial t} = \varphi_1(x), \frac{\partial u(x,1)}{\partial t} = \nu(x) \quad x \in (0,\pi). \tag{6}$$

В теории оптимального управления задача (5), (2), (3), (6) также является некорректной [4]. Отметим, что при $f \in L_2(Q), \varphi_1 \in L_2(0,\pi), \nu \in L_2(0,\pi)$ граничная задача (2), (3), (6) имеет единственное обобщенное решение из $W_2^1(Q)$ [2, 3].

Решения граничных задач (1), (2),(6), (10), (12) будем искать в виде

$$u(x,t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_k(t) X_k(x), \psi(x,t) = \sum_{k=0}^{\infty} \psi_k(t) X_k(x),$$

где

$$X_0(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}}, \lambda_0 = 0, \ X_k(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos kx, \ \lambda_k = -k^2, \ k = 1,2,...$$

системы ортонормированных собственных функций и собственных значений для спектральной задачи

$$X''(x) = \lambda X(x), \quad X'(0) = X'(\pi) = 0.$$

Подставляя предполагаемые решения $u(x,t), \psi(x,t)$ при $\nu = \nu(x)$ в (1), (2), (5), (10)-(12) относительно коэффициентов $u_k(t), \psi_k(t)$ получим соотношения

$$\begin{cases} \ddot{u}_k - (k^2+1)u_k = f_k(t), \quad t \in (-1,1), \\ \dot{u}_k(-1) = \varphi_{1k}, \dot{u}_k(1) = \nu_k, \ k = 0,1,2,..., \end{cases} \tag{7}$$

$$\begin{cases} \ddot{\psi}_k - (k^2+1)\psi_k = 0, \quad t \in (-1,1), \\ \dot{\psi}_k(-1) = u_k(-1) - \varphi_{0k}, \dot{\psi}_k(1) = 0, \ k = 0,1,2,..., \end{cases} \tag{8}$$

$$(-\psi_k(1) + \alpha\nabla_k)(\nabla_k - \nabla_k) \geq 0 \quad \forall\nabla_k, \ k = 0,1,2,..., \tag{9}$$

где $f_k(t), \varphi_{0k}, \varphi_{1k}, \nabla_k, \nabla_k, k = 0,1,2,...$ - коэффициенты Фурье функций $f(x,t)$, $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \nabla(x), \nabla(x)$ по системе функций $\{X_k(x)\}_{k=0}^{\infty}$.

Решения граничных задач (7) и (8) при $k = 0,1,2,...$ представляются в виде

$$u_k(t) = \frac{\nabla_k ch\sqrt{k^2+1}(1+t)}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}} - \frac{\varphi_{1k} ch\sqrt{k^2+1}(1-t)}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}} -$$
$$- \frac{ch\sqrt{k^2+1}(1+t)}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}} \int_{-1}^{1} ch\sqrt{k^2+1}(1-s) f_k(s)ds +$$
$$+ \frac{1}{\sqrt{k^2+1}} \int_{-1}^{t} sh\sqrt{k^2+1}(t-s) f_k(s)ds, \tag{10}$$

$$\psi_k(t) = -\frac{u_k(-1) - \varphi_{0k}}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}} ch\sqrt{k^2+1}(1-t). \tag{11}$$

Из формул (10), (11) и (9) находим

$$(u_k(-1) - \varphi_{0k} + \alpha\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1} \cdot \nabla_k)(\nabla_k - \nabla_k) \geq 0 \quad \forall\nabla_k, \ k = 0,1,2,...$$

Это условие преобразуем к следующему виду

$$\left[-\varphi_{1k} \frac{cth2\sqrt{k^2+1}}{\sqrt{k^2+1}} + \nabla_k \left(\frac{1}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}} + \alpha\sqrt{k^2+1}sh\sqrt{k^2+1} \right) - \right.$$
$$\left. - \varphi_{0k} - \frac{1}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}} \int_{-1}^{1} ch\sqrt{k^2+1}(1-s) f_k(s)ds \right] (\nabla_k - \nabla_k) \geq 0 \tag{12}$$
$$\forall\nabla_k, \ k = 0,1,2,... .$$

Теперь рассмотрим случай $U_s = L_2(0,\pi)$. Тогда из (12) получим, что

$$\nabla_k = \beta_{k\alpha}^{-1} \left(\varphi_{0k} + \varphi_{1k} \frac{cth2\sqrt{k^2+1}}{\sqrt{k^2+1}} + \right.$$

$$+\frac{1}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}}\int_{-1}^{1}ch\sqrt{k^2+1}(1-s)f_k(s)ds\Bigg), \qquad (13)$$

где

$$\beta_{k\alpha}=\frac{1+\alpha(k^2+1)sh^2 2\sqrt{k^2+1}}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}},\ k=0,1,2,...$$

Таким образом, находим оптимальные значения коэффициентов Фурье ∇_k функции $\nabla(x)$. Далее при $\alpha\to 0$ из (10) и (13) имеем

$$u_{k0}(t)=\lim_{\alpha\to 0}u_k(t)=\varphi_{0k}ch\sqrt{k^2+1}(1+t)+\frac{\varphi_{1k}}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}}\times$$

$$\times[ch2\sqrt{k^2+1}ch\sqrt{k^2+1}(1+t)-ch\sqrt{k^2+1}(1-t)]+$$

$$+\frac{1}{\sqrt{k^2+1}}\int_{-1}^{t}ch\sqrt{k^2+1}(t-s)f_k(s)ds,\ k=0,1,2,...,$$

$$\nabla_{k0}=\lim_{\alpha\to 0}\nabla_k=\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}\varphi_{0k}+\varphi_{1k}ch2\sqrt{k^2+1}+$$

$$+\int_{-1}^{1}ch\sqrt{k^2+1}(1-s)f_k(s)ds,\ k=0,1,2,...$$

Отметим, что решения $u_k(t)$, найденные по формуле (10), в соответствие с оптимальными коэффициентами Фурье ∇_k, $k=0,1,2,...,$ найденные по формуле (13), должны удовлетворять предельным соотношениям $\lim_{\alpha\to 0}u_k(-1)=\varphi_{0k}$, которые действительно имеют место. И это согласуется с условием $u(x,-1)=\varphi_0(x)$ из (4).

Таким образом, точное решение задачи (5), (2), (3), (6) представляется формулой

$$\nabla(x)=\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\Bigg[\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}\varphi_{0k}+ch2\sqrt{k^2+1}\varphi_{1k}+$$

$$+\int_{-1}^{1}ch\sqrt{k^2+1}(1-s)f_k(s)ds\Bigg]\cos kx+$$

$$+\frac{1}{\sqrt{\pi}}\left[\varphi_{00}sh2+\varphi_{10}ch2+\int_{-1}^{1}ch(1-s)f_0(s)ds\right],$$

а решение исходной задачи (2)-(4) получается следующим образом

$$u(x,t)=\frac{1}{\sqrt{\pi}}u_0(t)+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\left[\varphi_{0k}ch\sqrt{k^2+1}(1+t)+\frac{\varphi_{1k}}{\sqrt{k^2+1}sh2\sqrt{k^2+1}}\times\right.$$

$$\times(ch2\sqrt{k^2+1}ch\sqrt{k^2+1}(1+t)-ch\sqrt{k^2+1}(1-t))+$$

$$\left.+\frac{1}{\sqrt{k^2+1}}\int_{-1}^{t}sh\sqrt{k^2+1}(t-s)\,f_k(s)ds\right]\cos kx.$$

Таким образом из решения уравнения Лапласа методом Фурье получены не тривиальные переменные.

---

1. *Əhmədov Q.T., Həsənov K.Q., Yaqubov M.H.* Adi diferensial tənliklər. Bakı: Maarif, 1978, s.444.
2. *Quliyev H.F., Zeynalli S.M.* On application of the optimal control methods to solving Cauchy-Neymann problem for the second order elliptic equation // 9th seminar of differential equation and dynamical systems, Tebriz, Iran, 2012, 11-13 July, p.343-344.
3. *Quliyev H.F., Gasimov Y.S., Zeynalli S.M.* Optimal control method to solving Cauchy-Dirichlet problem for elliptic equation // 4th Conference an cjntrol and optimization with industrial applications, Borovets, Bulqaria, 2013, 10-12 July, p.32.
4. *Алексеев Г.В.* Коэффициентные обратные экстремальные задачи для стационарных уравнений тепломассопереноса // Ж. выч. матем. и матем. физ., 2007, т.47, №6, с.1055-1076.
5. *Амангалиева М.М. Дженалиев М.Т., Иманбердиев К.Б.* Об оптимизаци-онном методе решения задачи Коши-Дирихле для уравнения Пуассона // J. Inv. II L-Posed Problems 15 (2007), p.1-10.
6. *Anikonov Yu.E.* Multidimensional inverse and ILL-Posed problems for diferential equations // VSP, The Netherlands, 1995, p.139.
7. *Blagoveshchenskii A.S.* Inverse problems of wave processes // VSP, The Netherlands, 2001, p.137.
8. *Hadamard J.* Sur les problems aux derives partielles et leur signification physique. Princeton: Bull. Univ., 1902.

FURYE METODU İLƏ LAPLAS TƏNLİYİNİN KOŞİ – NEYMAN MƏSƏLƏSİNİN HƏLLİ VƏ QEYRİ TRİVİAL DƏYİŞƏNLƏRİNİN TƏYİNİ

ZEYNALLI S.M.

Bu işdə Laplas tənliyinin sıraya ayrılma vasitəsilə qeyri trivial dəyişənlər tapılmışdır.

Açar sözlər: tənlik, funksiya, funksional, çoxluq, əmsal, optimal idarəetə, sistem.

SOLITON OF THE CAUCHY-NEUMANNPROBLEM OF THE LAPLACEEQUATIONBYTHE FOURIERMETHOD AND DETERMINATION OF NON-TRIVIAL VARIABLES

ZEYNALLI S.M.

In this study, non-trivial variables were found through the sequencing of the Laplace equation.

Keywords: equation, function, formula, functional, set, coefficient, optimal control, system.

УДК620.9, 697.3, 69.027.1

ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

НОВРУЗОВА Э.Э.

Институт Физики НАН Азербайджана,
г. Баку, пр. Г. Джавида 131, Az-1143,

В этой статье анализируются новейшие технологии и их применение в энергетике. Энергетика является одной из основных областей экономики, поэтому внедрение информационной технологии является основной задачей улучшения условия жизни человека. Чем сложнее производство, тем оно нуждается в автоматизации. Утверждено, что для реализации автоматизированной системы диспетчерского управления нужны автоматическая система противоаварийного управления и регистрации данных об авариях, управления пропускной способностью и регулирования напряжения, регулирования перетоков мощности и ограничения перетоков мощности и частоты. С развитием технологии в энергетике и в других отраслях промышленности растет негативное влияние на окружающую среду, которое вызывает экологическое ухудшение среды. Утверждено, что основная задача предотвратить эти негативные условия и уменьшить их до минимума.

Ключевые слова: энергетика, экономика, автоматизированная система диспетчерского управления, информационная технология, электрическая энергия.

Введение: В энергетике инновация внедряется с высокой скоростью, и является основой энергетики,Авиационной, и железнодорожной промышленности, машиностроения, нефтегазовой добычи и переработки.Развитие отраслей промышленности загрязняет экологию. С высокой интенсивностью развивается область энергетики. Энергия ветра и солнца перерабатывается специальным способом в электричество. Использование светодиодных ламп является успешной технологией в энергетике. Они позволяют сократить потребление электричества и расходы на освещение. Светодиодные лампы не содержат ртути и экономят электроэнергию до 90%. Много лет влияние человечества на окружающую среду привело экологическим последствиям. Во всех развитых странах приняты акты на ограничения загрязнения природы, угрозы здоровью населения. Поэтому важно уметь прогнозировать процессы, которые могут отрицательно повлиять на обслуживающий персонал, а также нормировать электромагнитные излучения и шум. При строительстве производств, необходимо тщательное соблюдение технологической последовательности работ. Основная задача науки не допустить ошибок и создать нормальные условия для эксплуатации атомных станций. И для этого необходимо установить допустимые значения риска и их следование. Для минимизации воздействия АЭС на окружающую территорию, проводятся комплексные мониторинги. Осуществляется подготовка работников электростанции. Электроэнергетика является основной отраслью экономики. Она обеспечивает электрической и тепловой энергией потребности населения и народного хозяйства, осуществляет экспорт электроэнергии в другие соседние страны.Правильное функционирование отрасли обеспечивают энергетическую безопасность страны, и являются важными факторами в развитии экономики. За последнийпериод благодаряобщенародного лидера Азербайджана Гейдара Алиева и нынешнего президента Ильхама Алиева в электроэнергетике изменилась система государственного регулирования отрасли.

Инновации в промышленности: Самыми инновационными видами современных технологий в энергетике являются использование вместо бензина

биотоплива, уничтожающие нефтяные и химические загрязнения окружающей среды. Также используют фрекинг, как силу ударной волны для добычи полезных ископаемых, нефти из сланцевых слоев, залегающих на большой глубине и повышение нефтеотдачи от старых месторождений. Согласно методу фрекинга пресная вода в технических целях не применяется. Благодаря методу использования промышленного углекислого газа старые скважины могут быть обработаны в третий раз.

В настоящее время идет замен гидроэлектростанции с осмостанцией. Осмос эффект происходит в стволах деревьев, где происходит перенос питательных соков в зону фотосинтеза. Ученые предложили применить подобный процесс в энергетике, в работе гидроэлектростанций. Разница давлений пресной и соленой воды на станциях создает осмос эффект, который заставляет вращать турбины и вырабатывать электричество. И, конечно,это гораздо дешевле обходится, чем строительство гидроэлектростанций. Известно, что в атмосфере накапливается электричество. И один из вариантов его использования это захват электрической энергии молний. В XIX веке ученые начали заниматься задачей передачи энергии на расстояние без проводов «энергетический интернет». Примером является устройство беспроводной зарядки смартфонов. Но пока в промышленной реализации «энергетический интернет» не получил.

Информационная технология в электроэнергии: Внедрение новой технологии сократит расходы на коммунальные платежи. Для этого разрабатываются проекты «умные дома», элементы отопления, аккумуляторы, солнечные панели и т.д. Для достижения этой технологии нужны автоматизированные и автоматические системы управления, новые сетевые технологии.

Электроэнергетика обеспечивает потребителей энергией и от нее зависят условия жизни человечества.

Компьютерная технология в сфере энергетики регулирует частоты и мощности в энергосистеме, сводит к минимуму человеческого труда, распределяет нагрузки на генераторы электростанции. Аварии могут вредить оборудования высоковольтных линий электропередачи и, конечно, влечёт за собой тяжелые последствия для энергосистемы. И поэтому без автоматизированных систем противоаварийного управления испльзование высоковольтных линий электропередач запрещено.

Новейшие автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов: Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов ведут учет и измерение количества энергии. Автоматизированные системы приводят к минимуму труд человека.

Последнее время внимание уделяется снижению выбросов, что приводит энергоэффективности в секторах производства и потребления энергии. В секторе потребления топлива, электрической энергии, повышение эффективного производства энергии и переход на альтернативные низкоуглеродные виды топлива, развитие атомной энергетики позволит сократить выбросына 50 %.

В развитых странах Европы разрабатывается усовершенствованный пылеугольный энергоблок. Все технологические компоненты для улавливания и удержания CO_2 на угольных электростанциях, производятся промышленностью. Большие надежды возлагаются на применение технологии улавливания и хранения углекислого газа на теплоэлектростанциях ТЭС. Эта технология может найти применение и на предприятиях химии, нефтепереработки и нефтехимии, металлургических комбинатах и в других крупных предприятиях.

Открытие возможности получения материалов и изобретение паровой машины ускорило рост городов. Но с другой стороны дымовые газы заводов загрязнил воздух. Загрязнение атмосферы и окружающей среды сконцентрировало внимание большинства европейских стран и США на принятие законов по защите атмосферного воздуха. В конце XX века очистка дымовых газов стала главной задачей. В

большинстве развитых стран промышленности оснащены электрофильтрами, сероочистными установками.

Ясно, что чем быстрее растет технология, тем быстрее растет нагрузка на окружающую среду, вызывающая ухудшение экологической ситуации. Проблема охраны окружающей среды превратилась в одну из глобальных проблем мирового сообщества.

Некоторые вещества оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду либо после химических изменений в атмосфере, либо непосредственно, либо взаимодействием с другими веществами. Как известно, атмосферный воздух является основной средой существования биосферы, в том числе человека.

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды являются тепловые электростанции.Работа ТЭС оказывает различные отрицательные воздействия на все компоненты биосферы. Загрязняющие газовые и аэрозольные выбросы объектов энергетики нарушают равновесие природной среды в местных, региональных и глобальных масштабах. При сжигании жидкого и твердого топлива происходят выбросы в виде твердых частиц. Они образуют в атмосфере аэрозоли. Они образуются непосредственно в атмосфере в результате химических реакций и естественных природных процессов.

Выбросы тепловых электростанций в зависимости от размеров частиц можно классифицировать на пыль – твердые частицы, туман – твердые или жидкие частицы, дым – частицы, аэрозоли – в основном скопление газообразных молекул.

Тепловое воздействие объектов энергетики нарушает тепловое равновесие окружающей среды.

Более существенным фактором теплового загрязнения окружающей среды являются парниковые газы, повышение концентраций которых в атмосфере способствует возникновению парникового эффекта.

Существует шумовое воздействие объектов теплоэнергетики на окружающую среду. Под шумом понимается любой нежелательный звук, или упругие волны, распространяющиеся в упругой среде в виде различных колебаний и вызванные каким-либо источником. Звук характеризуется интенсивностью переноса звуковой энергии, скоростью и направлением распространения звуковых волн, звуковым давлением.

Наиболее интенсивными источниками шума являются турбины (особенно газовые), котлы, компрессоры, различного вида насосы, паропроводы, синхронные компенсаторы и др.Наиболее сильным источником шума является сброс пара. Для снижения выбросов токсических веществ в атмосферу необходимо обеспечение энергетической эффективности и экологической безопасности энергетических объектов, использованием технологии очистки и переработки топлива. Наиболее оптимальным является термодинамический фактор, влияющий на все параметры и показатели экологической опасности.

Устройства для улавливания пыли разделяются на механические, гидравлические, фильтры с пористым фильтрующим слоем, электрофильтры.

Недостатком механических устройств является их значительный износ вследствие действия удара частиц пыли о стенки и их скольжения по ним.

Обычно на электростанциях используются мокрые пылеуловители и электрофильтры. В электрофильтрах очистка газов от твердых или жидких частиц происходит под действием электрических сил. Электрофильтры отличаются друг от друга площадью активного сечения, высотой электродов, площадью осаждения и другими параметрами.

Общие сведения об атомной энергетике,радиоактивности и воздействии атомной электростанции, тепловых электростанций и автотранспорта на окружающую среду: Известно, что атомные электростанции и теплоэлектростанции отрицательно влияют на окружающую среду химическим, тепловым и радиоактивным загрязнением окружающей среды и на обслуживающий персонал, особенно, шумовым и электромагнитным воздействием. Ясно, что устранить эти недостатки до нуля не возможно, необходимо минимизации этих негативов на окружающую среду. А для этого требуются дополнительные затраты на соответствующие мероприятия для постоянного контроля над этими процессами в виде мониторинга. Конечно, в проектировании и при эксплуатации в атомной энергетике реализуется комплекс мероприятий предотвращения аварий и их развития в случае возникновения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Роль компьютерной технологии в электроэнергетике огромна. В настоящее время информационным технологиям позволяетоптимизировать технологические процессы генерации, распределения и потребления электрической энергии с целью снижения потерь, улучшения финансовых показателей предприятия и другие.

Таким образом, анализ показывает, что развитие деятельности человека напрямую или косвенно воздействует на природную окружающую среду. Для избежание от этих негативных результатов необходимо довести до минимума экологические выбросы в природу и непрерывный мониторинг, который мог бы выявить отрицательные воздействия.

---

1. *Полякова М. В.*Электроэнергетика: старые проблемы, новые реалии. http://www.osp.ru/cio/2011/12/13012299/
2. Применение IT-технологий в Электроэнергетике. http://www.karma-group.ru/energy.
3. Электроэнергетика Азербайджанской Республики. http://energo-cis.ru /wyswyg/file/azerbaydjan.pdf.
4. *Рзаев Р. Р.*Развитие Электроэнергетики вАзербайджане. IEEForum_Tbilisi, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/eneff/IEEForum_Tbilisi_Sept13/Day_2/ws1/Rzayev_r.pdf
5. *Базеев Е.Т.*Энергетика.Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики. Книга3. http://energetika.in.ua/ru/books/book-3.
6. *Базеев Е.Т.*Энергетика. Развитие атомной энергетики и объединенныхэнергосистем.Книга 4http://energetika.in.ua/ru/books/book-4.
7. *Базеев Е.Т.*Энергетика. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире. Книга 5,http://energetika.in.ua/ru/books/book-5.
8. *Джафаров Т.Д.Смарт маркет.* Электроэнергетические реформы и интеллектуальный рынок. Баку: Восток-Запад, (2017) 95.
9. *Эйюбов М.Р.* Энергетический комплекс 2016НАНА, Экономический институт-Баку: наука и знания (2017) 59.
10. *Юсифбейли Н. А.*Автоматизация электросистем. Баку: ADNSU (2017) 457.

ENERJİ SEKTORUNDAKI ƏN YENİ TEXNOLOGİYALAR AVTOMATLAŞDIRILMIŞ ENERJİ UÇOTU SİSTEMLƏRİ VƏ ONLARIN YERKÜRƏSİNİN EKOLOGİYASINA TƏSİR EDƏN ƏSAS AMİLLƏRİ

NOVRUZOVA E.E.

Məqalədə ən yeni texnologiyalar və onların enerji sektorunda tətbiqi təhlil edilmişdir. Enerji iqtisadiyyatın əsas sahələrindən biridir, buna görədə informasiya texnologiyalarının tətbiqi insan vəziyyətinin yaxşılaşdırılmasının əsas vəzifəsidir. İstehsal nəqədər mürəkkəb olsa, o qədər avtomatlaşdırma tələb olunur. Avtomatlaşdırılmış dispetçer idarəetmə sisteminin həyata keçirilməsində avtomatik təcili nəzarət və qəza məlumatlarını qeyd etmə sistemi, bant genişliyi və voltaj tənzimlənməsi, enerji axınının tənzimlənməsi və güc və tezlik axınlarının məhdudlaşdırılması tələb olunur. Enerji sektorunda və digər sənaye sahələrində texnologiyanın inkişafı ilə ətraf mühitin pozulmasına səbəb olan mənfi təsir artır. Əsas məqsədin bu mənfi şərtlərin qarşısını almaq və minimuma endirmək olduğu iddia edildi.

Açar sözlər: enerji, iqtisadiyyat, avtomatlaşdırılmış dispetçer idarəetmə sistemi, informasiya texnologiyaları, elektrikenerjisi.

THE NEWEST TECHNOLOGIES IN THE ENERGY SECTOR AUTOMATED ENERGY ACCOUNTING SYSTEMS AND THEIR MAIN FACTORS OF INFLUENCE ON THE ECOLOGY OF THE EARTH

NOVRUZOVA E.E.

This article analyzes the newest technologies and their application in the energy sector. Energy is one of the main areas of the economy, so the introduction of information technology is the main task of improving the human condition. The more complex the production, the more automation is needed. It is stated that the implementation of an automated dispatch control system requires an automatic emergency control and accident data recording system, bandwidth control and voltage regulation, regulation of power flows and limitation of power and frequency flows. With the development of technology in the energy sector and in other industries, the negative impact on the environment that causes environmental degradation is growing. It has been argued that the main objective is to prevent these negative conditions and minimize them.

Keywords: energy, economics, automated dispatch control system, information technology, electric energy.

УДК.621.336.01

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРЕДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛОКОМОТИВНЫХ СИГНАЛОВ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОМ УЧАСТКЕ БАКУ – БЕЮККЯСИК АЖД

РАГИМОВ Р.Г., РАГИМОВ С.Р., РАГИМОВ А.Р.

" АТЕФ Группа компаний
ragim1953@ mail.ru,

В статье рассмотрен вопросновой системы передачи локомотивной сигнализации разработанной на основе европейской и системы применимых в странах СНГ. Существует тип АБ странах СНГ с разделением дросселем трансформаторов на отдельные участка рельсовой цепи и сигналы передаются локомотивам по тяговому рельсу. В европейских странах применяют АБ,сигнальные токи которых передаются локомотивам радиосигналомназемной станции или со спутника. Применение таких систем требует, дополнительных финансовых затрат для монтажа стационарных радиостанций и антенных вышек для передачи локомотивных сигналов. С применением новой системы заземления опор, обеспечена нормальная работа АЛС, сигналы который принимается с рельсов.

Ключевые слова:автоматическая блокировка, автоматическая локомотивная сигнализация, групповое заземление опор контактной сети, тяговые подстанции, заземляющие электроды.

На участке Баку - Беюккясик осуществляются работы по переходу от постоянного тока 3 кВ на переменный тяговый ток 27,5кВ.

Контактная подвеска и заземление опор контактной сети проектировано и монтируется по европейским стандартам (См.рис.1).

Новый европейскийпроект предусматриваетиспользовать обратный тяговый провод параллельно к рельсовой цепи. Обратный провод одновременно используют для группового заземления опор контактной сети (См.рис.1) и соединяется на тяговый рельс и землю. Заземление опор на землю осуществляется с помощью 2-мя метровыми электродами, которыеобеспечивают безопасность персонала, при коротком замыкании на опоре контактной сети. В двухпутных участках заземление опор каждой пути соединяется между собой с интервалом 450метров.

В европейских системах тяговое электроснабжение железных дорог на смежных тяговых подстанциях, обычно питающие фидера контактной сети, включается раздельно, и каждая подстанция питает только половину тягового участка.

В отличие от европейских тяговых трансформаторов, на подстанциях АЖД применен трехфазный тяговый трансформатор со схемой соединения тяговых обмоток 27,5кВ треугольник(Δ) и одна фаза трансформатора соединяется с рельсом и землей. Питание контактной сети осуществляется двумя фазами.

Между смежными тяговыми подстанциями фидера контактной сети включены встречно через посты секционирования контактной сети. Заземление опор контактной сети проектировано по европейским стандартам.

Основной функцией системы АЛС является передача сообщений о показаниях напольных светофоров на локомотивный светофор в кабину машиниста(См.Рис.3.).

На закупленных АЖД новых локомотивах прием автоматических локомотивных сигналов (АЛС) предусмотрен с рельсовых путей. В таком случае появились противоречия между проектами группового заземления опор, где рельс заземляется землю и системами АБ из-за несогласованности передающих сигналов АЛС по рельсу.

Методы решения: Система АБ и АЛС предназначена для предотвращения (блокирования) входа поезда на участок пути (блок-участок), занятый другим поездом или в пределах которого нарушена целостность рельсов.

В западноевропейских странах безопасность движения поездов обеспечивается так же с помощью устройств АЛС. Сигналы АЛС передаютсялокомотивам радиосигналами, от наземного или спутникового передатчика, например, ГЛОНАСС или NAVSTAR GPS для определения местоположения поезда на участке железнодорожного пути (См.рис.1).

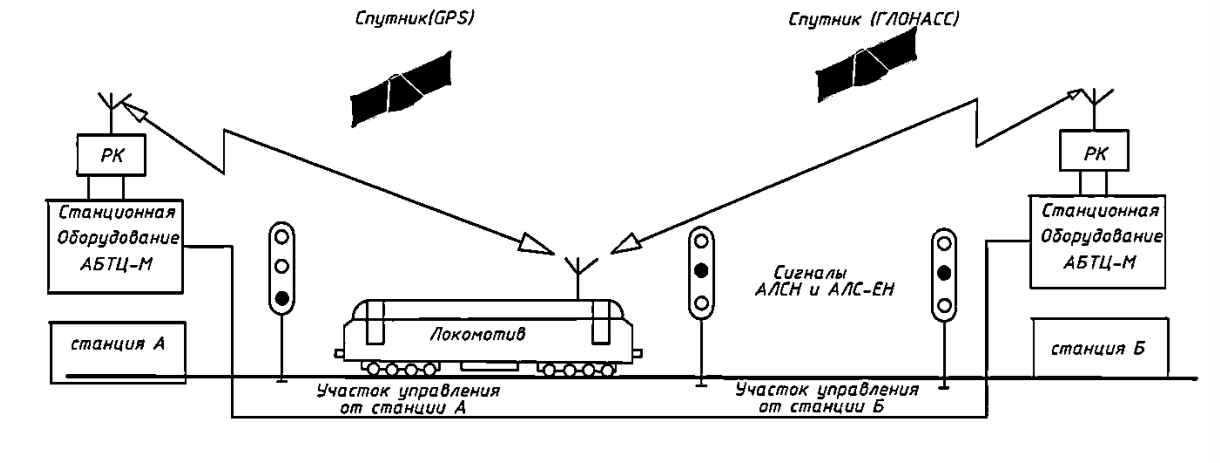


Рис.1.Система передачи АЛС радиосигналами.

Управляющий сигнал формируется на основе сигнала спутниковой навигационной системы и данных электронной карты железной дороги и используется для переключения режима работы системы АЛС в зависимости от вида блокировки участка железной дороги, на котором в данный момент находится поезд.

Групповое заземление опор между тяговыми подстанциями в конце в нашем варианте соединяется на фазу «С» тягового трансформатора. При этом провода группового заземления контактной сети в двухпутном участке соединяются между собой с целью снижения общего сопротивления тяговой сети(См. рис.1,3.).

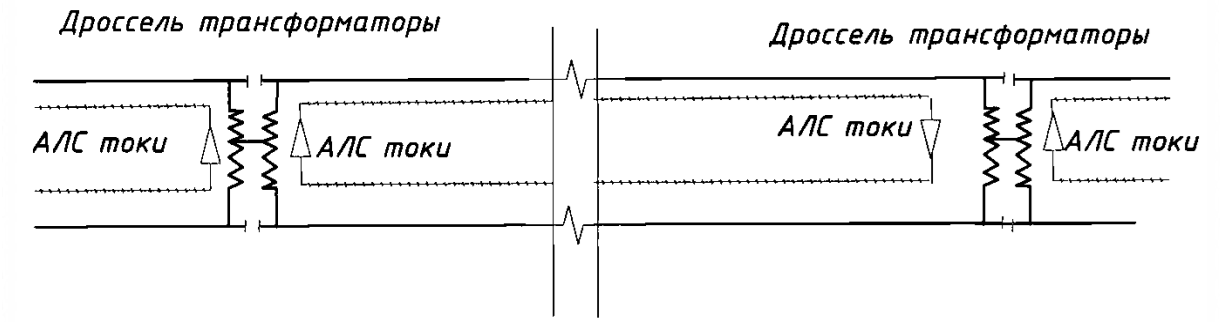


Рис.2. АБ на разделенную рельсовую цепь, на различных околотках дросселями трансформаторовучастка.

В странах СНГ работа АБ осуществляет передачи сигналов разделением на автономные околотки рельсовых путей с помощью дросселей трансформаторов (рис.2.).

На основе такого принципа работы устройств АЛС выбирается другое сопутствующие устройство обеспечивающее безопасность движения поездов, в том числе тип заземления опор контактной сети.

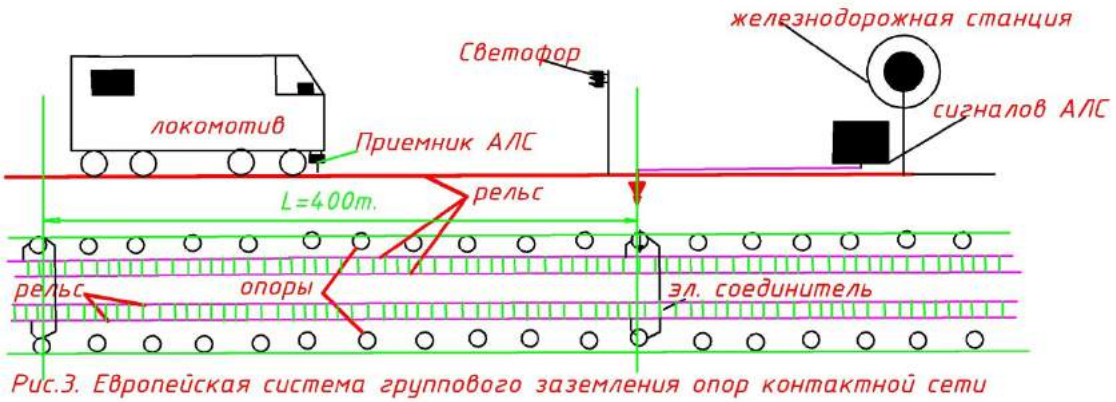


Рис.3. Европейская система группового заземления опор контактной сети

По Европейским стандартам групповое заземление опор осуществляется алюминиевым проводом, сечение которого составляет 245 кв.мм. Длина обратного провода или группового заземления по европейским стандартам может составлять 45-50км.

В настоящие время проводятся эти работы по монтажу устройств (АБ) по всему участку. Применяется способ кодирования сигналов АЛС, типа импульсный числовой, основанный на передаче серий (посылок) импульсов переменного тока с частотой 75Гц (информацию несут число и длительность импульсов в посылке), и частотный и непрерывно передаётся переменный ток определённой частоты (информацию несёт частота). Передача сигнала идёт по рельсовой цепи. Сигнальный ток подаётся от передающего устройства к поезду по одной рельсовой нити, протекает через замыкающую рельсы между собой колёсную пару и возвращается к передающему устройству по другой рельсовой нити. При этом рельсы и колёсная пара образуют рамку с током, магнитное поле которой улавливается подвешенными перед первой колёсной парой на высоте 110-240 мм над рельсами приёмными катушками.

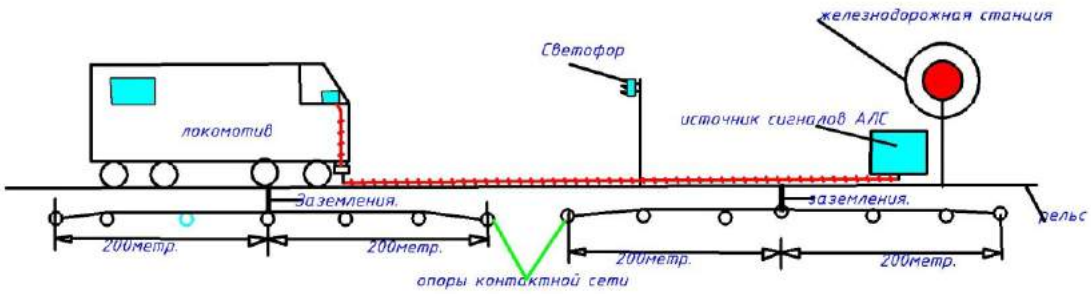


рис.4. Предлогаемая система группового заземления опор контактной сети.

На рисунке 3 видно, что при применении европейской системы заземления опор контактной сети,провода группового заземления заземлены на землю через 450 метров. При заземленном рельсе сигналы АЛС будут протекать на землю. При этом напряжение сигналов АЛС будет снижаться и сигналы АЛС не дойдут до приемника электровоза.При этом система АЛС обеспечивающая безопаснсть работы поездов не будет действовать.

В РФ в таких случаях, при применении европейской системы АБ,опоры контактной сети заземляются на рельс и на землю. Чтобы сигналы АЛС не потекли на землю, провода заземления изолированы от рельсов с применением искровых промежуток. Но, небольшой по времени опыт работы этих устройств показал ненадежность этих устройств из-за частого пробоя изоляции в искровых промежутках и последующим выходом из строя системы АЛС.

С целью обеспечения нормальной работы АБ и исключения нарушения в цепи передачи сигналов АЛСна участке, авторами предложена новая система.

В этой системе для полного и исправного приема сигналов АЛС с рельсов применено другое устройство заземления опор контактной сети.В этой системе не потребуется поперечное соединение путей. Длина анкерного участка группового заземления обеспечивающего электробезопасность равно400м.(см. рис.4.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выбор типа группового заземления опор контактной сети соответствует нормативной документации ЦЭ-191.
2. После применения нового типа заземления опор,сэкономлено более 12 км полимерной трубы с диаметром 100 мм, 22км между путных электрических соединителей из медного провода 10 тон, зажимы 40000шт, угольникL=12км.
3. После применения нового типа заземления отпала необходимость производства работ по бурению горизонтальнойскважиныс общей длиной 16,3км.
4. С применением новой системы заземления повышена надежность работы устройств АЛС.
5. По участку Баку-Беюккясик сэкономлено 590 000 американских долларов.

1. *Кондаев В.А.* Методика расчета заземляющего устройства с учетом сопротивления граница радела «металл-грунт».
2. *Кондратьев Ю.В.* Расчетная модель электрического сопротивления железобетонных фундаментов опор контактной сети.
3. *Терёхин И.А.*Расчетный модельэлектрического сопротивления железобетонных фундаментов опор контактной сети.
4. *Казаков А.А.* Автоблокировка, автоматическая локомотивная сигнализация иавтостопы, М., 1964.
5. *Ирха П.Д.* Монтаж заземляющих устройств из наклонных электродов Электрические станции -1970.№11.с.19-20.
6. *Рагимов Р.Г, Рагимов С.Р., Рагимов А.Р.* Реконструкция системы тягового электроснабжения на линии Баку - БеюкКясик журнал. Железнодорожный транспорт г. Москва № 12-2015г.с.73-75.
7. Правила устройства электроустановок-7-е издание. М.; издательство НЦ ЭНАС,2013.

AZƏRBAYCAN DƏMİR YOLLARININ BAKI – BÖYÜKKƏSİK SAHƏSİNDƏ MODERNİLƏŞDİRDİKDƏN SONRA LOKOMOTİV SİQNALLARININ ÖTÜRÜLMƏSİNİ TƏMİN EDİLMƏSİ

RƏHİMOV R.Q., RƏHİMOV S.R., RƏHİMOV A.R.

Məqalədə Avropa və MDB ölkələrində tətbiq olunan avtomatik lokomotiv siqnal ötürücü sisteminin məsələsi nəzərdən keçirilmişdir. MDB ölkələrində lokomotiv siqnalları dəmir yolu ayrı –ayrı sahələrə drossel transformatorların köməkliyi ilə izolə edilib bölünərək lokomotivlərə ötürülür. Avropa ölkələrində avtolmatik lokomotiv siqnalları yer üstü stansiyadanvə ya peykdən lokomotivlərə ötürülür. Lokomotiv siqnallarının ötürülməsi üçün stasionar radio stansiyaları və anten qüllələrinin quraşdırılması tələb olunur. Yeni torpaqlama sisteminin tədbiqi ilə Lokomotivlərlə ALS siqnalının qəbul edilməsi təmin edilmişdir.

Açar sözləri:avtomatik bloklama, avtomatik lokomotiv siqnalı, kontakt şəbəkəsinin dayağının cəm şəkildə torpaqlanması, torpaqlanan elektrodlar dartma yarımstansiyası.

SECURING THE MOVEMENT OF TRAINS TO THE ELECTRIFIED SECTION OF BAKU – BEYUKKYASIK AZERBAIJAN RAILWAYS

RAGIMOV R.G.,RAGIMOV S.R., RAGIMOV A.R.

The article considers the issue of the automatic locomotive signal transmitter system applied in Europe and CIS countries.In the CIS countries, locomotives are separated into separate locomotives separated by the help of drossel transformers. In European countries, autolmatical locomotive signals are transmitted from ground station or from satellite to locomotives. Installation of stationary radio stations and antenna towers is necessary for transmission of locomotive signals. With the introduction of the new grounding system, the ALS signal has been received with locomotives.

Keywords:automatic Interlocking, automatic locomotive signaling, group grounding of contact network supports, traction substations, grounding electrodes.

UOT 621.31

GƏMİ ELEKTROENERGETİK SİSTEMLƏRİNDƏELEKTRİK ENERJİSİNİN İTKİLƏRİNİN VƏ KEYFİYYƏTİNİN TƏDQİQİ

İSMAYILOV S.S., SULTANOV E.F., CƏLİLOV T.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
(Az1000 Bakı ş. Z.Əliyeva küç.18)
turyan777@mail.ru,
elshen_sultanov@mail.ru,
sahib-ismayil@bk.ru

Məqalədə gəmi elektrik stansiyasının (GES) sinxron generatorlarının stator dolaqlarında və kabellərdə yaranan enerji itkilərinin təyini məsələsinə baxılmış və məlum olmuşdur ki, cərəyanın əyrilərindəki qeyri-sinusoidallığınsəbəblərinin təyin edilməsi üçün ilk yeddi harmonikanın təsirini nəzərə almaq kifayət edir.Həmçinin məqalədə gəmi elektrik avadanlıqlarının müxtəlif iş rejimlərinə malik olmaları ilə yanaşı olduqca mürəkkəb iş şəraitdə işləmələri qeyd olunmuş və belə avadanlıqlarda yaranan enerji itkilərinin azaldılması, eləcədə işlədicilərin keyfiyyətli elektrik enerjisi ilə təmin olunması məsələləri araşdırılmışdır.

***Açar sözlər:*gəmi,**elektrik stansiyası, sinxron generator, güc itkiləri, qeyri-sinusoidallıq, kabellər.

Giriş:Tərkibində müxtəlif növ elektrik avadanlığı olan gəmi elektoenergetika sistemlərinin (GEES) əsas vəzifəsi elektrik enerjisini hasil edib, paylamaqdan ibarətdir. Bura həmçinin, elektrik enerjisi çeviriciləri, o cümlədən transformatorlar da daxildir. Gəmi qurğularının əksəriyyətinin işləməsi üçün elektrik enerjisindən istifadə olunur. Buna əsas səbəb elektrik enerjisinin məsafəyə ötrülməsinin asan başa gəlməsi, elektrotexniki qurğuların yüksək iqtisadi göstəriciləri və elektrikləşmiş mexanizmlərin idarəsində böyük imkanların yaranmasıdır [1].

GES-də əsas enerji mənbəyi sinxron generatorlar olduğundan, onların hasil etdikləri elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinin yüksək olması önəmlidir. Belə ki, GES-dən müxtəlif xarakterə və gücə malik çoxsaylı elektrik işlədiciləri enerji alırlar. Bu işlədicilər sırasında elektrik enerjisinin keyfiyyətinə həssas olan qurğular da olduğundan, generatorlar tərəfindən hasil olunmuş elektrik enerjisinin keyfiyyəti, eləcə də, həmin enerjinin işlədicilərə ötürülməsində yaranan itkilər daim nəzarətdə saxlanmalıdır [1, 2].

Qeyd etmək lazımdır ki, sahil elektrik şəbəkələrinə qeyri-xətti yük qoşulduğu şəraitdə cərəyan əyrisinin formasınınsinusoidallıqdan bir az yayınmasına baxmayaraq,elektrik şəbəkəsininşinlərində gərginlik sinusoudal qalır, yəni elektrik işlədiciləri ilə şəbəkə sistemi arasında heç bir uyğunsuzluq olmur. GES-dəisəgeneratorların hasil etdiyi gərginliklərin sinusoidallığının pisləşməsi müşahidə olunur.

GEES çoxlu sayda işlədiciləri elektrik enerjisi ilə təmin edir. Gəmilərdə istifadə olunan elek-trik avadanlıqlarının 65-70%-ni asinxron elektrik mühərrikli elektrik intiqalları təşkil edir [2, 3].

Beləliklə, müxtəlif elektrik işlədicilərinin elektromaqnit uzlaşmasını qiymətləndirmək məqsədilə, sistemin kompleks tezlik xarakteristikalarını araşdırmaq lazım gəlir. GES-inəsas işlədicilərisə qapanmış rotorlu asinxron mühərriklər olduğunu nəzərə almaqla *n* saylı harmonikaları düz və əks ardıcıllıqla təyin etmək lazımdır [3, 4].

Dəniz şəraitində, gəmi elektrik avadanlıq və qurğuları GEŞ-dən qidalanırlar. Bu şəbəkələrin əsas enerji mənbəyi dizel-generatorlar olaraq maşın şöbəsində quraşdırılmış paralel işləyən sinxron generatorlardan ibarətdir. Belə bir enerji kompleksi, öz aralarında ötürücü xətlər ilə əlaqələndirilmiş avtonom elektrik stansiyalarından paylayıcı qurğulardan və elektrik tələbatçılardan təşkil olunmuşdur. Məlum olduğu kimi gəmilərdə xeyli sayda

mürəkkəb quruluşlu və xarakterli elektrik avadanlıqlarından və eyni zamanda dəqiq ölçü və çevirici cihazlardan istifadə olunur. Belə cihaz və avadanlıqlar isə öz növbəsində qidalandıqları elektrik enerjisinin keyfiyyətinə qarşı həssasdırlar. Odur ki, avtonom elektroenergetik sistemlərində istehsal olunan elektrik enerjisinin keyfiyyətinin analiz olunması məqsədilə tədqiqat aparılmışdır.

Gəmilərdə xeyli sayda olan asinxron mühərriklərin işə düşməsi zamanı generatorların çıxışında gərginliyin normadan artıq azalmasına, dinamik yüklərin təsirindən isə tezliyin aşağı düşməsi halları baş verirki, bu da öz növbəsində elektrik enerji keyfiyyətinin pisləşməsilə müşahidə edilir. Bundan əlavə generatorların uzun müddətli iş rejimində qeyri-simmetrik yüklənmədən faza gərginlikləri fərqi yaranır. Qarşıya qoyulan məsələnin həllində elektrik təchizatı sxemlərinin, xüsusiyyətləri, eləcə də etibarlılığı nəzərə alınmalıdır.

Əsas hissə: Mənbə və elektrik işlədiciləri arasında yüksək harmonikaların olması elektrik şəbəkələrində əlavə aktiv güc və enerji itkilərinin yaranmasına səbəb olur. GEŞ-də yüksək harmonikaların mənbəyi sinxron generatorlardır ki, bu da onların maqnit dövrələrinin xüsusiyyəti ilə əlaqədardır. Sinxron generatorun yüksüz işləmə e.h.q.-nin qeyri-sinusoudallığı, nəticə etibarilə, yük rejimlərində cərəyanların qeyri-sinusoidallığına səbəb olsa da, sistemdəki ventil çevricilərinin yaratdıqları harmonik cərəyanlara nisbətən çox az bir faiz təşkil edir. Amma, istənilən halda, qeyri-sinusoidal cərəyanlar hesabına əlavə aktiv güc və enerji itkiləri yaranır ki, bu da əlavə yanacaq sərfinə səbəb olur. Beləliklə, elektrik şəbəkələrinin elektrik işlədicilərinin işinin səmərəliliyinin yüksəldilməsi, gəminin istismar keyfiyyətinin yüksəldilməsi, avadanlıqların iş rejimlərinin yaxşılaşdırılması, elektrik enerji itkilərinin azaldılması kimi bir çox həll olunacaq məsələlər ortaya çıxır [4, 5].

Qeyri-sinusoidallıqdan yaranan enerji itkisi ümumi halda aşağıdakı ifadənin köməyilə təyin edilir:

$$\Delta W = \Delta W f_n + \Delta W_{q.s} (1)$$

Bu hesabat iki mərhələdə aparılır. Birinci mərhələdə qeyri-sinusoidal cərəyan işlədicilərinin yalnız birinci harmonikasına aid olunur, 2-ci mərhələdə isə cərəyan əyriləri harmonik sıraya ayrılır və ayrı-ayrı rejimlər üçün hesabat aparılır:

$$\Delta W_{q.s} = 3T \sum_{v=3}^{v=n} K_{f.v}^2 J_{02.v}^2 R_v (2)$$

burada: T-elektrik şəbəkəsinin elementlərində itkilərin nəzərə alındığı iş müddəti;
$K_{f.v}$ - yük qrafikinin forma əmsalı olub, cərəyanın v-saylı harmonikasına aiddir;
$J_{02.v}^2$ - nəzərdə tutulan elementdə cərəyanın v -saylı harmonikasının orta qiyməti;
R_v - həmin elementin aktiv müqaviməti;
n - cərəyanın nəzərə alınan harmonikalarının sayıdır.
Sinxron generatorlarda yaranan əlavə güc itkilərini

$$\Delta P_{q.s} = \Delta P_{q.s.m} + \Delta P_{q.s.n} + \Delta P_{q.s.t} (3)$$

ifadəsi ilə təyin etmək məqsədə uyğundur.

Burada :$\Delta P_{q.s.m}$- dolaqlardakı əlavə mis itkiləri;

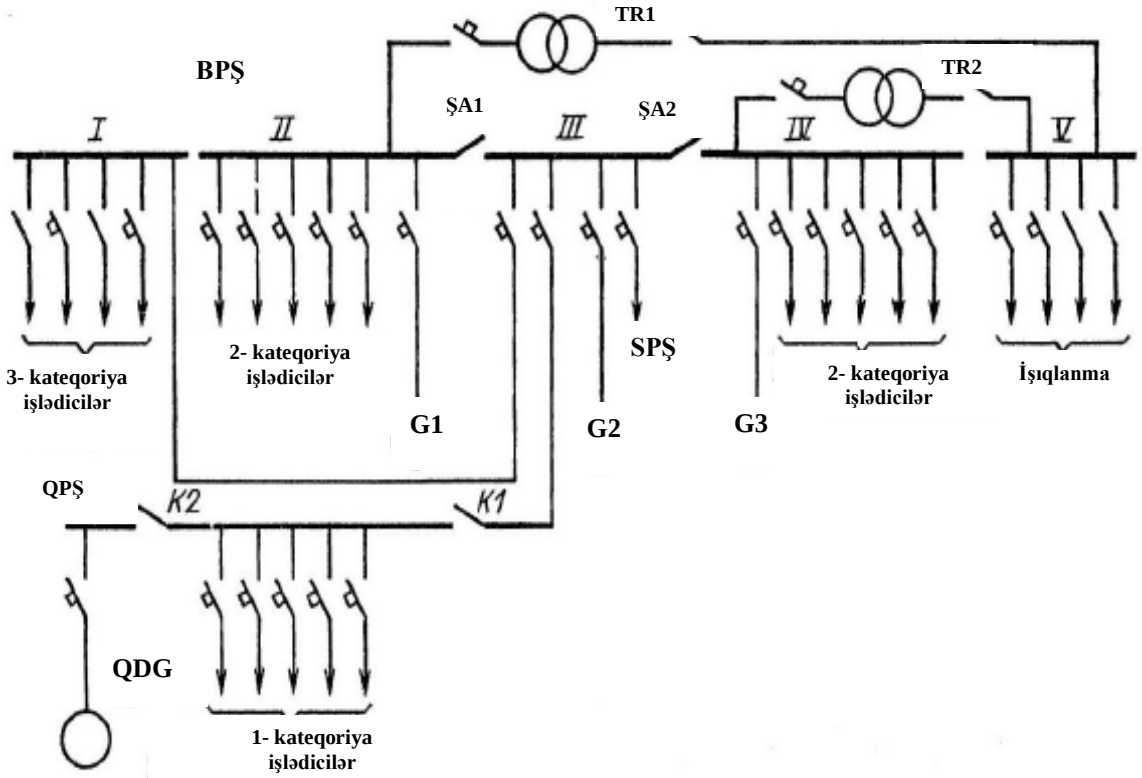
$\Delta P_{q.s.n}$- nüvədəki polad itkiləri;

$\Delta P_{q.s.t}$ - isə yüksək harmonikalardan yaranan əyləc momentini dəf etməyə sərf olunan güc itkisidir.

Kabellərdə yaranan əlavə itkilər aşağıdakı ifadəilə təyin olunur.

$$\Delta P_{q.s} = 3 \sum_{v=3}^{v=n} K_v^2 J_v^2 R_v (4)$$

Şəkil1-də GES-in sadələşmiş birxətli sxemi, şəkil 2-də isə düz və əks ardıcıllıqlı harmonikalar üçün K_v - əmsalının orta qiymətinin dəyişmə qrafikləri qurulmuşdur.



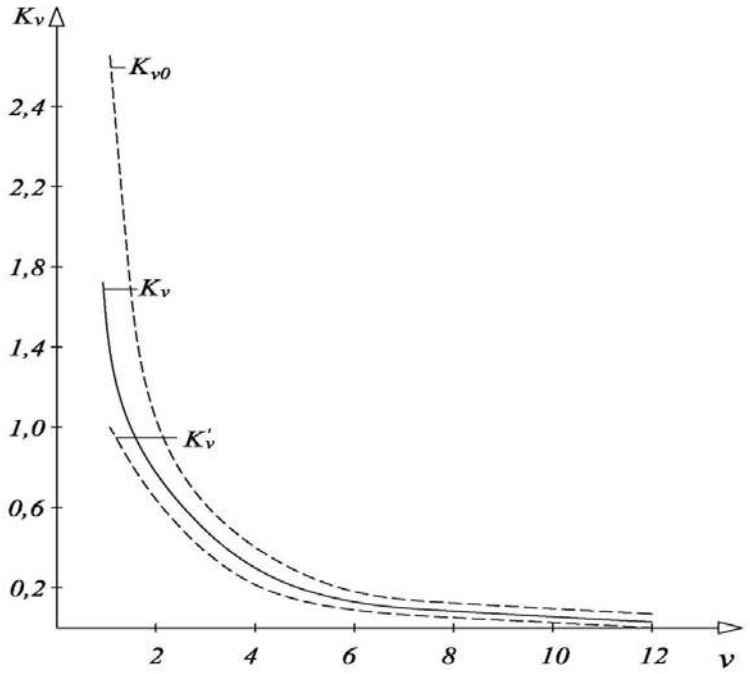
Şək.1. Gəmi elektrik stansiyasının sadələşmiş birxətli sxemi.

Ümumiyyətlə, GEES-in əsas elektrik stansiyasının vəzifəsi gəminin istismar rejimlərində işləməsi lazım gələn qurğuların hamısını elektrik enerjisilə təmin etməkdir. Qəza elektrik stansiyası isə əsas elektrik stansiyası sıradan çıxdıqda, yüksək dərəcədə məsul işlədiciləri elektrik enerjisi ilə təmin edir. Gəmi elektroenergetika sistemlərinin elektrik stansiyaları arasında bir, və ya iki elektrik xətti qurulur. Onların vəzifəsi elektrik enerjisini əsas elektrik stansiyasından qəza elektrik stansiyasına vermək, ya da əsas elektrik stansiyaları arasında birbirinə elektrik enerjisi vermək üçün, əlaqə yaratmaqdan ibarətdir [4, 5].

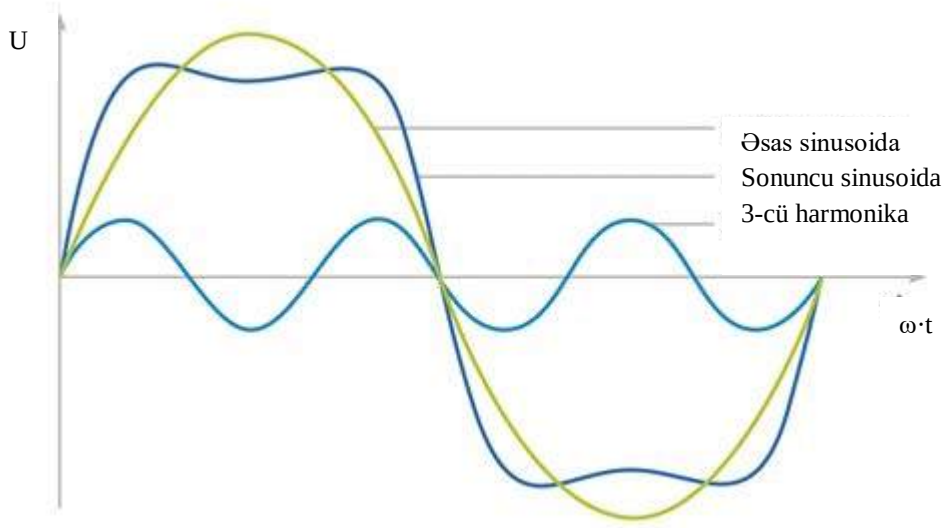
Gəmi elektroenergetik sistemlərinin istismar prosesində elektrik enerjisi sərfinin və enerji itkilərinin azaldılması imkanları araşdırılarkən, enerji balansının əsas üç növü nəzərdə tutulur: faktiki balans-mövcud şəraitdəki enerji tələbatçılarının əks etdirilməsi, normallaşdırılmış balans-enerji tələbatının optimallaşdırılması və itkilərin azaldılması tədbirləri və nəhayət prespektiv balans-gələcək inkişafı nəzərə alaraq keyfiyyət dəyişikliklərinin normallaşdırılması və proqnozlaşdırılması [4, 5].

Gəmi elektrik sistemlərində, tələbatçılar keyfiyyətli elektrik enerjisi ilə təmin olunmalıdır. Bu isə öz növbəsində elektrik enerji itkilərinin azaldılması və avadanlıqların istismar müddətinin artırılmasına imkan yaradır. Məhsuldarlığın yüksəldilməsi və sabit saxlanılmasında göstərilən faktorların rolu olduqca əhəmiyyətlidir. Elektrik enerji itkilərinin azaldılmasının ən effektli üsullarından biri reaktiv gücün kompensasiyasıdır. Kompensasiya təbii və süni üsullar vasitəsilə yerinə yetrilir [1].

Gəmi elektrik sistemlərində reaktiv gücün kompensasiyasında əsasən süni üsula daha çox üstünlük verilir. Bu məqsədlə sinxron komensator və ya kondensator batareyalarından istifadə olunur.



Şək.2. Düz və əks ardıcıllıqlı harmonikalar üçün Kv əmsalının orta qiyməti.



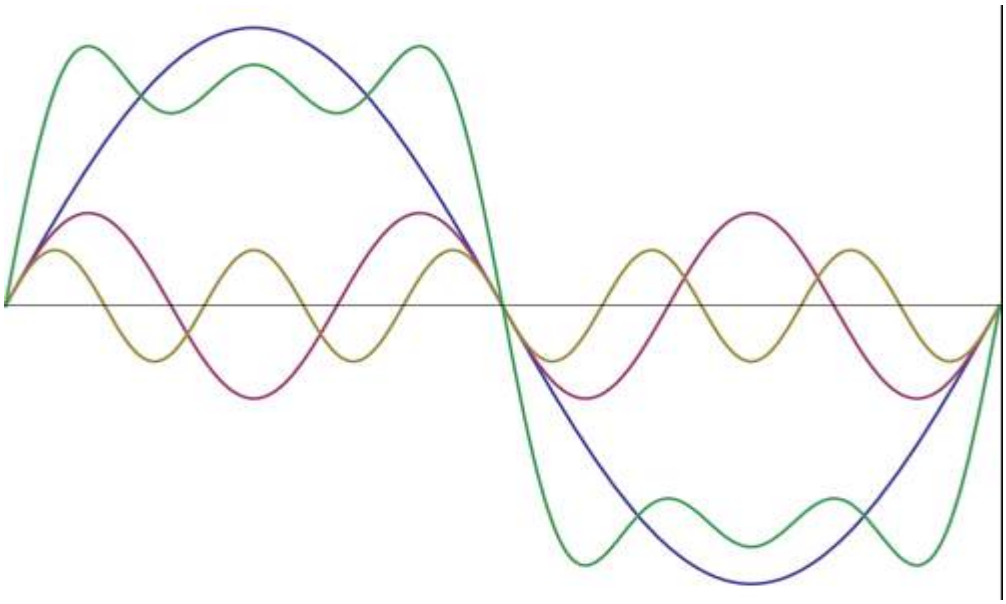
Şək.3. Harmonikalı və harmonikasız dalğa qrafikləri.

Qeyd ɪməti 95%-ə çatdırılmışdır. Kanada da bu əmsal hətta 90÷100% arasına, Fransada 93%, Portuqaliyada 92%, Macarıstanda 92÷97% və s. yüksəldilmişdir. Azərbaycanda da güc əmsalının və eləcə

də qidalandırıcı elektrik enerjisinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün bir çox tədbirlər görülməkdədir.

Elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəriciləri dünya standartları ilə müqayisə olunmalıdır. Bu məqsədlə keyfiyyətlə əlaqəli bütün parametrləri həm anlıq olaraq izləyən həm də keyfiyyət dəyişmələrini qeyd edən cihazlara ehtiyac yaranır. Odur ki, elektrik enerjisi keyfiyyətinə nəzarət etmək üçün enerji keyfiyyətinə təsir edən parametrlər anlıq olaraq ölçülməli, internet əlaqəsi ilə mərkəzi kompyuterə qeyd olunmalıdır. Bu parametrlərin qeyd olunması ilə yanaşı keyfiyyətdəki dəyişikliklər yaddaşda saxlanılmalıdır [5,6].

Enerji keyfiyyətsizliyindəki dəyişikliklərdə, zaman qeydi də olduğundan, bu sahədə müəssisələrdəki istehsalat itkilərini və zərərlərin səbəblərini təxmini olaraq hesablamaq olar. Avtonom energetik qurğularda aparılmış ölçülərin nəticəsində alınmış əyrilər şəkil3 və 4-də göstərilmişdir. Əyrilərdən görüldüyü kimi gərginlik və cərəyan əyrilərində dalğa şəkilli kənara çıxmalar müşahidə olunur. Yarımkeçirici elementlərin cihazlarda istifadəsi belə kənara çıxmaları xeyli artıraraq GES-in hasil etdiyi elektrik enerjisinin keyfiyyətini xeyli pisləşdirir.



Şək.4. Harmonikasız əsas sinusoida və harmonik hissələr.

Güc sistemində gərginlikdə harmonik hissələr olanda bundan bütün yüklər təsirlənir. Harmonika daşıyan bir cərəyan isə sadəcə harmonik cərəyan əmələ gətirən bir yükə təsir edə bilər. Harmonikalarla əlaqəli xüsusiyyətlər aşağıdakı kimi ifadə olunur:
Gərginliyin effektiv qiyməti:

$$U = \sqrt{U_0^2 + \frac{U_{1m}^2 + U_{2m}^2 + U_{3m}^2 + U_{4m}^2 + \cdots + U_{nm}^2}{2}}$$

və ya

$$U = \sqrt{(U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \cdots + U_n^2)}$$

Burada $U_1 U_2 \cdots U_n$, hər bir harmonikanın effektiv qiymətləridir
Cərəyanın effektiv qiyməti

$$\text{İ} = \sqrt{\text{İ}_0^2 + \frac{\text{İ}_{1m}^2 + \text{İ}_{2m}^2 + \text{İ}_{3m}^2 + \text{İ}_{4m}^2 + \cdots + \text{İ}_{nm}^2}{2}}$$

$$\text{İ} = \sqrt{(\text{İ}_0^2 + \text{İ}_1^2 + \text{İ}_2^2 + \text{İ}_3^2 + \text{İ}_4^2 + \cdots + \text{İ}_n^2)}$$

Gərginliyin cəm harmonik dəyişikliyi:

$$\%CHD_u = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 + \cdots + U_n^2}{U_1}}$$

Cərəyanın cəm harmonik dəyişikliyi

$$\%CHD_{\text{İ}} = \sqrt{\frac{\text{İ}_2^2 + \text{İ}_3^2 + \text{İ}_4^2 + \text{İ}_5^2 + \cdots + \text{İ}_n^2}{\text{İ}_1}}$$

Harmonikaların sistemdə və gəmidə səbəb olduğu mənfi təsirləri aşağıdakılardan ibarət olur:

- Kompensasiyadakı kondensatorların həddindən artıq yüklənməsi və ömürlərinin azalması;
- Rele, ayırıcı və qoruyucuların səhv işləməsi;
- Xətlərin həddən artıq qızması;
- III və V harmonikaların neytral xətti həddən artıq yükləməsi;
- Sistemdə ardıcıl və paralel rezonanslar;
- Sayğaclarda ölçü xətaları;
- Transformatorlarda itkilərin artması;
- Mühərrik, generator və keçirici xətlərdəki itkilər;

Sistemdəki digər yükləri harmonikaların mənfi təsirindən mühafizə etmək və işlədiciyə daha keyfiyyətli enerji ötürülə bilməsi üçün harmonikalar müəyyən səviyyədə saxlanılmalıdır. Ümumiyyətlə qeyri-xətti yüklərin meydana gətirdiyi harmonik hissələri məhdudlaşdırmaqla standartlara uyğunlaşdırmaq mümkün olur.

Beləliklə gəmi elektrik qurğularının elektrik təchizatı sistemlərində, yüklərin quraşdırılması, mövcud avadanlıqların yeniləşdirilməsi, yük altında tənzimləmə qurğularından istifadə, elektrik enerjisinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi və s.bir çox məsələlərin kompleks tədbirlərinin görülməsi, avtonom elektroenergetik sistemin səmərəli və etibarlı işini təmin edər.

NƏTİCƏ

Məqalədə göstərilən ifadələrin köməyilə aparılmış hesabatların nəticəsi olaraq, qeyd etmək olar ki, dəyişən cərəyan elektrik intiqalların qidalandırılmasında enerji mənbəyi tərəfində yaranan güc itkiləri ümumi gücün 1%-ni təşkil edir. Bu isə dizel-generator qurğusunun istifadə etdiyi yanacağın müvafiq olaraq artırılmasını tələb edir. Bu zaman GEŞ-in ayrı-ayrı hissələrində itkilərin kifayət qədər olması müxtəlif iş rejimlərində onlara nəzarət etməyi tələb edir. Həmçinin gəmilərdə generatorlar vasitəsilə hasil olunan elektrik enerjisinin itkilərinin azadılması və enerji istehsalının maya dəyərinin aşağı salınması məsələsinə və elektrik şəbəkələrinin kompleks avtomatlaşdırılması, texnologiyanın müasirləşdirilməsi və təkmilləşdirilməsi nəticəsində elektrik enerjisinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi məsələsinə aid tədbirləri araşdırılmışdır.

1. *Mehdiyev H.A.* Gəmilərin avtomatlaşdırılmış elektroenergetika sistemləri. Ali məktəb tələbələri üçün dərslik. Bakı: ”Nurlan”, 2006, s.340.
2. *Sultanov E.F., Cəlilov T.A.* Müasir gəmi elektrik stansiyaları və şəbəkələri, Bakı, ADDA mətbəəsi, 2018 s.330.
3. *Лёмин П.А., Пруссаков А.В., Григорьев А.В.* Эксплуатация судовых систем электроснабжения. Учебное пособие Санкт-Петербург: ГМА им. Адм. С.О.Макаров, 2009г, с.180.
4. *Həmidov M.H., Muradova R.Ə.* “Dəniz–neft mədən elektrik avadınlıqları” Bakı2012, s.301.
5. *Həmidov M.H., Məhərrəmov R.N.*“Elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəriciləri və onların normalaşdırılması”. Energerikanın problemləri. Bakı-2016. s. 99.
6. *Юревич Ю. Н., Кабиков К. В.* Особенности электроснабжения ориентированного на бесперебейного работу промышленное потребителя. Москва – 2005. с.297.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ИСМАИЛОВ С.С., СУЛТАНОВ Е.Ф., ДЖАЛИЛОВ Т.А.

В статье рассмотрены вопросы определения потерь мощности в генераторном кабеле и статорных обмотках синхронных генераторов судовой электростанции. Установлено, что при исследовании причин не синусоидальности кривых тока, достаточно учесть влияние первых семи гармоник. Также в статье указано на работу судового электрооборудования в неблагоприятных условиях, наряду с тем, что оно имеет различные режимы работы, а также исследованы задачи снижения потерь энергии в таком оборудовании и снабжение потребителей качественной электроэнергией.

Ключевые слова: судно, электростанции, синхронный генератор, потеря мощности, несинусоидальность, кабеля.

THE RESEARCH OF ELECTRİCAL ENERGY LOSSES AND QUALİTY İN THE SHİPS ELECTROENERGETİC SYSTEMS

ISMAILOV S.S., SULTANOV E.F., JALILOV T.A.

The article considers the issues of determining power losses in the generator cable and stator windings of synchronous generators of the ship powerstation. İt is established when studying the resons of the no sinusoidalcurrent curves, it is enough to take into account the impact of the first seven harmonics. The article also refers to the operation of marine electrical equipment in unfavorable conditions, along with the fact that it has various operating modes, aswell as studies of the task of reducing energy losses in such equipment and supplying consumers with high quality electric energy.

Keywords: ship, power station, synchronous generator, power loss, non-sinusoidal, cables.

UOT 621.311

GƏRGİNLİK KEYFİYYƏTİ VƏELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ GƏRGİNLİK REJİMLƏRİNİN ANALİZİ

HƏSƏNOV Q.Ə., RZAYEV M.A.

Azərbaycan Texniki Universiteti
garahasanov@gmail.com
rzayevmurad1997@yahoo.com

Elektrik enerjisinin keyfiyyətinə olan tələblər sənaye, kənd təsərrüfatı, ictimai, yaşayış binaları və s. sahələrdə istifadə edilən cihaz və avadanlıqların təkmilləşdirilməsi və inkişafı ilə əlaqədar daha da aktuallaşmışdır. Keyfiyyət göstəricilərinin əsasını elektrik şəbəkələrində gərginlik və tezlik meyletmələri və rəqslənmələri təşkil edir. Ona görə məqalədə əsasən şəbəkələrdə maksimal və minimal yüklənmə şərtlərində gərginlik dəyişmələri analiz edilmişdir. Bu məqsədlə gərginlik meyletmələrinin 2,5-5%-li dəyişmə hədlərinin qrafo – analitik hesabat üsuluna baxılır.

Açar sözlər: gərginlik keyfiyyəti, gərginlik düşküsü, orta və alçaq gərginlikli şəbəkələr, qida mərkəzi.

Elektrik enerjisinin keyfiyyətinin idarə edilməsi o zaman efektiv olur ki, qərar qəbul edən işçi heyyət kifayət qədər məlumatlı olsun. Personalın qərarları idarə edilən obyektdən alınan aşağıdakı iki cür məlumatlardan və onların çevrilməsi və emalından asılıdır: -ölçü və müşahidə (bu məlumatların nəticələri personalda saxlanılır və işçilərin peşə hazırlığından, sənədləşmədən, statistikadan və s.-dən asılı olur); - ikinci məlumat növü isə, personalın elektrik şəbəkəsinin modeli və model rejimi haqqında biliklərindən ibarətdir.

Personal elektrik rejim parametrləri və elektrik şəbəkə funksiyaları haqqında nə qədər çox bilərsə, ölçü və müşahidə məlumatlarından bir o qədər az istifadə edər. Məlumatlar xəbərlər şəkilində rəqəmsal kanallarla ötürülür. Xəbər siqnalları müxtəlif həcmlərdə olur. Məsələn 100 sözdən ibarət olan məlumat 10 sözdən ibarət məlumatdan daha həcmlidir. Eyni məlumatı müxtəlif sayda xəbərlə ötürdükdə məlumatın "sıxışdırılması"ndan istifadə edilir. Məlumatın sıxışdırılması onun ötürülməsində, alınmasında və emal olunmasında əmək tutumunu azaldır.

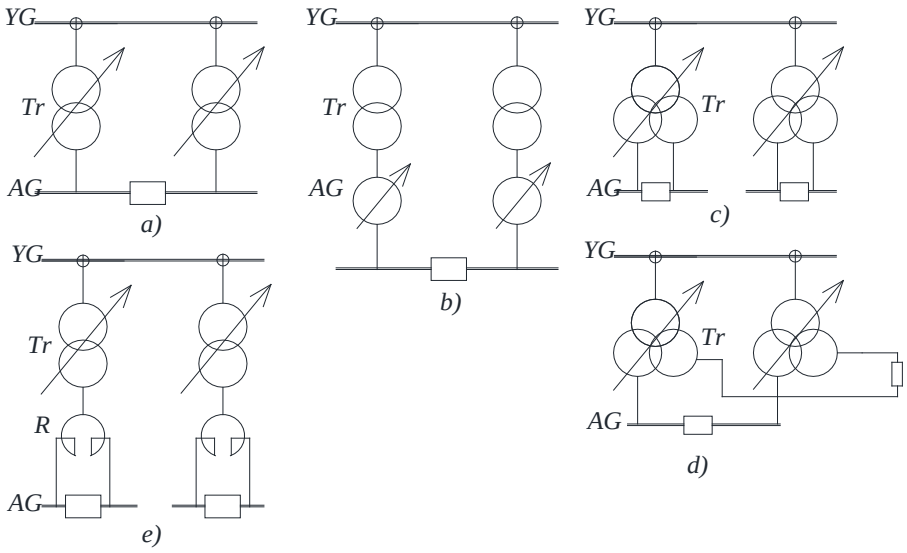
Gərginliklərin qida mərkəzlərində tənzimlənməsi çox effektiv olur. Bu zaman bütün paylayıcı şəbəkədə gərginlik rejimləri tənzimlənmiş olur. Bir çox hallarda QM-i şinlərində tənzimləmə şəhər şəbəkəsinin elektrik işlədicilərində Eİ gərginliyin keyfiyyətini tələb olunan səviyyəyə çatdırır və bu məqsədlər üçün əlavə xərclər lazım gəlmir. Gərginliyin istənilən qanunla avtomatik tənzimlənməsi üçün, xüsusi AGT avtomtik gərginlik tənzimləyiciləri tətbiq edilir şək.1.

Bir sıra hallarda QM də tənzimlənən gərginliklər bütün Eİ –nin sıxaclarında lazım olan keyfiyyətli gərginliyi təmin edir. Bu o halda mümkün olur ki, OG şəbəkəsinin uzunluğu az, şəbəkəyə qoşulan yüklər isə bircinsli və ya ona yaxın olsun şək.1.

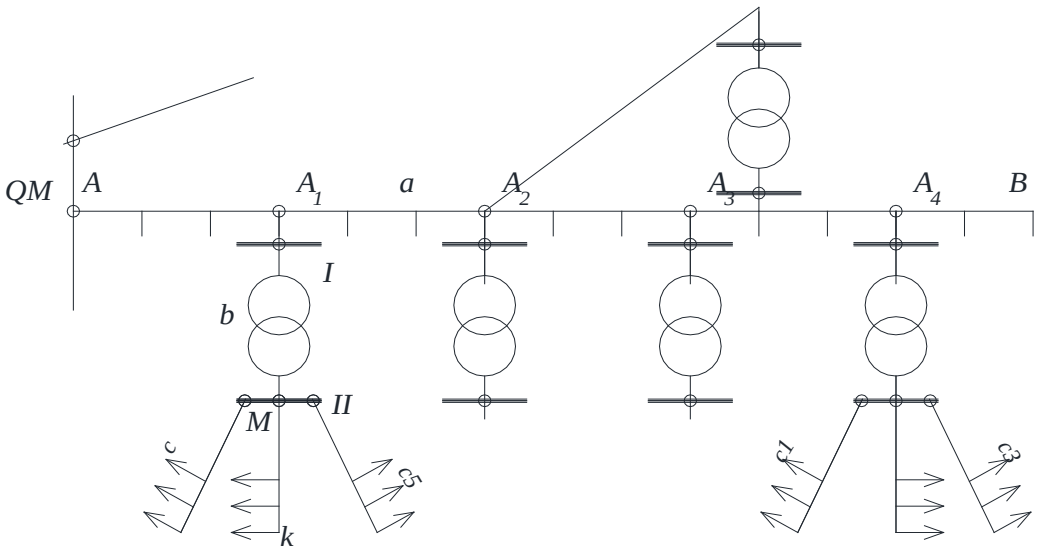
Təsiredici amillərin qarşılıqlı əlaqələrini, paylayıcı şəbəkənin xarakteristik parametrləri və keyfiyyət göstəricilərini aydınlaşdırmaq üçün, bütünlükdə şəbəkənin xarakterik və kənar hədlərdəki iş rejimlərini nəzərə alan ümumiləşdirilmiş qrafik qurulmalıdır.

Analizlər üçün ümumiləşdirilmiş diaqramın qurulmasında, nisbi vahidlər (faizlə) və maksimal yüklənmə şərtlərində gərginlik düşüküsü V^1 ordinat oxunda vəminimal yüklənmədə gərginlik düşküsü V^{11} –in qiymətləri absis oxunda qeyd edilir. Standartlara uyğun olaraq gərginik düşkülərinin bu qiymətləri işlədiciərin girişində buraxılan hədlərini aşmamalıdır. Sadəlik üçün bu hədləri +5% və-5% götürürlər. Belə oduqda Eİ-in girişində gərginliyin

buraxılan hədləri *abcd kvadratı* şək.3-də olduğu kimi göstərilir. Kvadratın tərəfi 10%, gərginlik düşüküsünə, mərkəzi isə koordinat başanğıcına düşür.

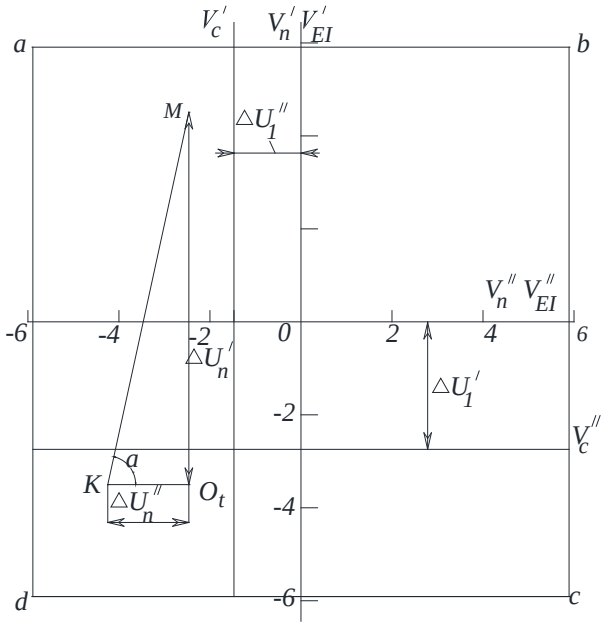


Şək.1 Alçaldıcı yarımstansiyaların tipik və prinspial sxemləri.



Şək.2.Orta gərginlikli OG və aşağı gərginlikli paylayıcı şəbəkələrin prinspial sxemləri.

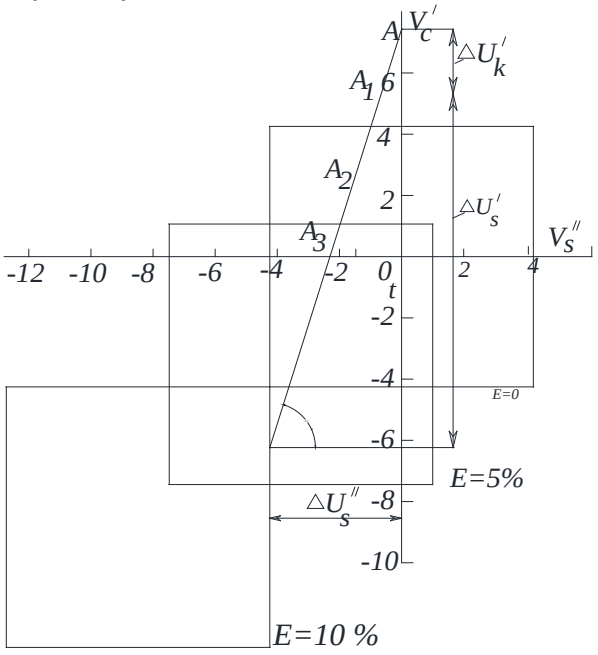
Qida mərkəzləri, orta gərginlik OG (a-b) və aşağı gərginlik AG (M-K) nöqtələri arası paylayıcı şəbəkələrdə gərginlik rejimlərinin tədqiqatları üçün şək.4.3 və ümumiləşdirimiş diaqramlar üsulu istifadə edilir. Şəkildə *M* nöqtəsi AG xəttinin başalanğıcına, *K* nöqtəsi isə həmin xəttin ən uzaq elektriki nöqtəsinə uyğundur.



Şək. 3. Gərginlik rejimlərinə görə V[1] və V[11] koordinatlarında elektrik işədicilərinin buraxılan iş şəraitləri və asılılıqların ümumi diaqramı.

Verilmiş koordinat sistemində *MK* xəttinin başlanğıc *M* nöqtəsində gərginlik meyletmələrinin $V_{ş}^{!}$ $və V_{ş}^{!!}$ koordinatları ilə xarakterizə edilir.

Şək.3-də $V_{ş}^{!}$ $və V_{ş}^{!!}$ koordinatlarında qurulmuş diaqrama, tənzimləmə gərginliyi +5% olan OG paylayıcı transformatora (PT) qoşulması üçündür.Başqa OG tənzimləyicisi olan PT (0 və -5%, +2.5, 0, +2.5 və -5%-li beş budaqlanması olan) sxemlərdə diaqrama əlavə kvadratların quruması ilə çəkilir şək4.



Şək.4. QM-ə qoşulmuş OG və AG şəbəkələrində gərginlik rejimlərinin ümumi diaqramı.

Bu kvadratlar üç tənzimləyici budaqlanması olan transformatorlar üçün 5 və 10% aşağı və sol tərəfə sürüşdürülməlidir, beş tənzimləmə budaqlanması olan PT-larda isə 2.5, 5, 7.5 və 10% aşağı və sola sürüşdürülməlidir.

Deyilən qaydada qurulmuş şək.4 diaqramı, qida mərkəzinə QM-ə birləşmiş bütün OG və AG şəbəkələrinin gərginlik rejimlərini analiz edə bilir. Şək.4.4-də verilmiş koordinatlar sistemində diaqramın hər hansı nöqtəsində gərginlik meyletməsi şəbəkənin OG pilləsinə gətirilmişdir. OG və AG şəbəkələrində gərginlik düşküləri bilavasitə həmin diaqramlardan təyin edilir. Şək.4 diaqramında qurulmuş əlaqəli kvadratların məhdudlaşdırdığı oblast Eİ –nin iş şərtlərindən asılıdır. Orta gərginlik şəbəkəsinin şərtlərində gərginlik rejimlərinin qrafikini quraq şək.3. Prinsipcə qrafik fərqli bucaq əmsalına malikdir:

$$tga_{Ş} = \frac{\Delta U'_{Ş}}{\Delta U''_{Ş}} = \frac{1}{\beta} \qquad (1)$$

OG şəbəkəsində gərginlik rejiminin alınmış dəyişmə qrafikində ən böyük yük rejimi üçün uc nöqtələrinin fərqi ordinat oxunda $\Delta U'_{Ş}$, absiss oxunda isə, ən kiçik yük rejimi üçün qiymətlər fərqi $\Delta U''_{Ş}$ verilmişdir.

AB düz xəttinin üzərində, yuxarı kvadrantda alınmış *A-A1* hissəsi göstərir ki, şəbəkənin həmin hissəsinə OG gərginlikli paylayıcı transformator PT birləşdirmək olmaz. Çünki, şəbəkənin həmin hissəsində AG gərinlikləri buraxıla bilən hədlərdən kənara çıxır. Beləliklə, gərginliyin verilmiş rejimində QM-in OG şəbəkə hissəsinin ən böyük yüklənmə rejimi üçün $\Delta U`_k$ -ə bərabər olan itkilərinə görə həmin hissə QM ilə yaxınlıqdakı PT arasında birləşdirici kimi olmalıdır. Şəbəkənin sonra gələn hissələrinə PT birləşdirilə biər. Maksimal yüklənmə rejimində ən böyük gərginlik düşküsünün 5% oldduğu A_1 – A_2 OG şəbəkə hissəsinə budaqlanma ilə +5%-li PT birləşdirmək olar. AG şəbəkələrinin həmin PT-dən aldığı gərginliklərin fərqli düşkülərdə olduğu görünür. QM-ə ən yaxın olan A_1 transformatorunun AG şəbəkəsində maksimal yüklənmə rejimində buraxılan gərginlik düşküsü $\Delta U_{ənböy}$ =10 % olur, ən uzaq A_2nöqtəsinə birləşdirilmiş PT işlədicisində isə $\Delta U_{ənuzaq}$ =5 % olur. OG şəbəkəsinin sonrakı A_2 - A_4 hissələrinə 0 %-li tənziməyici budaqlanmalar birləşdirmək lazımdır. Bu halda həmin hissənin AG şəbəkələrinin iş şəraitləri əvvəlki şəbəkə hissəsində olduğu kimi qalacaqdır. Beləlikə, OG şin sisteminə qoşulan yüklərin seçilməsilə işlədicilərin elektrik təchizatının etibarlılığını artırmaq, şəbəkə elementlərində güc və enerji itkilərini azaltmaq, keyfiyyət və texniki-iqtisadi göstəriciləri yüksəltmək olar. A_2 – A_4 hissəsində tənzimləyici budaqlanması olan AG şəbəkəsində ən böyük gərginlik itkiləri 10% -ə bərabərdir. Bu A_2nöqtəsinə tənzimləyici budaqlanma ilə birləşdirilmiş PT şəbəkəsinə aiddir. A_3 nöqtəsinin PT –una birləşdirilmiş AG şəbəkəsinin gərginlik düşküləri -7,5% və A_4 nöqtəsinin PT-una birləşdirilmiş işlədicilərin gərginlik düşküləri 5% olur, şək. 2.

OG şəbəkəsinin alınmış diaqramından görünür ki, -5%-li budaqlanma tənzimləyicisi olan paylayıcı transformatorun qoşulması yol verilməzdir. Çünki A_4 *-B* xəttinin həmin hissəsi, kvadrantın Eİ gərginliyinə görə buraxıla bilən həddini keçir. A_4B hissəsinə orta budaqlanmada 0% PT birləşdirilməsi də məqsədə uyğun olmur. Çünki bu zaman AG şəbəkəsinin buraxıla bilən gərginik düşüküsü 5% -dən kiçik olur.

Praktiki olaraq AG şəbəkələrində buraxıla bilən gərginlik düşküləri fərqli olmamalıdır. Ona görə yük rejiminin dəyişməsilə tənzimləyici budaqların tez-tez dəyişdirilməsi şərtlərindən imtina etmək lazımdır. Bu məqsədlə maksimal yüklənmə şərtləri üçün, AG şəbəkələrində gərginlik itkilərinin ən aşağı hədləri nəzərdə tutulmalıdır.

NƏTİCƏ

Gərginlik keyfiyyətinə olan tələbləri nəzərə alaraq gərginliyin qida mənbəyində tənzimlənməsi daha məqsədəuyğundur. Gərginlik meyletmələrinin müxtəlif dəyişmə hədlərinin qrafo – analitik hesabatı araşdırılmışdır. Bu hədlərin 2,5-5% - li dəyişilməsi

alınmışdır. Maksimal və minimal yüklənmə şərtlərində gərginlik düşküsünün hesablanması analiz edilmişdir.

---

1. *Ульянов С. А.* Электромагнитные переходные процессы в электрических системах [Текст]: учеб. для вузов / С. А. Ульянов. – М.: Энергия, 1970. с.520.
2. *Герасименко А.А.* Электроэнергетические системы и сети. Расчетыпараметров и режимов работы электрических сетей [Текст]: Учеб. пособие: в 2ч. Ч. 1 /Герасименко, А.А., Чупак, Т.М. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. –с.222.
3. *Неклепаев Б.Н.* Электрическая часть электростанций и подстанций:Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования [Текст]:Учеб. пособие для вузов / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – с.608.
4. http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1637640&isnumber=34324

АНАЛИЗКАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ И РЕЖИМОВ НАПРЯЖЕНИЯВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ГАСАНОВ Г.А., РЗАЕВ М.А.

В связи с усовершенствованием и развитием приборов и агрегатов, используемых в области промышленности, сельского хозяйства, общественного и жилищного строительства и т.д., требования к качеству электроэнергии возросли. Основными показателями качества электроэнергии являются напряжение, отклонение и колебания частоты в электросетях. Поэтому в статье в основном рассматривается отклонение напряжения в режиме максимальной и минимальной нагрузки. С этой целью отклонение напряжения в диапазоне 2.5-5% было рассмотрено графо-аналитическим методом расчета.

Ключевые слова: качество напряжения, падение напряжения, сети среднего и низкого напряжения, центр питания.

VOLTAGE QUALITY AND ANALYSIS OFVOLTAGE REGIMES IN ELECTRICAL NETWORKS

HASANOV G.A., RZAYEV M.A.

Electricity quality requirements include industry, agriculture, public housing, etc. the improvement and development of devices and equipment used in the field. The main indicators of quality are voltage and frequency tension and oscilatory in electrical networks. Therefore, the article mainly analyzes the voltage changes in the maximum and minimum load conditions on the networks. For this purpose, a graphical-analytical reporting method with volatility deviations of 2.5-5% is considered.

Keywords: tension quality, voltage drop, moderate to low voltage networks, powercenter.

УДК.621.313

TƏSİRLƏNMƏSİ TƏNZİMLƏNƏN SİNXRON GENERATORLU VAL-GENERATOR QURĞUSUNDA ELEKTROMEXANİKİ REZONANSIN TƏDQİQİ

RÜSTƏMOV R.M.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
ramiz.rüstəmov@mail.ru

[1,2]-də müəyyən edilmişdir ki, dənizin dalğalanması səbəbindən sinxron val- generatorda məcburi rəqslər yaranır. Sinxron generatorun gəmi dizel generatoru ilə paralel işlədiyi zaman, göstərilən rəqslər sərbəst rəqslərdə toplanaraq təhlükəli nəticələrə gətirə biləcək elektro-mexaniki rezonans yarada bilər. Bu məqalədə gəmi üçün təhlükəli olan, qeyd olunmuş rejimin tədqiqinin nəticələri verilmişdir. Göstərilmişdir ki, sinxron generatorun təsirlənməsinintənzimi ilə rəqslərin əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasına nail olmaq mümkündür.

Acar sözlər: val-generator qurğusu, sinxron generator, elektromexaniki rezonans, təsirlənmənin tənzimi.

[3] – də göstərildiki, sinxron generatorun, təsirlənmə dolağına avar vintinin momentinin dəyişmə tezliyi ilə gərginliyin dəyişən mürəkkəbəsinin verilməsi sayəsində rotorun rəqslərini azaltmaq olar. Bu halda sinxron generatora iki harmoniki dəyişən təsirləndirici təsir tətbiq edilir:

1) avar vintinin müqavimət momentin fluktuasiya mürəkkəbəsi
2) təsirlənmə gərginliyi

Bunlardan birincisi birbaşa generatora, ikincisi isə təsirlənmə sisteminə tətbiq edilir və elektromaqnit yolla rotorun hərəkət xarakterinə təsir edir.

Qeyd edilən təsirləndirici təsirlər, işarələr eyni olduqda, müxtəlif istiqamətlərdə rotorun nisbi hərəkətini yaradır. Belədiki, avar vintinin müqavimət momentinin artımı rotorun dönmə bucağını artırır, təsirlənmə gərginliyinin artımını isə bu bucağı azaldır.

Əgər amplitudalar eyni olarsa, birinci təsir ikincisi ilə kompensasiya olunacaqdır. Deyilənləri nəzərə alsaq yazmaq olar [1]:

$$\Delta\dot{\delta} = \frac{\Delta\dot{M_V} - \dot{M_{ef}}}{-\omega_v T_j + J\omega_v K_1 + K_2} \quad (1)$$

Burada $\Delta\dot{\boldsymbol{M}}_{\boldsymbol{ef}}$-təsirlənmənin tənzimlənməsi səbəblərindən yaranan elektromaqnit momentinin artımıdır.

(1) ifadəsindən görünür ki, rotorun rəqslərini tamamilə yox etmək üçün$\Delta\dot{\boldsymbol{M}}_{\boldsymbol{V}} = \dot{\boldsymbol{M}}_{\boldsymbol{ef}}$ olmalıdır ki, yəni bu momentlərin həm amplitudaları həm də fazaları bərabər olmalıdır.

Təsirlənmənin tənzim olunması zamanı sinxron generatorun elektromaqnit moment artımının amplitudası aşağıdakı ifadənin həqiqi hissəsi ilə təyin edilir:

$$\Delta M_{ef} = R_e \left[U sin\delta_0 \cdot \frac{G_d(j\omega)}{X_d(j\omega)} \cdot \Delta U_f \right] \quad (2)$$

burada $\boldsymbol{G_d(j\omega)}$ və$\boldsymbol{X_d(j\omega)}$ – kompleks keçiricilik və induktivlik müqavimət;
$\Delta\boldsymbol{U_f}$ – təsirlənməgərginliyinin artımıdır. $\boldsymbol{G_d(j\omega)}$ – nin ifadəsi belədir:

$$j\omega) = \frac{X_{ad}/r_f}{1 + j\omega T_{do}} \quad (3)$$

Burada və bundan sonra işarələr ümumi qəbul edilmişlərdir [3].
(3)-ü (2) -ə qoysaq alarıq:

$$\Delta M_{ef} = R_e \left[\frac{U_{sin\delta_0}}{X_d}(1 + j\omega T_{do})K_f \cdot \Delta U_f\right] \qquad (4)$$

Burada$K_f = \frac{X_{ad}/r_f}{1+(T^{l}d)^2}$
(4)- dən həqiqi hissəni ayiraraq taparıq:

$$\Delta M_{ef} = \frac{U_{sin\delta_0}}{X_d} \cdot \frac{X_{ad}/r_f}{1+(T^{l}d)^2} \cdot \Delta U_f (5)$$

$*$ bu ifadə elektromaqnit momentin $\boldsymbol{M_e = \psi_d i_q - \psi_q i_d}$əsas ifadəsinəəsasən çıxarılır.
Burada qeyd etmək lazımdır ki, $\boldsymbol{\Delta U_f}$ **d** $(\Delta\boldsymbol{\delta})$ **/ dt,** $\boldsymbol{d^2(\Delta\delta)/dt^2}$ və s. kimi siqnal funksiyaları olaraq, təsirlənmə tənzimləyicisi tərəfindən avtomatik formalaşdırılır.

Ümumi halda təsirlənmə dolağında gərginlik aşağıdakı formada olur:

$$U_f = U_{fo} + \Delta U_f = U_{fo} + K_{f1}\frac{d(\Delta\delta)}{dt} + K_{f2}\frac{d^2(\Delta\delta)}{dt^2} \qquad (6)$$

Təsirlənmənin tənzimlənməsi səbəbindən təsirlənmə dolağında cərəyan artımının amplitudası

$$\Delta i_f = \frac{\Delta U_f/\tau_f}{1+(T^{l}d)^2} \qquad (7)$$

$\boldsymbol{\Delta i_f}$ təsirlənmə cərəyanının artımını bilərək, sinxron generatorun lövbər dolağında elektrik hərəkət qüvvəsi artımı:

$$\Delta e_f = \Delta i_f \cdot X_{ad} \qquad (8)$$

$\boldsymbol{\Delta e_f}$elektrik hərəkət qüvvəsinin qiyməti və son nəticədə$\boldsymbol{\Delta M_{ef}}$ – i təyin edir.
Əgər (5) və (7) ifadələrində$\boldsymbol{\omega=0}$ qoysaq, qərarlaşmış rejim üçün elektromaqnit moment artımının ifadəsini alarıq:

$$\Delta M_{ef0} = \frac{U\Delta e_{f0}}{X_d}\sin\delta_0 \quad (9)$$

Sonuncu ifadəni biz mülahizələrimizin doğru olduğunu göstərmək üçün verdik. Həqiqətən də, $\boldsymbol{\omega=0}$$\boldsymbol{\Delta U_f=0}$ və$\boldsymbol{\Delta M_{ef}=0}$ olur. Bu başa düşüləndir. Yəni $\boldsymbol{\omega=0}$ olduqda, dalğanıntəsiri olmadıqda $\boldsymbol{\Delta M_V=0}$ olur və bu səbəbdən də təsirlənmənin tənzimlənməsinə ehtiyac qalmır.

Əlavə olaraq qeyd edək ki, təsirlənmə cərəyanının artımı $\boldsymbol{\Delta i_f}$, $\boldsymbol{\Delta U_f}$ gərginlik artımından fazaca geri qalacaq. Bu bucaq $\boldsymbol{a = arctg\omega T^{l}d}$ olur. Təsirlənmə dolağının zaman sabiti $\boldsymbol{T^{l}d}$ böyük qiymətə malik olduğundan hətta kiçik tezliklərdə (1-3) **Hs** belə bu bucaq 90^0olur. Bu amil o cümlədən ifadəsində$\boldsymbol{sin\delta_0}$ olduğu üçün təsirlənmə dolağına böyük cərəyanın verilməsi tələb olunur. Prinsip etibarı ilə təsirlənmə dolağına belə böyük cərəyan verməkolar. Digər tərəfdən isə, xüsusən də val-generator qurğusu üçün bu böyük çətinliklərləəlaqədardır. Böyük əlavə təsirlənmə cərəyanlar sinxron generatorun stator cərəyanının və reaktiv gücün böyük rəqslərinə gətirib çıxarır. Təbii olaraq bu gəmi elektroenergetik sisteminin işinə çox böyük mənfi təsir göstərir.

NƏTİCƏ

Müəyyən edilmişdir ki, sinxron val-generatorun təsirlənməsini tənzim etməklə, dənizin dalğalanması səbəbindən avar vintinin momentinin fluktasion mürəkkəbəsi təsirindən yaranan rotor rəqslərini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmaq olar. Digər tərəfdən isə belə tənzimləmə,

sinxron generatorun stator cərəyanın və reaktiv gücün rəqslərinin yaranmasına gətirib çıxarır. Beləliklə, standart konstruksiyalı sinxron generator val-generator qurğusunda elektromexaniki rəqslərin aradan qaldırılması məsələsini tam şəkildə həll edəbilmir.

---

1. *Rüstəmov R.M.* Sinxron val-generator qurğusunda elektromexaniki rezonansının tədqiqi / Gənc tədqiqatçı, 2018, IV cild, № 2, s.18-22.
2. *Abdulkadırov A.İ. Əliyev N.A., Rüstəmov R.M.* Sinxron val-generator qurğusunda məcburi rəqslər /Energetikanın problemləri, 2019, №2, s.3-5.
3. *Абдулкадыров А.И., Рустамов Р.М.* Математическое моделирование в электромеханике /Lambert Academic Publishinq (LAP), Берлин, 2015.
4. *Abdulkadirov A.İ., Əliyev N.A.,* Xüsusi elektrik maşınları. Monoqrafiya, Bakı, ELM nəşriyyatı, 2018, s.215.
5. *Абдулкадыров А.И., Рустамов Р.М.* Применение энергосберегающих принципов управления в судовых электрических установках) Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», РФ, 2014, №21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСАВ СИНХРОННОМ ВАЛОГЕНЕРАТОРЕ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

РУСТАМОВР.М.

Проанализированы методы демпфирования колебаний синхронного валогенератора, могущих быть причиной возникновения электромеханического резонанса. Это – установкана валу маховика и регулирование возбуждения синхронного генератора. Первый метод при выборе соответствующих параметров и конструкции маховика позволяет полностью погасить колебания. Однако его применение в валогенераторной установке сопряжено с определенными недостатками. Регулированием возбуждения синхронного генератора можно также избавиться от колебаний ротора. Однако здесь вместо колебаний ротора возникают колебания тока статора и реактивной мощности. Последние также не желательны в валогенераторной установке.

Ключевые слова: вал генератора, синхронный генератор, электромеханический резонанс, регулировка возбуждения.

RESEARCH OF ELEKTROMECHANICAL REZONANCE IN SYNCHRONOUS SHAFT GENERATOR WITH REQULATION OF EXCITATION

RUSTAMOV R.M.

The methods of damping the oscillations of a synchronous generator, which can be the cause of Electromechanical resonance, are analyzed. This is the installation on the flywheel shaft and regulation of excitation of the synchronous generator. The first method, when selecting the appropriate parameters and design of the flywheel, allows you to completely extinguish the vibrations. However, its use in the generator set is associated with certain disadvantages. By regulating the excitation of the synchronous generator, you can also get rid of the rotor oscillations. However, here, instead of rotor oscillations, there are oscillations of the stator current and reactive power. The latter is also not desirable in a shaft-generator installation.

Keywords: shaft generator, synchronous generator, electromechanical resonance, exposure regulation.

UOT 621-317.7;621-319

TEZLİK ÇEVİRİCİLİ ASİNXRON ELEKTRİK İNTİQALI

KƏRİMZADƏ G.S., MUXTAROV C.B.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetıı
Azərbaycan ,Bakı AZ 1010, Azadlıq prospekti, 20
gulschen98@mail.ru

Tənzimlənən elektrik intiqalının tətbiqi enerji qənaətini təmin edir və sistem və obyektlərin yeni keyfiyyətlərinin alınmasına imkan verir. Hər hansı bir texnoloji parametrin tənzimlənməsi hesabına elektrik enerjisinin xeyli qənaəti təmin edilir. Əgər bu dəzgahdırsa, onda sürət və ya əsas hərəkətlə səlis tənzimləmək olar. Tezlik çeviricilərin istifadəsindən obyektlərdə xüsusi iqtisadi effekti tezlik tənzimlənməsinin tətbiqi verir. Məlum olduğu kimi, icra mexanizmlərinin fırlanma tezliyinin tənzimlənməsini müxtəlif qurğular vasitəsilə aparmaq olar (stator və rotora əlavə daxil olan rezistorlarla, elektromexaniki tezlik çeviricilərilə, statik tezlik çeviricilərilə). Asinxron elektrik intiqalın idarəsində statik tezlik çeviriciləri ən mükəmməl qurğulardır.

Açar sözlər:asinxron elektrik intiqalı, tezlik tənzimlənməsi, texnoloji parametr, sistem, obyekt, sürət tənzimlənməsi, energetik göstəricilər, verilən gərginlik, tezlik çeviricisi.

İcra mexanizmlərinin fırlanma tezliyinin tənzimlənməsini elektromexaniki tezlik çeviriciləri, statik tezlik çeviriciləri və s. müxtəlif qurğular vasitəsilə aparmaq olar. Lakin onların bəziləri sürət tənziminin yüksək keyfiyyətini təmin etmir, iqtisadi cəhətdən istismarda və montaj işlərində böyük xərclər tələb edir. Hal hazırda asinxron elektrik intiqalın idarəsində statik tezlik çeviriciləri ən mükəmməl qurğulardır[1-3].

Asinxron mühərrikin sürət tənziminin tezlik üsulunun prinsipi ondadır ki,

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

ifadəsinə uyğun olaraq, qida gərginliyinin tezliyini f_1 dəyişərək və qütblər cütününə p dəyişməz sayında statorun maqnit sahəsinin bucaq sürətini dəyişmək olar. Bu üsul sürıtin geniş diapazonda səlis tənzimini təmin edir, mexaniki xarakteristikalar isə yüksək sərtliyə malikdirlər. Belə halda sürətin tənzimlənməsi asinxron mühərrikin sürüşməsinin artması ilə aparılmır, ona görə tənzimləmədə güc itgiləriçox deyil. Mühərrikin yüksək energetik göstəricilərinə: güc əmsalı, faydalı iş əmsalı, artıq yüklənmə-nail olmaq üçün tezliklə eyni zamanda verilən gərginlik də dəyişməlidir. Gərginliyin dəyişmə qanunu yük momentinin M_c xarakterindən asılıdır. Sabit yük momentində M_c=const statorda
kı gərginlik tezliyə mütənasib tənzimlənməlidir :

$$\frac{U_1}{f_1} = const\ ,$$

yük momentinin digər xarakteri üçün: $\frac{U_1}{f_1^{\,2}} = const\ .$

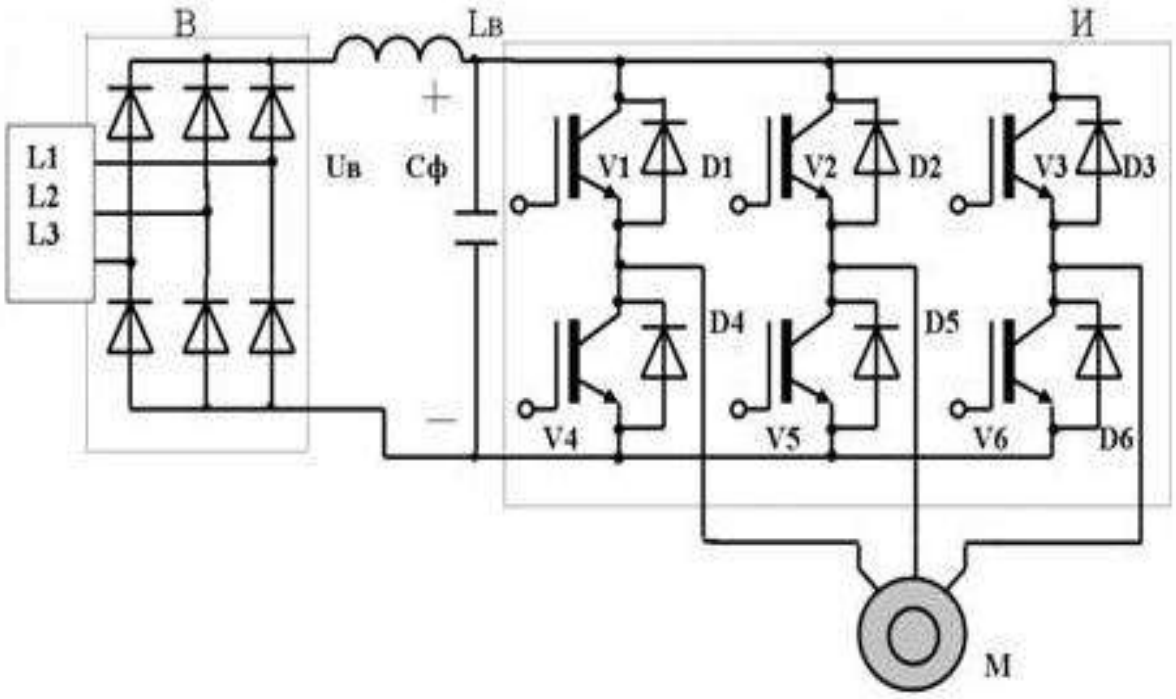
Yük momenti sürətə əks mütənasib olduqda isə : $\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const\ .$

Beləliklə, asinxron elektrik mühərrikin valının fırlanma tezliyinin səlis tənzimi üçün tezlik çeviricisi mühərrikin statorunda tezlik və gərginliyin eyni zamanda tənzimlənməsini təmin etməlidir. Texnoloji proseslərdə tənzimlənən elektrik intiqalın istifadəsinin üstünlükləri: tezlik tənzimlənmənin perspektivliyi, bu da öz növbəsində elektrik enerjinin qənaətini təmin edir və itgiləri azaldır; tezlik çeviricisinin strukturu: bir çox müasir tezlik çeviriciləri ikili çevrilmə sxemi əsasında qurulmuşlar. Belə çeviricilər aşagıdakı hissələrdən ibarətdirlər: sabit cərəyan bəndi (idarə olunmayan düzləndirici), güc impuls invertoru və idarə sistemi.Sabit cərəyan bəndi idarə olunmayan düzləndirici və süzgəcdən ibarətdir.Qidalandırıcı şəbəkənin dəyişən gərginliyi sabit cərəyan gərginliyinə çevrilir.

Üçfazlı güc impuls invertoru altı tranzistor açarlarından ibarətdir.Mühərrikin hər bir dolağı uyğun açar vasitəsilə düzləndiricinin müsbət və mənfi çıxışlarına qoşulur. İnvertor düzləndirilmiş gərginliyin lazımı tezlikdə və amplitudada olan üçfazlı dəyişən gərginliyə çevrilməsini yerinə yetirir, bu da mühərrikin stator dolaqlarına verilir.

İnvertorun çıxış kaskadlarında güc IGBT-tranzistorları açar vasitəsi kimi istifadə olunurlar. Tiristorlarla müqayisədə onlar daha yüksək çevirgəc tezliyinə malikdirlər,bu da sinusoidal formalı çıxış siqnalın minimal təhriflərlə yaranmasına imkan yaradır.

Tezlik çeviricisi idarə olunmayan diod güc düzləndiricidən B, avtonom invertordan, idarə sistemindən, avtomatik tənzimləmə sistemindən, drosseldən L_B və süzgəc kondensatordan $C_ф$ ibarətdir (şək.1). İnvertorda çıxış tezliyinin $f_{çıx}$ və gərginliyin $U_{çıx}$ tənzimi yüksək tezlikli eninə-impuls idarəsi hesabına aparılır. Belə idarə modulyasiya periodu ilə xarakterizə olunur, və bunun daxilində elektrik mühərrikinin stator dolağı növbə ilə düzləndiricinin müsbət və mənfi qütblərinə qoşulur. Periodun daxilində bu vəziyyətin müddəti sinusoidal qanunla modullaşdırılır. Yüksək takt tezliklərdə (adətən 2.....15 kHs.) mühərrikin dolaqlarında süzgəc xüsusiyyətlərinə görə, sinusoidal cərəyanlar axır[2-5].

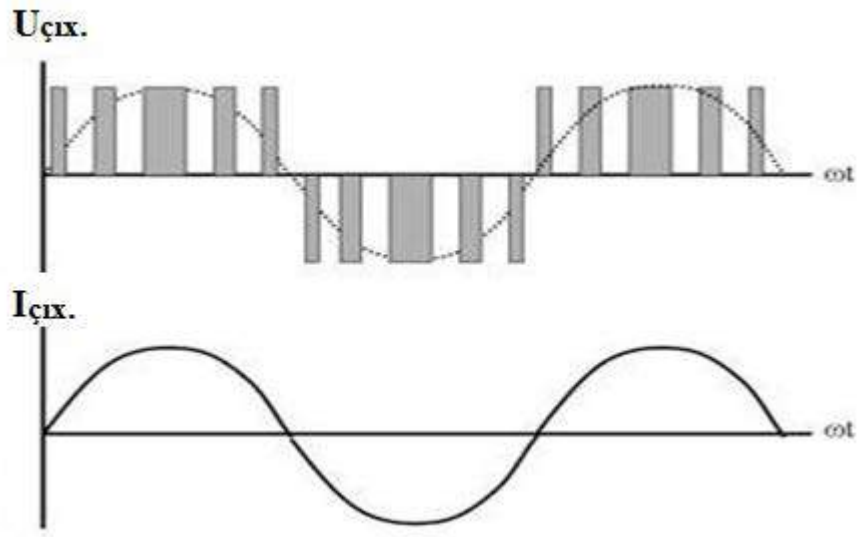


Şək.1. Tezlik çeviricisi: *И* -üçfazlı körpü invertoru;B- üçfazlı körpü düzləndiricisi; $C_ф$ –süzgəcin kondensatoru.

Çıxış gərginliyi əyrisinin forması yüksəktezlikli ikipolyarlı düzbucaq impulsların ardıcıllığıdır (şək.2). İmpulsların tezliyi eninə-impuls modulyasiyasənın tezliyi ilə təyin olunur. İmpulsların müddəti (eni) avtonom invertorun çıxış gərginliyinin periodunda sinusoidal qanunla modullaşdırılıb.

Çıxış cərəyanının forması (asinxron mühərrikin dolaqlarındakı cərəyan) praktiki olaraq sinusoidaldır. İnvertorun çıxış gərginliyinin tənzimi iki üsulla aparılır: amplituda üsulu (giriş gərginliyinin U_B dəyişməsi) və eninə-impuls üsulu (U_B=const olduqda V1-V6 ventillərin çevirgəc proqramının dəyişməsi). İkinci üsul müasir element bazasının inkişafında müasir tezlik çeviricilərində daha geniş öz tətbiqinin tapmışdır. Bu üsulda mühərrikin stator dolaqlarında cərəyanın forması sinusoidala yaxındır, bu da dolaqların süzgəclik xüsusiyyətlərinə görə alınır.

Belə idarəetmə çeviricinin yüksək FİƏ-nın alınmasına imkan verir və gərginliyin tezlik və amplituda vasitəsilə analoq idarəetməyə ekvivalentdir.



Şək.2. Çıxış gərginlik və cərəyanın forması.

Müasir invertorlar tam idarəolunan yarımkeçirici cihazların əsasında yerinə yetirilirlər (bağlayıcı GTO-tiristorları, yaxud bipolyar İGBT-tranzistorları). Avtonom invertorun İGBT-tranzistorlarda üçfazlı körpü sxeminə uyğun olaraq, o giriş tutum süzgəcindən C_ϕ, altı İGBT-tranzistorlardan V1-V6, qarşılıqlı-paralel qoşulan əks cərəyan diodlarından D1-D6 ibarətdir.

Ventillərin V1-V6 ardıcıl çevrilməsi nəticəsində verilən idarə sistemin alqoritminə yuğun olaraq, sabit giriş gərginliyi U_B dəyişən düzbucaq-impuls çıxış gərginliyinə çevrilir. İdarə olunan V1-V6 açarlardan asinxron mühərrikin cərəyanının aktiv hissəsi axır, D1-D6 diodlardan isə-cərəyanın reaktiv hissəsi.

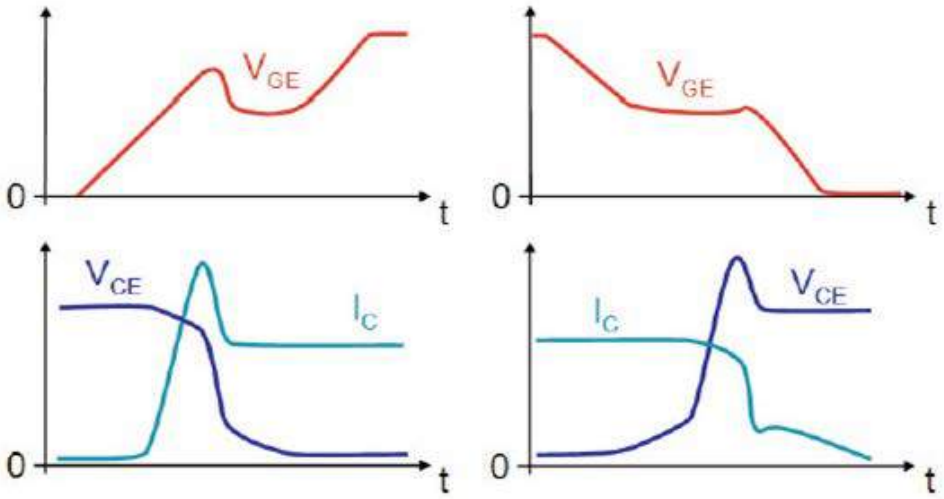
Gərginlik invertorlarının tətbiqi, sxem qəlizləşmədən yüksək energetik göstəricilərin alınmasına və sinusoidala yaxın olan çıxış cərəyanlarının təmin olunmasına imkan yaradır. Bu müasir elektrik intiqalında avtonom gərginlik invertorunun geniş tətbiqini təmin edir. İGBT tipli tranzistorların əsasında inteqral texnologiyası üzrə yerinə yetirilən tranzistor və diod – tranzistor modullarını xüsusi qeyd etmək lazımdır. Açar rejimlərində kiçik güc itgiləri, işçi gərginlik və cərəyanların böyük qiymətləri, bu modulların qoşulma və açılmalarının az müddətliyi, və eləcədə onların paralel işdə istifadə olunma imkanı yüksək tezlik komutasiyalı yarımkeçirici açarları olan güclü və kompakt çevirici qurğuların yaranmasına imkan verir.

Tənzimlənən elektrik intiqalının əsasında enerjiyə qənaət edən bir çox texnologiyalar sənayenin müxtəlif sahələrinə və nəqliyyat vasitələrində daha geniş tətbiq olurlar. Son

zamanlar tezlik çevrilməsi üçün daha çox güc açarları öz tətbiqini tapmışlar – İGBT modulları. Cəld çeviricilərin sxemlərində İGBT əsasında idarəedici güc açarların istifadəsi elektrik enerjisinin yüksək tezliklərdə çevrilməsinə, çeviricilərdə ümumi itgilərin azalmasına, müasir idarə sistemlərinin tətbiqinə, qurğunun kütlə və qabaritlərin azalmasına imkan yaradır. İGBT modulları əksər hallarda tranzistorlar yarıkörpü sxemi üzrə birləşən invertorlarda istifadə olunurlar. İGBT modulların (şək.3) konstruksiya və parametrləri daima təkmilləşdirilir, dayanıqlıq və modulların istismarın sərt şəraitlərində və qəza rejimlərində xidmət müddəti artır[5].

Şək.3 İGBT modulun ümumi görünüşü.

Şək.4-də İGBT-in qoşulma və açılma təsviri göstərilmişdir. Yükün induktiv xarakterinə görə İGBT qoşulduqda cərəyan impulsu yaranır, açıldıqda isə - gərginlik impulsu.



Şək.4. V_{GE} - bağlı -emitter gərginliyi; I_c – kollektor cərəyanı.

NƏTİCƏ

Tezlik çeviricisi (TÇ) müasir dəyişən cərəyan elektrik intiqallarının əsas elementidir. Mühərrikin moment və fırlanma tezliyinin sürətinin idarəsi-tənzimlənən elektrik intiqalının iki əsas həlledici məsələləridir. İntiqalın normal funsiyası üçün mühərrikin moment və cərəyanının buraxıla bilən qiymətlərində məhdudlaşdırılması lazımdır.Bir çox sənaye mexanizmlərin texnoloji rejimləri müxtəlif iş mərhələlərində işçi orqanın hərəkətini müxtəlif sürətlə tələb edir, bu da elektrik intiqalın mexaniki və ya sürətinin elektrik tənzimlənməsilə təmin olunur. Ona görə də sürət tənzimlənməsinin dəqiqliyinə və diapazonuna olan tələbləri, intiqalın tətbiq sahəsindən asılı olaraq, geniş həddlərdə dəyişə bilər.

1. *Белов М.П.* Технические средства управления и автоматизации. Учебное пособие 2009.
2. *Позднев А.Д. и др.* Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе. Чебоксары. ЧувашскийУниверситет.2000.
3. *Rahul Dixit, Bindeshwar Singh, Nupur Mittal.* Adjustable speeds drives. Review on differ ent invertertopologies - //Sultanpur, India. International Journal of Reviews in Compu ting, 2012.
4. *Marian P. Kazmierkowski, Leopoldo G. Franquelo, Jose Rodriquez, Marcelo A.Perez, Jose I. Leon* "High-Peromance Motor Drives". // IEEE Industrial Electronicsd, vol.5.
5. *Kərimzadə G.S., Muxtarov C.B.*Mancanaq dəzgahın asinxron elektrik intiqalının tezlik çeviricisi ilə işlənməsi. //AATM Xəbərləri. ADNSU. 2019.

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

КЕРИМЗАДЕ Г.С., МУХТАРОВ Дж.Б.

Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. За счет регулирования какого-либо технологического параметра обеспечивается значительная экономия электроэнергии. Если это станок, то можно плавно регулировать скорость подачи или главного движения. От использования преобразователей частоты особый экономический эффект дает применение частотного регулирования на объектах. Как известно, регулирование частоты вращения исполнительных механизмов можно осуществлять при помощи различных устройств (резисторами, дополнительно вводимыми в статор или ротор, электромеханическими преобразователями частоты,статическими преобразователями частоты). Наиболее совершенными устройствами управления асинхронным электроприводом являются статические преобразователи частоты.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, частотное регулирование, технологический параметр, система, объект, регулирование скорости, энергетические показатели, подводимое напряжение, преобразователь частоты.

ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH A FRECUENCY CONVERTER

KERIMZADE G.S., MUXTAROV C,B.

The use of an adjustable electric drive provides energy saving and allows you to get new quality systems and objects. By regulating any process parameter, significant energy savings are achieved. If it is a machine, you can smoothly adjust the feed rate or the main movement. From the use of frequency converters, the special economic effect is the use of frequency regulation at the facilities. As is well known, the rotational speed of the actuators can be controlled using various devices (resistors, additionally introduced into the stator or rotor, electromechanical frequency converters, static frequency converters). The most advanced control devices for asynchronous electric drive are static frequency converters.

Keywords:asynchronous electric drive, frequency regulation, technological parameter, system, object, speed control, energy indicators, input voltage, frequency converter.

UOT 62.83.52

GƏMİ KRAN QURĞULARINDA TƏTBİQ EDİLƏN YARIMKEÇİRİCİ ÇEVİRİCİLƏRİN MÜHAFİZƏSİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ

SULTANOV E.F., MƏMMƏDOV E.M.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası,
Az1000 Bakı ş. Z.Əliyeva küç.18
elshen_sultanov@mail.ru, emilmemmedoglu@gmail.com

Məqalədə gəmi kran qurğularının intiqallarında tətbiq edilən yarımkeçirici çeviricilərin mühafizələrinin xüsusiyyətlərinə baxılmış və onların gəmi kranelektrik intiqallarında tətbiq olunmasınınüstünlüyü qeyd edilmişdir.

Açar sözlər: *gəmi, kran qurğusu, elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi, yarımkeçirici çevirici, mühafizə.*

Giriş. Gəmi yükqaldırıcı mexanizmlərinin elektrik intiqalları, gəmi şəraitində istismar tələblərinə cavab verən xüsusiləşdirilmiş elektrik maşınlarından və aparatlarından istifadə etməklə hazırlanırlar. Bir çox kran gəmilərində, yükqaldırıcı mexanizmlərin elektrik mühərrikinin gücü elektrik stansiyasının bir generatorunun gücünə bərabər və ya ona yaxın olur. Yükqaldırıcı bucurğadların və kranların elektrik intiqallarına verilən tələblərin əsası yüksək məhsuldarlığın təmin edilməsidir [1].

Gəmi yükqaldırıcı mexanizmlərin elektrik intiqallarına verilən tələblər, Dəniz Registrinin Qaydaları, müvafiq idarələrin standartları və normaları ilə müəyyənləşdirilir. Bütün tərtib olunan tələblərin yerinə yetirilməsi, birinci növbədə, mexanizmlərin yüksək məhsuldarlığını təmin etmək, yük əməliyyatlarını daha effektiv təşkili və onların təhlükəsiz istismarı üçün təklif olunmuşdur.

Avtomatlaşdırma sistemi də daxil olmaqla, elektrik avadanlığının texniki istismarına dair ümumi tələblər gəmi elektrik avadanlığının texniki istismar qaydalarını təyin edir. Bu qaydalara əməl etməklə və elektrik avadanlığına daimi qulluq göstərməklə yükqaldırıcı mexanizmlərin elektrik intiqallarının etibarlı və təhlükəsiz işləməsini (və müasir tələblərə cavab verməsini) təmin etmək olar [1, 2].

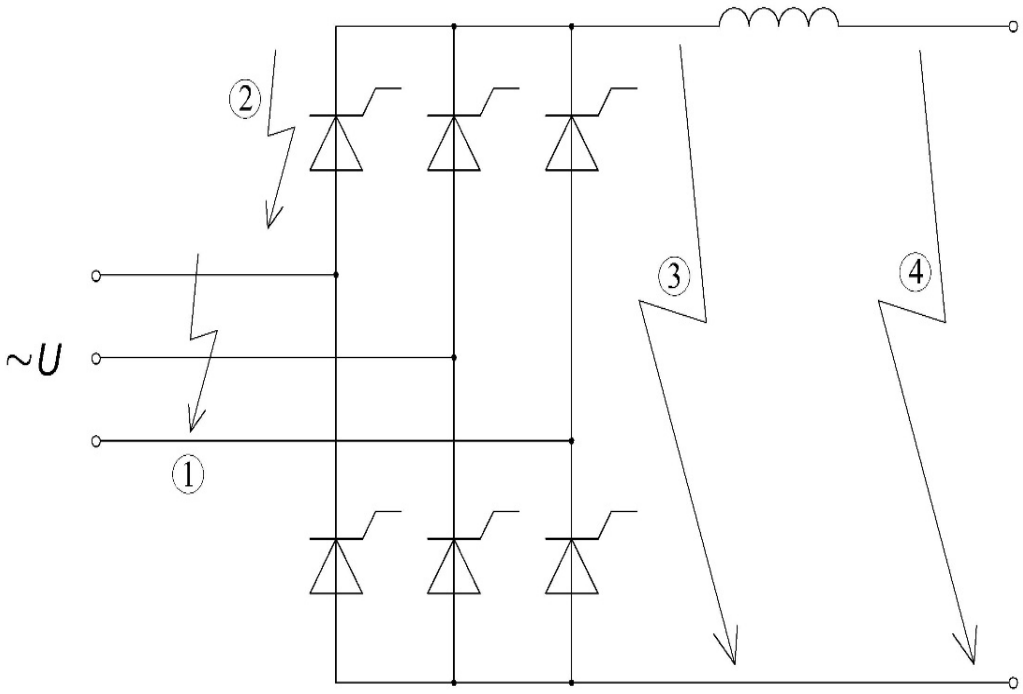
Məlum olduğu kimi gəmi kran qurğuları əsas olaraq gəminin yükləmə rejimində işləyirlər buna görə də tezlik çeviricilərinin yarımkeçirici elementləri sıradan çıxdıqda gəmi qəzaya uğraya bilər. Bu səbəbdən də *gəmi kran qurğularında tətbiq edilən* yarımkeçirici cihazlardan hazırlanmış tezlik çeviriciləri üçün cərəyanı işlədicilərdən ayırman xüsusi mühafizə qurğuları hazırlanır, bu məqsədlə onların bəzilərinə baxılmışdır.

Əsas hissə. Yarımkeçirici çeviricilərin istismarı zamanı onlarda qəza rejiminin yaranmaması mümkünsüzdür. Yarımkeçirici çeviricilərin qəza rejimi nasazlığın baş verdiyi yerdən asılı olaraq xarici və daxili qəza qruplarına bölünür. Daxili qəza rejimi əsas olaraq güc sxeminin bir və bir neçə ventil qrupunda ventillərin elektrik və istilikdən (qızma temperaturun normadan artıq yüksəlməsi) deşilməsi zamanı baş verə bilir. Bundan əlavə çeviricinin enerji verdiyi işlədicinin (cərəyan yaxud gərginliyə görə artıq yüklənməsi, və yaxud onda qısa qapanma prosesinin yaranması da yarımkeçirici çevirici üçün qəza rejiminin yaranmasına səbəb ola bilir[2, 3].

Yarımkeçirici çeviricinin əsas qəza rejimlərinə aiddir:

- işlədici yaxud yarımkeçirici cihazı elektrik şəbəkəsinə qoşduqda yaratdığı xarıci qısa qapanma qəzası
- yarımkeçirici ventillərin müxtəlif səbəblərdən (köhnəlmədən, müxtəlif deffektlərdən, şəbəkəyə düzgün qoşulmamasından, artıq yüklənmədən və s.) yaratdığı daxili qəza;

- invertorun çevrilməsi yəni invertorun ventillərinin düzgün işləməməsindən sabit cərəyan dövrəsində yaranan qısa qapanma;
- reversiv çeviricilərdə və yaxud (bilavasitə) bir bəndi tezlik çeviricisində bərabərləşdirici cərəyanların yaranması.



Şək.1.Üç fazalı körpü sxemli düzləndiricinin qəza rejimləri.

1- dəyişən cərəyan şinlərində qısa qapanma
2- tiristorun deşilməsi
3 - sabit cərəyan şinlərində qısa qapanma
4 - işlədiciyə yaxın yerdə qısa qapanma

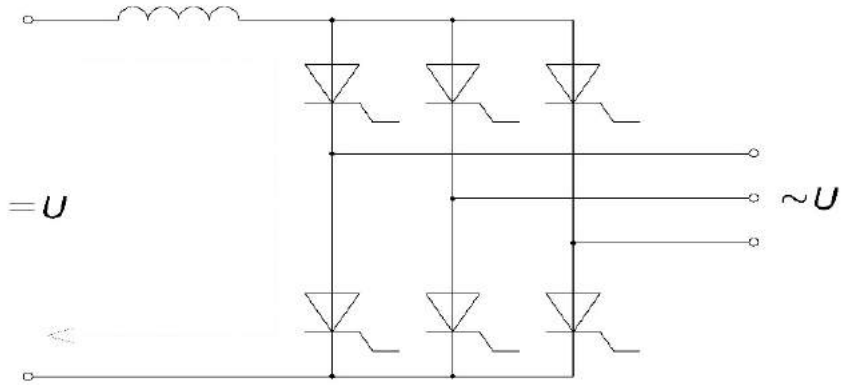
Şəkil 1-də istismar zamanı körpü sxem düzləndiricisində tez-tez baş verən qəzalar göstərilmişdir.

Düzləndiriciyə qoşulan şinlərdə qısa-qapanma baş verdikdə düzləndiricinin çıxışa verdiyi sabit gərginlik azalar və yaxud da yox (üç fazalı qısa-qapanma) olar (1-ci hal), amma tiristorların birinin deşilməsi düzləndiricidə daxili qısa-qapanma yaradır hansı ki, düzləndiricini yararsız hala düşməsinə səbəb ola bilər (2-ci hal).

Düzləndiricinin çıxışında yaranan qısa-qapanma (3-cü hal) nəticəsində də, düzləndirici qısa zamanda sıradan çıxa bilir.

İşlədicidə və yaxud onun yaxınlığında qısa-qapanma yarandıqda (4-cü hal), qısa-qapanma dövrəsində böyük induktivlik olduğu üçün qısa-qapanma cərəyanı nisbətən gecikmə ilə artaraq, öz qərarlaşmış qiymətinə çatar.

İnvertorda yaranan qəza hadisəsi əsas olaraq idarə sisteminin düzgün işləməməsindən və yaxud tristorlardan birinin və ya bir neçəsinin deşilməsindən yaranır. Göstərilən səbəblərdən invertorun bir qolunda iki ventil eyni zamanda cərəyan keçirir bu hadisə invertor üçün ən ağır qəza sayılır[3, 4].



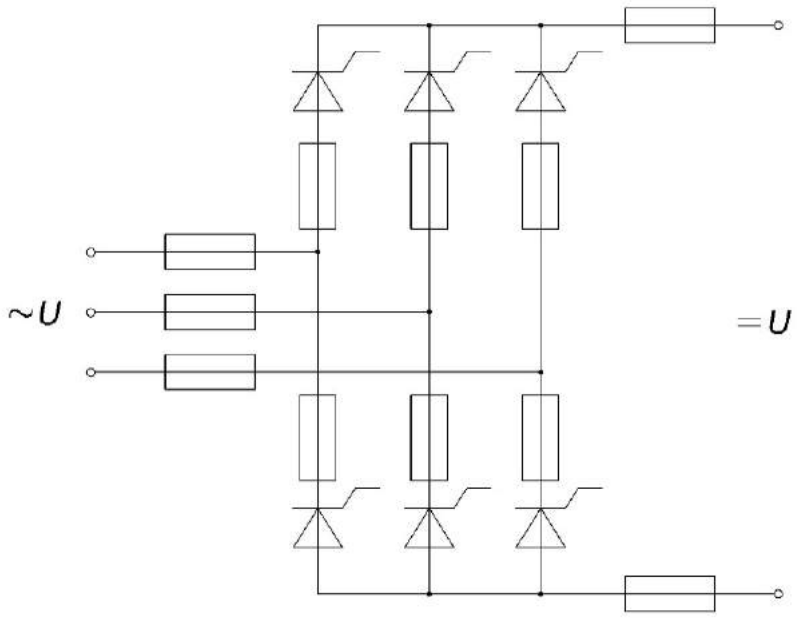
Şək.2.İnvertorun qısa-qapanması nəticəsində yaranan qəza rejimi sxemi.

Şəkil 2-də iki ventildən keçən qısa-qapanma cərəyanı qırıq xətlərlə göstərilmişdir. Belə qısa-qapanma nəticəsində invertorun ventillərindən keçən cərəyanın qiyməti nominala nisbətən 30÷40 dəfə arta bilər. Əlbəttə, cərəyanın bu qədər artması dövrədə olan cihaz və qurğuların ciddi zədələnməsi ilə nəticələnə bilər.

Qısa-qapanma cərəyanının artma sürətini və qiymətini azaltmaq üçün invertorun sabit cərəyan dövrəsinə böyük induktivli reaktor qoşulur.

Qeyd etmək lazımdır ki, avtonom invertorda da şəbəkədən idarə edilən invertorda olduğu kimi eyni xarakterli qəza rejimləri baş verir[4, 5].

Yarımkeçirici çeviricilərin gərginliyin sıçrayışla artmasına, artıq yüklənməyə və ya qısa-qapanma cərəyanının qiymətinə eləcə də onun artma sürətinə çox həssas olduqları üçün onların mühafizəsinə ciddi tələblər verilir hansı ki, bəzən mövcud komutasiya mühafizə aparatları tərəfindən yerinə yetirilməsi mümkün olmur.



Şək.3.Tez işləyən əriyən qoruyucular vasitəsilə üç fazalı düzləndiricinin mühafizəsinin sxemi.

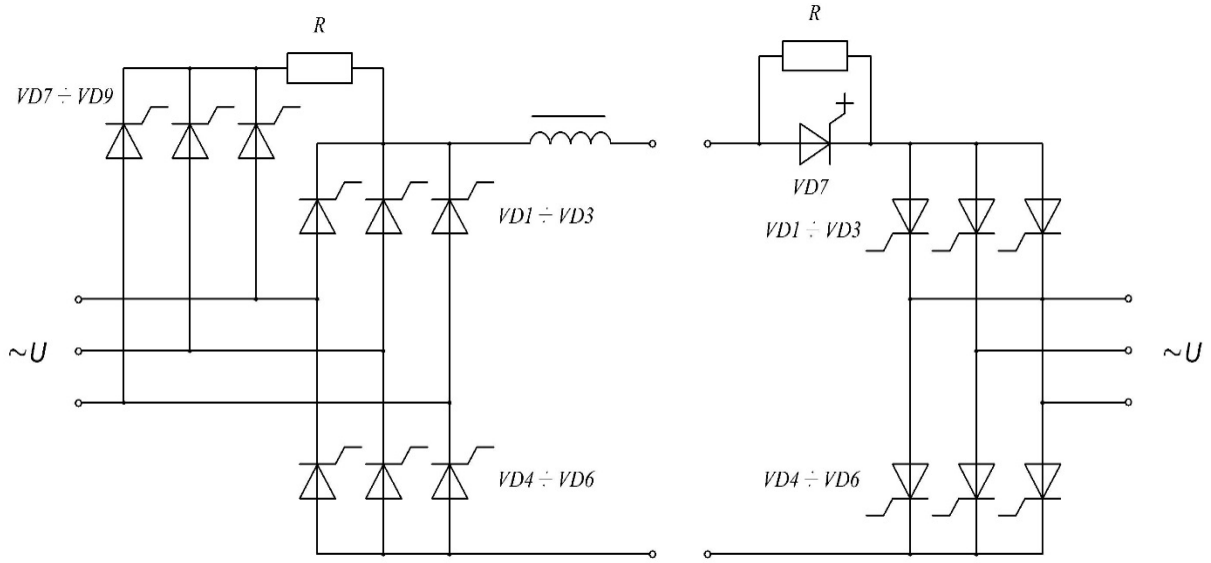
Şəkil 3-də üç fazalı körpü sxemli yarımkeçirici düzləndiricinin tez işləyən əriyən qoruyucular vasitəsilə mühafizəsi göstərilmişdir. Qoruyucular aşağıdakı funksiyaları yerinə yetirmək üçün quraşdırıla bilər:

- xarici qısa-qapanmadan mühafizə üçün dəyişən cərəyan xətlərində
- daxili qısa-qapanmadan mühafizə üçün yarımkeçirici ventillərdə ardıcıl olaraq
- işlədicilərdə və onların birləşdirici naqillərində yaranan qısa-qapanmadan mühafizə üçün sabit cərəyan dövrəsinin çıxışında qurulur.

Qeyd etmək lazımdır ki, *gəmi kran qurğularında, val-generator qurğularında* və avar elektrik qurğularının tərkibinə daxil olan yarımkeçirici çeviricilərin əriyən qoruyucular vasitəsilə mühafizə olunmasına icazə verilmir, çünki göstərilən mühafizə (GES-nın) cərəyansız qalması və gəminin idarəedilməsinin itirilməsinə səbəb ola bilər. Belə qurğularda, çeviricini qəza rejiminin baş verməsi zamanı mühafizə etmək üçün yarımkeçirici mühafizə qurğularından istifadə edilir.

Tiristor açıcısı bir və yaxud iki əməliyyatlı tiristorun üzərində qurulur və normal iş rejimində o avtomat açar kimi cərəyan keçirir. Qəza hadisəsi baş verdikdə idarə sistemindən verilən siqnala görə tiristor bağlanır (cərəyan keçirmir) və bu vaxt cərəyan tristora paralel qoşulmuş müqavimətdən keçir, bunula da cərəyan azalır.

Tiristor qısaqapayıcısı tiristor açıcısından fərqli olaraq normal iş rejimində cərəyan keçirmir və qəza hadisəsi baş verdikdə, açılıb körpü düzləndiricisinin bir hissəsini dövrəyə müqavimət qoşmaqla qısa qapayır[4, 5].



Şək. 4. Yarımkeçirici çeviricinin qısa qapayıcı (a) və açıcı (b) tiristorlarla mühafizəsi.

Şəkil 4a-da qısa qapayıcı mühafizənin sxemi göstərilmişdir. Bu mühafizə VD7÷9 tiristorlarından ibarət olub, körpü düzləndiricisinin VD1÷3 tiristorlarına paralel qoşulmuşdur.

Qəza baş verdikdə VD1÷3 tiristorları qapanır, VD7÷9 tiristorları isə açılır. Nəticədə dövrəyə cərəyanı məhdudlaşdıran R-müqaviməti qoşulur və qəza cərəyanları bu rezistordan keçir.

Şəkil 4 b–də iki əməliyyatlı tiristordan VD7 və R müqavimətindən ibarət olan açıcı tiristor mühafizəsi göstərilmişdir. Qəza hadisəsi baş verdikdə (əsasən dövrədə qısa-qapanma yarandıqda) VD7 tiristoru qapanır (bağlanır) və cərəyan R müqavimətindən keçir. Qeyd etmək lazımdır ki, kontaktsız və tez işləyən yarımkeçirici qurğular mühafizə məqsədindən

başqa yarımkeçirici çeviricilərin dövrəyə qoşulması və açılması üçün də istifadə edilir. Bu halda onların komutasiya aparatı ehtiyyatda qalır[4, 5].

NƏTİCƏ

*Məqalədə gəmi kran qurğularının elektrik intiqallarında tətbiq edilən yarımkeçirici çeviricilərin mühafizələrinin xüsusiyyətlərinə baxılmışdır. Həmçinin y*arımkeçirici çeviricilərin istismarı zamanı dövrədə qəza rejiminin yaranması nəticəsində, onların qidalandırdığı işlədicidə artıq yüklənmənin baş verməsinin mümkünlüyü aşkar edilmişdir.

1. *Sultanov E.F., Abdullayev A.N.* Müasir gəmi elektrik intiqalları, Bakı, ADDA-nın mətbəəsi, s. 438.
2. *Sultanov E.F., Məmmədov E.M.* Gəmi elektrik avadanlığının texniki istismarı, Bakı, ADDA-nın mətbəəsi, s. 284.
3. *Дементьев Ю.Н.* Асинхронный электропривод кранового механизма с микроконтроллерным управлением/Изв. Вузов. Электромеханика – 2006. с. 49–53.
4. *Лихошерст В.И.* Полупроводниковые преобразователи электрической энергии с импульсным регулированием. Екатеринбург, УГТУ, 2000 г. с.116.
5. *ВосковичВ.Ю., КоролеваТ.Н., ПавловаВ.А.* Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных средств.Санкт-Петербург, «Элмор», 2001 г. с.383.

ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В СУДОВЫХ КРАНОВЫХ УСТРОЙСТВАХ

СУЛТАНОВ Е.Ф., МАМЕДОВЕ.М.

Рассмотрены особенности защиты полупроводниковых преобразователей, применяемых в электроприводах судовых крановых устройств иуказано преимущество применения данных видов защиты в крановых электроприводах.

Ключевые слова: судно, крановое устройство, электропривод, частотный преобразователь, полупроводниковый преобразователь, защита.

PROTECTİON FEATURES OF SEMİCONDUCTOR CONVERTERS USED İN VESSEL CRANE İNSTALLATİON

SULTANOV E.F., MAMMADOV E.M.

The features of the protection functioning of semiconductor converters used in crane devices are analyzed and the appropriateness of using these types of protection in crane electric drives is indicated.

Keywords: ship, lifting mechanisms, electrical drive, fruqyency converter, semicunducter converter, security.

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

РАГИМЛИ И.Н., ЗХАИ НАИКУН, РЗАЕВА С.В.

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности
ilham.raqimli@asoiu.edu.az

В статье рассмотрены вакуумные выключателисреднего напряжения до 35 кВ ведущих зарубежных фирм. Произведен анализ конструктивного и эксплуатационного преимущества вакуумных выключателей.Вакуумные выключатели различных производителей соответствуют предъявляемым требованиям и для одного класса напряжения отличаются между собой техническими параметрами, назначением, типом привода и его кинематикой, размерами, весом,дизайном и являются доминирующим типом коммутационного аппарата в сетях среднего класса напряжения 6 кВ-35 кВ.

Ключевые слова: вакуумные выключатели, межконтактный промежуток, дугогасительная камера, распределительное устройство, воздушная изоляция, электроснабжение, эксплуатационные затраты, элегаз, изоляционный материал, преимущества.

В последнее десятилетие в области разработки и производства высоковольтных вакуумных выключателей дальнем зарубежье успешно работают большое количество компаний и предприятий.ЭтоABB, Siemens, Alstom(Areva), SchneiderElectricидругие.

Вакуумные выключатели сегодня являются основным типом коммутационного аппарата в сетях среднего класса напряжения 6-35 кВ, чему способствуют их конструктивные и эксплуатационные преимущества[1].

Конструктивные преимущества вакуумных выключателей - это высокое быстродействие и отключение тока при первом переходе его через нуль после разведения контактов; высокая скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка в вакууме после погасания дуги; высокий коммутационный и механический ресурс, определяемый высокой износостойкостью контактов при коммутации номинальных токов и токов короткого замыкания; взрыво- и пожаробезопасность, даже при работе в агрессивных средах; широкий диапазон рабочих температур; повышенная стойкость к ударным и вибрационным нагрузкам; малые габариты и масса дают преимущество при выполнении монтажа; возможность произвольного пространственного расположения ВДК без ухудшения качественных параметров выключателя, что создает дополнительные удобства при монтаже.

К эксплуатационным преимуществам относятся: высокая надежность; меньшая интенсивность отказов; меньшая длительностьремонтов;бесшумность; отсутствие выбросов продуктов горения дуги и внешних эффектов при отключении токов короткого замыкания; отсутствие загрязнения окружающей среды; сокращение перерывов вэлектроснабжении, связанные с выполнением регламентных работ; отсутствие необходимости в проведении текущего, среднего и капитального ремонта; низкие эксплуатационные затраты, связанные с отсутствием необходимости содержания масляного и компрессорного хозяйств.

Кроме того, вакуумные дугогасительные камеры не требуют пополнения дугогасящей среды; имеют малое потребление мощности по цепи оперативного питания и совместимость с любыми существующими типами ячеек КРУ и КСО.

Следует отметить, что если предприятий, которые производят вакуумные дугогасительные камеры в мире не больше десяти, то предприятий, производящих

вакуумные выключатели на базе этих камер в несколько раз больше. Предприятий, использующих готовые вакуумные выключатели для комплектации ячеек КРУ и комплектных трансформаторных подстанций еще больше, не говоря уже о разных фирмах и дилерских организациях, занимающихся продажей и поставкой чужих выключателей и комплектных КРУ [2, 3].

В то же время найти подробные описания конструкции и особенностей того или иного включателя крайне сложно. В основном это коммерческие предложения и рекламные материалы, которые не позволяют оценить достоинства и недостатки того или иного аппарата, выбор которого зависит от многих факторов, начиная от личных привязанностей и кончая ценой.

Лидерство в разработке и производству вакуумного коммутационного оборудования принадлежит компании Siemens.

На рисунке 1 представлена вакуумная техника фирмы Siemens, которая перекрывает весь диапазон требований, предъявляемых к силовым коммутационным аппаратам классов напряжением от 6 кВ до 35 кВ [6].

Основные принципы этого оборудования были заложены несколько десятилетий назад при фундаментальных исследованиях, позволивших специалистам фирмы Siemens создать мощную вакуумную дугогасительную камеру, и на ее базе, в начале 70-х годов, первые серийные вакуумные выключатели типов 3AF и 3AG.

Усовершенствованная специальная геометрия дугогасительных контактов, собственная рецептура и технология изготовления контактных материалов, а также большой опыт, накопленный при изготовлении и эксплуатации около 300 000 выключателей, легли в основу создания новой серии выключателей 3АН.

Это пять выключателей для всех видов коммутаций:

3АН1 - стандартный выключатель на 10.000 циклов, не требующий технического обслуживания;

3АН2 - выключатель с повышенным коммутационным ресурсом на 60. 000 циклов;

3АН3 - стандартный выключатель большой мощности на 10.000 циклов;

3АН4 - выключатель с очень высоким коммутационным ресурсом на 120.000 циклов;

3АН5 - выключатель с улучшенной экономичностью на 10.000 циклов.

Все выключатели серии 3АН обеспечивают высокое быстродействие и возможность синхронизации, автоматическое повторное включение на токи до 31,5 кА, отключение токов короткого замыкания с очень высоким нарастанием крутизны тока, коммутацию воздушных и кабельных линий, коммутацию электродвигателей, коммутацию трансформаторов и реакторов, коммутацию конденсаторных батарей, коммутацию цепей электрофильтров и питания электродуговых печей (для этой задачи используется выключатель 3ЛН5 с улучшенной экономичностью).

В классах напряжений от 6 кВ до 35 кВ серия выключателей 3АН перекрывает весь диапазон отключаемых мощностей. При этом выключатели надежно работают как при длительных перерывах между отключениями, так и в режиме частых коммутаций, что делает их незаменимыми для применения в сетях городского электроснабжения и промышленных предприятий.

Выключатели серии имеют большой срок службы, отличаются повышенной надежностью и не требуют технического обслуживания и ухода в течение всего срока службы. Это обеспечивается использованием подшипников с неизнашиваемыми трущимися поверхностями и применением специальных нестареющих смазочных материалов, а также высоким качеством изготовления [7].

Вакуумные выключатели HVX Alstom усовершенствованная разработка для применения в современных распределительных устройствах с воздушной изоляцией (рис.2).

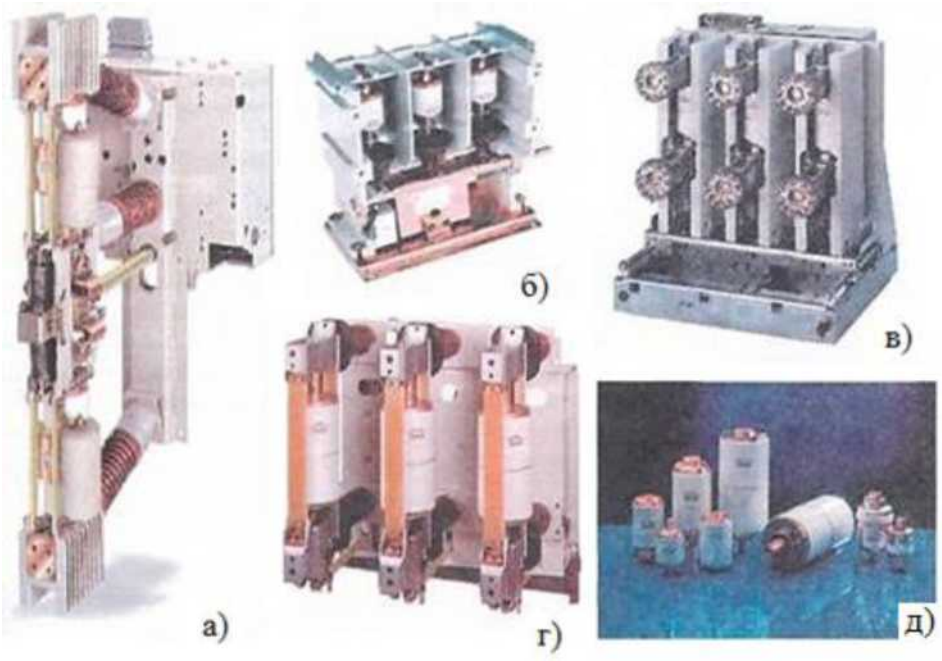


Рис.1. Вакуумная коммутационная техника фирмы Siemensa) однополюсный вакуумный выключатель тягового электрооборудования; б) вакуумный контактор 3TL; в) вакуумный коммутационный модуль NXACT; г) вакуумный выключатель 3AH; д) вакуумные дугогасительные камеры фирмы Siemens.

Вакуумный выключатель серии HVX является усовершенствованной разработкой для применения в новейших распределительных устройствах с воздушной изоляцией. Он характеризуется компактной конструкцией, небольшими габаритными размерами, удобной для оператора системой управления и современным многофункциональным промышленным дизайном.

Таким образом, выключатель полностью отвечает современным рыночным требованиям, при этом его компактные размеры, без применения дополнительного твердого изоляционного материала, при установке в щитах распределительных устройств обеспечивают достаточную диэлектрическую прочность.

Основные характеристикивыключатели HVX Alstom:

- многофункциональность конструкции;
- компактный и надежный одновальный пружинный приводной механизм;
- функциональное размещение рабочих и сигнальных элементов системы;
- управления для оператора;
- отсутствие незащищенных полюсов;
- подвесная вакуумная камера, защищенная от воздействия внешних сил;
- оболочка полюса выполняет функции изоляционной опоры;
- оболочка полюса обеспечивает высокую степень механической защиты;
- приводной механизм на базе соленоида (возможный вариант);
- версия фиксированной установки;
- версия установки в выкатной тележке;
- версия выкатывания по направляющим рейкам;

- высокая надежность благодаря использованию небольшого количества отдельных компонентов;
- применение во всем мире в соответствии со всеми стандартами;
- не требует технического обслуживания.

Области применения:Воздушные линии электропередачи; кабельные линии электропередачи; электродвигатели; трансформаторы; генераторы; конденсаторы

Рис.2.Вакуумные выключатели фирмы Alston.

HVX вакуумные выключатели SchneiderElectric это новейшая серия вакуумных выключателей, сочетающая в себе самые современные технологии. HVX вакуумные выключатели SchneiderElectric подходят как для использования в новых распределительных устройствах с воздушной изоляцией, так и для замены отслуживших свой срок выключателей в реконструируемых устройствах. HVX вакуумные выключатели SchneiderElectric разработаны с учетом самых современных требований и обладают простой и надежной конструкцией, просты и безопасны в управлении, что в итоге позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты в будущем. HVX вакуумные выключатели SchneiderElectricобеспечивают защиту всех присоединений (рис.3).

Рис.3. HVX вакуумные выключатели SchneiderElectric, выкатная версия.

Один из видов вакуумных выключателей фирмы SchneiderElectricявляется трехполюсные выключатели среднего напряжения SF2 предназначены для внутренней установки. Они применяются в качестве устройств коммутации и защиты в первичных и вторичных распределительных сетях 20 и 35 кВ.

Используемый в выключателях автокомпрессионный способ гашения дуги позволяет включать и отключать любые нагрузки, емкостные и индуктивные, без перенапряжений в момент коммутации.

Таким образом, выключатель SF2 хорошо подходит для управления батареями конденсаторов (рис. 4).

Рис.4. Вакуумный выключатель SF2.

В состав выключателей SF2 входят:Три отдельных полюса, связанных механически. Рабочие элементы полюса находятся в изолированном герметичном корпусе, заполненном элегазом под низким избыточным давлением.Механизм управления GMH с электроприводом. Скорость замыкания и размыкания главных контактов не зависит от быстроты действий оператора и способа подачи команды (вручную или электрическим сигналом). Выключателем можно управлять дистанционно, он способен выполнять циклы автоматического повторного включения. Органы управления и указатели состояния на передней панели. Контактные выводы для присоединения к силовой цепи.Клеммный блок для подключения внешних вспомогательных цепей.

Вакуумные выключатели, в силу своих достоинств, уже представляют серьезную конкуренцию выключателям с элегазовой изоляцией на напряжение 110 кВ и выше, хотя на этих классах напряжений им серьезную конкуренцию составляют элегазовые включатели.

В то же время создание вакуумных выключателей на напряжение 500 кВ и выше представляет серьезные, а возможно и непреодолимые трудности. Кроме того, на базе вакуумных выключателей вряд ли возможно создание изолированных от внешней среды, комплектных распределительных устройств, как это имеет место при использовании элегаза.

Таким образом, мы рассмотрели особенности конструкции вакуумных выключателей, представленных на рынке коммутационного оборудования, состояние и перспективы развития современных вакуумных и элегазовых выключателей и комплектных распределительных устройств (ячеек) на их основе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существенные преимущества вакуумных выключателей перед другими типами коммутационных устройств и можно сказать единственным их недостатком на сегодня является стоимость.
2. Основной недостаток элегазовых выключателей - влияние элегаза на окружающую среду, в то время как вакуумные выключатели являются экологически чистыми аппаратами
3. Вакуумные выключатели являются основным массовым коммутационным аппаратом на напряжения 6 кВ - 35 кВ и, возможно, потеснят позиции элегазовых аппаратов на напряжения 110 кВ - 220 кВ.

1. http://www.gigavat.com/viklyuchateli vakuumnie.php.Вакуумные выключатели.
2. *Набатов К.А., Афонин В.В.* Высоковольтные вакуумные выключатели распределительных устройств. Тамбов. Издательство ВПО ТГТУ. 2010.
3. *Александров Г.Н., Борисов В.В., Евдокимов Г.А.* и др.Вакуумные коммутационные аппараты / - СПб., 1995. - 62.
4. *Александров Г.Н., Афанасьев А.И., Борисов В.В.* и др Эксплуатация электрических аппаратов/ ; Под ред. Г.Н. Александрова. - СПб.: Изд. ПЭИПК, 2000. - 307 с.: ил.
5. *РумянцевД.Е.* Современное вакуумное коммутационное электротехническое оборудование сетей и подстанций /Д.Е. Румянцев - М.: ИПК госслужбы, 2000.- 71.
6. Высоковольтные вакуумные выключатели. Устройство и принцип работы.http://electricalschool.info/main/visokovoltny/1687-vvsokovoltnye- vakuumnye vykljuchateli. html.
7. *Алексеев С.В., Николаев П.Д.* ВВСТ- вакуумный выключатель Siemensроссийского производства. Новости электротехники. №2(32) 2005.
8. *Белкин Г.С., Лукацкая И.А., Перцев А.А., ПотокинВ.С., Ромочкин Ю.Г., Шохин Е.А.*Вакуумныедугогасительные камеры, разработанные Всесоюзнымэлектротехничес-ким институтом имени В.И. Ленина.http://forca.ru/knigi/arhivy/vakuumnye-dugogastelnye-kamery-7.html.
9. *Назарычев А., Суворов А., Чайка В., Таджибаев А.* Перспективыи примениния вакуумных выключателей 110-220 кВ.http ://forca.ru/ stati/podstancii/.
10. Высоковольтные выключатели: элегаз против вакуума.
http://forca.ru/stati/podstancii/wsokovoltnye-wklyuchateli-elegaz-protiv-vakuuma.html.

MÜASİR VAKUUM AÇARLARININ ETİBARLILIĞININ ARAŞDIRILMASI

RƏHİMLİ İ.N., ZHAİ NAİKUN, RZAYEVA S.V.

Məqalədə 35kV-a qədər aparıcı xarici firmaların orta gərginlikli vacuum açarları nəzərdən keçirilir. Vakuum elektrik açarlarının konstruktiv və istismar üstünlüyünün təhlili aparılmışdır. Müxtəlif istehsalçıların vacuum açarları verilən tələblərə cavab verir və bir gərginlik sinfi üçün 6 kV-35 kV orta gərginlikli şəbəkələrdə kommutasiya aparatının üstünlük təşkil edən növü texniki parametrlərlə, təyinatla, intiqalın növü ilə və onun kinematik ölçüləri, çəkisi, dizaynı ilə bir-birinə uyğun gəlir.

Açarsözlər:vacuum açarları, kontaktla rarası boşluq, qövs söndürmə kamerası, paylayıcı qurğu, hava izolyasiyası, elektrik təchizatı, istismar xərcləri, eleqaz, izolyasiya materialı, üstünlüklər.

INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF MODERN VACUUM SWITCHES

RAGIMLI I.N., ZHAI NAIKUN, RZAEVA S.V.

The article deals with vacuum switches of average voltage up to 35 kV of leading foreign companies. The analysis of the design and operational advantages of vacuum switches is made. Vacuum switches from different manufacturers meet the requirements and differ in technical parameters, purpose, type of drive and its kinematics, size, weight, and design for the same voltage class they are the dominant type of switching device in medium-class networks of 6 kV-35 kV.

Keywords: vacuum switches, inter-contact gap, arcing chamber, switchgear, air insulation, power supply, operating costs, elegaz, insulation material, advantages.

MÜNDƏRİCAT

ELEKTROENERGETİKA

Cavadov N.H, Məmmədov A.İ, İbadov Ə.Ə. Paylanmış parametrli mürəkkəb elektrik dövrələrindəbaş verən keçid proseslərinin kompüter modelləşdirilməsi üçün ümumiləşdirilmiş ədədi üsul.....3

ELEKTROFİZİKA

Məmmədov H.A., Həşimov A.M., Qurbanov E.C., Namazov M.B., Qurbanov K.B. Sıx havadananosaniyəli qaz boşalmasının həyacanlanmasına potensial elektrod və qaz boşalması aralığının parametrlərinin qarşılıqlı təsirinin öyrənilməsi.....17

Abaszadə R.Q., Asimov Ə.A., Məmmədova S.A., Ələkbərov R.İ., ƏliyevO.Ə., Nəbiyev A.M.,Əliyev E.M., SəfərəliyevŞ.K., Kapuş O.A. Sprey koatinq üsulu ilə təbəqənin üzərinə çökdürülmüşkarbon nanoboruların raman analizi.....25

Hüseynov T.X., Qəribov Q.İ., Səfərov V.H., Rəsulov E.A., Allahverdiyev Ş.A. Civə plazmasındaionların paylanma funksiyasının təyini.....29

Hüseynov Q.M., KazımovM.H., Rzayeva A.B. Sulu məhlullarda mis-germanium sulfidlərinin əmələgəlmə şəraitinin tədqiqi.....36

Əliyeva İ.K., Vəliyev T.M. Polimer kompozitlərin elektrik dağılma kinetikasında elementar proseslər.....44

Hacıyev Y.M. Enerji obyektlərinin "Əşyalar İnterneti" nəzarət sistemlərində optik – lifli sensorların tətbiqi.....51

Səbzəliyeva Ç.E. GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ heterokeçidlərin elektrik və fotoelektrik xassələri.....59

ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

Əbilov Ç.İ., Həsənova M.Ş. p-$(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}$/n-$TlInSe_2$ heterokeçid quruluşlu günəş elementi və onun parametrləri.....65

Babayeva S.Ş., Babayev N. İ. Quba -Xaçmaz zonasının geotermal suları və istilik energetikasında onlardan istifadənin proqnozlaşdırılması.....70

Həsənova L.H. Külək elektrik stansiyalarında generator kimi istifadə olunan elektrik maşınlarının iş rejimlərinin öyrənilməsi metodlarının əsaslandırılması.....78

Abdullayev Y.R., Cahangirov Ə.N., Mərufov İ.M. İnduksion levitasiyalı şaquli oxlu külək generatorunun istilik hesabı.....84

Vəliyev C.Z. İsmayıllı rayonu, Girdimancay üzərində "İsmayıllı-3" KSES-in hidroenergetik potensialının tədqiqi.....93

İNFORMATİKA

Zeynallı S.M. Furye metodu ilə Laplas tənliyinin Koşi – Neyman məsələsinin həlli və qeyri trivial dəyişənlərinin təyini.....98

EKOLOGİYA

Novruzova E.E. Enerji sektorundakı ən yeni texnologiyalar, avtomatlaşdırılmış enerji uçotu sistemləri və onlarınYerkürəsinin ekologiyasına təsir edən əsas amilləri.....103

İŞ TƏCRÜBƏSİNDƏN

Rəhimov R.Q., Rəhimov S.R., Rəhimov A.R. Azərbaycan Dəmir Yollarının Bakı-böyükkəsik sahəsində moderniləşdirdikdən sonra lokomotiv siqnallarının ötürürülməsini təmin edilməsi.....108

İsmayılov S.S.,Sultanov E.F., Cəlilov T.A. Gəmi elektroenergetik sistemlərində elektrik enerjisinin itkilərinin və keyfiyyətinin tədqiqi.....113

Həsənov Q.Ə., Rzayev M.A. Gərginlik keyfiyyəti və elektrik şəbəkələrində gərginlik rejimlərinin analizi.....120

Rüstəmov R.M. Təsirlənməsi tənzimlənən sinxron generatorlu val – generator qurğusunda elektromexaniki rezonansın tədqiqi.....125

Kərimzadə G.S., Muxtarov C.B. Tezlik çeviricili asinxron elektrik intiqalı.....128

Sultanov E.F., Məmmədov E.M. Gəmi kran qurğularında tətbiq edilən yarımkeçirici çeviricilərin mühafizəsinin xüsusiyyətləri.....133

Rəhimli İ.N., Zhai Naikun, Rzayeva S.V. Müasir vakuum açarlarının etibarlılığının araşdırılması.....138

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Джавадов Н.Г., Мамедов А.И., Ибадов А.А.Развитие теории операционного исчисления для компьютерного моделирования переходных процессов в сложных электрических цепях с распределенными параметрами.....3

ЭЛЕКТРОФИЗИКА

Мамедов Х.А., Гашимов А.М., Гурбанов Э.Д., Намазов М.Б., Гурбанов К.Б. Исследование взаимовлияния параметров потенциального электрода и разрядного промежуткана процесс возбуждения наносекундного импульсного разряда в плотном воздухе.....17

Абасзаде Р.Г., Асимов А.А., Мамедова С.А., Алекберов Р.И., Алиев О.А., Набиев А.М., Алиев Е.М., Сафаралиев Ш.К., Капуш О.А. Рамананализ углеродных нанотрубокнанесенных спрей методом на подложку.....25

Гусейнов Т. Х., Гарибов Г. И., Сафаров В.Г., Расулов Э.А., Аллахвердиев Ш.А. Определение функции распределения ионов в ртутной плазме.....29

Гусейнов Г.М., Казимов М.Г., Рзаева А.Б. Исследованиеусловий получения медно-германовых сульфидов в водных растворах.....36

Алиева И.К., Велиев Т.М. Элементарные процессы в кинетике электрического разрушения полимерных композиций.....44

Гаджиев Я.М. Фибер – оптические сенсоры в системах “интернет – вещей” для контроля энергетических объектов.....51

Сабзалиева Ч.Э. Электрические и фотоэлектрические свойства гетеропереходов $GaAs/CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$.....59

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Абилов Ч.И., Гасанова М.Ш.Солнечный элемент с гетеропереходной структурой $p\text{-}(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}/n\text{-}TlInSe_2$и его параметры.....65

Бабаева С.Ш., Бабаев Н.И. Геотермальные воды Куба – Хачмазскго региона и прогнозирование использования их в теплотехнике.....70

Гасанова Л.Г. Обоснование методов исследования режимов работы электрических машин в ВЭУ.....78

Абдуллаев Ю.Р., Джахангиров А.Н., Маруфов И.М.Тепловой расчет индуктивного левитра вертикальной оси ветрогенератора.....84

Велиев ДЖ.З.Исследование гидроэнергетического потенциала «Исмаиллы-3» МГЭС на Р.Гирдиманчай Исмаиллинского Района.....93

ИНФОРМАТИКА

Зейналлы С.М. Решение задачи Коши – Неймана для уравнения Лапласа методом Фурье и определения не тривиальных переменных.....98

ЭКОЛОГИЯ

Новрузова Э.Э. Применение некоторых технологий в системе энергетике и экологические аспекты.....103

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ

Рагимов Р.Г., Рагимов С.Р., Рагимов А.Р. Обеспечение передачи автоматических локомотивных сигналов путем модернизации существующих устройств наэлектрифицированном участке Баку – Беюккясик АЖД.....108

Исмаилов С.С., Султанов Е.Ф., Джалилов Т.А. Исследование качества и потерь электрической энергии в судовых электроэнергетических системах.....113

Гасанов Г.А., Рзаев М.А. Анализ качества напряжения и режимов напряжения в электрических сетях.....120

Рустамов Р.М. Исследование электромеханического резонанса в синхронном валогенераторе при регулировании возбуждения.....125

Керимзаде Г.С., Мухтаров Дж.Б. Асинхронный электропривод с преобразователем частоты.....128

Султанов Е.Ф., МамедовЕ.М. Особенности защиты полупроводниковых преобразователей применяемых в судовых крановых устройствах.....133

Рагимли И.Н., Зхаи Наикун, Рзаева С.В.Исследование надежности современных вакуумныхвыключателей.....138

CONTENTS

THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING

Javadov N.H., Mammadov A.I., Ibadov A.A. The computer simulation of transient processes in electrical chains with distributed parameters.....3

ELECTROPHYSICS

MammadovH.A., Hashimov A.M., Gurbanov E.J., Namazov M.B., Gurbanov K.B. Research of interaction of potential electrode and discharge gap parameters on exciting a nanosecond pulse discharge in dense air.....17

Abaszade R.G., Asimov A.A., Mammadova S.A., Alakbarov R.İ., Aliyev O.A., Nabiev A.M., Aliev E.M., Safaraliyev Sh.K., Kapush O.A. Ramananalysis of carbon nanotubes deposited on asubstrate by spray method.....25

Huseynov T. Kh., Qaribov Q. I., Safarov V.H., Rasulov E. A., Allakhverdiyev Sh.A. Determination of the distribution functions of ions in the mercury plasma.....29

Huseynov G.M., Kazimov M.H., Rzayeva A.B. Investigation of obtaining conditions of copper-germanium sulphides in aqueous solutions.....36

Aliyeva I.K., Veliyev T.M. Elementary processes in kinetics of electric destruction of polymer compositions.....44

Hajiyev Y.M. Optic fiber sensing based IOT systems for energy facilities.....51

Sabzalieva CH.E. Electrical and photoelectric properties of the GaAs/$CuIn_{0.86}Ga_{0.14}(Se_{0.8}S_{0.2})_2$ heterojunctions.....59

ENERGY SOURCES

Abilov CH.I., Hasanova M.SH. Solar element with WITH p-$(CuInSe_2)_{0.99}(In_2Te_3)_{0.01}$/n-$TlInSe_2$ heterojunctions structure and its parameters.....65

Babayeva S. SH., Babayev N. I. Geothermal waters of the Guba-Khachmaz region and forecasting the use of them in heat engineering.....70

Hasanova L.H. Justification of methods of investigation of operating modes of electric machines in wind power plants.....78

Abdullayev Y.R, Jahangirov A.N, Marufov I.M. Thermal calculation of the inductive levitra of the vertical axis of the wind generator.....84

Valiyev J.Z. Researching hydroelectric potential of "Ismailli-3" SHPS on the river Girdiman.....93

INFORMATICS

Zeynalli S.M. Soliton of the Cauchy-Neumann problem of the Laplace equation by the Fourier method and determination of non-trivial variables.....98

ECOLOGY

Novruzova E.E. The newest technologies in the energy sector automated energy accounting systems and their main factors of influence on the ecology of the earth.....103

FROM OPERATING EXPERIENCE

Ragimov R.G., Ragomov S.R., Ragimov A.R. Securing the movement of trains to the electrified section of Baku – Beyuk kyasikAzerbaijan railways.....108

Ismailov S.S., Sultanov E.F., Jalilov T.A. The research of electrical energy losses and quality in the ships electroenergetic systems.....113

Hasanov G.A., Rzayev M.A. Voltage quality and analysis of voltage regimes in electrical networks.....120

Rustamov R.M. Research of elektromechanical resonance in synchronous shaft generator withrequlation of excitation.....125

Kerimzade G.S., Muxtarov C.B. Asynchronous electric drive with a frecuency converter.....128

SultanovE.F., Mammadov E.M. Protection features of semiconductor converters used in vessel crane installation.....133

Ragimli I.N., Zhai Naikun, Rzayeva S.V. Investigation of the reliability of modern vacuum switches.....138

MÜƏLLİFLƏRİN NƏZƏRİNƏ

1. Ümumi qaydalar.

"Energetikanın problemləri" "jurnalında energetikanın kompleks problemləri, elektroenergetika, istilik energetikası, elektrofizika, elektrotexnologiya, informatika və yeni texnika sahələrinə həsr olunmuş elmi-texnki məqalələr dərc edilir, eyni zamanda cari xronika da verilir.

Jurnalın əsas məqsədi yüksək elmi keyfiyyət kriteriyalarına cavab verən orijinal elmi-texniki məqalələrin dərc edilməsidir.

Jurnal eyni zamanda konfranslar, sinpoziumlar, elmi məktəblər, ümumiyyətlə elmi həyatda cərəyan edən hadisələr haqqında məlumatları da dərc edir.

Redaksiya heyəti, bu və ya digər səbəblərdən, jurnalın tələblərini təmin etməyən məqalələri dərc etməmək hüququnu üzündə saxlayır.

2. Məqalələrin təqdim edilməsi.

Bütün məqalələr aşağıda qöstərilən ünvana, jurnalın redaksiyasına göndərilməlidir:

Azərbaycan, Az-1143, Bakı, HüseynCavidprospekti, 33
AzərbaycanMEAFizikaİnstitutu
Tel.: (994 12) 539 – 41 – 61; (994 12) 539 – 44 - 02; Faks : (994 12) 447 – 04 – 56

E – mail : arif @ physics.ab.az ;
Məsul katib Qurbanov Kamil Bəxtiyar oğlu.

3. Məqalələrin mətninin dili.

Məqalələr azərbaycan, rus və ingilis dillərində qəbul edilir. Respublika müəlliflərinin məqalələri yalnız azərbaycan və ya rus dillərində, yaxın xarici ölkələrdən olan müəlliflərin məqalələri yalnız rus dilində, uzaq xarici ölkələrin müəlliflərinin məqalələri isə yalnız ingilis dilində qəbul edilir.

4. Məqalələrin tırtib edilməsi qaydaları.

4.1. Məqalələr, jurnalın redaksiyasına disket təqdim etməklə, fərdi kompyüterdə, A4 formatlı ağ kağızda, səhifənin parametrləri: yuxarıdan və aşağıdan – 2sm, soldan və sağdan – 2,5 sm məsafə ilə, Times New Roman 12 şriftində yazılarasq, 1 nüsxədə, sətir aralığı 1 interval olmaq şərtilə çap edilərək, qoşulmuş CD disk ilə təqdim edilir.

4.2. Məqalələrin ümumi həcmi, qrafiki materiallar, fotolar, cədvəllər, düsturlar, ədəbiyyatın siyahısı və xülasələr də daxil olmaqla 8 səhifədən yuxarı olmamalıdır.

4.3. Məqalələrinin birinci səhifəsinin sol küncündə Universal onluq təsnifatı (UOT) üzrə indeksi göstərilməlidir. Sonra 1 interval aşağıdan, qalın və böyük hərflərlə məqalənin adı yazılır. Sonra 1 interval aşağıdan, qalın və böyük hərflərlə müəllifin (müəlliflərin) soyadı, adı və atasının adının baş hərifləri yazılır. 1 interval aşağıdan məqaləni təqdim edən təşkilatın adı yazılır. 1 interval aşağıdan, məqalənin mətninin dilinə uyğun olan, həcmi 10 sətirdən çox olmamaq şərtilə, 10 şrifti ilə çap edilən xülasə, açar süzlər (5-6 söz), məqalənin əsas mətninin önündə verilir. Sonra 1 interval aşağıdan məqalənin əsas mətni 12 şrifti ilə çap edilir. Bilavasitə məqalənin mətninin davamı olaraq, heç bir başlıq vermədən, yalnız 20-25 simvolluq xətt çəkərək, say sırası ilə istifadə edilən ədəbiyyatın siyahısı verilir. Sonra ardıcıl olaraq rus (və ya azərbaycan) və ingilis dillərində olan xülasələr və açar sözlər (10 şrifti ilə çap edilərək) verilir. Məqalənin

mətninin sonunda, əlaqə telefonları, telefakslar və E – mail-ı göstərməklə, müəlliflər məqaləni imzalayırlar.

4.4. Məqalənin qrafiki materialları, fotolar, cədvəllər, düsturlar mətnə uyğun yerlərdə yerləşdirilməlidir. Qrafiki materialların şərhinə aid olan yazılar məqalənin mətnində verilməlidir. Qrafiki materiallarda ədədi və ya hərfi işarələr göstərilərək, uyğun izahatlar mətnin içərisində verilməlidir. Qrafiki materialların aşağı hissəsində say sırası verilir və adı yazıla bilər (misal üçün, Şək.3. Sınaq qurğusunun sxemi).

4.5. Ədəbiyyat say sırası qeyd edilməklə, orijinalın dilində verilir. Müəlliflərin soyadı, adı və atasının adı kursivdən istifadə etməklə yazılır. Ədəbiyyatın siyahısı aşağıda verilən nümunələr üzrə tərtib edilir.

Kitablar

1. *Разевиг Д.В., Соколова М.В.* Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М.: Энергия, 1977.- 178 с.
2. *De Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystalls. London: Cambridge Univ. Press, 1974.

Jurnallar

3. *Аганов В.Г., Разевиг Д.В.* // Электричество.- 1972.- № 5.- с. 32-36.
4. *Ялякбяров О.З.* // Физика-1999-№ 3- с.44-49.

Depone edilmiş əl yazması.

5. *Иванов Л.П.* М., 1985. 40с. - Деп. в ВИНИТИ 25.10.85, №19233.

Dissertasiyalar

6. *Петров В.Г.* Дис. канд. физ.-мат. наук. Л.: Институт Высокомолекулярных соединений, 1985.
7. *Сидоров Н.В.* Дис. д-ра хим. наук. Новосибирск: Институт Химии, 1979.

Müəlliflik şəhadətnamələri və patentlər

8. *Алиев С.Г., Джалалов К.Х.* А.С. 163514 СССР // Б.И. 1988. № 4.с.50
9. Пат. 3386968 США // РЖ ФИЗ. 1970, 25,с. 400.
10. *Langsam M., Savoca A.C.L.* Pat. 4759776, USA,1988.

Konfranslar, simpoziumlar

11. *МедведевП.Т.* // Тез. докл. III Всесоюз. Совещ. по проблемам энергетики. Л.: Изд. ЛПИ, 1984, с.30.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Общие правила.

В журнале “Проблемы Энергетики” публикуются научно - технические статьи в области комплексных проблем энергетики, электроэнергетики, теплоэнергетики, электрофизики, электротехнологии, информатики и новой техники, а также приводится текущая хроника.

Основной целью журнала является публикация оригинальных научно-технических статей, отвечающих требованиям высокого научного качества.

В журнале приводятся сведения о работе конференций, симпозиумов, различных научных школ, а также об интересных событиях, происходящих в научном мире.

Редакция сохраняет за собой право не публиковать материалы по тем или иным причинам, не удовлетворяющим требованиям журнала.

2. Представление статей.

Статьи должны быть представлены в редакцию журнала по следующему адресу:

Азербайджан, Аз-1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33
Институт Физики НАН Азербайджана
Тел: (994 12) 539-41-61 ; (994 12) 539-44-02; Факс : (994 12) 447-04-56
E-mail: arif@ physics.ab.az ;
Ответственный секретарь - Гурбанов Кямиль Бахтияр оглы.

3. Язык статей.

Статьи принимаются на азербайджанском, русском и английском языках, причем статьи авторов из Азербайджана должны быть представлены на азербайджанском или русском языках, статьи авторов из стран СНГ - только на русском языке, статьи авторов из дальнего зарубежья - только на английском языке.

4. Правила оформления статей.

4.1. В редакцию журнала представляются статьи, набранные и напечатанные в одном экземпляре через один интервал на персональном компьютере, на белой бумаге формата А 4, шрифтом Times New Roman, размер шрифта 12, а также представляется в электронном виде на CD диске. Поля сверху и снизу - 2 см, слева и справа - 2,5 см.

4.2. Объем статьине должен превышать 8 страниц, включая графические материалы, фото, таблицы, формулы, список литературы и аннотации.

4.3. В верхнем левом углу первой страницы статьи указывается индекс УДК. Через 1 интервал ниже помещается название статьи жирным и заглавным шрифтом. Через 1 интервал помещается фамилия (фамилии), и инициалы автора (авторов) жирным и заглавным шрифтом. Через 1 интервал указывается наименование организации. Через 1 интервал помещается аннотация на языке статьи объемом не более 10 строк и ключевые слова (5-6 слов) шрифтом 10. Через 1 интервал помещается основное содержание статьи шрифтом 12. В конце основного текста статьи

проводится прочерк длиной 20-25 символов, после чего помещается список литературы без какого-либо названия, в порядке нумерации ссылок в тексте статьи. После этого через 1 интервал помещаются аннотации на двух других языках – русском (или азербайджанском), английском и ключевые слова (5-6 слов) шрифтом 10.

В самом конце статьи помещаются контактные телефоны, факсы и E – mail, а также подписи всех авторов.

4.4. Графические материалы, фото, таблицы, формулы помещаются в соответствующих разделах текста статьи. Надписи, относящиеся к графическим материалам, помещаются в тексте статьи. В графическом материале указываются буквенные и цифровые обозначения, а их комментарии помещаются в тексте статьи. В нижней части графического материала указывается номер и может указываться название материала (напр., Рис.3. Схема установки….)

4.5. Список цитированной литературы приводится на языках оригиналов. Фамилии и инициалы авторов печатаются курсивом. Список литературы оформляется по образцу, приведенному ниже:

Книги

1. *Разевиг Д.В., Соколова* М.В. Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М.: Энергия, 1977.- 178 с.
2. *De Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystalls. London: Cambridge Univ. Press,1974.

Журналы

3. *Аганов В.Г., Разевиг Д.В.* // Электричество.- 1972.- № 5.- с. 32-36.
4. *Ялякбяров О.З.* // Физика-1999-№ 3- с.44-49.

Депонированные рукописи

5. *Иванов Л.П.* М., 1985. 40с. - Деп. в ВИНИТИ 25.10.85, №19233.

Диссертации

6. *Петров В.Г.* Дис. канд. физ.-мат. наук. Л.: Институт Высокомолекулярных соединений, 1985.
7. *Сидоров Н.В.* Дис. д-ра хим. наук. Новосибирск: Институт Химии, 1979.

Авторские свидетельства и патенты

8. *Алиев С.Г., Джалалов К.Х.* А.С. 163514, СССР // Б.И. 1988. № 4.с.50
9. Пат. 3386968 США // РЖ. ФИЗ. 1970, 25, с. 400.
10. *Langsam M., Savoca A.C.L.*Pat. 4759776, USA, 1988.

Конференции, симпозиумы

11. *Медведев П.Т.* // Тез. докл. III Всесоюз. Совещ. по проблемам энергетики. Л.: Изд. ЛПИ, 1984, с.30.

FOR THE ATTENTION OF AUTHORS

1. General Rules.

The **Journal of Electric Power** is dedicated to publicize scientific research articles reflecting the current problems in the electric power systems, heat transfer, technology and information technology, and digests.
The main purpose of the Journal is publishing of the original scientific articles, meeting high quality requirements.
The journal also informs about the results of conferences, seminars, various scientific schools, and the events taking place in the scientific society.
The editorial board reserves the right not to publish the submitted documents, which for various reasons do not satisfy the requirements of the Journal.

2. Submission of the papers.

The papers must be submitted to the editorial body at the following address:

Azerbaijan, Аз-1143, Baku, pr.G.Javid, 33
Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Azerbaijan
Tel: (994 12) 539-41-61 ; 539-44-02; Fax : (994 12) 447-04-56
E-mail: arif@physics.ab.az;
For the Attention of K.B.Kurbanov – the Responsible Secretary

3. The Language

The papers can be accepted in either of Azeri, Russian or English. The papers submitted by Azerbaijani authors must be submitted in Azeri and Russian, the papers of those from CIS countries–in Russian, and those originated from the countries outside CIS-in English.

4. The papers must be submitted in the following format.

4.1. The hard copy of the paper must be submitted on the A4 format in 1-line interval, typed in “Times New Roman”, in 12 font, with the borders from top and bottom – 20 mm, from left and right – 25 mm. The electronic copy on a CD-disk should be submitted along with the hard copy.

4.2. The paper must not contain more than 8 pages of text, inclusive of any graphs, photos, formulas, reference lists and annotations.

4.3. In the upper left corner of the paper the index of UDC must be indicated. Below that, omitting one line, the name of the article must be placed printed in a **BOLD CAPITAL LETTERS.** Underneath the name of the paper, omitting 1 line, the name of the author(s) printed in capital letters must be printed. Below that, omitting 1 line, the name of the organization must be indicated, which supported the research. The abstract follows that, leaving 1 line of blank space, which must be no more than 10 lines,and keywords (5-6 words) of font 10. The text of the paper follows the abstract, leaving 1 line. Drawing a line with the length 20-25 symbols must indicate the end of the text. The reference list is printed below the line, following the same order as it was referred to in the text. Below

the reference list, the summaries and keywords (5-6 words) in Russian and English must follow.

At the end of the paper, the contact details must be placed, and also all the authors must put their signatures.

4.4. All graphic materials, photos, tables, formulas must be placed in the corresponding place of the text. The legends must be placed in the text. All the keys to the symbols must be given in the text of the paper. Below the graphic material the number can be indicated followed by the name of the material (e.g. Fig. 3. Schematic drawing of the installation…)

4.5. The cited materials must be referred to using their original language. The names of authors must be given in *italics.* The reference list must follow the example below:

Books

1. *De Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystalls. London: Cambridge Univ. Press,1974.

Journals

2. *Price D.A.,Lucas I.L., MoruzziJ.D. // J.Phys.D(Appl.Phys),1973,v.6,No.12,p.1514-1524.*

3. *Ялкбяров О.З.* // Физика-1999-№ 3- с.44-49.

Patents

4. Langsam M., Savoca A.C.L. Pat. 4759776, USA, 1988.

QEYD ÜÇÜN

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

elmi – texniki jurnal

№ 1 2020

Jurnal aşağıdakı əməkdaşlar tərəfindən yığılıb, nəşrə hazırlanmışdır:

Az. MEA – nın Fizika İnstitutu - **Z.A.Tağiyeva**

Qeydiyyat №-si: B 507 Tiraj50 nüsxə

Bakı, «Elm» nəşriyyatı

---

*Redaksiyanın ünvanları :*Bakı, Az-1143, H.Cavidprospekti, 33, Az.MEAFizikaİnstitutu

Bakı, Az -1602, H.Zərdabiprospekti, 94, Az.ETEvəELİ