

INFLUENȚA REGIMURILOR NESIMETRICE ASUPRA FIABILITĂȚII ECHIPAMENTELOR ELECTRICE

**F. Erhan, V. Popescu, Irina Lupușor (Universitatea Agrară de Stat din Moldova,
catedra electrificarea și automatizarea mediului rural)
Anastasia Mocanu (Universitatea de Stat din Cahul)
terhan@mail.ru**

Rezumat. Variația grafului de structură a rețelelor de distribuție și sporirea puterilor în nodurile de generare aduc la apariția regimurilor nesimetrice care pot fi însotite de fenomene suplimentare inclusiv și scurt circuite de diverse forme (mono ori trifazate). Ca rezultat final al fenomenelor respective se poate de constatat, că se va schimba și fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice respective. Articolul dat este consacrat analizei influenței regimurilor nesimetrice asupra fiabilității de funcționare a echipamentelor electrice.

Cuvinte cheie: regimuri nesimetrice, scurt circuit, fiabilitate de funcționare a echipamentelor electrice, echipamente electrice

STUDY OF THE INFLUENCE LEVEL CURRENT OF THE SHORT CIRCUIT ON RELIABILITY OF THE BREAKERS

**F. ERCHAN, V. POPESCU, IRINA LUPUSHOR
Agrarian University of Moldova
ANASTASIA MOCANU
State University of Cahul**

Abstract. In the article the analysis of the influence level current of the short circuit of the electrical equipment. It is designed the mathematical model allowing the modeling prototype reliability of the operation electrical equipment installed in nodes of the systems.

Key words: power electric distributing systems, short circuit in power electrical systems, reliability of the breakers.

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

**Ерхан Ф., Попеску В., Лупушор И. (Государственный аграрный университет Молдовы, кафедра
Электрификации и автоматизации сельского хозяйства)
Мокану А. (Кагульский государственный университет)**

Аннотация. Изменение структуры генерирующих узлов и рост их установленной мощности приводят к тому, что несимметричные режимы сопровождаются различными явлениями вплоть до возникновения коротких замыканий различного типа (однофазные или трехфазные). В результате этого ухудшаются условия работы установленного электрооборудования, что влияет на надежность его функционирования. В статье проведен анализ влияния возникновения несимметричных режимов на надежность установленного электрооборудования.

Ключевые слова: несимметричные режимы, короткие замыкания (однофазные или трехфазные), надежность электрооборудования.

Introducere

Una din problemele cheie în procesul de dezvoltare a sistemelor electroenergetice și în deosebi a celor de distribuție a energiei electrice este problema regimurilor nesimetrice ce apar și fenomenele ce însotesc aceste regimuri și influența lor asupra fiabilității de funcționare a echipamentelor instalate. Din cele mai frecvente fenomene ce pot apărea în sistemele trifazate ce aduc la crearea regimurilor nesimetrice sunt scurt circuitele care însotesc regimurile normale de funcționare.

Desfășurarea problemei

Dintre toate echipamentele instalate cele mai des sunt supuse fenomenelor nesimetrice și regimurilor tranzitorii ce apar în sistemele de distribuție sunt întrerupătoarele. Anume din aceste motive nivelul de fiabilitate de funcționare și modul de funcționare a sistemelor de distribuție sunt în dependență directă de modul de funcționare a întrerupătoarelor, care de cele mai dese ori sunt instalate la început de fider.

La apariția regimurilor nesimetrice și a fenomenelor de scurt circuit întrerupătoarele trebuie în mod operativ să declanșeze (timp de 4 semiperioade) circuitul electric respectiv, pentru a păstra duritatea de funcționare a sistemului respectiv. Din analiza materialelor statistice se poate de constatat, că cu sporirea valorilor curenților de scurt circuit în nodurile sistemului electroenergetic cele mai dificile condiții de funcționare a întrerupătoarelor apar atunci, cînd valoarea curentului de scurt circuit constituie mărimea ce se determină conform ecuației (1).

$$I_{s.c.} = \frac{2}{3} I_{s.c.\max} \quad (1)$$

unde $I_{\dot{e}_c i_e}$ — curentul de scurt circuit la început de rețea;.

S-a constatat, că din toate regimurile nesimetrice însoțite de regimuri tranzitorii cele mai dificile la deconectare de către întrerupătoare sunt cele create în dependență de viteza de variație a tensiunii (du/dt) și viteza de variație a curentului electric (di/dt) în locul de apariție a regimului nesimetric.

Variația valorilor respective în circuitele electrice sunt funcții de variația tensiunii tranzitorii în nodurile circuitului electric, iar duritate de deconectare a acestor regimuri poate fi determinată analitic prin valoarea coeficientului de duritatea care se determină conform expresiei (2).

$$k_D = I_{scA} / I_n \quad (2)$$

unde $I_{SC:A}$ - este curentul de scurt circuit așteptat în nodul electric

I_n - este curentul electric nominal deconectat de întrerupătorul respectiv.

În procesul de analiză a influenței proceselor tranzitorii în sistemele trifazate create de regimurile nesimetrice unul din factorii de bază este fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice ce se află în circuitele respective., care de cele mai dese ori pot fi determinați conform [2, 4]. În procesul de determinare a influenței curenților de scurt circuit și a regimurilor nesimetrice asupra fiabilității de funcționare a întrerupătoarelor se va reiese din presupunerea, că se îndeplinesc condițiile descrise în [2, 4] și în aşa caz frecvența de deconectare este funcție de valorile curenților electrici deconectați și poate fi prezentată conform expresiei (3).

$$\lambda(t) = f(I_{SC}^{(1)}; I_{nom}^{(3)}); \quad \lambda(t) = \frac{1}{t_p} \int_0^{t+t_p} \omega(x) dx \quad (3)$$

Dacă se va reiese din presupunerea că frecvența de deconectare este o valoare determinată, apoi probabilitatea de funcționare fără refuz a echipamentelor respective se va determina din expresia (4).

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

Probabilitatea de refuz a echipamentelor respective în procesul de funcționare se va determina din expresia (5).

$$q(t) = 1 - p(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Dacă este cunoscută probabilitatea de refuz a echipamentelor respective planificată la început de exploatare (q_1) și cea reală la etapa de efectuare a reparației consecutive (q_2) pentru restabilirea proprietăților tehnice, apoi se poate de determinat analitic rezerva de fiabilitate de funcționare a echipamentelor respective conform expresiei (6).

$$\Delta q = q_2(t) - q_1(t) = e^{-\Delta \lambda t} \quad (7)$$

unde: Δq - reprezintă cu sine valoarea posibilă a probabilității de sporire a refuzurilor de funcționare a echipamentelor respective pînă la următoarea reparație consecutivă;

$\Delta \lambda = (\lambda_2 - \lambda_1)$ - este diferența frecvențelor de deconectare care este funcție de valorile curentilor electrici deconectați la începutul perioadei de exploatare (λ_1) și la momentul de efectuare a reparației capitale respective (λ_2).

Numărul de operații a echipamentelor respective în dependență de frecvență și probabilitatea de apariție a refuzurilor respective pot fi determinate analitic conform expresiei (8).

$$n = n_0 e^{-\Delta \lambda t} \quad (8)$$

unde: n_0 – este numărul de operații minimal posibile reglementate pentru echipamentele respective pînă la efectuarea următoarei revizii și reparații capitale, reiesind din valorile curentilor deconectați.

Deoarece procesele nesimetrice de cele mai dese ori sunt însotite de degajare a căldurii, care negativ influențează asupra proceselor de funcționare a echipamentelor electrice, apoi apare necesitatea de a verifica echipamentele respective și la duritatea termică reiesind din condițiile reale de funcționare. Pentru acest caz dacă se va îndeplini inegalitatea de forma (8) se poate de constatat, că echipamentele respective vor respecta duritatea termică.

$$I_{\dot{\lambda}, nom}^2 \cdot \tau_{\dot{\lambda}, nom} \geq \int_0^{\tau_{T, nom}} \hat{A} \quad (8)$$

unde: $I_{T, nom}$ - este valoarea nominală a curentului de duritate termică a echipamentelor respective; $\tau_{T, nom}$ - este durata nominală de duritate termică; B - este integrala Jull cu limitele de integrare de la 0(zero) pînă la durata termică nominală $\tau_{T, nom}$.

Un alt indicator ce caracterizează capacitatea și probabilitatea echipamentului respectiv în nodul respectiv al sistemului electric este capacitatea de deconectare a parametrilor electrici în diverse situații posibile, atât în regim normal de funcționare cât și în regimurile nesimetrice de avarie.

În conformitate cu [4] capacitatea de deconectare a echipamentelor respective se apreciază reiesind din valorile nominale ale curentilor de deconexiune $I_{d, nom}$ și asimetria nominală a curentului de deconectare în momentul (β_{nom}) de deconectare, care poate fi determinată conform expresiei (9).

$$\beta_{nom} = \frac{i_{a, \tau}}{I_{o, nom} \sqrt{2}} \quad (9)$$

unde: i_{ar} – este valoarea componentei aperiodice a curentului electric de scurt circuit în momentul de deconectare a regimului respectiv.

Fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice respectiv (inclusiv și a întrerupătoarelor respective) în aşa caz este funcție de valoare curenților electrici de deconectare și viteza de variație a tensiunii tranzitorii de restabilire în momentul respectiv, probabilitatea de funcționare fără refuz și numărul de operații respectiv efectuate.

În mod analitic dependența respectivă poate fi prezentată conform expresiei (10).

$$R(t) = \frac{1}{n\sqrt{2\pi}} \int_0^t I_{EC}^{(3)}(t) \int_0^t (\omega \cdot t + \gamma \cdot t) dt. \quad (10)$$

Dependența fiabilității de funcționare a echipamentelor electrice ca funcție de valorile curenților electrici deconectați și numărul de cicluri efectuate pentru echipamentele respective (inclusiv și a întrerupătoarelor) instalate în sistemele de diverse niveluri de tensiune pentru diverse perioade de exploatare (perioada 1980-2007) în diverse sisteme poate fi diferit, dar pentru sistemul concret analizat este prezentat în tabelul 1.

Tabelul 1

I_{O_HOM} (kA)	20	30	40	50	63
I_{K3}/I_{O_HOM}	0,16	0,25	0,50	0,75	1,0
N	30	25	20	12	10
R	0,996	0,998	0,999	0,993	0,991

Din analiza valorilor numerice a fiabilității de funcționare prezentate în (tabelul 1) reiese, că variația frecvenței (intensității) de refuz a echipamentelor electrice și probabilitatea de refuz în timp pot fi prezentate grafic respectiv prin curbele prezentate (1) și (2) din fig.(1), care indică că valorile respective corespund funcțiilor clasice de restabilire a elementelor ce dispun de procese de restabilire în timp.

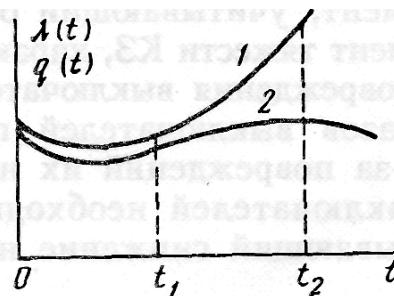


Fig.1. Variația frecvenței de refuz a echipamentelor electrice curba 1;
Modul de variație a refuzurilor în timp a echipamentelor electrice analizate -curba 2

Probabilitate de funcționare fără refuz este un parametru ce caracterizează fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice (inclusiv și a întrerupătoarelor) și în dependență de durata de exploatare poate fi determinată analitic din expresia (11).

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (11)$$

Frecvența de refuz a echipamentelor electrice (inclusiv și a întrerupătoarelor) $q(t)$ se determină ținând cont de valorile intensității de funcționare fără refuz $p(t)$ și analitic poate fi determinată conform (13).

Probabilitatea de funcționare fără refuz $p(t)$ a echipamentelor electrice este unul din parametrii fiabilității de funcționare a echipamentelor electrice în dependență de durata de exploatare și analitic poate fi determinată conform (12).

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (12)$$

Frecvența de refuz a echipamentelor electrice $q(t)$ poate fi determinată ținând cont de intensitatea de funcționare fără refuz $p(t)$ și analitic se va determina conform (13).

$$q(t) = 1 - p(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (13)$$

Analiza procesului de funcționare a echipamentelor electrice în sistemele trifazate la apariția regimurilor tranzitorii se poate de constatat, că circa 25% din deconectări se petrec în baza regimurilor nesimetrice ce apar în sistemele respective.

Anume din aceste condiții fiabilitatea de funcționare a echipamentelor sistemelor de distribuție poate fi determinată ținând cont anume de distribuția fenomenelor respective și se va determina conform expresiei (14).

$$R(t) = K \frac{K_T}{n\sqrt{2\pi}} \int_0^t [w\tau + \gamma\lambda\tau] d\tau / (I_{SC} / I_{i.Nom}) \quad (14)$$

Concluzii.

Din cele prezentate se poate de constatat, că procesele tranzitorii ce însotesc regimurile nesimetrice de funcționare a echipamentelor electrice de cele mai dese ori au o influență directă a supra modului de funcționare a echipamentelor respective care poate fi exprimat prin fiabilitatea de funcționare a echipamentelor respective.

În lucrare se propune un model matematic și un algoritm ce poate modela fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice în dependență de valorile curentilor ne simetrii deconectați și de viteza de variație a tensiunii de restabilire la barele echipamentelor respective.

Bibliografie

1. Некленаев Б. Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электроэнергетических системах, М.: Энергия, 1978., 151 с.
2. Ершевич В.В. О принципах формирования системообразующих сетей, объединенной энергосистемы с учетом уровней токов короткого замыкания //Сб. докл. на III Всесоюз. совещ. по устойчивости и надежности энергосистем СССР. Л., 1973.
3. Ерхан Ф. М., Некленаев Б. Н. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем. Кишинев: Штиинца, 1985. с. 207.

4. Ерхан Ф. М. Факторы, влияющие на значения уровней токов короткого замыкания в электроэнергетических системах Известия ВУЗов СНГ “Энергетика”, Минск, 2005, № 6, с. 7-12.

Erhan Fiodor Mihail, doctor habilitat în tehnică, profesor universitar, şef catedră Electrificare și automatizarea mediului rural, Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Intersele științifice se află în planul analizei fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare a consumatorilor cu energie electrică și determinarea influenței regimurilor nesimetrice asupra fenomenelor respective. Autor și coautor la peste 160 articole științifice și lucrări metodico-didactice dintre care se por evidenția 2 manuale, 3 brevete de invenție, 2 monografii științifice și o serie de articole științifice publicate în reviste recenzate, raporturi la Conferențe Unionale, Internaționale și republicane.

Ерхан Феодор Михайлович, доктор хабилитат технических наук, профессор, зав кафедрой Электрификации и автоматизации сельского хозяйства Государственного аграрного университета Молдовы. Научные интересы находятся в плоскости надежности распределительных и питающих систем и влияния несимметричных режимов на соответствующие явления. Автор и соавтор более 160 научных и методических работ среди них 2 (два)учебника 3 авторские свидетельства 2(две)научные монографии и научные статьи опубликованных в рецензируемых журналах и докладах на различных Всесоюзных, Международных и Республиканских конференциях.

Popescu Victor, lector superior universitar activează în cadrul catedrei Electrificare și automatizarea mediului rural, Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Intersele științifice se află în planul analizei fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare a consumatorilor cu energie electrică și determinarea influenței regimurilor nesimetrice asupra fenomenelor respective. Autor și coautor la 11 articole științifice și lucrări metodico-didactice publicate în reviste recenzate, raporturi la Conferențe Internaționale și republicane.

Попеску Виктор Сергеевич, старший преподаватель кафедры Электрификации и автоматизации сельского хозяйства Государственного аграрного университета Молдовы. Научные интересы находятся в области исследования надежности распределительных и питающих систем и влияния несимметричных режимов на соответствующие явления. Автор и соавтор более 11 научных и методических работ, опубликованных в рецензируемых журналах и докладах на различных Международных и Республиканских конференциях.

THE SOLUTION OF THE CABLE EQUATIONS BY MEANS OF FINITE DIFFERENCE TIME DOMAIN METHOD

Patsiuk V., Ribacova G.

Institute of Power Engineering, Academy of Sciences of Moldova

Moldova State University

E-mail: patsiuk@usm.md, gal_rib@mail.ru

Abstract. The analysis and comparison of accuracy of numerical solutions received by Finite Difference Time Domain (FDTD) method and Godunov's method at the solution of the cable equations is carried out. It is demonstrated, that at sudden short circuits and at transition to idling mode in numerical solutions received by means of FDTD method for long lines with the distributed parameters appear strong nonphysical oscillations. It is shown, that the settlement scheme offered by authors on the basis of Godunov's method is deprived these lacks and provides high accuracy for the numerical solutions received at the analysis of dynamic modes in long lines, caused by sudden short circuits and line transitions in an idling mode.

Key words: cable equations, finite difference time domain method, Godunov's scheme.

OBȚINEREA SOLUȚIILOR ECUAȚIILOR TELEGRAFIȘTILOR CU METODA DIFERENȚELOR FINITE ÎN DOMENIUL DE TIMP (metoda FDT)

Pațiu V., Rîbacova G.

Institutul de Energetică al AŞM, Universitatea de Stat a Moldovei

Rezumat. S-au analizat și comparat precizia schemelor de calcul Finite Difference Time Domain (metoda FDTD) și a schemei numerice de calcul propusă de către Godunov (metoda Godunov) la obținerea soluțiilor numerice pa ecuațiilor telegrafiștilor. S-a demonstrat, că în soluția numerică obținută în baza metodei FDTT privind procesele dinamice în liniile electrice cu parametri distribuiți apar oscilații puternice, ce nu au proveniență de origine fizică. Schema modificată de calcul numeric propusă de autori (metoda Godunov) este lipsită de acest dezavantaj și asigură o precizie mai ridicată la analiza regimurilor de mers în gol și de scurtcircuit în liniile electrice, care au un caracter aleatoriu de apariție.

Cuvinte-cheie: ecuațiile telegrafiștilor, metoda FDTD, schema Godunov.

РЕШЕНИЕ ТЕЛЕГРАФНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ (метод FDTD)

Пацюк В.И., Рыбакова Г

Институт энергетики АНМ, Государственный университет Молдовы

Аннотация. Проведен анализ и сравнение точности численных решений, полученных методом Finite Difference Time Domain (FDTD) и методом Годунова при решении телеграфных уравнений. Показано, что при внезапных коротких замыканиях и при переходе в режим холостого хода в численных решениях полученных с помощью метода FDTD для длинных линий с распределенными параметрами появляются сильные нефизические осцилляции. Показано, что предложенная авторами на основе метода Годунова расчетная схема лишена этих недостатков и обеспечивает высокую точность для численных решений, полученных при анализе динамических режимов в длинных линиях, характеризуемых внезапными короткими замыканиями и переходами линии в режим холостого хода.

Ключевые слова: телеграфные уравнения, метод FDTD, схема Годунова.

Introduction

The (FDTD) method is a computational electrodynamics modeling technique based on non-standard discretization of the Maxwell's equations over the time and space variables.

The FDTD method belongs to the general class of grid-based differential time-domain numerical modeling methods. The Maxwell's equations are discretized using central-difference approximations to the space and time partial derivatives. The resulting finite-difference equations are solved in either software or hardware manner so as the computed

fields are separated in time by a half of the discretization step. The process of the field computation at the grid cells is repeated over and over again until the desired solution is fully evolved at the required time interval.

The basic FDTD algorithm was proposed firstly in 1966 by Kane Yee [1] (The University of California). However, the descriptor "finite-difference time-domain" and its corresponding "FDTD" acronym were originated by Allen Taflove [2, 3] (Northwestern University, Illinois).

Since about 1990, FDTD techniques have emerged as primary means to computational modeling of many scientific and engineering problems dealing with electromagnetic wave interactions with material structures. Its successful applications range from ultralow-frequency electromagnetic waves in geophysics (involving the ionosphere processes) through microwaves (radar signature technology, antennas and wireless communications devices, including digital devices) to visible light (photonic crystals, nanoplasmatics, solitons and biophotonics). In 2006, an estimated two thousands FDTD-related publications appeared in the science and engineering literature.

Now we are going to consider the application of the FDTD method to the telegraph equations (which can be considered as a particular case of the Maxwell's equations) and to compare this technique with the Godunov's finite difference scheme. The last one has been successfully used by authors for numerical solution of wide range of problems modeling the electrical energy transmission in long lines [4].

1. The finite difference scheme of the FDTD method

Let consider the twin-wire line with the length l . The current and the potential wave propagation along the line can be described by telegraph equations

$$L \frac{\partial i}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + Ri = 0; \quad C \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial i}{\partial x} + Gu = 0, \quad x \in [0, l], t > 0. \quad (1.1)$$

Here the $i(x, t)$ and $u(x, t)$ are the current and the voltage functions in the line; L and C are the inductance and the capacity distributed along the line; R is the longitudinal active (ohmic) resistance and G is the shunt (transverse) conductance.

Let the electrical circuit has the following initial current and voltage distribution along the line

$$u(x, 0) = U(x); \quad i(x, 0) = I(x), \quad x \in [0, l]. \quad (1.2)$$

Let at the initial time moment $t = 0$ the circuit is connected to the external voltage source

$$u(0, t) = U_0(t) \text{ when } x = 0, \quad t \geq 0, \quad (1.3)$$

and its receiving end is closed to the active load by the resistance R_S :

$$u(l, t) = R_S i(l, t) \text{ when } x = l, \quad t \geq 0. \quad (1.4)$$

To apply the method, at first on the domain $D = \{(x, t) : x \in [0, l], t \geq 0\}$ we generate two grids with integer ω_{ht} and half-integer $\tilde{\omega}_{ht}$ nodes. The grid step h over the space variable is calculated as $h = l / N$, and the step τ over the time variable is chosen according to the

scheme stability condition as $\tau = h/a$, where $a = 1/\sqrt{LC}$ is the velocity of the electromagnetic wave propagation. Thus, we have

$$\omega_{h\tau} = \{(x_m, t_n) : x_m = mh; t_n = n\tau; m = \overline{0, N}; n = 0, 1, 2, \dots\};$$

$$\widetilde{\omega}_{h\tau} = \{(x_{m-1/2}, t_{n-1/2}) : x_{m-1/2} = x_m - h/2; t_{n-1/2} = t_n - \tau/2; m = \overline{0, N+1}; n = 1, 2, 3, \dots\}.$$

The main idea of the FDTD method is the follows: the current function $i(x, t)$ is calculated at the integer nodes of the grid $\omega_{h\tau}$, but the voltage function $u(x, t)$ is calculated at the half-integer nodes of the grid $\widetilde{\omega}_{h\tau}$. In this case, the derivatives from the equations (1.1) can be approximated by finite differences with second order of accuracy with respect to parameters h and τ . In this way, we obtain the following finite difference scheme

$$L \frac{i_m^{n+1} - i_m^n}{\tau} + \frac{u_{m+1/2}^{n+1/2} - u_{m-1/2}^{n+1/2}}{h} + R \frac{i_m^{n+1} + i_m^n}{2} = 0; m = \overline{0, N}, n = 0, 1, 2, \dots;$$

$$C \frac{u_{m-1/2}^{n+1/2} - u_{m-1/2}^{n-1/2}}{\tau} + \frac{i_m^n - i_{m-1}^n}{h} + G \frac{u_{m-1/2}^{n+1/2} + u_{m-1/2}^{n-1/2}}{2} = 0; m = \overline{1, N}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.5)$$

The equations (1.5) are to be completed by the approximations of the initial and boundary conditions. In order to obtain the second order approximation for the initial condition (1.2) we assume

$$i_m^0 = I(x_m); \quad u_{m-1/2}^{1/2} = \left(1 - \frac{\tau G}{2C}\right) U(x_{m-1/2}) - \frac{\tau}{2Ch} [I(x_m) - I(x_{m-1})]. \quad (1.6)$$

The boundary condition at the input of the line (1.3) takes the form

$$u_{-1/2}^{n-1/2} = -u_{1/2}^{n-1/2} + 2U_0(t_{n-1/2}), \quad (1.7)$$

and the condition (1.4) at the output becomes

$$u_{N+1/2}^{n-1/2} = \frac{1}{1 + \frac{\tau R}{2L} + \frac{\tau R_s}{hL}} \left[2R_s i_N^{n-1} - \left(1 + \frac{\tau R}{2L} - \frac{\tau R_s}{hL}\right) u_{N-1/2}^{n-1/2} \right]. \quad (1.8)$$

2. The comparison of the FDTD method with Godunov's finite difference scheme

The Godunov's finite difference scheme for telegraph equations is elaborated and investigated in details by authors in [4]. Let adduce the main computational formulas of this scheme. The finite difference equations for (1.1) approximation have the following form

$$\begin{aligned}
 L \frac{i_{m-1/2}^{n+1} - i_{m-1/2}^n}{\tau} + \frac{u_m^{n+1/2} - u_{m-1}^{n+1/2}}{h} + \alpha i_{m-1/2}^{n+1} + (R - \alpha) i_{m-1/2}^n &= 0; \\
 C \frac{u_{m-1/2}^{n+1} - u_{m-1/2}^n}{\tau} + \frac{i_m^{n+1/2} - i_{m-1}^{n+1/2}}{h} + \beta u_{m-1/2}^{n+1} + (G - \beta) u_{m-1/2}^n &= 0; \\
 i_m^{n+1/2} &= \frac{u_{m-1/2}^n - u_{m+1/2}^n}{2Z_B} + \frac{i_{m-1/2}^n + i_{m+1/2}^n}{2}; \\
 u_m^{n+1/2} &= \frac{u_{m-1/2}^n + u_{m+1/2}^n}{2} + Z_B \frac{i_{m-1/2}^n - i_{m+1/2}^n}{2}; \\
 \alpha &= 0.5(R + LG/C); \quad \beta = 0.5(G + CR/L); \quad Z_B = \sqrt{L/C}.
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

The approximations for the initial conditions (1.2) take the form

$$i_{m-1/2}^0 = I(x_{m-1/2}); \quad u_{m-1/2}^0 = U(x_{m-1/2}), \tag{2.2}$$

and for boundary conditions (1.3), (1.4) we obtain

$$u_0^{n+1/2} = U_0(t_{n+1/2}), \quad i_0^{n+1/2} = \left(U_0(t_{n+1/2}) - u_{1/2}^n \right) / Z_B + i_{1/2}^n; \tag{2.3}$$

$$(R_S + Z_B) i_N^{n+1/2} = u_{N-1/2}^n + Z_B i_{N-1/2}^n, \quad u_N^{n+1/2} = R_S i_N^{n+1/2}. \tag{2.4}$$

The scheme (2.1) – (2.4) possesses the first order of accuracy and is monotonous, i.e. the scheme does not admit the appearance of the nonphysical oscillation when computing the discontinuous solution.

Let compare the accuracy of the solution of the problem (1.1)–(1.4) with the following values of the non-dimensional parameters: $L = C = 1$; $R = G = 0.48$; $R_S = 3$; $l = 0.7$. We consider the voltage and current equal to zero at $t = 0$ ($U(x) \equiv 0$; $I(x) \equiv 0$) and the sinusoidal voltage at the input point of the line: $U_0(t) = \sin(2\pi t)$. The computations were carried out up to the time moment $t = T_{\max} = 4$.

The table below contains the results of the comparison of exact analytical solution for current at the output point of the line $I_a(t)$ with the approximate solution $I_F(t)$, obtained by FDTD method and with approximate solution $I_G(t)$, obtained by Godunov's scheme. There are used the following notations: $\|I_F - I_a\|_C$ and $\|I_G - I_a\|_C$ are the maximal values of the differences between the solutions, $\|I_F - I_a\|_{L_2}$ and $\|I_G - I_a\|_{L_2}$ are the corresponding mean square deviations. The first column of the table contains the numbers of grid nodes over the space variable.

Table
Accuracy of numerical decisions received by method FDTD and under Godunov's scheme

N	$\ I_F - I_a\ _C$	$\ I_G - I_a\ _C$	$\ I_F - I_a\ _{L_2}$	$\ I_G - I_a\ _{L_2}$
10	0.011108	0.026568	0.013233	0.027565

20	0.002734	0.013365	0.003232	0.013599
40	0.000681	0.006638	0.000800	0.006736
80	0.000170	0.003308	0.000200	0.003357
160	0.000043	0.001651	0.000050	0.001674

The analysis of the given data clearly illustrates the theoretical accuracy of these two methods: the decreasing in two times of the grid step leads to the four times decreasing of the FDTD method error and to the two times decreasing of the Godunov's scheme error (the second order of accuracy for the FDTD method and the first order – for the Godunov's scheme). In such a way, for continuous solutions of the problem (1.1)–(1.4) the FDTD method is more exact and, correspondingly, more preferable.

Now let consider the same problem, but with condition that during some period of time at the input of the line the short-circuit occurs, i.e. the input voltage becomes zero in some period of time: $U_0(t) = \sin(2\pi t)$ when $0 \leq t \leq 0.6$ or $2.6 \leq t \leq 4$ and $U_0(t) = 0$ when $0.6 < t < 2.6$. The time dependences of the voltages and currents at the input of the line ($x = 0$) for $N = 10; 20; 40$ are represented in the fig. 2.1. The exact analytical solution is marked with thick line and the solution obtained by FDTD method is marked with thin line. The solution obtained by means of Godunov's scheme practically does not differ from the exact solution.

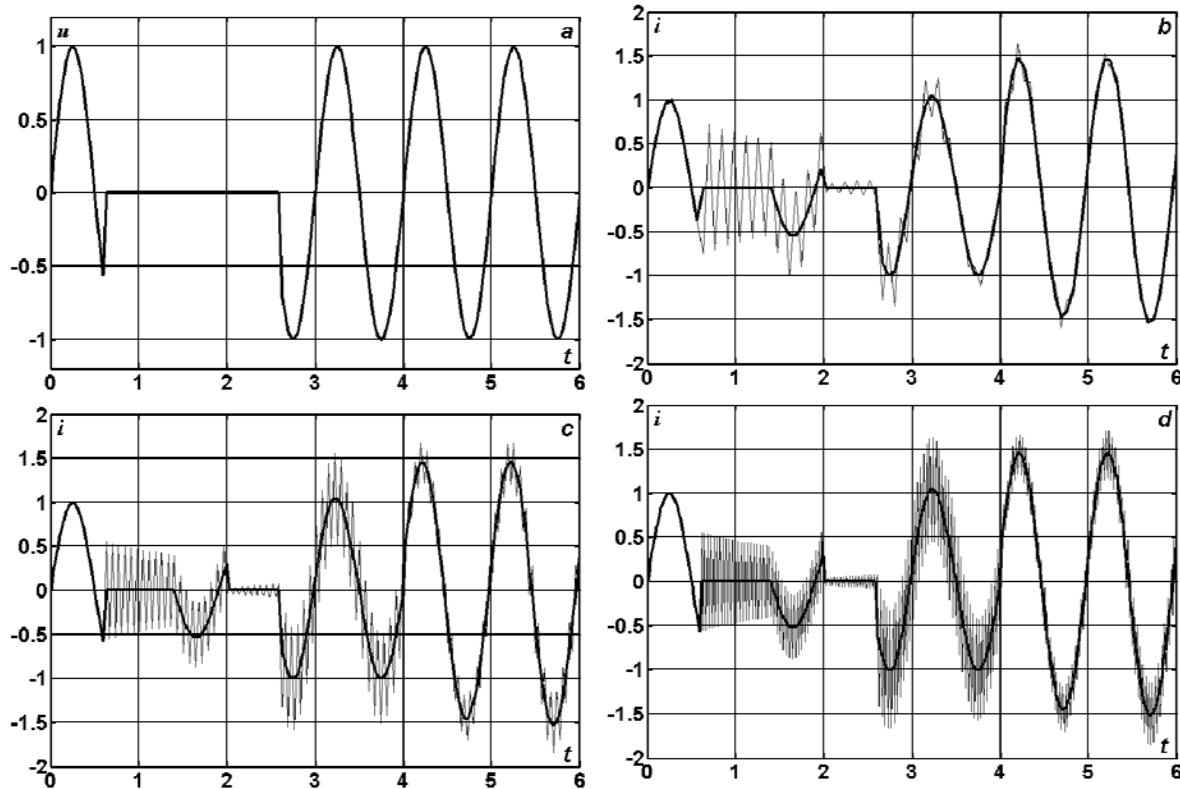


Fig. 2.1. The time dependence of the voltage at the input of the line (a) and of the current when $N = 10$ (b); $N = 20$ (c); $N = 40$ (d).

The given figures demonstrate that the FDTD method on discontinuous solutions leads to the appearance of large oscillations that do not decrease with decreasing of the grid step. But there is no reason to be surprised since as early as 1959 it was proved by Godunov [5] that among the linear finite difference schemes with second order of accuracy for the equation

$\partial u / \partial t + \partial u / \partial x = 0$ there is no one satisfying the condition of monotony, i.e. no one that does not lead to appearance of the oscillations when computing the discontinuous solutions.

Thus, the FDTD method, in spite of the fact that it is of second order of accuracy, can be restrictedly applied to the telegraph equations as it does not permit the modeling of such regimes as short-circuit and idling.

Conclusion

1. The finite difference schemes obtained by means of FDTD method and by means of Godunov's scheme are considered.
2. It is demonstrated that the FDTD method can not be applied to simulate the short circuit and idling processes.

References

1. **Kane Yee.** Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on.* Vol. 14. p. 302–307.
2. **Taflove A. and Brodwin M.E.** Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on.* Vol. 23. p. 623–630.
3. **Taflove A. and Brodwin M.E.** Computation of the electromagnetic fields and induced temperatures within a model of the microwave-irradiated human eye. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on.* Vol. 23. p. 888–896.
4. **Patsiuk V.** Mathematical methods for electrical circuits and fields. – Chisinau: CEP USM, 2009. – 442 p.
5. **Godunov S.K.** Finite difference method for discontinuous solutions of hydrodynamics problems. *Math. Coll.* 1959, vol. 47(89), ser. 3, p. 271 – 306 (in Russian).

V. Patsiuk. Doctor of phys.-math. sc., Associate Professor at Moldova State University, Research Fellow at the Institute of Power Engineering ASM. Scientific interests: mathematical physics, numerical analysis, mechanics and theoretical electrotechnics. Author of about 90 scientific works including 10 monographs.

G. Ribacova. Doctor of phys.-math. sc., Associate Professor at Moldova State University, Research Fellow at the Institute of Power Engineering ASM.. Scientific interests: mathematical physics, numerical analysis, mechanics of deformable solids. Author of about 40 scientific works.

INFLUENȚA REGIMURILOR NESIMETRICE ASUPRA FIABILITĂȚII ECHIPAMENTELOR ELECTRICE

**F. Erhan, V. Popescu, Irina Lupușor (Universitatea Agrară de Stat din Moldova,
catedra electrificarea și automatizarea mediului rural)
Anastasia Mocanu (Universitatea de Stat din Cahul)
terhan@mail.ru**

Rezumat. Variația grafului de structură a rețelelor de distribuție și sporirea puterilor în nodurile de generare aduc la apariția regimurilor nesimetrice care pot fi însotite de fenomene suplimentare inclusiv și scurt circuite de diverse forme (mono ori trifazate). Ca rezultat final al fenomenelor respective se poate de constatat, că se va schimba și fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice respective. Articolul dat este consacrat analizei influenței regimurilor nesimetrice asupra fiabilității de funcționare a echipamentelor electrice.

Cuvinte cheie: regimuri nesimetrice, scurt circuit, fiabilitate de funcționare a echipamentelor electrice, echipamente electrice

STUDY OF THE INFLUENCE LEVEL CURRENT OF THE SHORT CIRCUIT ON RELIABILITY OF THE BREAKERS

**F. ERCHAN, V. POPESCU, IRINA LUPUSHOR
Agrarian University of Moldova
ANASTASIA MOCANU
State University of Cahul**

Abstract. In the article the analysis of the influence level current of the short circuit of the electrical equipment. It is designed the mathematical model allowing the modeling prototype reliability of the operation electrical equipment installed in nodes of the systems.

Key words: power electric distributing systems, short circuit in power electrical systems, reliability of the breakers.

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

**Ерхан Ф., Попеску В., Лупушор И. (Государственный аграрный университет Молдовы, кафедра
Электрификации и автоматизации сельского хозяйства)
Мокану А. (Кагульский государственный университет)**

Аннотация. Изменение структуры генерирующих узлов и рост их установленной мощности приводят к тому, что несимметричные режимы сопровождаются различными явлениями вплоть до возникновения коротких замыканий различного типа (однофазные или трехфазные). В результате этого ухудшаются условия работы установленного электрооборудования, что влияет на надежность его функционирования. В статье проведен анализ влияния возникновения несимметричных режимов на надежность установленного электрооборудования.

Ключевые слова: несимметричные режимы, короткие замыкания (однофазные или трехфазные), надежность электрооборудования.

Introducere

Una din problemele cheie în procesul de dezvoltare a sistemelor electroenergetice și în deosebi a celor de distribuție a energiei electrice este problema regimurilor nesimetrice ce apar și fenomenele ce însotesc aceste regimuri și influența lor asupra fiabilității de funcționare a echipamentelor instalate. Din cele mai frecvente fenomene ce pot apărea în sistemele trifazate ce aduc la crearea regimurilor nesimetrice sunt scurt circuitele care însotesc regimurile normale de funcționare.

Desfășurarea problemei

Dintre toate echipamentele instalate cele mai des sunt supuse fenomenelor nesimetrice și regimurilor tranzitorii ce apar în sistemele de distribuție sunt întrerupătoarele. Anume din aceste motive nivelul de fiabilitate de funcționare și modul de funcționare a sistemelor de distribuție sunt în dependență directă de modul de funcționare a întrerupătoarelor, care de cele mai dese ori sunt instalate la început de fider.

La apariția regimurilor nesimetrice și a fenomenelor de scurt circuit întrerupătoarele trebuie în mod operativ să declanșeze (timp de 4 semiperioade) circuitul electric respectiv, pentru a păstra duritatea de funcționare a sistemului respectiv. Din analiza materialelor statistice se poate de constatat, că cu sporirea valorilor curenților de scurt circuit în nodurile sistemului electroenergetic cele mai dificile condiții de funcționare a întrerupătoarelor apar atunci, cînd valoarea curentului de scurt circuit constituie mărimea ce se determină conform ecuației (1).

$$I_{s.c.} = \frac{2}{3} I_{s.c.\max} \quad (1)$$

unde $I_{\dot{e}_c i_e}$ — curentul de scurt circuit la început de rețea;.

S-a constatat, că din toate regimurile nesimetrice însoțite de regimuri tranzitorii cele mai dificile la deconectare de către întrerupătoare sunt cele create în dependență de viteza de variație a tensiunii (du/dt) și viteza de variație a curentului electric (di/dt) în locul de apariție a regimului nesimetric.

Variația valorilor respective în circuitele electrice sunt funcții de variația tensiunii tranzitorii în nodurile circuitului electric, iar duritate de deconectare a acestor regimuri poate fi determinată analitic prin valoarea coeficientului de duritatea care se determină conform expresiei (2).

$$k_D = I_{scA} / I_n \quad (2)$$

unde $I_{SC:A}$ - este curentul de scurt circuit așteptat în nodul electric

I_n - este curentul electric nominal deconectat de întrerupătorul respectiv.

În procesul de analiză a influenței proceselor tranzitorii în sistemele trifazate create de regimurile nesimetrice unul din factorii de bază este fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice ce se află în circuitele respective., care de cele mai dese ori pot fi determinați conform [2, 4]. În procesul de determinare a influenței curenților de scurt circuit și a regimurilor nesimetrice asupra fiabilității de funcționare a întrerupătoarelor se va reiese din presupunerea, că se îndeplinesc condițiile descrise în [2, 4] și în aşa caz frecvența de deconectare este funcție de valorile curenților electrici deconectați și poate fi prezentată conform expresiei (3).

$$\lambda(t) = f(I_{SC}^{(1)}; I_{nom}^{(3)}); \quad \lambda(t) = \frac{1}{t_p} \int_0^{t+t_p} \omega(x) dx \quad (3)$$

Dacă se va reiese din presupunerea că frecvența de deconectare este o valoare determinată, apoi probabilitatea de funcționare fără refuz a echipamentelor respective se va determina din expresia (4).

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

Probabilitatea de refuz a echipamentelor respective în procesul de funcționare se va determina din expresia (5).

$$q(t) = 1 - p(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Dacă este cunoscută probabilitatea de refuz a echipamentelor respective planificată la început de exploatare (q_1) și cea reală la etapa de efectuare a reparației consecutive (q_2) pentru restabilirea proprietăților tehnice, apoi se poate de determinat analitic rezerva de fiabilitate de funcționare a echipamentelor respective conform expresiei (6).

$$\Delta q = q_2(t) - q_1(t) = e^{-\Delta \lambda t} \quad (7)$$

unde: Δq - reprezintă cu sine valoarea posibilă a probabilității de sporire a refuzurilor de funcționare a echipamentelor respective pînă la următoarea reparație consecutivă;

$\Delta \lambda = (\lambda_2 - \lambda_1)$ - este diferența frecvențelor de deconectare care este funcție de valorile curentilor electrici deconectați la începutul perioadei de exploatare (λ_1) și la momentul de efectuare a reparației capitale respective (λ_2).

Numărul de operații a echipamentelor respective în dependență de frecvență și probabilitatea de apariție a refuzurilor respective pot fi determinate analitic conform expresiei (8).

$$n = n_0 e^{-\Delta \lambda t} \quad (8)$$

unde: n_0 – este numărul de operații minimal posibile reglementate pentru echipamentele respective pînă la efectuarea următoarei revizii și reparații capitale, reiesind din valorile curentilor deconectați.

Deoarece procesele nesimetrice de cele mai dese ori sunt însotite de degajare a căldurii, care negativ influențează asupra proceselor de funcționare a echipamentelor electrice, apoi apare necesitatea de a verifica echipamentele respective și la duritatea termică reiesind din condițiile reale de funcționare. Pentru acest caz dacă se va îndeplini inegalitatea de forma (8) se poate de constatat, că echipamentele respective vor respecta duritatea termică.

$$I_{\dot{\lambda}, nom}^2 \cdot \tau_{\dot{\lambda}, nom} \geq \int_0^{\tau_{T, nom}} \hat{A} \quad (8)$$

unde: $I_{T, nom}$ - este valoarea nominală a curentului de duritate termică a echipamentelor respective; $\tau_{T, nom}$ - este durata nominală de duritate termică; B - este integrala Jull cu limitele de integrare de la 0(zero) pînă la durata termică nominală $\tau_{T, nom}$.

Un alt indicator ce caracterizează capacitatea și probabilitatea echipamentului respectiv în nodul respectiv al sistemului electric este capacitatea de deconectare a parametrilor electrici în diverse situații posibile, atât în regim normal de funcționare cât și în regimurile nesimetrice de avarie.

În conformitate cu [4] capacitatea de deconectare a echipamentelor respective se apreciază reiesind din valorile nominale ale curentilor de deconexiune $I_{d, nom}$ și asimetria nominală a curentului de deconectare în momentul (β_{nom}) de deconectare, care poate fi determinată conform expresiei (9).

$$\beta_{nom} = \frac{i_{a, \tau}}{I_{o, nom} \sqrt{2}} \quad (9)$$

unde: i_{ar} – este valoarea componentei aperiodice a curentului electric de scurt circuit în momentul de deconectare a regimului respectiv.

Fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice respectiv (inclusiv și a întrerupătoarelor respective) în aşa caz este funcție de valoare curenților electrici de deconectare și viteza de variație a tensiunii tranzitorii de restabilire în momentul respectiv, probabilitatea de funcționare fără refuz și numărul de operații respectiv efectuate.

În mod analitic dependența respectivă poate fi prezentată conform expresiei (10).

$$R(t) = \frac{1}{n\sqrt{2\pi}} \int_0^t I_{EC}^{(3)}(t) \int_0^t (\omega \cdot t + \gamma \cdot t) dt. \quad (10)$$

Dependența fiabilității de funcționare a echipamentelor electrice ca funcție de valorile curenților electrici deconectați și numărul de cicluri efectuate pentru echipamentele respective (inclusiv și a întrerupătoarelor) instalate în sistemele de diverse niveluri de tensiune pentru diverse perioade de exploatare (perioada 1980-2007) în diverse sisteme poate fi diferit, dar pentru sistemul concret analizat este prezentat în tabelul 1.

Tabelul 1

I_{O_HOM} (kA)	20	30	40	50	63
I_{K3}/I_{O_HOM}	0,16	0,25	0,50	0,75	1,0
N	30	25	20	12	10
R	0,996	0,998	0,999	0,993	0,991

Din analiza valorilor numerice a fiabilității de funcționare prezentate în (tabelul 1) reiese, că variația frecvenței (intensității) de refuz a echipamentelor electrice și probabilitatea de refuz în timp pot fi prezentate grafic respectiv prin curbele prezentate (1) și (2) din fig.(1), care indică că valorile respective corespund funcțiilor clasice de restabilire a elementelor ce dispun de procese de restabilire în timp.

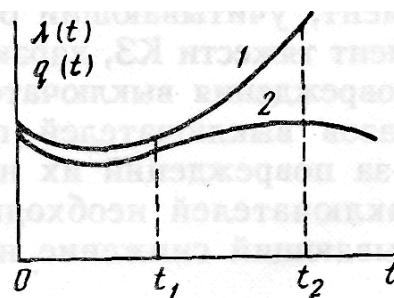


Fig.1. Variația frecvenței de refuz a echipamentelor electrice curba 1;
Modul de variație a refuzurilor în timp a echipamentelor electrice analizate -curba 2

Probabilitate de funcționare fără refuz este un parametru ce caracterizează fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice (inclusiv și a întrerupătoarelor) și în dependență de durata de exploatare poate fi determinată analitic din expresia (11).

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (11)$$

Frecvența de refuz a echipamentelor electrice (inclusiv și a întrerupătoarelor) $q(t)$ se determină ținând cont de valorile intensității de funcționare fără refuz $p(t)$ și analitic poate fi determinată conform (13).

Probabilitatea de funcționare fără refuz $p(t)$ a echipamentelor electrice este unul din parametrii fiabilității de funcționare a echipamentelor electrice în dependență de durata de exploatare și analitic poate fi determinată conform (12).

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (12)$$

Frecvența de refuz a echipamentelor electrice $q(t)$ poate fi determinată ținând cont de intensitatea de funcționare fără refuz $p(t)$ și analitic se va determina conform (13).

$$q(t) = 1 - p(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (13)$$

Analiza procesului de funcționare a echipamentelor electrice în sistemele trifazate la apariția regimurilor tranzitorii se poate de constatat, că circa 25% din deconectări se petrec în baza regimurilor nesimetrice ce apar în sistemele respective.

Anume din aceste condiții fiabilitatea de funcționare a echipamentelor sistemelor de distribuție poate fi determinată ținând cont anume de distribuția fenomenelor respective și se va determina conform expresiei (14).

$$R(t) = K \frac{K_T}{n\sqrt{2\pi}} \int_0^t [w\tau + \gamma\lambda\tau] d\tau / (I_{SC} / I_{i.Nom}) \quad (14)$$

Concluzii.

Din cele prezentate se poate de constatat, că procesele tranzitorii ce însotesc regimurile nesimetrice de funcționare a echipamentelor electrice de cele mai dese ori au o influență directă a supra modului de funcționare a echipamentelor respective care poate fi exprimat prin fiabilitatea de funcționare a echipamentelor respective.

În lucrare se propune un model matematic și un algoritm ce poate modela fiabilitatea de funcționare a echipamentelor electrice în dependență de valorile curentilor ne simetrii deconectați și de viteza de variație a tensiunii de restabilire la barele echipamentelor respective.

Bibliografie

1. Некленаев Б. Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электроэнергетических системах, М.: Энергия, 1978., 151 с.
2. Ершевич В.В. О принципах формирования системообразующих сетей, объединенной энергосистемы с учетом уровней токов короткого замыкания //Сб. докл. на III Всесоюз. совещ. по устойчивости и надежности энергосистем СССР. Л., 1973.
3. Ерхан Ф. М., Некленаев Б. Н. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем. Кишинев: Штиинца, 1985. с. 207.

4. Ерхан Ф. М. Факторы, влияющие на значения уровней токов короткого замыкания в электроэнергетических системах Известия ВУЗов СНГ “Энергетика”, Минск, 2005, № 6, с. 7-12.

Erhan Fiodor Mihail, doctor habilitat în tehnică, profesor universitar, şef catedră Electrificare și automatizarea mediului rural, Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Intersele științifice se află în planul analizei fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare a consumatorilor cu energie electrică și determinarea influenței regimurilor nesimetrice asupra fenomenelor respective. Autor și coautor la peste 160 articole științifice și lucrări metodico-didactice dintre care se por evidenția 2 manuale, 3 brevete de invenție, 2 monografii științifice și o serie de articole științifice publicate în reviste recenzate, raporturi la Conferențe Unionale, Internaționale și republicane.

Ерхан Феодор Михайлович, доктор хабилитат технических наук, профессор, зав кафедрой Электрификации и автоматизации сельского хозяйства Государственного аграрного университета Молдовы. Научные интересы находятся в плоскости надежности распределительных и питающих систем и влияния несимметричных режимов на соответствующие явления. Автор и соавтор более 160 научных и методических работ среди них 2 (два)учебника 3 авторские свидетельства 2(две)научные монографии и научные статьи опубликованных в рецензируемых журналах и докладах на различных Всесоюзных, Международных и Республиканских конференциях.

Popescu Victor, lector superior universitar activează în cadrul catedrei Electrificare și automatizarea mediului rural, Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Intersele științifice se află în planul analizei fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare a consumatorilor cu energie electrică și determinarea influenței regimurilor nesimetrice asupra fenomenelor respective. Autor și coautor la 11 articole științifice și lucrări metodico-didactice publicate în reviste recenzate, raporturi la Conferențe Internaționale și republicane.

Попеску Виктор Сергеевич, старший преподаватель кафедры Электрификации и автоматизации сельского хозяйства Государственного аграрного университета Молдовы. Научные интересы находятся в области исследования надежности распределительных и питающих систем и влияния несимметричных режимов на соответствующие явления. Автор и соавтор более 11 научных и методических работ, опубликованных в рецензируемых журналах и докладах на различных Международных и Республиканских конференциях.

THREE-STAGE SYNCHRONOUS OVERMODULATION CONTROL OF FIVE-PHASE INVERTERS

V. Oleschuk, G. Griva, R. Prudeak, A. Sizov

Resume. Novel three-stage algorithm of synchronous PWM control of five-phase inverter in the zone of overmodulation has been proposed and investigated. It provides smooth transition from linear modulation range to the ten-step operation mode of five-phase system at the maximum fundamental frequency, with full DC-bus voltage utilization. Simulations give the behavior of five-phase system during synchronous PWM control in the zone of overmodulation.

Keywords: five-phase voltage source inverter, synchronous pulsewidth modulation, increased output frequencies, smooth linear output voltage control.

TREI ETAPE DE REGLARE SINCRONĂ INVERTORUL CU CINCI FAZE ÎN ZONĂ DE SUPRAMODULARE

V. Olesciuk, G. Griva, R. Prudeak, A. Sizov

Rezumat. Este elaborat și cercetat un algoritm original de reglare sincronă prin trei etape a invertorului cu cinci faze în zonă de supramodulare, ce asigură trecerea lentă de la zonă modulării lineare la tensiunea fazale de ieșire cu zece trepte a frecvenței maximale de ieșire a invertorului. Sunt enumărate rezultatele modelării regimurilor de bază ale funcționării sistemelor de conversie cincifazate în zonă frecvențelor majorate de ieșire.

Cuvinte cheie: invertor de tensiune cincifazat, modulația impulsurilor în durata sincronă, frecvențe majorate de ieșire, reglare liniară a tensiunii de ieșire.

ТРЕХЭТАПНОЕ СИНХРОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЯТИФАЗНЫХ ИНВЕРТОРОВ В ЗОНЕ СВЕРХМОДУЛЯЦИИ

В. Олещук, Дж. Грива, Р. Прудяк, А. Сизов

Аннотация. Разработан и исследован оригинальный алгоритм синхронного трехэтапного регулирования пятифазного инвертора в зоне сверхмодуляции, обеспечивающий плавный переход от зоны линейной модуляции к десятиступенчатому выходному фазному напряжению на максимальной выходной частоте инвертора. Приведены результаты моделирования базовых режимов работы пятифазной преобразовательной системы в зоне повышенных выходных частот.

Ключевые слова: пятифазный инвертор напряжения, синхронная широтно-импульсная модуляция, повышенные выходные частоты, линейное регулирование выходного напряжения.

I. INTRODUCTION

Multiphase power electronic converters and ac drives are a subject of increasing interest in the last years due to some advantages compared with standard three-phase systems, especially in the field of high power/current applications. In particular, multiphase topologies of electric drives allow reduction of amplitude and increasing the frequency of torque pulsation, and also reduction of the rotor harmonic losses in electrical machines. Multiphase inverters and converters allow dividing of the controlled power on more inverter legs, reducing the rated current of power switches [1]-[2]. Between different multiphase solutions the more interesting and addressed ones are the five-phase and six-phase power conversion systems [1].

In particular, five-phase adjustable speed drives on the base of five-phase inverters are now ones of the most suitable topologies of multiphase drives for such perspective fields of application, as electric vehicles, ship propulsion, aerospace, etc. So, space-vector-based control and modulation methods and techniques for five-phase systems have been developed intensively during last period [3]-[9]. Five-leg voltage source inverters for five-phase drives

are characterised by additional degrees of freedom for their control in comparison with conventional three-phase systems. At the same time it is known, that almost all versions of standard space-vector modulation are based on asynchronous principle, which results in sub-harmonics (of the fundamental frequency) in spectrum of the output voltage of inverters, that are very undesirable in drive systems with increased power rating, operating at low switching frequencies [10],[11].

In order to avoid asynchronism of standard space-vector PWM, novel method of synchronized PWM has been recently proposed and developed for control of three-phase inverters [12], three-level converters [13], open-end winding induction motor drives [14], symmetrical six-phase traction systems [15] (including overmodulation control of split-phase drives [16]), five-phase inverters with operation in linear modulation range [17],[18]. So, this paper present results of the development of this new PWM method for synchronous control of five-phase inverters in the zone of overmodulation.

II. SYNCHRONIZED SPACE-VECTOR PWM FOR A FIVE-PHASE SYSTEM IN A LINEAR MODULATION RANGE

Basic topology of power circuit of a five-phase voltage source inverter with a star-connected load with the neutral point n is presented in Fig. 1 [7]. In particular, in the case of a five-phase motor as a load, the five stator phases a , b , c , d and e are distributed with a spacing of 72° .

Space-vector pulsewidth modulation is one of the most suitable control techniques for five-phase systems. Similar to three-phase space-vector PWM, it can be developed for a five-phase system, as shown in Fig. 2 for a period of the fundamental frequency [8]. In particular, Fig. 2 shows the basic ten large (**1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10**) and ten medium (**1', 2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 9', 10'**) switching vectors for a five-phase inverter in accordance with conventional designation (in brackets) of switching state of every switch of the inverter, where “1” corresponds to the switch-on state of the corresponding switch of the upper group of switches of the phases a - e . This control scheme includes also two zero switching states (00000 and 11111), providing zero voltage at the outputs of the inverter.

Although total number of available voltage space vectors in five-phase inverter is equal to 32, the using only of the mentioned above 22 vectors (ten large and ten medium active vectors, plus two zero vectors) allows minimum number of switchings in inverter and minimum switching losses, combined with good spectrum of the phase-to-neutral voltage [6],[8].

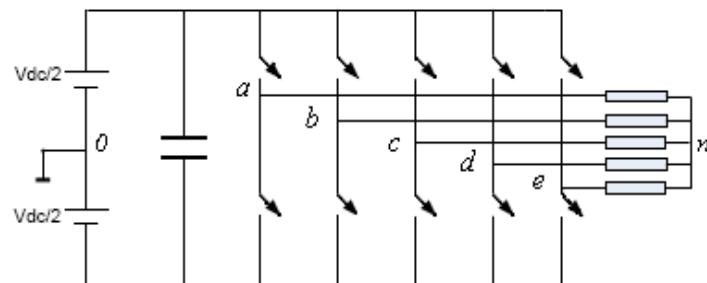


Fig. 1. Topology of a five-phase voltage source inverter [7]

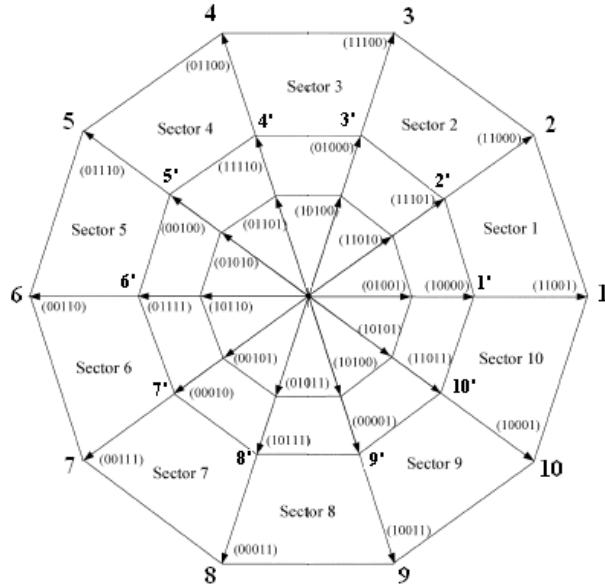


Fig. 2. Basic voltage vectors of five-phase inverter

In order to provide synchronisation of the process of vector PWM, a novel approach has been proposed for synthesis of the output voltage of three-phase inverters [12]. The main principles of this method have been recently developed and modified for synchronous space-vector PWM control of five-phase systems in linear modulation range [17]. In particular, with application to five-phase inverters, one of the basic ideas of the method of synchronized PWM is in continuous synchronization of the positions of all central active switching signals β_1 in the centres of the 36^0 -clock-intervals (to fix positions of the β_1 -signals in the centres of the 36^0 -cycles), and then – to generate symmetrically around the centres of the 36^0 -clock-intervals all others active β -signals.

It is necessary to take into consideration during this process, that in the linear modulation region the total duration of each β -signal consists from four parts ($\gamma_j' + \gamma_j'' + \delta_j' + \delta_j''$, see Figs. 4-5), corresponding to four voltage vectors (two large vectors and two medium vectors) [6]. So, all these sub-signals, together with notches between the β -signals, have to be generated symmetrically around the centres of the 36^0 -clock-intervals too.

To provide continuous synchronization of the output voltage of five-phase inverters, by analogy with three-phase converters [12], the scheme of synchronized PWM includes, as an important control parameter, boundary frequencies F_i , transient between control sub-zones, which are situated on the axis of the fundamental frequency F of the system.

Table I presents basic control functions for five-phase voltage source inverter with synchronized PWM during linear modulation zone, which are compared here with the corresponding PWM functions for standard three-phase inverter. It is assumed, that both three-phase and five-phase systems operate under standard V/F control; τ - width of sub-cycle, i - number of notches inside a half of clock-intervals in Table 1.

TABLE I.
BASIC CONTROL FUNCTIONS OF SYNCHRONIZED SCHEMES OF PWM

Control function	Three-phase inverter	Five-phase inverter
Modulation index	$m = F / F_m$	
Boundary frequencies transient between control sub-zones	$F_i = \frac{1}{6(2i-1)\tau}$ $F_{i-1} = \frac{1}{6(2i-3)\tau}$	$F_i = \frac{1}{10(2i-1)\tau}$ $F_{i-1} = \frac{1}{10(2i-3)\tau}$
Coefficient of synchronization	$K_s = 1 - \frac{F - F_i}{F_{i-1} - F_i}$	
The central active switching state	$\beta_1 = 1.10m\tau$	$\beta_1 = 1.21m\tau$
Active switching states	$\beta_j = \beta_1 \times \cos[(j-1)\tau]$	$\beta_j = \gamma_j' + \gamma_j'' + \delta_j' + \delta_j'' = 1.618\beta_1 \cos[(j-1)\tau]$
Border active switching state	$\beta'' = \beta_1 \times \cos[(k-1)\tau]K_s$	$\beta'' = 1.618\beta_1 \times \cos[(k-1)\tau]K_s$
The minor part of active switching states	$\gamma_k = \beta_{i-k+1}[0.5 - 0.9 \tan(i-k)\tau]$	$\delta_k' + \delta_k'' = 0.382\beta_{i-k+1}$
Switch-off states (zero voltages)	$\lambda_j = \tau - (\beta_j + \beta_{j+1})/2$	
Boundary switch-off state	$\lambda_i = \lambda' = (\tau - \beta'')K_s$	

As an example of operation of five-phase inverter with synchronized PWM in linear modulation range, Fig. 3 presents switching signals (pole voltages V_a - V_e) for the phases **a** - **e**, line-to-line voltage V_{as} and phase-to-neutral voltage V_{an} on a period of the fundamental frequency F .

Fig. 4 and Fig. 5 show more in details switching state sequence and the pole and phase voltages of five-phase inverter for the 2nd and the 3rd control sectors. Switching states correspond here to the designations presented in Fig. 2.

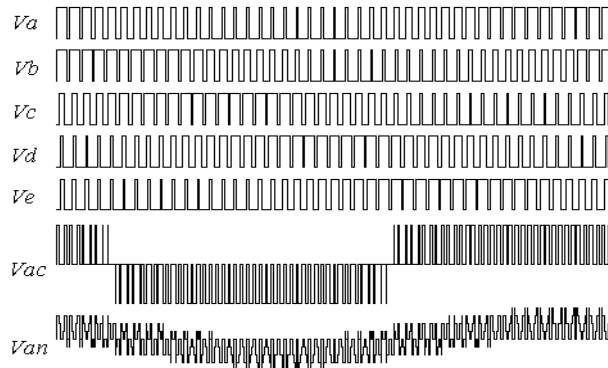


Fig. 3. Basic voltages of five-phase inverter in linear modulation zone

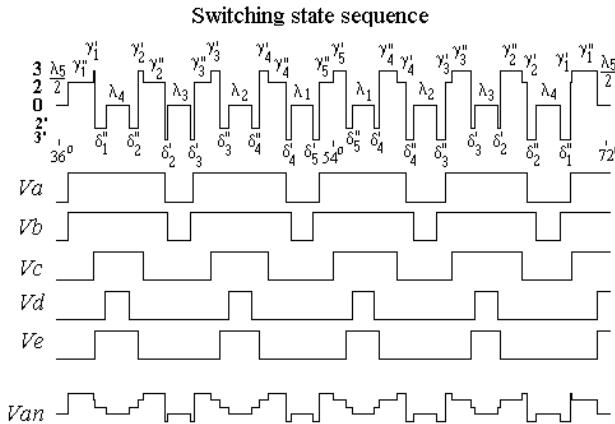


Fig. 4. Switching state sequence and basic voltage waveforms of five-phase inverter with synchronized PWM in the second control sector.

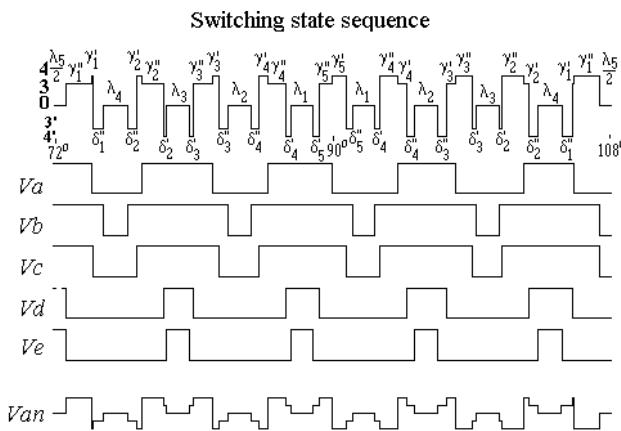


Fig. 5. Switching state sequence and basic voltage waveforms of five-phase inverter with synchronized PWM in the third control sector

As an other example of operation of five-phase inverter with synchronized PWM at the boundary of linear modulation zone, Figs. 6-7 show basic voltage waveforms and spectra of the line and phase voltages of five-phase inverter at the fundamental frequency $F=41.3\text{Hz}$, modulation index $m=0.826$ in the case of scalar control mode. The switching frequency is 3kHz .

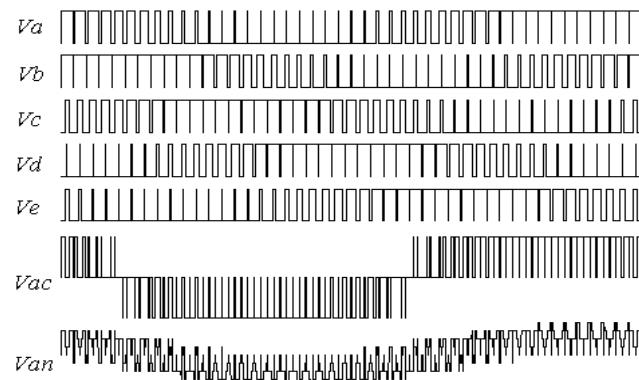


Fig. 6. Basic voltage waveforms of five-phase inverter at the boundary of linear control range ($F=41.3\text{Hz}$, $m=0.826$)

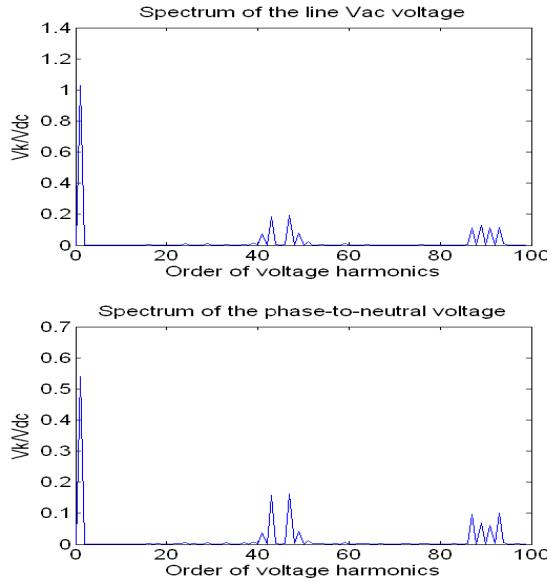


Fig. 7. Spectra of line and phase-to-neutral voltages of five-phase system at the boundary of linear control range ($F=41.3\text{Hz}$, $m=0.826$)

III. THREE-STAGE CONTROL OF FIVE-PHASE SYSTEM WITH SYNCHRONIZED PWM IN THE OVERMODULATION ZONE

Converters' control in the zone of overmodulation has some specific peculiarities [19]-[22]. Due to features of five-phase systems, rational PWM control of five-phase inverters in the zone of overmodulation, from the boundary of linear control range until the maximum fundamental voltage (at ten-step control mode) can be based on three-stage control scheme.

A. Maximum Modulation Index

Modulation index is an important parameter of control scheme of PWM inverters. For power conversion systems with standard scalar $V/F=\text{const}$ control, the modulation index m is characterizing both the normalized fundamental voltage and the normalized fundamental frequency. In particular, for five-phase inverters with V/F control the modulation index m is defined as

$$m = F/F_{\text{ten-step}} = V_I/V_{I\text{ten-step}} \quad (1)$$

where V_I is the fundamental voltage, and $V_{I\text{ten-step}}$ is the fundamental voltage generated at ten-step operation, which is characterized by the maximum $F_{\text{ten-step}}$ fundamental frequency. So, the maximum modulation index $m=m_{\text{ten-step}}=1$ can be achieved only at the ten-step operation mode.

B. The First Stage of Synchronous Overmodulation Control

It is known, that the maximum fundamental peak line-to-neutral voltage of five-phase inverter at ten-step operation is $0.6366V_{dc}$ [9]. At the same time it is known, that the maximum achievable peak phase-to-neutral voltage of five-phase system (with high-quality control based on optimal combined application of medium and large space vectors) is limited by $0.5257V_{dc}$ [6]. So, in order to obtain linearity of the fundamental voltage versus frequency characteristic of five-phase system with standard scalar control during the whole control range, scaled coefficient equal to $0.6366/0.5257=1.21$ should be used in PWM scheme for

determination of duration of active switching states (in particular, see the corresponding equation for the basic central active switching state duration $\beta_1 = 1.21m\tau$ in Table I).

In accordance with (1), the modulation index, corresponding to the boundary of linear control range and the overmodulation zone, can be determined as

$$m_{ov1} = 0.5257/0.6366 = 0.826 \quad (2)$$

In particular, if the maximum fundamental frequency $F_{ten-step}=50Hz$, the threshold fundamental frequency F_{ov1} , which characterizes the beginning of the zone of overmodulation of five-phase inverter with scalar control, is equal to $F_{ov1} = m_{ov1} F_{ten-step}=41.3Hz$.

The first stage of synchronous overmodulation control of five-phase inverters is characterized by smooth transition from the control scheme, based on combined application of all medium and large space vector (in total 22 vectors, including two zero vectors, are used in this scheme), to the control scheme, based on ten large vectors and two zero vectors. Taking into consideration the fact, that the largest fundamental peak phase-to-neutral voltage, which is characterizing the boundary of this overmodulation sub-zone and corresponds to the radius of the largest circle that can be inscribed within the decagon (see Fig. 2), is equal to $0.6155V_{dc}$ [6], the second threshold modulation index in accordance with (1) is determined as

$$m_{ov2} = 0.6155/0.6366 = 0.967 \quad (3)$$

The second threshold fundamental frequency F_{ov2} , which characterizes the upper limit of the first control stage in the zone of overmodulation of five-phase inverter with scalar control ($F_{ten-step}=50Hz$), is equal to $F_{ov2} = m_{ov2} F_{ten-step}=48.34Hz$.

In order to provide smooth transition to the PWM scheme with ten large space vectors, basic control correlations include during the first overmodulation sub-zone special linear coefficients of overmodulation K_{ov1} (4), connecting modulation index m with two threshold indices m_{ov1} and m_{ov2}

$$K_{ov1} = 1 - (m - m_{ov1}) / (m_{ov2} - m_{ov1}) \quad (4)$$

So, during the first control stage of the overmodulation zone, between the fundamental frequencies F_{ov1} and F_{ov2} , a smooth linear decrease of widths of the δ_k' and δ_k'' active signals ([17], see also Table I) is observed in accordance with (5):

$$\delta_k' + \delta_k'' = 0.382\beta_{i-k+1}K_{ov1} \quad (5)$$

Fig. 8 ($F=43Hz$, $m=0.86$) and Fig. 9 ($F=46Hz$, $m=0.92$) illustrate smooth synchronous voltage control of five-phase inverter during the first control stage of the overmodulation zone.

Fig. 10 presents basic voltage waveforms of the five-phase inverter with synchronized PWM at the upper boundary of the first stage of inverter control in the zone of overmodulation ($F=48.35Hz$, $m=m_{ov2}=0.967$). It is necessary to mention, that during all stages of overmodulation control of five-phase inverters there are inevitable distortion of output voltage spectra [6],[9]. But and in this case all presented in Figs. 8-10 voltage waveforms have quarter-wave symmetry during over-modulation control, and its spectra do

not contain even harmonics and sub-harmonics, that is especially important for high power/high current applications.

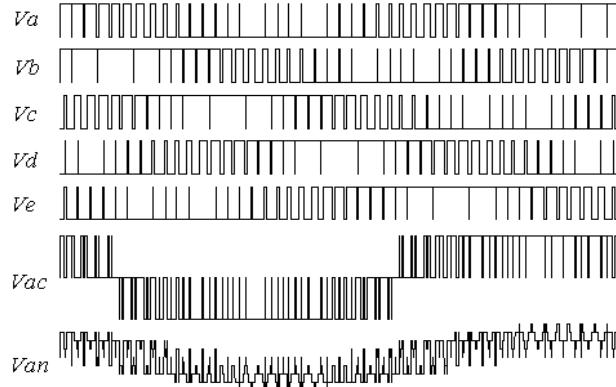


Fig. 8. Pole voltages $V_a – V_c$, line and phase voltages V_{ac} and V_{an} , of five-phase system at the first part of the zone of overmodulation ($F=43\text{Hz}$, $m=0.86$)

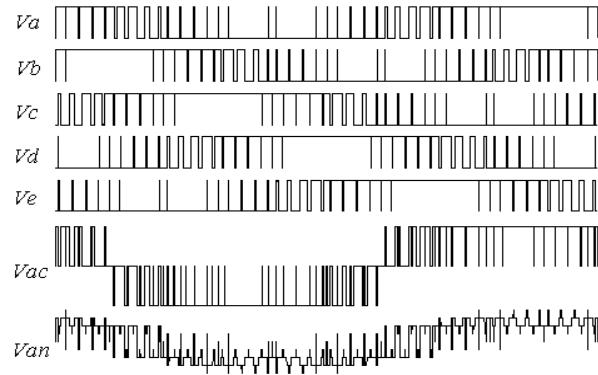


Fig. 9. Pole voltages $V_a – V_c$, line and phase voltages V_{ac} and V_{an} , of five-phase system at the first stage of the zone of overmodulation ($F=46\text{Hz}$, $m=0.92$).

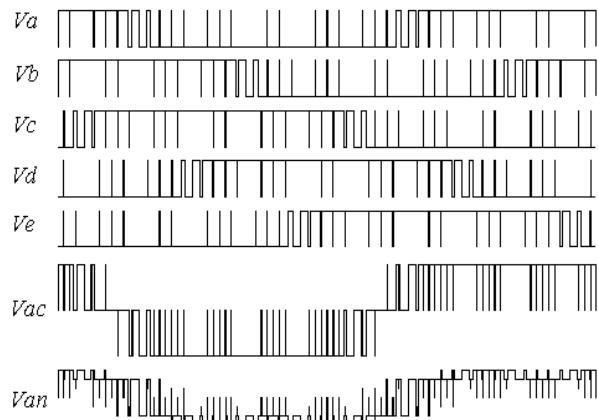


Fig. 10. Pole voltages $V_a – V_c$, line and phase voltages V_{ac} and V_{an} , of five-phase system at the boundary of the first stage of the zone of overmodulation ($F=48.35\text{Hz}$, $m=0.967$)

C. The Second Stage of Synchronous Overmodulation Control

To provide full utilization of the available DC-bus voltage in five-phase systems, it is necessary to carry out smooth transition from the control scheme, based on ten large space

vectors application, to the ten-step mode. In this case, the next (second) stage of the overmodulation control is connected with smooth decrease until close to zero values of durations of all notches. By the analogy with three-phase inverters, where value of the corresponding threshold modulation index corresponds to the medium part of the corresponding zone of overmodulation, for five-phase systems the rational value of the third threshold modulation index (and relative value of the third threshold fundamental frequency F_{ov3}) can be determined as: $m_{ov3}=(m_{ten-step}+m_{ov2})/2=(1+0.967)/2=0.984$, $F_{ov3}=0.984F_{ten-step}$. In particular, if $F_{ten-step}=50Hz$, $F_{ov3}=49.2Hz$.

Basic PWM correlations (6) and (7) include special linear coefficient of overmodulation K_{ov2} (8) in this control sub-zone, connecting modulation index m with the threshold modulation indices m_{ov2} and m_{ov3} . So, realization of control functions (6)-(8) provides smooth synchronous decrease of durations of all notches (6) together with simultaneous increasing of widths of the total active β -signals (7) until the maximum duration, equal to the duration of sub-cycle τ .

$$\lambda_j = [\tau - (\beta_j + \beta_{j+1}) / 2] K_{ov2} \quad (6)$$

$$\beta_j = \tau \cos[(j-1)\pi K_{ov2}] \quad (7)$$

$$K_{ov2} = 1 - (m - m_{ov2}) / (m_{ov3} - m_{ov2}) \quad (8)$$

As an illustration of the PWM control in the second overmodulation sub-zone, Fig. 11 presents basic voltage waveforms of the five-phase inverter with synchronized PWM ($F=48.75Hz$, $m=0.975$). The switching frequency is $3kHz$.

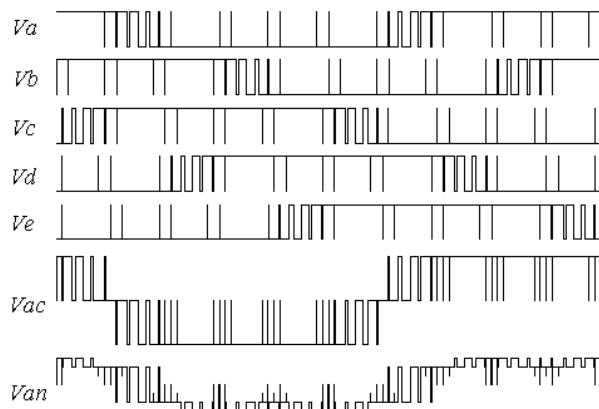


Fig. 11. Pole voltages $V_a - V_c$, line and phase voltages V_{ac} and V_{an} , of five-phase system at the second stage of the zone of overmodulation ($F=48.75Hz$, $m=0.975$)

D. The Third Stage of Synchronous Overmodulation Control

At the boundary frequency between the second and the last (the third) stage of overmodulation control of five-phase inverter there are no notches between active switching states, and total durations of these β -signals include only the γ -signals like a minor part of total active switching states (see Figs. 4-5). Fig. 12 illustrates this control stage and shows basic voltage waveforms of the modulated five-phase inverter at the third threshold overmodulation frequency ($F=F_{ov3}=49.2Hz$, $m=m_{ov3}=0.984$).

In order to provide smooth final pulse dropping process of five-phase system with scalar control, with smooth transition from the PWM control mode to the ten-step mode, the third

coefficient of overmodulation K_{ov3} (9) is applied for equations (10)-(11), providing smooth decrease until zero of the widths of the γ -signals in this control sub-zone:

$$K_{ov3} = I - (m - m_{ov3}) / (m_{ten-step} - m_{ov3}) = I - (m - m_{ov3}) / (I - m_{ov3}) \quad (9)$$

$$\gamma_j = \beta_{i-j+1} \{0.5 - 0.809 \tan[(i-j)\tau]\} K_{ov3} \quad (10)$$

$$\gamma_1 = 5\beta''(\lambda' + \beta'')FK_s K_{ov3} \quad (11)$$

Fig. 13 shows the pole, line and phase-to-neutral voltages of five-phase system operating in the third sub-zone of the overmodulation region ($F=49.6\text{Hz}$, $m=0.992$). The switching frequency is 3kHz . The presented voltages have quarter-wave symmetry, and its spectra do not include even harmonics and subharmonics. Fig. 14 presents basic voltage waveforms of five-phase inverter at the maximum fundamental frequency $F_{ten-step}=50\text{Hz}$, at the ten-step operation mode ($m=I$).

The proposed algorithm of synchronized modulation of five-phase inverter with standard scalar control mode provides both full utilization of the DC bus voltage in the system and linearity of the fundamental voltage during the whole control range. Fig. 15 illustrates this fact and presents variation of magnitude of the first harmonic of the phase-to-neutral voltage versus modulation index m .

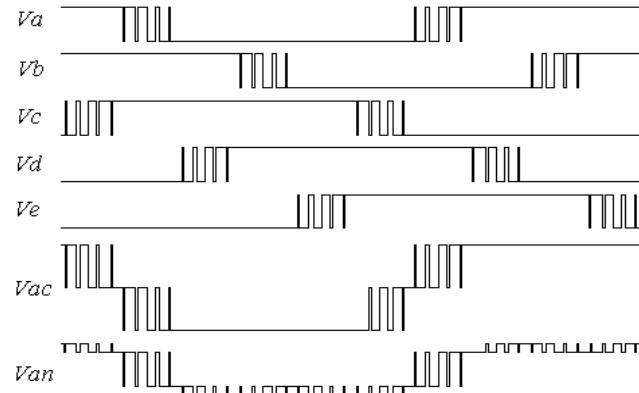


Fig. 12. Pole voltages $V_a - V_c$, line and phase voltages V_{ac} and V_{an} , of five-phase system at the third threshold overmodulation frequency ($F=49.2\text{Hz}$, $m=0.984$)

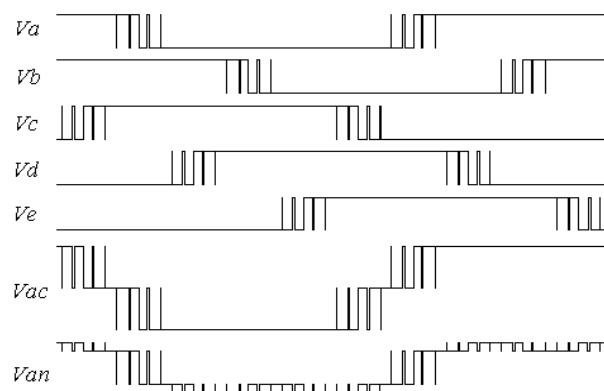


Fig. 13. Pole voltages $V_a - V_c$, line and phase voltages V_{ac} and V_{an} , of five-phase system at the third stage of the zone of overmodulation ($F=49.6\text{Hz}$, $m=0.992$)

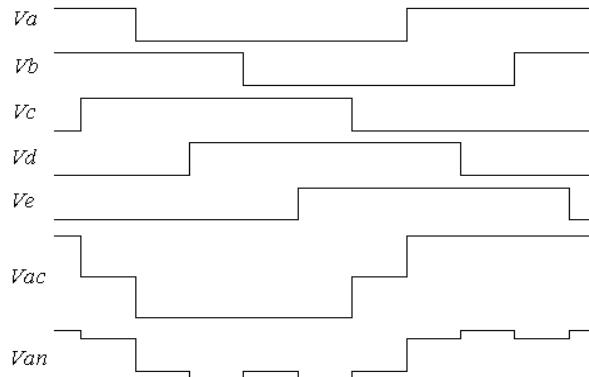


Fig. 14. Pole voltages $V_a - V_c$, line and phase voltages V_{ac} and V_{an} , of five-phase system at the ten-step operation mode ($F=50\text{Hz}$, $m=1$)

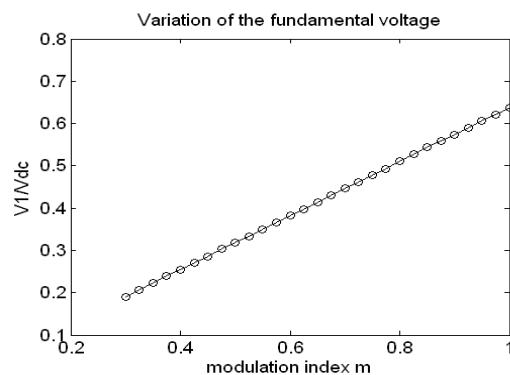


Fig. 15. Magnitude of the fundamental phase-to-neutral voltage versus modulation index of five-phase inverter with synchronized PWM

IV. CONCLUSION

Novel three-stage algorithm of synchronous PWM control of five-phase inverter in the zone of overmodulation has been proposed and investigated. It provides smooth transition from linear modulation range to the ten-step operation mode of five-phase system at the maximum fundamental frequency. The presented control scheme provides both full utilization of the DC-bus voltage of the system at the maximum fundamental frequency and linearity of the fundamental voltage during the whole control range. The spectra of the phase-to-neutral voltage of five-phase power conversion systems with algorithms of synchronized PWM do not contain even harmonics and sub-harmonics in the zone of overmodulation, which is especially important for high power/high current applications.

REFERENCES

- [1] R. Bojoi, F. Farina, F. Profumo and A. Tenconi, "Dual-three phase induction machine drives control – a survey," *CD-ROM Proc. of the 2005 IEEE Int'l Power Elect. Conf.*, 10 p.
- [2] R. Bojoi, A. Tenconi, F. Farina and F. Profumo, "Dual-source fed multiphase induction motor drive for fuel cell vehicles: topology and control," *Proc. of the 2005 IEEE Power Electr. Spec. Conf.*, pp. 2676-2683.

- [3] H.A. Toliyat, "Analysis and simulation of five-phase variable-speed induction motor drives under asymmetrical connections," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol. 13, no. 4, 1998, pp. 748-756.
- [4] R. Shi and H.A. Toliyat, "Vector control of five-phase synchronous reluctance motor with space vector pulse width modulation (SVPWM) for minimum switching losses," *Proc. of the 2002 IEEE Appl. Power Electr. Conf.*, pp. 57-63.
- [5] H. Xu, H.A. Toliyat and L.J. Peterson, "Five-phase induction motor drives with DSP-based control system," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol. 17, no. 2, 2002, pp. 524-533.
- [6] A. Iqbal and E. Levi, "Space vector modulation schemes for a five-phase voltage source inverter," *CD-ROM Proc. of the 2005 European Power Electr. Conf.*, 12 p.
- [7] A. Iqbal, E. Levi, M. Jones and S.N. Vukosavic, "Generalised sinusoidal PWM with harmonic injection for multi-phase VSIs," *CD-ROM Proc. of the 2006 IEEE Power Electr. Spec. Conf.*, 7 p.
- [8] H.M. Ryu, J.H. Kim and S.K. Sul, "Analysis of multiphase space vector PWM based on multiple $d-q$ spaces concept," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol. 20, no. 6, 2005, pp. 1364-1371.
- [9] A. Iqbal, S. Moinuddin and M.R. Khan, "Space vector model of a five-phase voltage source inverter," *Proc. of the 2006 IEEE Int'l Conf. on Ind. Technology*, pp. 488-493.
- [10] J. Holtz, "Pulsewidth modulation for electronic power conversion," *Proc. of IEEE*, vol. 82, no. 8, 1994, pp. 1194-1213.
- [11] N. Mohan, T.M. Undeland and W.P. Robbins, *Power Electronics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, 2003.
- [12] V. Oleschuk and F. Blaabjerg, "Direct synchronized PWM techniques with linear control functions for adjustable speed drives," *Proc. of the 2002 IEEE Appl. Power Electr. Conf.*, pp. 76-82.
- [13] V. Oleschuk, B.K. Bose and Zhe Chen, "Synchronized overmodulation techniques for the neutral-clamped inverters," *Proc. of the 2003 IEEE Power Electr. Spec. Conf.*, pp. 41-46.
- [14] V. Oleschuk, V. Ermuratski, F. Profumo, A. Tenconi, R. Bojoi and A.M. Stankovic, "Novel schemes of synchronous PWM for dual inverter-fed drives with cancellation of zero sequence currents", *Proc. of the 2006 Int'l Symp. on Power Electronics, Electric Drives, Automation and Motion*, pp. 451-456.
- [15] G. Griva, V. Oleschuk and F. Profumo, "Hybrid traction drive with symmetrical split-phase motor controlled by synchronised PWM," *Proc. of the 2008 IEEE Int'l Symp. on Power Electronics, Drives, Automation and Motion*, pp. 1033-1037.
- [16] G. Griva, V. Oleschuk and F. Profumo, "Synchronized overmodulation techniques for symmetrical dual three-phase converters," *Proc. of the 2008 IEEE Int'l Symp. on Power Electronics, Drives, Automation and Motion*, pp. 981-986.
- [17] V. Oleschuk, F. Profumo, A. Tenconi and E. Yaroshenko, "Five-phase inverters with synchronized PWM," *Proc. of the 2007 IEEE EUROCON Conf.*, pp. 1872-1878.
- [18] V. Oleschuk, F. Profumo and A. Tenconi, "Simplifying approach for analysis of space-vector PWM for three-phase and multiphase converters," *CD-ROM Proc. of the 2007 Europ. Power Electr. Conf.*, 10 p.
- [19] J. Holtz, V. Lotzkat and A.M. Khambadkone, "On continuous control of PWM inverters in the overmodulation range including the six-step mode," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol. 8, no. 4, 1993, pp. 546-553.
- [20] G. Griva, T.G. Habetler, F. Profumo and M. Pastorelli, "Performance evaluation of a direct torque controlled drive in the continuous PWM-square wave transition region," *Proc. of the 1993 IEEE Power Electr. Spec. Conf.*, pp. 237-244.

- [21] S.K. Mondal, B.K. Bose, V. Oleschuk and J.O.P. Pinto, "Space vector pulse width modulation of three-level inverter extending operation into overmodulation region," *IEEE Trans. on Power Electr.*, vol. 18, no. 2, 2003, pp. 604-611.
- [22] V. Oleschuk, V. Ermuratski and E.M. Chekhet, "Drive converters with synchronized pulselwidth modulation during overmodulation," *Proc. of the 2004 IEEE Int'l Symp. on Ind. Electr.*, pp. 1339-1344.

Valentin Oleschuk, Dr. of Sc., is working in the Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova from 1971. He is author and co-author of two books and more than 230 publications in the area of power electronics and electric drives, including more than 60 IEEE publications. He is also the author of 89 patents and authors certificates in this field. His research interests include control and modulation strategies for perspective topologies of power converters, drives and renewable energy systems.

Giovanni Griva, PhD, is Associate Professor of the Politecnico di Torino, Turin, Italy. He is author and co-author of more than 100 technical papers published in international journals and proceedings of international conferences. His scientific interests regard power conversion systems, adjustable speed electric drives and non conventional actuators.

Roman Prudeak is PhD Student of the Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova. He is author of several technical papers in the field of power electronics and electric Drives. His research interests include both feedforward and feedback control methods and techniques for power converters and drives.

Alexandr Sizov is Scientific Collaborator of the Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova. He is author and co-author of more than 60 publications and 10 patents and authors certificates. His research interests include elaboration, modelling and simulation of control algorithms and control systems for power electronic converters and electric drives.

**АСИНХРОННАЯ МАШИНА
С МАССИВНЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ РОТОРОМ
И КОНДЕНСАТОРНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ**
Бырладян А.С.

Аннотация. В статье рассмотрена асинхронная машина с массивным ферромагнитным ротором различного конструктивного исполнения, улучшающим ее энергетические показатели. Приведены результаты разработки и экспериментальных испытаний асинхронной машины, работающей в генераторном режиме при пониженной скорости вращения массивного ферромагнитного ротора. Показаны условия и возможности создания асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением на основе асинхронной машины с массивным ротором.

Ключевые слова: асинхронная машина, массивный ротор, генераторный режим, асинхронный генератор, конденсатор возбуждения.

**MAȘINĂ ASINCRONĂ CU ROTOR MASIV FEROMAGNETIC
ȘI EXCITAȚIE CAPACITIVĂ**

Bârladean A.S.

Rezumat. În articol se examinează mașina asincronă cu rotor masiv feromagnetic realizat în diferite construcții, care permit îmbunătățirea indicilor energetici ai ei. Sunt prezentate rezultatele elaborării și încercărilor experimentale a mașinii asincrone care funcționează în regim de generator cu turări reduse a rotorului masiv feromagnetic. Se explică (argumentează) posibilitatea și condițiile de realizare a generatorului asincron cu excitație capacativă în baza mașinii asincrone cu rotor masiv.

Cuvinte cheie: mașină asincronă, rotor masiv, regim de generator, generator asincron, condensator de excitație.

**THE ASYNCHRONOUS MACHINE
WITH THE MASSIVE FERROMAGNETIC ROTOR
AND CAPACITOR EXCITATION**

Bârladean A.S.

Abstract. An asynchronous machine with a massive ferromagnetic rotor of the various designs, improving its energy indicators is considered. Elaboration and experimental tests results of the asynchronous machine working in a generating mode at the lowered speed of rotation of a massive ferromagnetic rotor are presented. Conditions and possibilities of the asynchronous generator creation with capacitor excitation on the basis of the asynchronous machine with a massive rotor are shown as well.

Keywords: asynchronous machine, massive rotor, generating mode, asynchronous generator, excitation capacitor.

Введение

Асинхронная машина трехфазного исполнения простой конструкции, высокой надежности и отсутствием скользящих контактов, наиболее широко применяемая при создании электроприводов в различных областях техники.

В зависимости от конструктивного исполнения асинхронные машины имеют ряд модификаций и специализированных исполнений для обеспечения различных эксплуатационных требований электроприводов. Режимами их работы могут быть: двигательный, генераторный и электромагнитного тормоза. Такие режимы представляют определенный интерес в ряде практических случаев.

Однако в новых областях применения асинхронных машин предъявляются новые технические требования, для решения которых необходимо создание новых исполнений машины, в том числе и роторов, со специальными характеристиками и параметрами.

Одним из таких перспективных технических решений является асинхронная машина с массивным ферромагнитным ротором, который по конструктивному исполнению может быть гладким или зубчатым. Исследования электрических машин в этой области показали, что наилучших результатов можно достичь за счет перехода от гладкого массивного ротора к зубчатому с оптимальной зубцовой зоной и торцевыми короткозамкнутыми кольцами высокой электропроводности.

В данной работе рассматриваются условия практической реализации электрической редукции скорости вращения ротора асинхронной машины при ее работе в различных режимах. Поэтому ниже рассматриваются конструктивные особенности массивных роторов и возможности получения пониженной скорости вращения.

1. Конструктивное исполнение ферромагнитных роторов АМ

Массивные ферромагнитные роторы. Асинхронная машина (АМ) с массивным ферромагнитным ротором (МФР) занимает особое место. Она отличается от АМ традиционного исполнения не только конструкцией ротора, но и формой основных характеристик и значений технических параметров. Это объясняется весьма сложным характером электромагнитных процессов, происходящих в МФР, в том числе и в АМ [1].

Гладкий массивный ротор представляет собой сплошной ферромагнитный гладкий цилиндр, который выполнен из магнитного материала с высокими значениями магнитной проницаемости и без обмоток на нем. При этом МФР является одновременно магнитопроводом и проводником вихревых токов АМ. Здесь следует отметить, что АМ с гладким МФР имеет низкие значения КПД и $\cos \varphi$ в номинальном режиме, особенно в диапазоне малой и средней мощности. Поэтому использование габарита АМ по мощности составляет всего лишь 40÷50% [2, 3].

Улучшение параметров и характеристик гладкого МФР возможно путем: применения торцевых короткозамкнутых колец высокой электропроводности (медь, бронза, латунь), соединяемых с МФР пайкой, сваркой или наплавкой; уменьшения активной длины МФР по сравнению с длиной пакета статора; изменения конструктивной геометрии торцов МФР. Анализ результатов теоретического и экспериментального исследований различных вариантов гладкого МФР показал, что вышеуказанные исполнения МФР обеспечивают лишь частичное улучшение рабочих характеристик и энергетических показателей АМ [1, 2]. Зубчатый массивный ротор выполняется с частично или полностью сквозными продольными пазами на поверхности МФР в пределах активной зоны АМ. Пазы могут быть одно- или двухступенчатыми по ширине. Существенного улучшения параметров МФР можно достичь при оптимальной зубчатости, т.е. ротор должен иметь определенное число пазов Z_2 при их оптимальной ширине и глубине [4, 5]. Кроме того, конструкция концевых частей зубчатого МФР (ЗМФР) должна обеспечить минимальные значения активного и индуктивного сопротивлений ротора при соответствующих режимах АМ. Это объясняется тем, что конструктивное исполнение ЗМФР оказывает существенное влияние на показатели и характеристики АМ.

2. Асинхронный генератор с МФР и пониженной скоростью вращения

На основании анализа научно-технической литературы можно сделать вывод о том, что возможности АМ с МФР еще далеко не исчерпаны. Эти машины могут быть использованы и как тихоходные двигатели или генераторы с пониженной скоростью вращения ротора при зубчатой конструкции массивного ротора [6, 7]. В данном случае статор АГ ничем не отличается от статора обычной АМ, который состоит из пакета,

набранного из листов электротехнической стали, в пазах которого размещена обычная трехфазная обмотка, а ротор АГ представляет собой ЗМФР. При этом число пазов ротора Z_2 не равно числу пазов статора Z_1 , а разность $Z_2 - Z_1$, от которой зависит скорость вращения ротора, является числом четным и равным числу пар полюсов – $2p$. В этом случае скорость вращения ротора определяется по формуле:

$$n = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2} \cdot \frac{60f_1}{p}, \frac{\text{об}}{\text{мин}}. \quad (1)$$

Из формулы видно, что соответствующее увеличение Z_2 и Z_1 приводит к существенному уменьшению скорости вращения ротора.

Таким образом, генераторный режим АМ в данном случае работает по принципу взаимодействия зубцовых гармоник поля, вследствие чего получается малая скорость вращения ротора. Такой принцип работы АМ называется *электрической редукцией скорости вращения*. Поэтому такие АМ не нуждаются в механических редукторах. Например, в случае АМ с двумя полюсами ($2p=2$), при $f_1 = 50$ Гц и $Z_2 = 26$, $Z_1 = 24$, скорость вращения ротора будет равна

$$n = \frac{26 - 24}{26} \cdot \frac{60 \cdot 50}{1} = 230, \frac{\text{об}}{\text{мин}}. \quad (2)$$

Следовательно, правильный выбор соотношения числа пазов и их размеров при зубчатом роторе в значительной степени определяет свойства тихоходного АГ. Кроме того, трудоемкость изготовления тихоходного АГ с размещением на окружности ротора определенного числа зубцов ограничена технологическими соображениями, толщиной зуба и его электромагнитной нагрузкой. Поэтому, электромагнитная редукция скорости вращения ЗМФР отражается на рабочих характеристиках АМ, а АГ имеет следующие недостатки: низкие КПД и $\cos\varphi$, малый врачающий момент и низкий коэффициент использования габаритной мощности машины.

3.Исполнение асинхронного генератора с МФР и конденсаторным возбуждением

Реконструкция серийной АМ в соответствии с требованиями изготовления тихоходного АГ заключалась в замене шихтованного короткозамкнутого ротора ЗМФР с торцевыми короткозамкнутыми кольцами (ТКЗК) из меди. При этом был выполнен ряд специфических расчетов, характерных для данного АГ, работающего в автономном режиме. Для исполнения АГ с ЗМФР был использован серийный АД типа 4АМ80А2У3, технические данные которого представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические данные АМ

Номинальная мощность, кВт	1,5
Номинальное линейное напряжение, В	380
Номинальный ток фазы, А	3,3
Скорость вращения ротора, об/мин.	2850
КПД, %	81
$\cos\varphi$	0,85

Конструктивные и обмоточные данные АД, форма и геометрические размеры пазов приведены в [8], что позволяет рассчитать конструктивные размеры массивного

ротора, определить электромагнитные нагрузки и магнитные напряжения в зубцах и ярме ЗМФР, учитывая неизменность величины индукции в воздушном зазоре АМ [9].

Емкость конденсаторов возбуждения, применяемых как источник реактивной мощности АГ, определяется с учетом исходных данных АД 4АМ80А2УЗ и по следующим соотношениям [10]:

- проводимость фазы в номинальном режиме

$$y = \frac{I_A}{U_H} = \frac{3,3}{220} = 0,0150 \frac{1}{\Omega m},$$

- относительное значение емкостной проводимости

$$b_{23}' = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{3}} + \frac{\sin \varphi_1}{3} = \frac{0,85}{\sqrt{3}} + \frac{0,52}{3} = 0,6633 \frac{1}{\Omega m}.$$

Из этих соотношений следует, что величина емкости возбуждения АГ при работе на активную нагрузку равна

$$C_{603} = \frac{b_{23}}{\omega} = \frac{0,0099}{314} \cdot 10^6 \approx 31,7 \text{ мкФ},$$

где емкостная проводимость $b_{23} = y \cdot b_{23}' = 0,015 \cdot 0,6633 = 0,0099 \text{ } 1/\Omega m$.

4.Процесс самовозбуждения АГ с массивным ротором

Самовозбуждение АГ возможно при обеспечении определенных условий: наличие остаточного намагничивания в ферромагнитном массивном роторе, определенная величина емкости и частоты вращения ротора. Следовательно, при расчетной величине емкости возбуждения $C_{603} = 31,7 \text{ мкФ}$ и скорости вращения выше критической за счет необходимого остаточного магнитного потока Φ_{ocm} , в обмотке статора создается (наводится) небольшая ЭДС, под действием которой в конденсаторе C_{603} потечет ток I_C , усиливающий остаточный поток в АМ. Однако АГ может возбудиться только при определенной начальной величине E_{ocm} и согласованном ее направлении с напряжением генератора и при условии, что E_{ocm} больше напряжения на емкости возбуждения. Представляет интерес значение напряжений фазы генератора на холостом ходу при синхронной скорости ротора без емкости возбуждения, которые имели следующие линейные значения:

$$U_{12} = 1,2 \text{ В}; U_{23} = 1,17 \text{ В}; U_{31} = 1,19 \text{ В}.$$

При соединении в звезду обмоток генератора с изолированной нейтралью и подключением емкости возбуждения к одной из фаз линейные напряжения фаз имели следующие значения:

$$\begin{aligned} U_{12} &= 4,0 \text{ В}; U_{23} = 4,0 \text{ В}; U_{31} = 2,25 \text{ В при } C_{603} = 40 \text{ мкФ}, \\ U_{12} &= 2,5 \text{ В}; U_{23} = 2,5 \text{ В}; U_{31} = 0,8 \text{ В при } C_{603} = 60 \text{ мкФ}. \end{aligned}$$

В данном случае, величины напряжений очень незначительны, следовательно, процесс самовозбуждения АГ с ЗМФР может не произойти. Сообщив ротору генератора число оборотов выше синхронной скорости на холостом ходу, его возбуждение не имело места даже при увеличении емкости возбуждения с 30 до 60 мкФ. Следовательно, самовозбуждение АГ с ЗМФР возможно лишь в этом случае, когда начальная ЭДС будет иметь необходимое значение для создания в конденсаторе возбуждения емкостного тока – опережающий ток, который подмагничивает АМ и способствует увеличению ЭДС в обмотке статора АГ. Таким образом,

электромагнитный переходной процесс самовозбуждения происходит до тех пор, пока ЭДС генератора больше напряжения на конденсаторе. Из изложенного вытекает, что процесс самовозбуждения АГ с ЗМФР не обеспечивается из-за малой величины остаточного намагничивания в ферромагнитной среде зубчатого массивного ротора.

Анализ результатов и выводы

Асинхронный генератор с МФР может надежно возбудиться и работать на активную нагрузку при определенном насыщении его магнитной цепи, что обеспечит ему определенный запас реактивной мощности, который сосредоточен в контуре намагничивания, в том числе, в его массивном роторе, который должен обладать хорошими магнитными характеристиками и электрическими параметрами. Результаты экспериментальных исследований трехфазного АГ с зубчатым МФР при различной величине емкости конденсаторов возбуждения показывают, что определенное геометрическое исполнение ЗМФР требует проведения оптимизационных расчетов и определенной реализации зубцовой зоны ротора для нормальной работы АМ в генераторном режиме.

Анализ результатов по выполненной научно-технической работе позволяет сделать следующие выводы:

- исполнение АГ с зубчатым МФР не позволяет осуществить электрическую редукцию скорости вращения ротора при определенных зубчатых зонах только ротора;
- частота вращения ротора генератора определяется разностью $Z_2 - Z_1$, которая должна быть четным числом, равным числу пар полюсов асинхронной машины;
- разница $Z_2 - Z_1$ должна быть четной;
- пакеты статора и ротора, выполненные из шихтованных листов электротехнической стали определенной толщины, должны иметь открытые пазы.

Из вышеизложенного вытекает, что исполнение работоспособного тихоходного АГ возможно при выполнении перечисленных выводов и реализации статора и ротора с определенными зубцовыми зонами и открытыми пазами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. – М.: Энергия, 1966, 302 с.
2. Куцевалов В.М. Асинхронные и синхронные машины с массивным ротором. – М.: Энергия, 1979, 160 с.
3. Известия ВУЗов «Электромеханика», 1962, №10, с.1181-1185.
4. Лищенко А.И., Лесник В.А. Асинхронная машина с массивным ферромагнитным ротором оптимальной геометрии. –1978, №175, 54 с.
5. Дружинин О.Б. и другие. Исследование параметров и характеристик асинхронных двигателей с массивным ротором. –1983, №316, 51 с.
6. Проблемы технической электродинамики. 1973, вып.44, с.19-23.
7. Вольдек А.И. Электрические машины. –Л.: Энергия, 1974, 640 с.
8. Справочник. Асинхронные двигатели серии 4А. – М.: Энергоиздат, 1982, 503 с.
9. Лищенко А.И., Лесник В.А. Асинхронная машина с массивным ферромагнитным ротором. – Киев, 1984, 167 с.
10. Адаменко А.И. Однофазные конденсаторные двигатели. – Киев, 1960, 247 с.

Бырладян А.С. Научный сотрудник Института энергетики Академии Наук Молдовы. Сфера научных интересов: электрические машины, асинхронные генераторы, автоматизированный электропривод, диагностика энергооборудования и электрические системы ветроустановок.

Gradul de reducere a gazelor cu efect de seră în scenariile de dezvoltare a surselor de energie electrică ale Republicii Moldova

Ion Comendant, d.ș.t., icomendant@gmail.com;
Sergiu Robu, colab. șt., Institutul de Energetică al AŞM, sergiu.robu@asm.md

Rezumat: Pentru noile condiții a pieței energiei electrice sunt calculate și evaluate variantele de acoperire a cererii de energie electrică pentru R. Moldova până în anul 2033, iar pentru șase scenarii alese se analizează și se determină gradul de reducere a GES.

Cuvinte cheie: surse de electricitate, acoperirea cererii de energie electrică, emisiile de GES.

Greenhouse Gas reduction for scenarios of power sources development of the Republic of Moldova

Ion Comendant, Dr., icomendant@gmail.com;
Sergiu Robu, scientific researcher, Institute of Power Engineering of ASM, sergiu.robu@asm.md

Abstract: For the new power market conditions, Moldova power sources development options up to 2033 are evaluated, and for the six scenarios selected the greenhouse gas reduction impact is determined.

Keywords: power sources, supply of electricity demand, greenhouse gas emissions.

Уровень уменьшения выбросов парниковых газов в сценариях развития генерирующих мощностей

Республики Молдова

Командант И. Т., д.т.н., icomendant@gmail.com;
Робу С.Г., н.с., Институт энергетики АНМ, sergiu.robu@asm.md

Аннотация. Для новых условий энергетического рынка рассчитаны сценарии покрытия спроса на электроэнергию Республики Молдова до 2033 года. Для шести сценариев проанализирован и определен уровень уменьшения выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: источники электроэнергии, спрос, выбросы парниковых газов.

1. Introducere

Sectorul electro-energetic este una din principalele ramuri generatoare de emisii a gazelor cu efect de seră (GES), fapt, care îl face să fie plasat în centrul atenției atunci când se caută soluții de reducere a GES. Determinarea celei mai rezonabile dintre acestea nu este o lucrare deloc simplă, dat fiind că numărul variantelor de dezvoltare a surselor care se cer a fi examinate în acest sens este destul de mare și determinat de multitudinea factorilor care influențează scenariile de dezvoltare a surselor de energie electrică: tipul și prețul combustibilului, tehnologiile existente de producere a energiei electrice, capacitatea interconexiunilor de a importa energie, capacitatea de plată a energiei de către consumatori, nivelul securității energetice urmat a fi asigurat, pronosticul consumului, etc.

Căutarea celui mai potrivit scenariu de reducere a GES, însă, nu se efectuează înainte de lucrarea consacrată alegerii scenariilor după alte criterii, decât ecologic, cum sunt cel economic, tehnic, de securitate, criteriul de mediu tratându-se ca unul ordinar. De obicei studiile de acest gen au ca obiectiv principal găsirea celei mai bune soluții din punct de vedere economic, factorul ecologic fiind reprezentat printr-o exigență de ne depășire a limitelor prestabilită de emisii admisibile (LEA). Adică, aplicarea criteriului presupune că cheltuielile aferente scenariului respectiv cuprind deja în sine și costurile ecologice, precum, de fapt, și celealte costuri: tehnice, de securitate, sociale, etc. În condițiile în care variantele de dezvoltare a surselor alese, din start nu depășesc LEA, este evident că se va da prioritate acelei soluții, care, pentru alte condiții egale, ea se va distinge printr-un grad mai mic de emisii a GES.

Articolul de față și are ca obiectiv analiza și formularea, în primul rând, a acelor opțiuni de dezvoltare a surselor de energie electrică care, pentru condițiile Republicii Moldova, se disting printr-un raționament economic și social evident, iar odată stabilite - identificarea aceluia scenariu din rândul celor economice și social avantajoase, care asigură o maximă reducere a emisiilor gazelor cu efect de seră.

A. Optiunile de dezvoltare a surselor de energie electrică

Așa dar, care sunt acele scenarii de dezvoltare a surselor pentru Republica Moldova, în condițiile în care: prețurile la combustibil continuă să fie în creștere, cel al gazelor naturale urmând să atingă valorile pieței vest-europene către 2011, conform contractului semnat între Republica Moldova și concernul rus GAZPROM; prețul energie electrică de import înregistrând o creștere continuă, ne oprindu-se, cu certitudine, în anii ce urmează la cel atins recent; chiar dacă avem o descreștere a consumului de energie în ultimii ani, cauzat atât de recesiunea economică, cât și măsurile de reducere a pierderilor de energie, consumul de energie pe viitor va continua să crească, având în vedere ascensiunea economică așteptată, lucru, care ar putea pune în dificultate acoperirea cererii, chiar din sursele din import. Răspunsul la întrebarea pusă mai sus îl vom căuta aplicând următoarea metodologie de calcul.

2. Metodologia de calcul

În calitate de instrument de calcul în acest studiu se utilizează Modelul ENPEP elaborat de Agenția Internațională a Energiei Atomice. Acesta permite de a efectua toată gama de analize privind dezvoltarea surselor de energie electrică, inclusiv legate de determinarea efectului de reducere a GES în complexitatea implementării retehnologizărilor și construcției de noi centrale din sistemul energetic. Cu aplicarea modelului WASP, parte integrantă a modelului ENPEP, se alege în regim de optimizare sursele de energie electrică necesare a fi construite sau retehnologizate în perioada analizată. Rezultatele obținute din acest studiu pot fi transferate automat în modelul IMPACT (tot parte componentă a ENPEP) destinat pentru determinarea emisiilor nocive ale centralelor alese de studiul WASP.

Calculele necesare atingerii obiectivelor formulate au fost efectuate în baza datelor inițiale prezentate mai jos.

3. Datele și condițiile inițiale luate în calcul

Au fost identificate și aplicate următoarele informații de intrare pentru modelele de calcul WASP și IMPACT:

3.1. Prognoza curbei de sarcină

La elaborarea programei cererii de energie electrică s-a luat în considerație: ritmul creșterii economice, inclusiv a produsului intern brut real; tendința consumului de energie electrică din ultimii ani; reducerea pierderilor de energie în rețeaua de transport și cea de distribuție, inclusiv diminuarea consumului de energie fără evidență, înălțarea căruia duce la căderea cererii; tendința majorării factorului de sarcină a sistemului, datorită eficientizării consumului de energie și creșterea cererii de energie vara, drept consecință a majorării utilizării climatizoarelor; aplicării în viitorul apropiat a tarifelor zonale și a celor binoame, toate îndreptate spre aplativarea curbei sarcinii de consum.

Prognoza cererii de energie electrică obținută este prezentată în Tab. 3.1.1 și reflectă doar consumul de energie aferent teritoriului situat pe partea dreaptă a râului Nistru.

Tabelul 3.1.1. Pronosticul sarcinei electrice

Anul	Puterea maxima, MW	Cresterea puterii maxime, %	Puterea minima, MW	Cresterea puterii minime, %	Cererea de energie, mil. kWh	Cresterea cererii de energie, %	Factorul de sarcina, %
2005	751		233		3.464		52,7
2006	776	3,3	241	3,3	3.661	5,7	53,9
2007	793	2,2	240	-0,4	3.827	4,55	54,3
2008	812	2,4	249	3,6	3.860	0,87	55,2

2009	832	2,5	255	2,7	3800	-1,56	56,1
2010	853	2,5	263	2,9	4.000	5,3	56,9
2011	871	2,1	267	1,6	4.200	5,0	58,0
2012	889	2,1	272	1,9	4.450	6,0	59,0
2013	915	2,9	276	1,7	4.700	5,6	59,5
2014	945	3,2	283	2,2	4.950	5,3	59,8
2015	975	3,2	288	1,8	5.126	3,6	60,0
2016	1.006	3,2	297	3,1	5.310	3,6	60,3
2017	1.040	3,4	305	2,8	5.502	3,6	60,4
2018	1.062	2,1	317	4,1	5.700	3,6	61,3
2019	1.098	3,4	324	2,1	5.899	3,5	61,3
2020	1.140	3,8	334	3,1	6.106	3,5	61,1
2021	1.177	3,2	344	3	6.319	3,5	61,3
2022	1.212	3	348	1,2	6.541	3,5	61,6
2023	1.241	2,4	362	3,9	6.763	3,4	62,2
2024	1.276	2,9	374	3,3	6.979	3,2	62,4
2025	1.310	2,6	385	2,9	7.189	3	62,7
2026	1.342	2,4	394	2,5	7.368	2,5	62,7
2027	1.372	2,2	410	3,9	7.538	2,3	62,7
2028	1.405	2,4	421	2,7	7.711	2,3	62,7
2029	1.436	2,2	429	2	7.889	2,3	62,7
2030	1.472	2,5	435	1,2	8.070	2,3	62,6
2031	1.505	2,2	440	1,3	8.252	2,3	62,6
2032	1.540	2,3	449	2	8.445	2,3	62,6
2033	1.575	2,3	458	2	8.640	2,3	62,6

3.2 Alte date și aspecte luate în calcul

1. Alături de curba de sarcină menționată s-a luat în considerație condițiile și indicii după cum urmează: rezerva de putere în limitele 10 – 40 %; Rată de actualizare -10% anual; Realizarea planurilor de casări a centralelor proprii existente și construcția de noi linii de interconexiune cu sistemele energetice vecine Republicii Moldova; Perioada de studiu: 2005-2033; Caracteristicile tehnico-economice a sistemului energetic actual; Prețul combustibililor pe piața internațională, în special a evoluției prețului la gazele naturale în R. Moldova, după cum urmează (calculate în conformitate cu principiile stabilite în Contractul de furnizare Republicii Moldova a gazelor naturale de către concernul rus GAZPROM):

Tabelul 3.2.1 Prognaza prețului la gaze naturale

Anul	u.m.	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020	2033
Pret gaze	dolari/mie mc	173	232,3	263,9	249	260	270	290	310	330	330	330

- Dat fiind că prețurile la energia din import este greu de prevăzut cu certitudine, calculele au fost efectuate pentru mai multe valori ale acestui parametru: 4,5,6,7 centi-kWh.
- Sursele existente corespund celor reflectate în Tab. 3.2.2., fiind scoase din funcțiune pe parcursul perioadei de analiză - conform perioadei de viață a acestora.

Tabelul 3.2.2. Lista grupurilor existente

Denumirea	Capacitatea, MW
Nodul Hidroenergetic Costești	16
CET-2 Chișinău	3x45
CET-1 Chișinău	1x10

CET-1 Chișinău	1x7
CET-1 Chișinău	1x23
CET Nord	1x10
CET Nord	1x10
CET-uri a fabricilor de zahăr	6x3
CET-2 Chișinău	3x25
Import Ucraina	13 x 50

4. În calitate de candidați în analiză au participat centrale moderne de generare, considerate ca tehnologii de vârf în domeniul producerii energiei electrice. În rândurile acestora se înscriu și grupurile de mică capacitate (5-30 MW) de tip cogenerare, cele specificate în Strategia energetică, în vigoare din august 2007. Dat fiind că interesul față de centralele nucleare și cele pe cărbune rămâne a fi în centrul atenției în rândul specialiștilor, factorilor de decizie și nu numai, grupurile respective de asemenea au participat în calcul.

Astfel, în calitate de grupuri candidați, luați în studiul de optimizare, au fost aleși cei reflectați în Tab. 3.2.3 /3,4,5,6,7,8,9/, inclusiv:

- un grup nuclear de 633 MW (corespunzător celui de la CNE Cernavoda, România, cu prețuri: 1500\$/kW (cel mai probabil, dat fiind că infrastructura este deja construită) și 2000\$/kW, preț, des întâlnit în sursele de specialitate;
- grupuri pe cărbune, prețul la combustibil fiind egal cu 120 \$/tonă, puterea calorifică 6300kkal/kg;
- ciclu combinat de mai multe puteri și caracteristici;
- turbine pe gaze de mai multe puteri și caracteristici;
 - participarea de centrale mici, cu capacitatea unitară de 5 MW, total 40MW, 1000 \$/kW,
- randamentul - 45%;

Tab. 3.2.3. Lista grupurilor candidat

Grupuri	Investiții specifice actualizate, \$/kW	Puterea nominală, MW	Randamentul, %	Perioada de construcție, ani	Perioada de viață, ani
GTRR, Turbine pe gaze Rolls-Royce	500	51	35	2	25
CB1N, Grup nou la CET-1	544	10	41	1	25
CB2N, Grup nou la CET-Balți	495	37	36	2	25
CCSS, Ciclu combinat Stewart&Stivenson	738	100	52	3	25
CCWE, Ciclu combinat Westinghouse Electric	715	179	52	3	25
CETS, CETuri de mică capacitate	1041	5	45	1	25
CETM, Ciclu combinat propus de firma cehă	870	135	52	2	25
CC2M, Ciclu combinat ABB	704	202	52	3	25
GCAR, Grup pe cărbune	1732	180	36	5	30

5. Dat fiind că importul de energie joacă un rol foarte important în acoperirea cererii de energie pentru Republica Moldova, evoluția puterii de import a fost reprezentată în trei scenarii, care reflectă o diminuare a energiei importate până la 5-7% către anul 2013 și păstrarea acestui nivel până la finele perioadei de analiză (descreștere accelerată a puterii din import); b) o diminuare a energiei importate până la 50% către anul 2013 și păstrarea acestui nivel până la finele perioadei de analiză (descreștere lentă a energiei din import); c) satisfacerea din import a necesarului de energie în legătură cu lipsa construcției de centrale noi pe teritoriul țării până la finele perioadei de analiză.
6. S-a presupus că către 2008 se va construi 1/3 din interconexiunile noi planificate de Strategia

Energetică a Republicii Moldova, adică cu Ucraina și România, către 2013 – punerea în exploatare a celorlalte 2/3 din interconexiunile planificate;

4. Calculele și analiza rezultatelor

Total au fost examineate 4 opțiuni de dezvoltare a surselor de energie electrică:

- 1) acoperirea cererii din sursele proprii
- 2) acoperirea cererii doar din import
- 3) acoperirea cererii prin combinația opțiunilor 1) și 2)
- 4) acoperirea cererii prin impunerea construcției grupului nuclear și alegere liberă a celorlalți candidați

Multitudinea factorilor menționați mai sus care influențează posibilele evoluții de acoperire a cererii de energie electrică au dictat necesitatea efectuării de calcule pentru mai bine de 40 variante de dezvoltare a surselor de energie electrică, prin surse înțelegându-se și cele din import. Sarcina analizei a constat în determinarea acelei variante care ar fi cea mai rezonabilă pentru condițiile Republicii Moldova. În vederea determinării acesteia, variantele calculate au fost examineate la următoarele aspecte:

4.1. La capitolul „Investiții și Cheltuieli”

1. Compararea variantelor aferente opțiunilor 1-3 de mai sus au arătat că cele mai ieftine din punct de vedere a cheltuielilor total actualizate (CTA) sunt acelea din opțiunea 2, pur import, pentru toate prețurile la gaze și energie de import alese în calcul. Această opțiune asigură și cel mai mic efort investițional actualizat: de circa 110 milioane \$, vizavi de cca. 400 milioane \$ în opțiunea 1, acoperirea cererii din sursele proprii, și 273 milioane \$ în opțiunea 3, acoperirea cererii prin combinația variantelor 1) și 2).
2. Atât variantele din opțiunea 1 – acoperirea cererii din sursele proprii, precum și din opțiunea 3 – combinată, se bazează pe utilizarea de centrale electrice tip ciclu combinat și altele, de capacitate mică, care ar putea fi bazate pe alte tehnologii, dar toate orientate la utilizarea gazelor naturale, fapt care duce la dependența masivă de sursele de gaze din est, în acest mod afectând substanțial securitatea energetică a țării.
3. Grupul nuclear nu este ales în nici unul din cele 3 scenarii, motivul fiind următorul. Grupul este de mare putere, din care motiv, el, având o probabilitate de ieșire din funcțiune, duce la încălcarea limitei tehnice a parametrului LOLP (Lost of Load Probability- Probabilitatea pierderii puterii). Bunăoară, în primele 10 luni ale anului 2006 în Ucraina, la cele 4 centrale atomice, au avut loc 30 de opriri ale blocurilor nucleare, fapt care a dus la diminuarea producerii de energie cu aproape 2 miliarde kWh (aproximativ atâtă livrează anual Union Fenosa în Moldova consumatorilor săi). După cum e știut, conform normativelor CSI, consumatorii pot fi lipsiți de energie pe întreg an în mărime nu mai mare de 2 zile (conform normativelor occidentale – 2 ore). În cazul impunerii grupului nuclear, această durată depășește 10 zile. Cu alte cuvinte, în situația când grupul nuclear ar ieși din funcțiune în timpul iernii și ar lipsi puterea necesară pentru importul celor 633 MW (grupul nuclear de 700 MW eliberează în rețea doar 633 MW, 67MW fiind utilizați pentru consum propriu) dispărăți, consumatorii ar rămâne pe o perioadă îndelungată fără energie. Considerând, totodată, că s-ar fi găsit această putere, sau că țara este gata să îndure astfel de sacrificii, a fost calculată opțiunea, prin care modelului WASP i se impune construcția grupului nuclear, care va intra în funcțiune în anul 2015. Conform rezultatelor obținute, din multitudinea condițiilor propuse (preț la gaze, preț la energia importată, investiții specifice ale grupului nuclear, etc.), opțiunea cu grup nuclear este mai ieftină decât opțiunea acoperirea cererii din sursele proprii, fără grup nuclear și opțiunea 3 (acoperirea cererii prin combinația opțiunilor 1) și 2)) doar în următoarele situații:
 - a) Preț gaze 210 \$/1000m³, prețul energiei de import 4 centi/kWh, prețul grupului nuclear 1500 \$/kW (diferența maximă în CTA = 61 milioane \$);

- b) Preț gaze 210 \$/1000m³, prețul energiei de import 5 centi/kWh, prețul grupului nuclear 2000 \$/kW (diferență maximă în CTA = 22 milioane \$);
- c) Preț gaze 250 \$/1000m³, prețul energiei de import 4 centi/kWh, prețul grupului nuclear 1500 \$/kW (diferență maximă în CTA = 92 milioane \$);
- d) Preț gaze 250 \$/1000m³, prețul energiei de import 5 centi/kWh, prețul grupului nuclear 2000 \$/kW (diferență maximă în CTA = 54 milioane \$);

Totodată, realizarea acestor din urmă scenarii, legate de construcția grupului nuclear, cere substanțial mai multe investiții, decât în celelalte variante: 1689 milioane dolari (grup nuclear 1500 \$/kW) și 2450 milioane dolari (grup nuclear 2000 \$/kW), față de maxim 970 (ne actualizate) milioane dolari în variantele fără participarea grupului nuclear. Este important de menționat că, în timp ce în variantele fără participarea grupului nuclear investițiile în construcția de centrale sunt aproximativ uniform repartizate pe perioada de analiză (până în 2033), în varianta cu grup nuclear, grosul investițiilor revine celor 6 ani de construcție a acestuia și este egal cu aproape 1 miliard de \$, în cazul grupului cu investiții specifice de 1500 \$/kW și 1,4 miliard de \$ (411 \$/cap de locuitor al republicii), în cazul grupului cu investiții specifice de 2000 \$/kW, sume extrem de mari pentru o așa țară mică, cum este Republica Moldova. Dat fiind că țara se distinge printr-un risc investițional pronunțat, atât creditele, cât și investițiile venite de la investitorii se așteaptă să fie eliberate cu termene restrâns de recuperare, fapt care va duce la scumpirea substanțială a energiei. La toate perceperea unui credit din partea statului de cca. 1 miliard de dolari pentru construcția grupului nuclear de 633 MW va face țara și mai riscantă, dată fiind suma foarte mare și pericolul întârzierii sau incapacității întoarcerii creditului. În variantele sus analizate, rata de rentabilitate a investițiilor a fost luată egală cu 10%, iar perioada de amortizare – 30 ani, adică perioadei de viață a grupului nuclear. În realitate, însă, un credit sau o investiție de nivelul unui miliard de dolari nu vor fi eliberate, presupunem, decât cu o perioadă de amortizare nu mai mare de 15 ani, fapt care și va duce la scumpirea palpabilă a energiei.

4. Grupurile candidat pe cărbune alese pentru calcul au fost respinse de modelul de optimizare ca fiind prea scumpe. Amintim, prețul grupului cărbune a constituit 1400 \$/kW, iar prețul la cărbune 120 \$/tonă.
5. Este de menționat că opțiunea de acoperire a cererii în baza importului de energie se distinge prin cheltuieli (ne actualizate) mult mai mici decât celelalte opțiuni în analiză, diferență față de opțiunea 1 (balansare din sursele proprii) și Opțiunea 3 (combinată) constituind 1,1 - 2,6 miliarde dolari SUA, în dependență de prețul la gaze și prețul energiei de import, majorându-se cu creșterea prețului la gaze și micșorându-se cu creșterea prețului energiei de import.

4.2. La capitolul „Prețul energiei produse”

Prețul mediu anual al energiei produse de un grup ales în una sau altă variantă depinde de mai mulți factori, cei mai importanți fiind: prețul combustibilului; cheltuielile de exploatare; costul de capital, dependent, la rândul său de perioada de recuperare a investițiilor și rata de rentabilitate asupra investițiilor; randamentul grupului; nivelul încărcării grupului, înglobat în varianta respectivă de dezvoltare a surselor, adică, grupul, alături de celelalte grupuri alese de modelul de optimizare, nu poate produce mai multă energie, decât modelul îi stabilește pentru acoperirea cererii de energie, etc. Pornind de la acești parametri au fost examineate prețurile la energia electrică produsă de:

- a) grupul nuclear 700 MW, menționat mai sus.
- b) grupul pe cărbune 200MW (la bare eliberând 180MW), descris mai sus.
- c) grupul ciclu combinat 100MW pe gaze.

Pentru toate aceste grupuri au fost calculate prețurile de producere pe parcursul primilor 15 ani de funcționare, având 2 oportunități de investiții:

- A) grupul sau centrala electrică respectivă este construită de un investitor privat, care aplică o rată de rentabilitate de 10% asupra investițiilor efectuate;

- B) grupul sau centrala electrică respectivă este construită în baza unui împrumut de stat preferențial, rata de rentabilitate asupra căruia, împreună cu procentul pe credit, este în jurul de 5%.

În calitate de variante de încărcare a grupurilor au fost alese 2 versiuni: Perioada de utilizare a puterii maxime (T_m) – conform valorilor calculate de modelul computerizat de optimizare, precum și 8000 ore (adică, funcționarea grupului la capacitatea maximă, practic, pe parcursul întregului an), iar pentru grupurile pe cărbune, adițional analizate mai jos s-a examinat și cazul cu $T_m = 5000$ ore (încărcare mult probabilă în legătură cu forma ne uniformă a curbei sarcinii de consum, caracteristică R.Moldova). În urma analizei calculelor efectuate pentru condițiile enumărate au fost trasate următoarele concluzii:

6. În cazul impunerii grupului nuclear în calcul, pentru condițiile: 1500\$/kW investiții în grupul nuclear, prețul la gaze pentru celelalte centrale alese fiind de 250 \$/1000m³, iar investițiile fiind cerute a fi recuperate în 15 ani, grupul nuclear se încarcă slab în primii 15 ani: de la $T_m = 4081$ ore în anul 2015 până la 6769 ore în anul 2029, fapt care duce la scumpirea energiei, prețul variind de la 10,8 centi/kWh în primul an de funcționare până la 4,2 centi/kWh în anul 15, media ponderată fiind de 6,1 centi/kWh în cazul rentabilității investiționale de 10% și 4,8 centi/kWh în cazul rentabilității investiționale de 5%. Dacă însă centrala nucleară reușește să-și vândă surplusul de energie, pe care aceasta este în stare să o producă, adică ea ar funcționa cu un $T_m=8000$ ore pe an, atunci prețul energiei mediu ponderat în cei 15 ani de analiză va deveni 4,7 centi/kWh în cazul rentabilității de 10% și 3,7 centi/kWh în cazul rentabilității de 5%.

Prețul energiei produse de grupul nuclear se micșorează și mai mult dacă perioada de amortizare a investițiilor, adică perioada de recuperare a acestora, se mărește de la 15 la 30 ani, cu alte cuvinte, până la perioada de viață a grupului nuclear, care, de fapt, conform surselor existente, ar putea fi și 40 ani. Prețul mediu ponderat în primii 15 ani devine egal cu 5,8 centi/kWh în cazul rentabilității investiționale de 10% și 4,1 centi/kWh în cazul rentabilității investiționale de 5%. Dacă însă centrala nucleară reușește să-și vândă surplusul de energie, pe care aceasta este în stare să o producă, adică ea ar funcționa cu un $T_m=8000$ ore pe an, atunci prețul energiei mediu ponderat în cei 15 ani de analiză va deveni 4,4 centi/kWh în cazul rentabilității de 10% și 3,1 centi/kWh în cazul rentabilității de 5%.

Din cele relatate putem concluziona că prețurile energiei nucleare întâlnite în țările cu tradiții în acest domeniu nu pot servi ca repere pentru a trage concluzia despre avantajul centrelor atomice pentru Republica Moldova. Astfel, prețul energiei nucleare în Ucraina este de cca. 1,7 centi/kWh, în România – 3,6 centi/kWh, prețurile date fiind determinate de mulți factori, majoritatea dintre care având referință la prezența industriei nucleare în țară, resursele de combustibil nuclear proprii, specialiști, materiale și echipamentele respective, etc. Toate acestea lipsesc în republică cu desăvârșire, cu excepția doar a unor materiale de construcție, fapt care impune de a efectua majoritatea achizițiilor de pe piața mondială.

7. Prețul energiei produse la grupul nuclear este mai mic decât cel aferent de ciclului combinat doar atunci, când prețul la gaze constituie mai mult de 250\$/1000m³.

8. Dat fiind că centralele pe cărbune nu au fost alese de modelul de optimizare și nu a intrat în nici unul din variantele determinate în urma calculelor cu modelul WASP, grupul pe cărbune a fost examinat separat, pentru mai multe condiții: diferit nivel al investițiilor și preț la cărbune, randamentul fiind ales de 40%. Rezultatele sunt următoarele:

Energia produsă de grupurile pe cărbune este destul de scumpă, dar ar putea fi mai ieftină decât cea produsă de grupurile ciclu combinat, la prețul gazului de 250 \$/1000m³. Având în vedere că rezervele de gaze naturale sunt limitate pe glob (conform estimărilor, acestea ar ajunge cel mult încă pentru 30-40 ani), prețul acestora va continua să crească, fapt care face ca grupurile pe cărbune să fie preferate în fața ciclului combinat. Mai mult decât atât, grupurile pe cărbune pot fi construite astfel ca ele să poată funcționa pe mai multe tipuri de combustibil, inclusiv pe gaz și păcură, fapt care permite ca țara să nu fie dependentă doar de un singur tip de combustibil. Sigur, construcția grupurilor pe cărbune ridică mai

accentuat problemele ecologice, decât cele bazate pe ciclu combinat, și acest aspect va trebui ținut în calcul atunci, când se hotărăște care tip de centrală trebuie construită.

4.3. La capitolul „Căror surse de dat preferință”

Republica Moldova este o țară mică, fără resurse energetice, suprapopulată pe întreg teritoriul, cu o economie săracă, cu o creștere a puterii anuale necesare de cca. 40, maxim 60 MW în următorii 25 ani. Aceste caracteristici impun să da preferință centralelor:

- a) de mică capacitate, maxim de 200MW
- b) care cer cât mai puține investiții inițiale
- c) care permit a utiliza mai multe genuri de combustibil
- d) care permit a scoate din folosință cât mai puține terenuri și resurse de apă
- e) care se construiesc în perioade de timp restrâns, dacă nu mici
- f) care asigură un preț cât mai mic pentru energia produsă
- g) care au un impact ecologic cât mai mic

Satisfacerea tuturor acestor exigențe nu este în stare nici una din grupurile mai sus examinate: nuclear, ciclu combinat pe gaze, grup pe cărbune. Totodată:

9. Grupul nuclear este cel mai apropiat să îndestuleze condițiile în discuție, dacă el ar fi fost construit nu în R. Moldova, ci la CNE Cernavoda, iar participarea cu investiții ar fi fost efectuată nu pentru întreg grup nuclear de 633 MW, ci doar pentru cca. 200 MW. În situația când varianta participării R.Moldova la construcția grupurilor nucleare se exclude, ar putea fi examinată opțiunea construcției CNE pe teritoriul republicii, cu grupuri de capacitate mică. Astfel de practică există în lume. Bunăoară, în China este construit un grup de 288 MW, în India 2 grupuri a câte 212MW. Însă, diminuarea capacitații grupurilor nucleare ridică nivelul specific al investițiilor, și aşa foarte mare. Nu trebuie de uitat că perioada de construcție a unei centrale nucleare, sau a unui grup, este în realitate substanțial mai mare, decât cel din proiect. Astfel, în studiul de față s-a ales perioada de construcție a grupului 633 MW, egală cu 6 ani. De fapt, însă, trebuie de așteptat – cca. 10 ani, lucru care duce la înghețarea investițiilor foarte mari, cu repercusiuni importante asupra prețului energiei produse. În condițiile construcției unei centrale nucleare, cu grupuri de cca. 633MW, se va cere de avut contracte de lungă durată pentru puterea de rezervă de cca. 700MW, pentru situația când grupul nuclear ar ieși din funcțiune pe parcursul iernii, lucru extrem de greu de asigurat, având în vedere că țările vecine, de unde energia urmează a fi importată în astfel de situații, ar putea singure să fie deficitare. La toate, este necesar de a dispune de capacitate suficientă a interconexiunilor cu țările vecine, egală cu cca. 700MW, ținută înghețată doar pentru cazurile de refuz a grupului nuclear. Chiar dacă s-ar reuși de semnat un acord de acest gen, republica va trebui să plătească adițional pentru puterea de rezervă menținută, cca. 1-1,5 centi/kWh, raportat la energia produsă de grupul nuclear discutat, fapt care mărește respectiv prețul energiei nucleare, examinat mai sus.

Odată cu construcția centralei nucleare, de asemenea, se va cere de soluționat problema deșeurilor – pe de o parte, pe de altă, la același capitol – de acumulat resurse financiare pentru închiderea și conservarea centralei (pentru aproximativ 800 ani) după expirarea perioadei de viață a acesteia. Conform mai multor surse, pentru acumularea resurselor financiare necesare acestor scopuri se cere majorarea prețului energiei produse pe perioada de funcționare a centralei cu până la 10%. Este adevărat, faptul că centrala nucleară nu este producătoare de CO₂, aceasta permite de a vinde carbonul ne produs și astfel de compensat scumpirea energiei atomice menționate.

Cel mai mare neajuns a centralelor atomice, însă, este faptul că ele pot deveni o sursă de catastrofă, imposibil de depășit în cazul unei explozii ne controlate la unul din grupurile acesteia, aşa cum a avut loc la CNE Cernobâl în 1986. În legătură cu aceasta, societatea civilă ar putea protesta împotriva ideii construcției centralei, fie la faza inițierii construcției acesteia, fie ulterior.

10. Al doilea tip de centrale care se încadrează în exigențele țării Republicii Moldova sunt cele bazate pe cărbune. Resursele combustibilului dat, conform estimărilor specialiștilor, se evaluatează la un consum pe o perioadă de cca. 400 ani. Centralele date pot funcționa pe mai multe genuri de

combustibil, lucru, care face republica a nu fi vulnerabilă față de tipurile de combustibil utilizate pentru producerea energiei electrice. Construcția centralei pe cărbune, însă cere dezvoltarea unei structuri adecvate de transport a cărbunelui, fie din Ucraina, fie din Australia, fie din altă țară, fapt, care impune investiții adiționale. Centralele pe cărbune aduc un impact ecologic negativ mai însemnat, decât cele pe gaze, bazate pe ciclu combinat. Ne cătând că investițiile în grupurile pe cărbune sunt însemnate și ar putea să se apropie de cele atomice, posibilitatea construcției de grupuri la capacitați relativ mici, de 150-200MW, permite a diminua impactul ratei de rentabilitate asupra investițiilor, în comparație cu cel nuclear, și a face ca grupurile pe cărbune să fie mai încărcate pe parcursul perioadei de viață a acestora.

11. Centralele electrice bazate pe ciclu combinat și utilizarea gazelor naturale, fiind mai ieri cele mai solicitate pe piață, încep să-și piardă preferința datorită creșterii prețului la gaze, lucru, care, pentru R. Moldova este agravat și prin faptul că combustibilul dat este livrat, practic dintr-o singură sursă, fapt, care deloc nu contribuie la ridicarea securității energetice a țării. Totodată, trebuie recunoscut că din toate sursele de energie electrică, ciclul combinat are cel mai mic impact investițional în prețul energiei produse, egal cu 10-20%, față de 50-76% în cazul grupurilor nucleare și 15-60% în cel pe cărbune. Aceasta este determinat atât prin investițiile specifice, aproape de 2 ori mai mici, cât și perioadei mult mai scurte de construcție a lor, cele de proiect măsurată în jurul de 2-3 ani (5-6 ani – grupurile nucleare, 4-5 ani – grupurile pe cărbune).

12. În studiul efectuat au fost incluse ca grupuri candidat și centrale mici de tip cu cogenerare. Puterea unui grup a fost stabilită de 5 MW, iar numărul maxim de grupuri permis a fi alese de modelul computerizat de optimizare a fost fixat la nivelul de 8. Investițiile specifice 1000\$/kW, randamentul 42%, combustibil – gaze naturale. În urma calculelor, toate aceste grupuri au fost incluse în variantele de dezvoltare a surselor în R. Moldova, dar doar cu condiția că timpul utilizării puterii termice maxime a acestora depășește 4300 ore. Aceasta se explică în principal prin faptul, că o creștere a cererii se îndestulează prin încărcarea totală a centralelor mici, fapt care asigură funcționarea acestora la randamentele maxime de pașaport și totodată nu se îngheată investițiile, lucruri care se întâmplă în situația grupurilor de mari capacitați, care pe parcursul primelor ani de producere a energiei să funcționeze la o capacitate mult mai mică, decât cea de proiect.

13. Pornind de la cele enunțate mai sus, cele mai rezonabile variante de dezvoltare a surselor se consideră acelea, care corespund opțiunii 3, adică celei care combină în sine în proporții rezonabile importul de energie, care acoperă cca. 50% din cerere, și construcția de centrale electrice pe gaze pe teritoriul republicii.

Având ca reper această din urmă concluzie, pentru efectuarea studiului de mediu, urmat în continuare, dintre variantele opțiunii 3 a fost ales unul, corespunzător prețului energiei de import, egal cu 6 centi/kWh, variantă, determinată prin exercițiul de optimizare și care va fi tratat în continuare ca cel mai indicat scenariu (HAS, High Alternative Scenario) în analiza de mai jos privind determinarea gradului de emisii a gazelor cu efect de seră.

B. Identificarea scenariului care asigură o maximă reducere a emisiilor gazelor cu efect de seră

În vederea determinării scenariului de dezvoltare a surselor cu cele mai pronunțate reduceri de GES au fost supuse 6 scenarii de dezvoltare a surselor de energie electrică în Republica Moldova, numărul acestora fiind nu întâmplător. În primul rând, se cerea a avea scenariul de bază, numit BLS (Base Line Scenario), față de care vor fi comparate oricare alte scenarii luate în calcul. În al doilea rând, se cerea a dispune de soluția care corespunde în cea mai mare măsură condițiilor reale a economiei țării și împrejurărilor în care ea se dezvoltă. În studiul de față aceasta poartă numele de HAS (High Alternative Scenario), indicat mai sus, determinat ca variantă mixtă de dezvoltare a surselor de energie electrice, având poziția intermedieră între scenariul de dezvoltare a surselor bazat, practic, exclusiv pe

acoperirea cererii din sursele proprii, importul reprezentând doar circa 5-7 % din energia necesară, și scenariul bazat, practic, exclusiv pe acoperirea cererii din import, ponderea căruia ajunge până la 85-90 %. Adică, ponderea importului în scenariul HAS este de cca. 50%. E de menționat că varianta HAS are riscul să nu se realizeze, din motivul necesității unor investiții importante, greu de atrăs la construcția de centrale. De aceia este rezonabil a cerceta o soluție care ar corespunde HAS, dar care să ar realizeze cu investiții mai mici, dar pierzând, evident, în randamentul producerii energiei electrice. Scenariul dat este cel cu abreviatura MRS (Medium Realistic Scenario), având numărul trei în analiză. Pe lângă aceste trei opțiuni descrise, se examinează și cele trei scenarii stipulate în Strategia de dezvoltare a energeticii Republicii Moldova până în anul 2020, publicată oficial pe 17 august 2007. Toate scenariile în discuție, într-o formă mai detaliată, sunt prezentate în Tab. 4.3.1.

Tab. 4.3.1. Scenariile de dezvoltare a surselor de energie electrică

Nr.	Denumirea scenariului	Descifrare	Caracteristicile scenariului
1	HAS	High Alternative Scenario	Combină în sine varianta acoperirii cererii exclusiv din sursele proprii de energie combinată cu cea care corespunde acoperirii cererii exclusiv din import, ales ca optim din posibilele soluții a scenariilor intermediare
2	BLS	Base Line Scenario	Coresponde scenariului care servește drept reper de comparație pentru oricare alte scenarii luate în studiu, adică cele cu nr. 1, 3, 4, 5, 6 specificate. Presupune o îmbunătățire parțială a randamentului centralelor electrice locale CET-1, CET-2, CET-Nord, fără a se construi alte careva centrale electrice noi, cu excepția punerii în funcțiune a centralei electrice de termoficare de la Ocnița (CETO), practic deja construită. În calcule, CETO intră în funcțiune în anul 2008. Creșterea cererii va fi îndestulată din import.
3	MRS	Medium Realistic Scenario	Coresponde unei variante de mijloc, între scenariul 1 și 2 de mai sus. Acesta este ales în regim de optimizare, avându-se în calitate de grupuri candidați sirul din scenariul HAS, dar care se disting printr-un randament mai scăzut, egal aproximativ cu 42% și păstrării nivelului importului de energie la valoarea de aproximativ 50%. Scenariul dat este aproape de cel real, deoarece corespunde punerii în aplicare a unor grupuri de producere a energiei electrice tip turbine pe gaze, în loc de ciclu combinat. Turbinele pe gaze se disting prin simplitatea și o durată foarte scurtă (maxim un an) de instalare a acestora, lucru mult atractiv pentru Republica Moldova, unde incertitudinea evoluției pieței energiei electrice este destul de pronunțată și o decizie privind construcția unei centrale se cere a fi luată cât mai târziu și de aceia punerea în funcțiune a grupului respectiv trebuie efectuat în termene cât mai scurte.
4	A	coresponde scenariului Strategiei energetice: „Dezvoltarea limitată de capacitate noi”	Scenariul presupune păstrarea capacităților centralelor existente pe tot parcursul perioadei de studiu și totodată construcția de mini CET cu generare distribuită, puterea totală a căror către anul 2020 atingând 179MW.
5	B	coresponde scenariului Strategiei energetice: „Dezvoltarea medie de capacitate noi”.	Scenariul presupune păstrarea capacităților centralelor existente pe tot parcursul perioadei de studiu, construcția de mini CET cu generare distribuită, puterea totală a căror către anul 2020 atingând 179MW și extinderea CET-1, CET-2, CET-Nord cu 296 MW către 2020 (Extinderea CET-1 cu 24 MW și CET-Nord cu 72 MW și a CET-2 cu 200 MW între 2015 și 2020)
6	C	coresponde scenariului Strategiei energetice: „Dezvoltarea extinsă de capacitate noi”.	Scenariul presupune păstrarea capacităților centralelor existente pe tot parcursul perioadei de studiu, construcția de mini CET cu generare distribuită, puterea totală a căror către anul 2020 atingând 179MW, extinderea mai intensivă a CET-1, CET-2, CET-Nord, adică extinderea CET-1 cu 24 MW către anul 2010; extinderea CET-Nord cu 72 MW către anul 2015; extinderea CET-2 cu 200 MW către 2020.

5. Rezultatele tehnico-economice

În rezultatul calculelor efectuate au fost determinate cheltuielile total actualizate ale tuturor scenariilor mai sus menționate, structura acoperirii cererii de energie de către acestea, investițiile necesare realizării scenariilor, costurile pentru achiziția combustibilului pe parcursul anilor de analiză, considerându-se că prețul energiei de import constituie 6 centi/kWh. Informația respectivă este oglindită în Fig. 5-1, 5-2, 5-3 și Tab. 5-1.

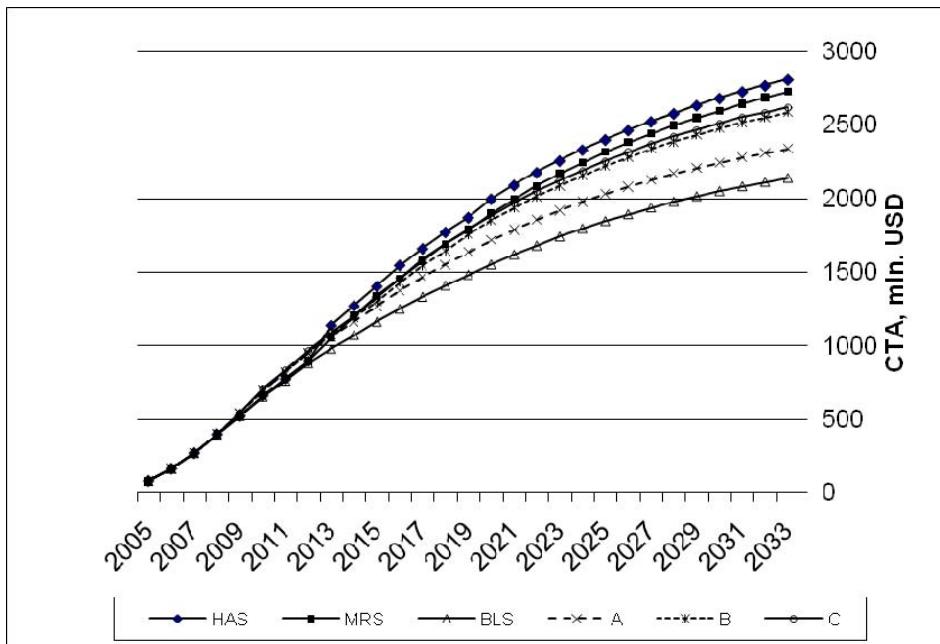


Fig. 5.1. Dinamica cheltuielilor total actualizate cumulative, \$ SUA

Tabelul. 5-1. Structura energiei produse și consumate în cele 6 scenarii

Anul		2007	2010	2015	2020	2025	2033	
Cererea de putere maxima, MW		793	853	975	1140	1310	1575	
Energia consumată, GWh		3827	4000	5126	6106	7189	8640	
Puterea importată, MW	HAS	700	700	500	500	600	650	
	BLS	700	800	900	1050	1250	1550	
	MRS	700	700	650	750	850	950	
	A	700	650	800	900	1050	1350	
	B	700	650	750	750	950	1250	
	C	700	700	850	850	950	1100	
Energia importată	HAS	GWh	2771	3060	2980	2583	3603	3986
		% din total	73	77	58	42	50	46
	BLS	GWh	2924	3322	4315	5020	6102	7553
		% din total	76	83	84	82	85	87
	MRS	GWh	2924	3060	2754	2392	3446	4171
		% din total	76	77	54	39	48	48
	A	GWh	2924	2852	3869	4258	5341	6793
		% din total	76	71	75	70	74	79
	B	GWh	2924	2852	3477	3866	4652	6103
		% din total	76	71	68	63	65	71

PROBLEMELE ENERGETICE REGIONALE 1(12) 2010

	C	GWh	2924	2703	3220	2606	3664	5107
		% din total	76	68	63	43	51	59
Energia produsa pe gaze naturale	HAS	GWh	903	940	2065	3448	3510	4577
		% din total	24	24	40	56	49	53
	BLS	GWh	903	678	736	1012	1012	1012
		% din total	24	17	14	17	14	12
	MRS	GWh	903	940	2263	3606	3635	4361
		% din total	24	24	44	59	51	50
	A	GWh	903	1148	1181	1772	1772	1773
		% din total	24	29	23	29	25	21
	B	GWh	903	1148	1541	2132	2428	2428
		% din total	24	29	30	35	34	28
	C	GWh	903	1297	1831	3425	3451	3458
		% din total	24	32	36	56	48	40

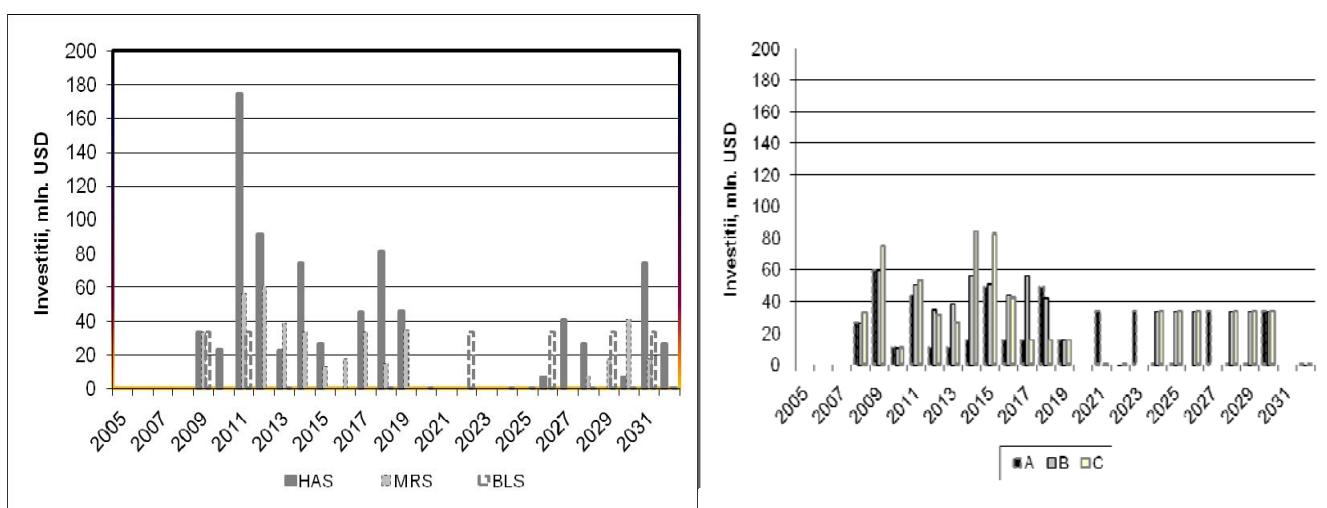


Figura 5.2. Evoluția investițiilor ne-actualizate în dezvoltarea surselor de energie

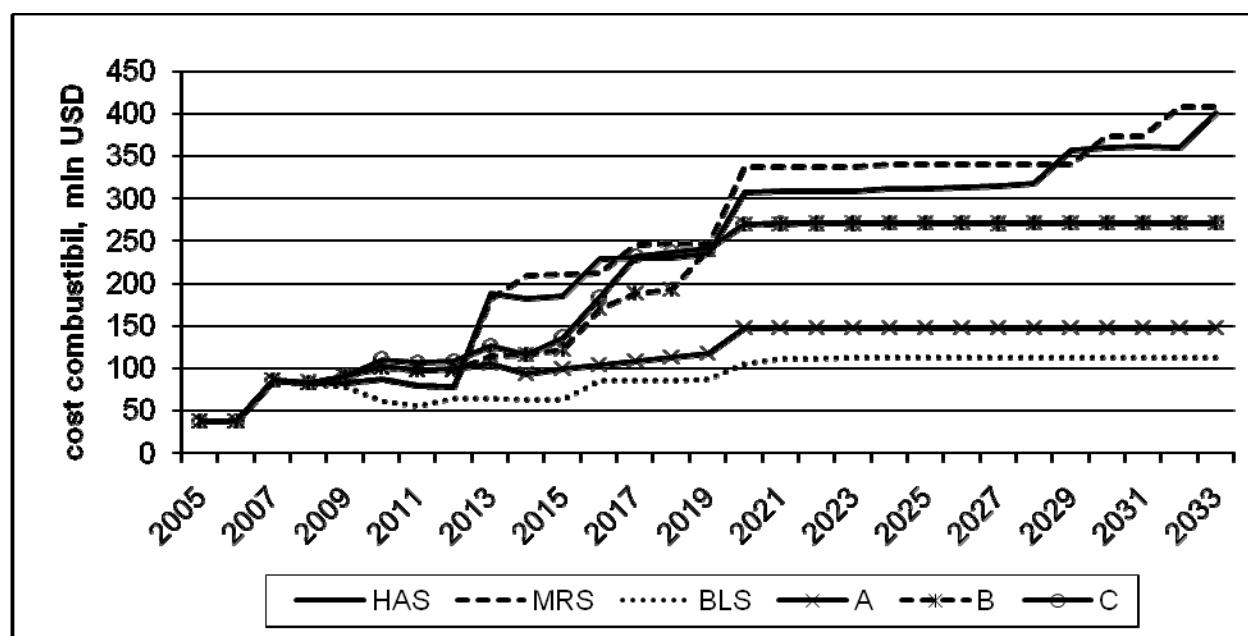


Figura 5-3. Evoluția costului anual al combustibilului pentru producerea energiei electrice

Analiza informației de mai sus permite a concluziona că din punct de vedere economic cel mai scump este scenariul HAS. Totodată, acesta asigură cea mai înaltă securitate energetică. Și invers, cele mai mici cheltuieli totale actualizate, precum și cele mai mici investiții le întâlnim la realizarea scenariului BLS, care, pe de altă parte se distinge printr-o securitate energetică mult scăzută, importul energiei din totalul necesar atingând 83% către anul 2033. Din figurile prezentate se evidențiază și următorul aspect: cu cât retehnologizările și grupurile noi, participante în scenariu, se disting prin randamente mai înalte, cu atât volumul de investiții este mai mare (Fig. 5-2).

6. Evaluarea gradului de reducere a emisiilor de GES în cele 6 scenarii.

După examinarea celor șase scenarii de dezvoltare a surselor de energie electrică din punct de vedere economic și de securitate energetică, în continuare vom purce la analiza acelorași scenarii din punct de vedere a emisiilor de gaze cu efect de seră.

Având drept date de intrare rezultatele calculării celor șase scenarii mai sus examineate, aplicându-se Modelul IMPACTS, au fost determinate emisiile gazelor cu efect de seră, utilizându-se următoarea formulă:

$$E_{CO2\ eq.} = E_{CO2} + E_{CH4} * 21 + E_{N2O} * 310,$$

unde:

$E_{CO2\ eq.}$ – emisii de GES exprimate în CO_2 echivalent prin potențialul global de încălzire pentru un orizont de 100 ani;

E_{CO2} – emisiile de CO_2 ;

E_{CH4} – emisii de CH_4 ;

E_{N2O} – emisii de N_2O .

În Fig. 6.1 este prezentată evoluția emisiilor CO_2 echivalent pe parcursul anilor de analiză pentru scenariile de dezvoltare a surselor de energie electrică în cauză. După cum se observă, cu unele excepții pentru anumiți ani, nivelul minim de emisii se înregistrează în varianta BLS, iar cel maxim – în varianta MRS. Însă, aceasta nu înseamnă că varianta BLS este cea mai reușită din punct de vedere a reducerii de GES, explicația fiind prezența unei ponderi importante a importului de energie în satisfacerea cererii, lucru caracteristic, de fapt, pentru toate variantele examineate. Importul de energie nu aduce emisii pe teritoriul țării. Iată de ce, în vederea distincției celei mai rezonabile soluții de reducere a GES, se cere examinarea nu a valorilor absolute de emisii GES, după cum este reprezentat în Fig. 6-1, ci a celor specifice, adică a volumelor de emisii revenite 1 kWh (notat în continuare prin VES) produs de centralele electrice locale în scenariile corespunzătoare. Valorile respective sunt oglindite în Fig. 6.2.

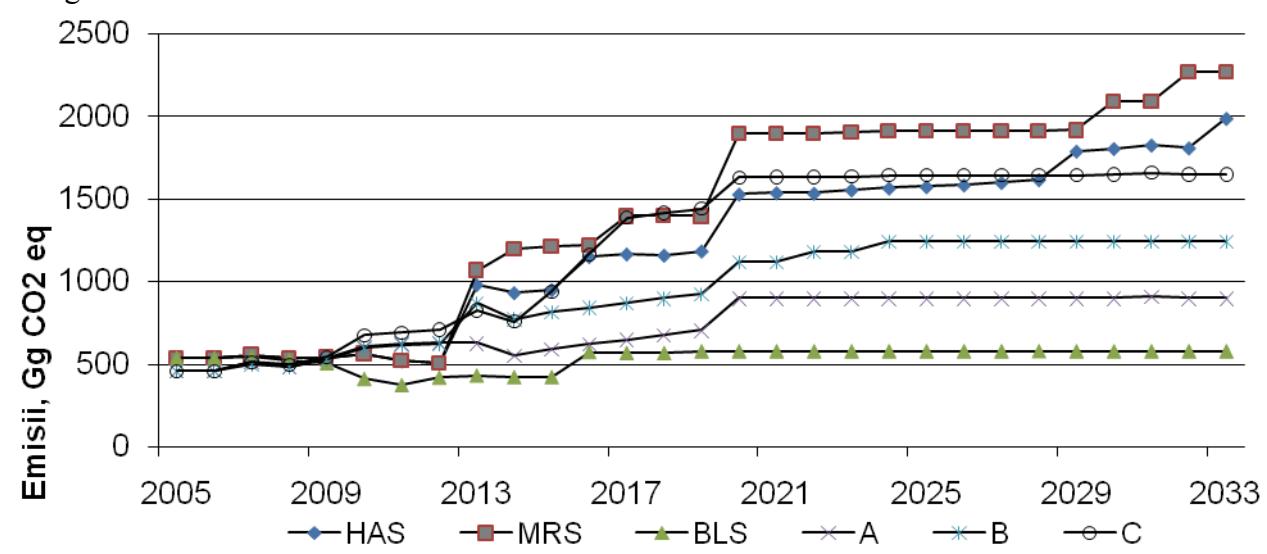
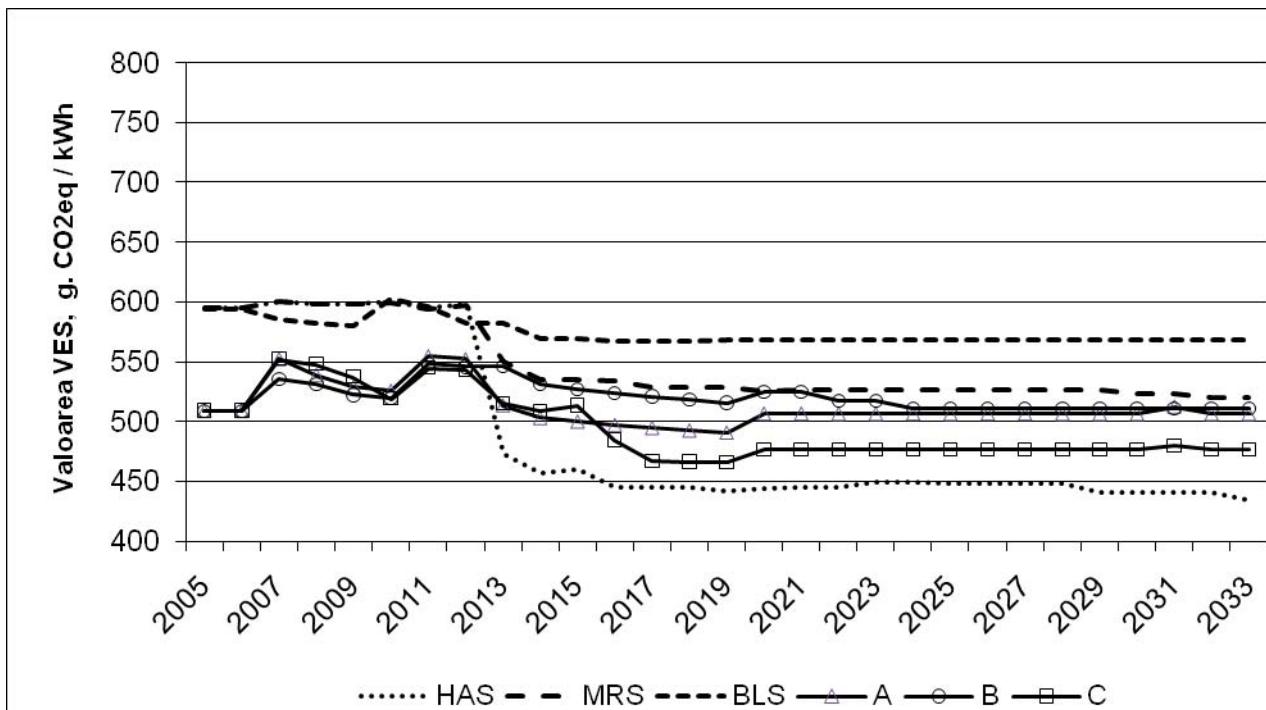


Figura 6.1. Emisiile de GES în scenariile examineate

**Fig. 6.2. Evoluția VES pe parcursul anilor de analiză**

După cum se observă din Fig. 6.2 cel mai avantajos scenariu de reducere a GES îl reprezintă cel denumit HAS. Acesta este și cel mai rezonabil și din punct de vedere a securității energetice. Însă, după cum s-a menționat deja, este și cel mai scump. Scenariul BLS este cel mai dezavantajos din punct de vedere a reducerii de GES. Este și cel mai inferior din punct de vedere a securității energetice, însă este cel mai ieftin. Celelalte variante ocupă poziții intermediare.

În vederea evaluării gradului de reducere a emisiilor de GES în scenariile examineate vom utiliza datele din tabelul 6.1, unde sunt prezentate valorile mai multor caracteristici care ne interesează.

Tab. 6.1. Estimarea gradului de reducere a emisiilor de GES în cele 6 scenarii

Parametrii	Unitatea de masura	HAS	MRS	BLS	A	B	C
Cheltuieli total actualizate (CTA)	mil. \$ SUA	2811	2727	2143	2338	2585	2620
Investiții totale, neactualizate (IT)	mil. \$ SUA	797	422	268	457	686	686
TOTAL energie produsă de propriile centrale în anii 2005-2033GWh	GWh	76387	76824	26893	41699	52521	73196
Volumul de gaze naturale consumate*	mil. m ³	1083	1981	282	457	774	774
Volumul de păcură consumată	mii tone	616	616	616	616	616	616
Costul combustibilului, neactualizat	mill. \$ SUA	6708	7074	2622	3431	5576	5730
Volumul emisiilor de CO ₂ eq (VE)	Tg	35,14	41	15,43	21,3	27,25	35,48
Indicele VE/IT	kg/\$SUA	44,1	97,2	57,6	46,7	39,7	51,7
Indicele VE/CTA	kg/\$SUA	12,5	15,0	7,2	9,1	10,5	13,5

Emisiile specifice (VES)	g CO2eq / kWh	460,1	533,6	569,1	510,8	518,7	484,8
Diferenta D=VESbls - VESx	g CO2eq / kWh	109,1	35,5	0,0	58,3	50,4	84,4
Reducerea de GES	Tg	8,3	2,7	0,0	2,4	2,6	6,2

* 1 tcc = 786.6339 m. cub

Așa cum deja ne-am convins mai sus, prin compararea valorilor absolute de emisii a scenariilor examinate nu poate fi determinat nivelul reducerii de GES (R_{GES}) a unui scenariu față de altul, dat fiind că scenariile se deosebesc prin volumul energiei produse la centralele locale. De aceia corect va fi ca reducerea de GES a unui scenariu față de BLS să se determine aplicându-se următoarea formulă:

$$R_{GES} = (VES_{BLS} - VES_x) * Epx,$$

unde VES_{BLS} – emisiile specifice de CO2 echivalent pentru scenariul BLS, exprimate în g CO2 echivalent/kWh;

VES_x – emisiile specifice de CO2 echivalent pentru scenariul X, exprimate în g CO2 echivalent/kWh;

Epx - energia produsă de centralele locale în scenariul X

Valorile VES_{BLS} , VES_x , Epx , precum și rezultatul calculului R_{GES} este prezentat în Tab. 6-1. Din acest din urmă tabel putem constata că cea mai semnificativă reducere de GES se înregistrează în scenariul HAS - 8,3 Tg CO2 echivalent, urmat de scenariul C cu 6,2 Tg CO2 echivalent, scenariul MRS cu 2,7 Tg CO2 echivalent, scenariul B cu 2,6 Tg CO2 echivalent, scenariul A cu 2,4 Tg CO2 echivalent.

Trebuie de menționat că reducerile în cauză trebuie tratate pentru fiecare scenariu în parte, nu comparate între ele, dat fiind că fiecare dintre scenarii au diferite volume de producere a energiei electrice.

Dacă vom căuta să găsim sensul formulei de mai sus, va trebui să constatăm că ea reflectă cazul prezenței unui scenariu BLS, specific pentru fiecare scenariu în parte, nu comun pentru toate scenariile. Comună este doar cantitatea de emisii GES revenită 1 kWh. Adică, în cazul comparației scenariului X cu BLS, scenariul BLS realizează producerea aceeași cantitate de energie ca și în scenariul X, păstrând la unul și același nivel, ca și pentru alte scenarii, nivelul de emisii GES revenită 1 kWh produs.

Concluzii

1. În scopul identificării celei mai rezonabile soluției de dezvoltare a surselor de energie electrică pentru Republica Moldova au fost supuse analizei mai bine de 40 de variante de acoperire a cererii de energie, alese în regim de optimizare și care cuprind o largă gamă de combinații a grupurilor candidat și centralelor existente. În rezultat a fost aleasă varianta, numită HAS (High Alternative Scenario), care ocupă o poziție intermedieră între opțiunea de dezvoltare a surselor bazate, practic, exclusiv pe acoperirea cererii din sursele proprii, importul reprezentând doar circa 5-7 % din energia necesară, și opțiunea bazată, practic, exclusiv pe acoperirea cererii din import, ponderea căruia ajunge până la 85-90 %. Cu alte cuvinte, în varianta HAS, 50% din cerere este acoperită din import, iar celelalte 50% este acoperită de sursele existente la moment, și grupurile noi urmate a fi construite, după cum urmează: ciclu combinat pe gaze - 3x100CCSS, 2x179CCWE și centrale mici pe cogenerare 5x5CETS. Această variantă, alături cu alte cinci:

BLS (Base Line Scenario), față de care au fost comparate celelalte scenarii luate în calcul; MRS (Medium Realistic Scenario), care repetă HAS, însă se distinge prin investiții mai mici, dar și randament de producere a energiei mai scăzut; trei scenarii stipulate în Strategia de dezvoltare a energeticii Republicii Moldova până în anul 2020, au fost supuse examinării spre găsirea acelei variante, care asigură cea mai înaltă reducere a GES.

2. Cazul Republicii Moldova este deosebit în tratamentul problemei determinării reducerii de GES. În conceptul tradițional, evaluarea reducerii gazelor cu efect de seră se efectuează prin comparația volumului emisiilor de CO₂ echivalent a unui oricare scenariu cu volumul emisiilor de GES înregistrat în scenariul liniei de bază, adică BLS. Dat fiind că repubica importă o cantitate foarte însemnată de energie electrică (în prezent-mai bine de 70% din totalul cererii de energie electrică) și politica de import masiv de energie se va păstra și pe viitor, după cum subliniază Strategia energetică a țării, iar importul de energie, conform metodologiei Națiunilor Unite, nu implică în țara importatoare emisii de CO₂, variantele de dezvoltare a surselor de energie electrică examineate în studiul de față, inclusiv a BLS, nu pot fi comparate între ele după volumul emisiilor de GES, inclusiv față de BLS, deoarece cantitatea energiei produse pe teritoriul țării este diferită de la un scenariu la altul. Acest fapt face ca în scenariul BLS, din studiul de față, să se înregistreze cel mai mic volum de emisii de gaze cu efect de seră, contrar logicii obișnuite. Adică, în acest scenariu urma să se obțină nu cel mai mic, ci cel mai mare volum de emisii GES, dat fiind că el se distinge printr-un randament de producere a energiei electrice cel mai redus, adică mai mic, decât în celelalte scenarii examineate.

In vederea depășirii acestei situații se propune ca determinarea reducerii de GES pentru scenariile examineate de dezvoltare a surselor de energie să se efectueze cu aplicarea indicelui specific de reducere a CO₂ echivalent, adică în baza volumului de emisii revenit 1 kWh produs de centralele electrice locale. Într-un astfel de tratament, volumul energiei electrice produse de centralele locale a fiecărui dintre scenarii pare a fi egal cu volumul energiei produse în scenariul BLS, ales pentru comparare. Pornind de la o astfel de abordare, constatăm următoarele reduceri de GES în scenariile examineate: scenariul HAS - 8,3 Tg CO₂ echivalent, urmat de scenariul C cu 6,2 Tg CO₂ echivalent, scenariul MRS cu 2,7 Tg CO₂ echivalent, scenariul B cu 2,6 Tg CO₂ echivalent, scenariul A cu 2,4 Tg CO₂ echivalent. Este de menționat că în scenariile A, B, C se promovează punerea în funcțiune de însemnate capacitați de centrale electrice cu cogenerare (179 MW), puțini probabile a fi realizate din cauză lipsei în țară de sarcină termică de lungă durată pe parcursul anului, fapt care ne impune să tratăm cu atenție scenariile date.

3. Și din punct de vedere a nivelului de emisii revenite 1 \$SUA, scenariul HAS este preferabil în fața celorlalte scenarii de dezvoltare a surselor în Republica Moldova. Bineînțeles, dacă se ia în considerație probabilitatea mică de prezență a sarcinii termice adecvate pe teritoriul republiei, care ar putea justificată promovarea centralelor electrice cu cogenerare distribuită. Dacă însă astfel de sarcină ar putea exista, în vederea construcției unei capacitați totale de 179 MW, atunci după criteriul „cele mai mici emisii revenite 1 \$SUA”, învingător ar deveni scenariul B. Astfel, scenariul B acumulează 39,7 kg/\$SUA, iar HAS – 44,1 kg/\$SUA, cel mai dezavantajos fiind scenariul MRS cu 97,2 kg/\$SUA.
4. Atât după reducerea de GES, precum și după criteriul „cele mai mici emisii revenite 1 \$SUA”, după cum ne-am convins mai sus, scenariul HAS este cel mai preferabil. El este cel mai atrăgător și din punct de vedere a securității energetice, dar nu și după prețul energiei electrice produse. Bunăoară, dacă vom considera că prețul mediu al energiei electrice din import ar fi de 50 \$/MWh, atunci prețul mediu actualizat de producere a energiei electrice pe toată perioada de studiu în scenariul HAS ar constitui 69,2 \$/MWh, iar în scenariul MRS – 63,9 \$/MWh. Astfel că promovarea unuia sau alt scenariu de dezvoltare a surselor în Republica Moldova va trebui efectuat și de pe poziția capacitații populației de a suporta un tarif mai avansat pentru energia electrică furnizată acestora.

Bibliografie

1. IAEA – Wien Automatic System Planning (WASP) Package, A Computer Code for Power Generating System Expansion Planning, Version WASP-IV, User's Manual, 2000.
2. IAEA- Energy and nuclear power planning study for Romania (covering period 1989-2010), September 1995.
3. International Energy Agency – World Energy Outlook, 2006 Edition.
4. www.power-technology.com/projects.
5. The Economics of Nuclear Power, Briefing Paper 8. April 2006. Uranium Information Centre Ltd., Melbourne, Australia.
6. World Nuclear Association Report, November 2006.

Ion Comendant - Scientific Research Coordinator of the Renewable Energy Sources Laboratory of the Institute of Power Engineering of the ASM. Experienced professional, with 40 years presence in the Moldova energy sector studies, in the field of power system development and elaboration of country power sources expansion (including imports) scenarios; power plants emissions; energy economics, elaboration of the legal and regulatory framework focusing on electric power, gas and heat supply sectors, restructuring and privatization, electricity market formulation and unbundling of utilities, power sector tariff methodologies elaboration, distribution and supply tariffs calculation and analysis, tariffs policies, energy conservation; Energy efficiency; Renewable sources economic modeling. E-mail: icomendant@gmail.com

Sergiu Robu – scientific researcher of the Laboratory of Energy Efficiency and Control Systems of the Institute of Power Engineering of the ASM. His research interests are: long term planning of energy systems; energy efficiency; models and methods for the development of Energy Systems; management and economy of Energy Systems; scenarios/environmental wastes from energy chains. Expert in long term planning using ENPEP, MARKAL, WASP-Win., SIMPACTS, MESSAGE, GAINS and other computer models. e-mail: sergiu.robu@asm.md

ACUMULATOR CU FRIG NATURAL ȘI INSTALAȚIE CU VID PENTRU RĂCIREA LAPTELUI ÎN REPUBLICA MOLDOVA

Crețu Victor
Universitatea Agrară de Stat din Moldova
e-mail: v.cretu@uasm.md

Rezumat: Pe baza cercetărilor teoretice și experimentale a procesului de răcire a laptelui, a fost elaborat modelul matematic al acumulatoarelor cu frig natural și instalațiilor cu vid ce permit de a determina dependența regimurilor de funcționare ai instalațiilor nominalizate de parametrii mediului ambiant.

Cuvinte cheie: Utilizare de energie, sistem ecologic cu frig natural și vid.

THE NATURAL COLD ACCUMULATOR AND VACUUM INSTALLATION FOR MILK COOLING IN REPUBLIC OF MOLDOVA

Crețu Victor
Agrarian State University of Moldova
e-mail: v.cretu@uasm.md

Summary: Based on theoretical and experimental research of the milk cooling process was elaborated mathematical model of accumulator with natural cold and vacuum installations, which allows determining the operating system installations, mentioned from environmental parameters.

Keywords: Use of energy, ecological system with natural cold and vacuum, vacuum installation.

АККУМУЛЯТОР ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА И ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА В РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВА

Крецу В
Государственный аграрный университет Молдовы
e-mail: v.cretu@uasm.md

Аннотация: На основании теоретических и экспериментальных исследований процесса охлаждения молока была разработана математическая модель аккумулятора естественного холода и вакуумных установок, позволяющие определить зависимости режимов работы указанных установок от параметров окружающей среды.

Ключевые слова: экологические системы с естественным холодом и вакуумом, естественные аккумуляторы холода.

Introducere

Sistemul ecologic cu frig natural și vid la răcirea laptelui constă din acumulatorul cu frig natural (instalație sezonieră) și instalația cu vid, ce exclud utilizarea diferitor tipuri de freon.

Totodată, instalațiile menționate permit esențial de a reduce consumul de energie electrică la răcirea laptelui de la 30 kWh/t, până la 2...23 kWh /t. Pentru răcirea laptelui până la temperatura necesară de păstrare $+6^{\circ}\text{C}$ se utilizează acumulatorul cu frig natural la temperaturile aerului atmosferic $t \leq 6^{\circ}\text{C}$ și instalația cu vid la $t > 6^{\circ}\text{C}$. În scopul reducerii consumului de energie electrică pentru $t > 6^{\circ}\text{C}$, răcirea laptelui se efectuează în două etape. La prima etapă se utilizează acumulatorul cu frig natural ce permite de a răci laptele de la $32\ldots34^{\circ}\text{C}$, până la $15\ldots17^{\circ}\text{C}$, iar la etapa a doua se utilizează instalația cu vid ce permite de a răci laptele pînă la temperatura necesară de păstrare.

În figura 1. este prezentată schema funcțională de automatizare a procesului de răcire a laptelui pentru ferme cu efective de pînă la 100 capete.

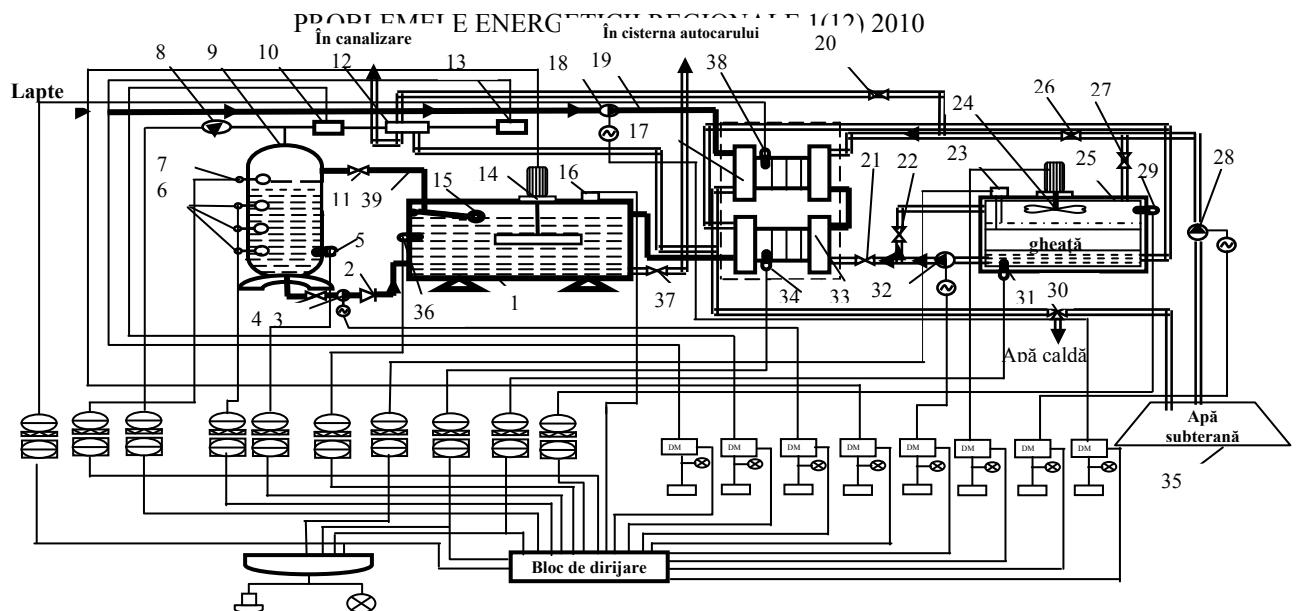


Fig. 1. Schema funcțională de automatizare a procesului de răcire a laptelui.

1 – rezervor-termos pentru lapte; 2 – supapă de reținere; 3, 18 – pompă pentru lapte universală („HMY – 6”); 4, 20, 21, 22 – ventile electrice; 5, 29, 31, 34, 36, 38 – traductoare de temperatură; 6, 7 – traductoare de nivel; 8 – vacuum-regulator electric; 9 – recipient pentru lapte; 10 – pompa de vid de bază; 11 – ventil de reglare termică; 12 – condensator; 13 – pompa de vid auxiliară ; 14 – malaxor; 15 – dispozitiv cu flotor; 16 – releu de timp; 17, 33 – răcitor în flux; 19, 39 – conductă pentru lapte; 26, 27, 30, 37 – ventile mecanice; 23 – traductor de gheată; 24 – ventilator; 25 – acumulator de frig ; 28, 32 – pompe de apă ; 35 – sondă cu apă subterană.

Schema funcțională de automatizare a procesului de răcire a laptelui funcționează în felul următor. În timpul rece al anului, la conectarea manuală a pompei pentru lapte (18), prin blocul de dirijare, este conectat declanșatorul demarorului magnetic DM₇, ce pune în mișcare pompa (28), care pompează apă din sondă (35), spre răcitorul în flux (17), unde laptele se răcește pînă la temperatura de $17 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Apă, fiind supusă încălzirii, este utilizată pentru necesitățile tehnologice ale fermei. În același timp, de către blocul de dirijare, prin declanșatorul demarorului magnetic DM₅, este pusă în mișcare pompa (32), care furnizează apă din acumulatorul de frig (25) spre răcitorul în flux (33), unde are loc răcirea laptelui până la $+ 6^{\circ}\text{C}$. Laptele răcit este acumulat în rezervorul-termos (1), păstrîndu-se pînă la transportare.

În timpul cald al anului, la conectarea manuală a pompei de lapte (18), prin blocul de dirijare, este conectat declanșatorul demarorului magnetic DM₇, ce pune în funcțiune pompa (28), care pompează apă subterană din sonda (35), în schimbătorul de căldură (17), unde laptele se răcește pînă la temperatura de $17 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Apă caldă este utilizată pentru necesitățile tehnologice ale fermei. Laptele răcit preliminar este acumulat în rezervorul-termos (1), de unde, sub influența vidului format de pompele (10 și 13), pe portii, nimerește în recipientul (9), în care se răcește. Laptele răcit se evacuează cu ajutorul pompei (3). Procesul se repetă.

În baza cercetărilor teoretice și experimentale a procesului de răcire a laptelui a fost elaborat modelul matematic al acumulatoarelor cu frig natural și instalațiilor cu vid.

Modelul matematic elaborat permite de a aprecia parametrii constructivi – tehnologici ai instalațiilor nominalizate, precum și dependența lor de parametrii mediului ambiant (temperaturile aerului atmosferic și a apei, durata perioadei reci a anului etc.).

Legea integrală a repartizării probabilității a stării temperaturii $t(^{\circ}\text{C})$ aerului atmosferic F(t) formată pe baza datelor meteo pentru Republica Moldova [1]^{*}.

*în copaternitate cu M. Cușnir

$$\begin{cases} F(t) = 0,32 + 0,027 \cdot t + 0,0006 \cdot t^2, \text{ la nordul Republicii Moldova.} \\ F(t) = 0,3 + 0,026 \cdot t + 0,0006 \cdot t^2, \text{ la centrul Republicii Moldova.} \\ F(t) = 0,28 + 0,025 \cdot t + 0,0006 \cdot t^2, \text{ la sudul Republicii Moldova.} \end{cases} \quad (1)$$

Utilizând aceste formule este posibil de arătat că durata utilizării instalațiilor nominalizate calculate conform sistemului de ecuații (1) este următoare (Tabelul 1).

Tabelul 1. Durata utilizării instalațiilor nominalizate calculate conform sistemului de ecuații (1).

Acumulatoare cu frig natural	Instalații cu vid
160 zile nordul Republicii Moldova.	205 zile nordul Republicii Moldova.
151 zile centrul Republicii Moldova.	214 zile centrul Republicii Moldova.
142 zile sudul Republicii Moldova.	223 zile sudul Republicii Moldova.

Consumul specific de energie electrică al instalațiilor nominalizate la răcirea laptelui:

- Acumulatorul cu frig natural în perioada rece a anului – 2 kWh/t;
- Instalația cu vid în perioada caldă a anului – 21...23 kWh/t;
- Instalația cu frig natural și instalația cu vid în perioada caldă a anului – 11...12 kWh/t.

Reducerea puterii electrice a instalațiilor elaborate în comparație cu instalațiile frigorifice cu compresor: acumulatorul cu frig natural - de cca 7ori, instalația cu vid - cel puțin cu 20 %.

Instalația cu vid:

- regim de răcire a volumului de lapte integral

$$\tau = (cm + c_v m_v) R_\mu \int_{t_0}^{t_n} \frac{T}{\mu r S 609 e^{\frac{19,7(T-273)}{T}} - R_\mu K T} \times dT; \quad (2)$$

– regim de răcire consecutivă pe porții a volumului de lapte cu amestecul porțiiilor de lapte răcit și cald:

$$\tau_i = (a + cm_i + c_v m_v) R_\mu \int_{t_0}^{t_{ni}} \frac{T}{\mu r S 609 e^{\frac{19,7(T-273)}{T}} - R_\mu K T} \times dT; \quad (3)$$

unde τ și τ_i – durata de răcire a volumului de lapte integral și, respectiv, pe porții (i), s; c și c_v – capacitatea termică a laptelui și, respectiv, a materialului vaporizatorului; m și m_i – masa cantității de lapte răcit integral și, respectiv, pe porții ($m = \sum_{i=1}^n m_i$), kg; m_v – masa vaporizatorului, kg; R_μ – constanta universală pentru gaze, J/(kmol × K); r – căldura medie de transformare a apei în abur; S – debitul nominal al pompei cu vid, m^3/s ; K – coeficientul conductibilității termice, W/(m × K); a – constantă; t_0 , t_n – temperaturi inițiale și finale de răcire a laptelui.

Expresiile prezentate intercoreleză parametrii instalației (masa laptelui răcit m_0 , capacitatea calorică a materialului vaporizatorului c_v) și constantele termofizice (capacitatea termică a laptelui c_p , căldura din etapa transformării apei în vaporii r , densitatea vaporilor apei ρ^n).

Concluzii

1. Pentru acumulatoarele cu frig natural s-a stabilit:

- consumul specific de energie electrică se micșorează pînă la nivelul de 2 kWh/t, iar puterea electrică se reduce de 7 ori față de instalațiile frigorifice cu compresoare;

- mai efectiv este regimul de dezlocuire a apei reci, ce permite de-a asigura funcționarea acumulatoarelor pînă la $t \leq 6^{\circ}\text{C}$ la un raport minim al volumelor de apă și de lapte egal cu 3...4;

- în linie cu răcitorul capacitativ divizarea acumulatorului cu apă în 3 secții, cu răcirea consecutivă a laptelui de la fiecare secție, este rațională din punct de vedere al micșorării volumului acumulatorului;

Conform datelor experimentale, la un număr al secțiilor egal cu trei și temperatura laptelui $12..28^{\circ}\text{C}$ raportul volumelor apei și laptelui este practic minimal. Totodată în comparație cu acumulatorul cu o singură secție volumul total se micșorează de 1,7 ... 2,9 ori.

- parametrii constructivi ai acumulatorului cu apă permit de a asigura răcirea laptelui pînă la temperatura necesară de păstrare $+6^{\circ}\text{C}$, răcirea apei în intervalele de timp între mulsori și minimizarea consumului de metal la confectionarea lor.

- pentru a mări viteza de răcire a apei în acumulator este necesar de a folosi pulverizatoarele electromecanice cu discuri ce permit de a coborî temperatura apei pînă la temperatura mediului ambiant. Durata de răcire a apei la utilizarea pulverizatorului cu discuri cu caneluri față de cele netede este considerabil mai mică (aproximativ de 2 ori).

2. Pentru instalațiile cu vid s-a stabilit:

- instalația cu vid permite de a răci lapttele pînă la temperatura necesară de păstrare $+6^{\circ}\text{C}$ la un consum specific de energie electrică 21...23 kWh/t. Răcirea laptelui efectuată în două etape de la acumulatoarele cu apă și apoi de la instalațiile cu vid permite de a reduce consumul specific de energie electrică pînă la 11 ..13 kWh/t în perioada caldă a anului.

- puterea electrică a instalației cu vid se micșorează cu cel puțin 20% față de instalațiile frigorifice cu compresoare.

- durata utilizării instalațiilor cu vid în timp de un an este respectiv 205; 214 și 223 zile la nordul, centrul și sudul Republicii Moldova.

- durata de răcire a laptelui consecutiv pe poziții a volumului de lapte cu amestecul pozițiilor de lapte cald și răcit este cu 10 ... 15 % mai redusă decît răcirea volumului de lapte integral.

Bibliografie

1. L. Volconovici, V.Crețu, și alții. Автоматизация ресурсосберегающих технологических процессов в сельском хозяйстве. Monografie, Chișinău, 2007, 340 p.
2. L. Volconovici, V. Crețu,. Răcirea laptelui cu aplicarea frigului natural și artificial. Monografie, Chișinău, 2009, 245 p.

Crețu Victor, competitor al catedrei „Electrificarea și automatizarea mediului rural”, Universitatea Agrară de Stat din Moldova, autor al 26 lucrări științifice, (inclusiv 5 monografii, 1 brevet de invenție, 20 articole științifice) publicate în Republica Moldova, România, Belarus și Federația Rusă.

К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ И ГОДОВОЙ РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛЕЗНОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ ГОРОДА КИШИНЕВА

Максимук Е.П. (*Институт прикладной физики АНМ, г. Кишинев*)

Аннотация. Предложены меры по повышению эффективности использования топлива на городских ТЭЦ. Показано, что применение абсорбционных холодильных машин позволяет полезно использовать излишки тепловой энергии, которые имеются на ТЭЦ в теплый период года. В результате повышаются равномерность потребления тепловой энергии, эффективность использования топлива и экономические показатели ТЭЦ. Рассмотрены возможные технологические схемы и типы оборудования.

Ключевые слова: ТЭЦ, абсорбционные холодильные машины, тригенерация.

ONE OF THE WAYS TO RISE THE EFFICIENCY OF THE KISHINEV TOWN HEAT AND POWER STATIONS

Maximuk E.P. (*Institute of Applied Physics of the Academy of Sciences of Moldova*)

Abstract. Methods to rise the efficiency of fuel using at town heat and power stations are discussed in detail. It is shown that application of hot water/exhaust absorption chillers allow to use heat energy surplus especially in warm season. As the results, the consumption of heat energy from the power stations is more constant during the year, the efficiency of fuel using is higher, and economics is better. Different technological schemes are discussed in detail.

Key words: heat and power stations, hot water/exhaust absorption chillers, threegeneration.

PRIVIND CHESTIUNEA MAJORĂRII ȘI A OMOGENITĂȚII ANUALE A CONSUMULUI DE CĂLDURA A CENTRALELOR TERMICE ALE MUNICIPIULUI CHIȘINĂU

Maximuk E.P. (*Institutul de Fizica Aplicată, or. Chisinau*)

Rezumat. Au fost propuse măsuri de majorare a eficienței consumului de combustibil în cadrul centralelor termice (CET) urbane. A fost demonstrat că aplicarea chilerilor de absorbtie în scopul asigurării obiectelor de diverse destinații cu frig, permite utilizarea căldurii în exces, înregistrată în cadrul CET-urilor, în perioada caldă a anului. Ca urmare, crește atât uniformitatea consumului de energie termică și eficiența utilizării combustibilului, cât și nivelul indicatorilor economici ai CET-urilor. Au fost studiate toate schemele tehnologice și tipurile de echipamente posibile.

Cuvinte cheie: CET, chilerilor de absorbtie, trigenerarea.

1. Введение

В настоящее время многие промышленные предприятия отключились от централизованной системы теплоснабжения г. Кишинева и обеспечивают свои потребности в тепловой энергии с помощью автономных источников. В то же время новые объекты часто строятся с индивидуальными системами теплоснабжения. Все это свидетельствует о том, что полезная тепловая нагрузка теплоэлектроцентралей г. Кишинева (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2) установилась значительно ниже проектной и в ближайшем будущем существенно не повысится. Вместе с тем, обеспечение энергетической безопасности и развитие экономики Республики Молдова требуют увеличения производства электрической энергии на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2. В сложившихся условиях для увеличения производства электрической энергии необходимо найти полезное применение тепловой энергии, которая производится попутно. Лишь в этом случае можно минимизировать затраты и обеспечить относительно низкую себестоимость производимой электрической энергии.

Не менее важной является задача минимизации тарифа на тепловую энергию. Огромную социально-экономическую значимость этого параметра трудно переоценить. Достаточно отметить, что в настоящее время он влияет не только на уровень жизни городского населения и конкурентоспособность выпускающейся продукции, но и на социально-политическую стабильность в государстве.

Решение перечисленных выше задач должно быть комплексным. Одним из инженерных решений является использование тепловой энергии для производства холода с последующим его применением в системах холоснабжения зданий различного назначения, например, в системах кондиционирования воздуха, хранилищах фруктов и овощей, системах охлаждения технологического оборудования. Предлагаемое техническое решение обеспечивает полезное использование излишков тепловой энергии в течение всего года, так как охлаждение технологического оборудования необходимо и в зимнее время. Однако особенно важно то, что гарантируется потребление тепла в теплый период года, причем объемы могут быть очень велики и соизмеримы с тепловой нагрузкой ТЭЦ во время отопительного сезона. В результате роста общего потребления тепловой энергии и его годовой равномерности повысится эффективность использования топлива, улучшатся экономические показатели теплогенерирующих предприятий, возникнет возможность минимизации тарифов на тепловую и электрическую энергию.

Реализация предложенной концепции возможна на основе применения современных абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин (чиллеров) непрямого нагрева, использующих в качестве основного энергетического источника горячую воду, пар или тепло отходящих дымовых газов.

2. Абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины

Известно, что работа многих холодильных машин основана на принципе испарительного охлаждения. Рабочая жидкость, циркулирующая внутри холодильной машины по замкнутому контуру, попадает на теплообменную поверхность труб, внутри которых охлаждаемая вода движется, испаряется и отбирает тепловую энергию. Затем, с помощью промежуточного теплоносителя тепловая энергия переносится к градирне, откуда отводится в атмосферу.

Абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины по принципу действия классифицируются на одноступенчатые, двухступенчатые и трехступенчатые.

Принцип работы одноступенчатых машин можно рассмотреть на примере холодильных машин типа SYBDH производства итальянской фирмы “Systema”, использующих в качестве основного энергоносителя горячую воду с температурой 75-120 °C.

Греющая вода поступает в генератор 1 (рис. 1), где нагревает водный раствор LiBr. Благодаря низкому давлению в генераторе происходит испарение воды из раствора и образование пара. Пар поступает в конденсатор 2, охлаждающийся водой, циркулирующей в контуре градирни (не показана).

Образованный конденсат направляется в испаритель 3, где с помощью специальной системы орошения 4 в диспергированном виде омывает теплообменную поверхность труб 5, внутри которых циркулирует охлаждаемая вода. Попадая на теплообменную поверхность труб 5 часть конденсата испаряется, отбирая тепловую энергию. Другая часть скапливается в поддоне 6, откуда насосом 7 повторно направляется в систему орошения 4.

Образующийся в испарителе 3 водяной пар поступает в абсорбер 8. Здесь он конденсируется за счет охлаждения водой контура градирни. Одновременно здесь

происходит абсорбция воды концентрированным раствором LiBr, который поступает из генератора 1. Скопившийся в нижней части абсорбера водный раствор LiBr направляется по двум направлениям. Одна часть поступает в систему автоматической очистки 9 и возвращается в абсорбер.

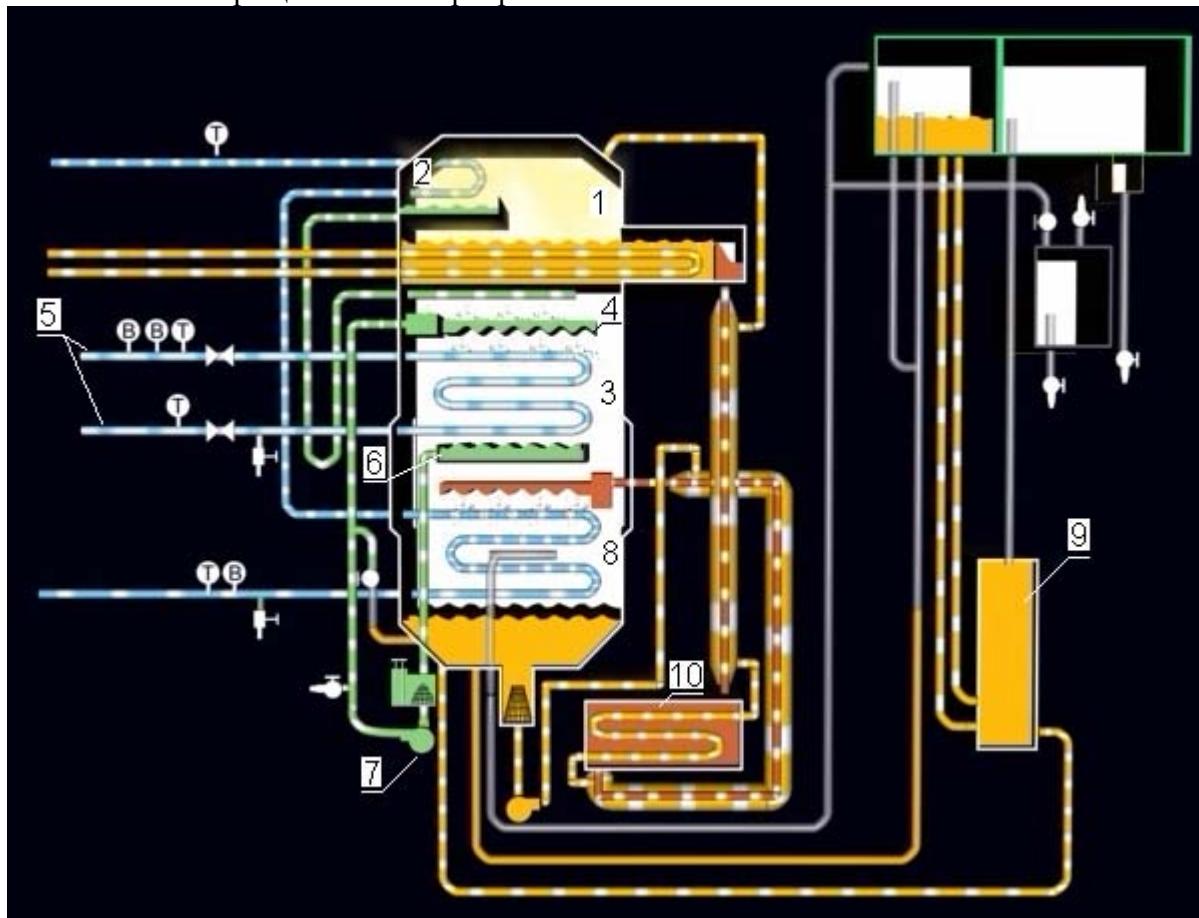


Рис. 1. Схема одноступенчатой абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины производства итальянской фирмы “Systema”

Вторая часть сначала направляется в теплообменник 10, где нагревает концентрированный раствор LiBr перед его поступлением в абсорбер 8, а затем поступает в генератор 1. Таким образом осуществляется замкнутая циркуляция потоков внутри одноступенчатой абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины.

Принцип работы двухступенчатых машин можно рассмотреть на примере холодильных машин типа SYBS производства фирмы “Systema” (рис. 2), использующих в качестве основного энергоносителя пар давлением 0,3-0,9 МПа.

Греющий пар поступает в высокотемпературный генератор 1, где нагревает водный раствор LiBr. Образованный пар поступает в низкотемпературный генератор 2, где нагревает и выпаривает слабоконцентрированный водный раствор LiBr. Из низкотемпературного генератора пар поступает в конденсатор 3, который охлаждается водой, циркулирующей в контуре градирни.

Образованный конденсат направляется в испаритель 4, где с помощью специальной системы орошения 5 в диспергированном виде омывает теплообменную поверхность труб 6, внутри которых циркулирует охлаждаемая вода. Попадая на теплообменную поверхность труб 6 часть конденсата испаряется, отбирая тепловую

энергию. Другая часть конденсата скапливается в поддоне 7, откуда насосом 8 повторно направляется в систему орошения 5.

Образующийся в испарителе 4 водяной пар поступает в абсорбер 9. Здесь он конденсируется за счет охлаждения водой контура градирни. Одновременно здесь происходит абсорбция воды концентрированным раствором LiBr. Скопившийся в нижней части абсорбера водный раствор LiBr направляется по трем направлениям. Одна часть поступает в систему автоматической очистки 10 и возвращается в абсорбер. Вторая часть направляется сначала в низкотемпературный теплообменник 11, где нагревает концентрированный раствор LiBr перед его поступлением в абсорбер 9, а затем нагревается в конденсаторе греющего пара и поступает в низкотемпературный генератор 2. Третья часть сначала направляется в высокотемпературный теплообменник 12, где также нагревает концентрированный раствор LiBr перед его поступлением в абсорбер 9, а затем поступает в высокотемпературный генератор 1. Таким образом, осуществляется замкнутая циркуляция потоков внутри двухступенчатой абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины.

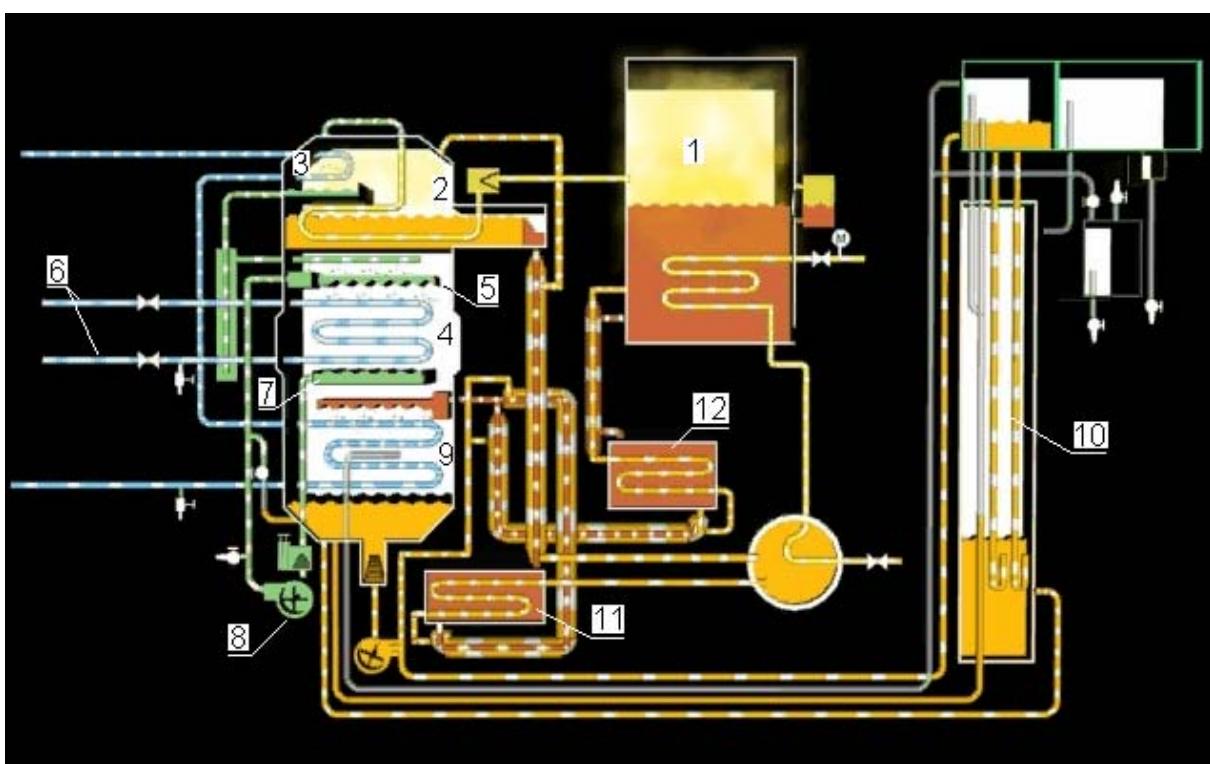


Рис. 2. Схема двухступенчатой абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины производства итальянской фирмы “Systema”

Благодаря описанному принципу работы, автоматизированной системе управления, частотному регулированию всех электрических двигателей насосов, а также целому ряду других технических решений рассмотренные абсорбционные холодильные машины имеют целый ряд преимуществ по сравнению с компрессорными холодильными машинами. Прежде всего, они обеспечивают более высокую эффективность в широком диапазоне нагрузки и низкий уровень потребления электрической энергии.

Рассмотрим возможные технологические схемы применения абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин для использования излишков тепловой энергии Кишиневских ТЭЦ.

3. Производство холода непосредственно у потребителя

Горячая вода по существующим тепловым сетям поступает к потребителям (рис. 3), у которых установлены абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины, например, типа SYBDH или SYBH производства итальянской фирмы "Systema". Используя данную горячую воду в качестве основного энергоносителя, холодильные машины вырабатывают холод. Хладоносителем является вода с параметрами +7/14 °C, которая циркулирует через гидравлически независимый контур холодильной машины и направляется в систему кондиционирования воздуха или на технологические нужды потребителя.

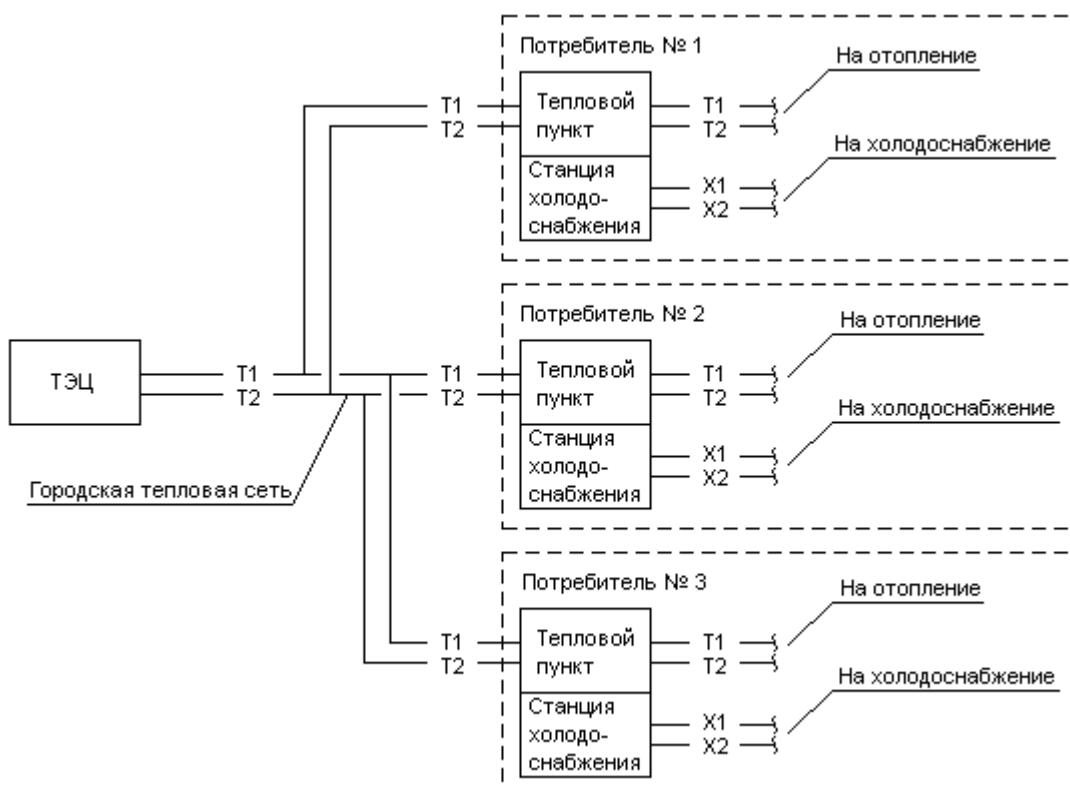


Рис. 3. Схема производства холода у потребителей

Благодаря использованию существующих тепловых сетей капитальные затраты на холодоснабжение минимальны и сводятся, главным образом, к установке абсорбционных холодильных машин. В отличие от традиционных технологий холодоснабжения на основе компрессорных холодильных машин в данном случае общая установленная электрическая мощность оборудования в 8-10 раз меньше. Зачастую это исключает необходимость реконструкции или строительства электрических подстанций, что дает экономию капитальных затрат.

Сокращение эксплуатационных расходов настолько велико, что для крупных объектов годовая экономия может достигать нескольких десятков тысяч евро в год. В таблице 1 представлены данные технико-экономического сравнения двух вариантов источников тепло/холодоснабжения уже запроектированного в г. Кишиневе административного здания с потребностью в тепле 1620 кВт и потребностью в холоде

1160 кВт. Использованные в расчетах тарифы составляли: электрическая энергия – 7,4 евроцента (1,33 лея) за 1 кВт. ч; природный газ – 233 евро (4192 лея) за 1000 м³. По результатам сравнения видно, что применение абсорбционных холодильных машин более выгодно, так как в течение трех с половиной лет разница в стоимости оборудования компенсируется низкими эксплуатационными расходами, а дальнейшая эксплуатация обеспечивает экономию около 30 тыс. евро в год.

В результате внедрения данной технологической схемы возникает многократный эффект. Потребитель при минимальных расходах получает очень эффективную и экономическую систему холодоснабжения. Производитель тепловой энергии обеспечивает более полное использование произведенной тепловой энергии и равномерную круглогодичную загрузку теплогенерирующего оборудования, что ведет к сокращению срока окупаемости оборудования и позволяет снизить тариф на отпускаемую тепловую энергию.

4. Производство холода на ТЭЦ

Помимо рассмотренной выше технологической схемы возможна и другая, учитываящая аграрную направленность экономики Республики Молдова и потребность г. Кишинева в хранилищах сельскохозяйственной продукции. Данная концепция предусматривает производство холода непосредственно на ТЭЦ с размещением на прилегающей территории хранилищ, например, фруктов и овощей (рис. 4).

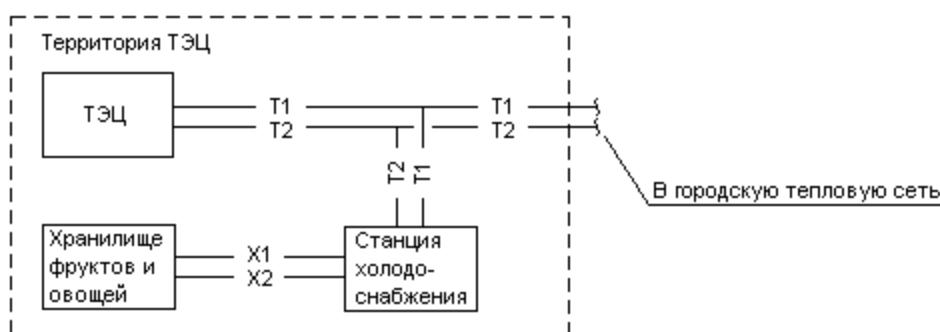


Рис. 4. Схема производства холода на территории ТЭЦ

Технологические требования к температуре хранения некоторых видов сельскохозяйственной продукции таковы (таблица 2), что абсорбционные холодильные машины вполне могут быть использованы в качестве источника холодоснабжения.

Для производства холода на ТЭЦ могут устанавливаться:

- абсорбционные машины типа SYBDH фирмы “Systema”, работающие на горячей воде температурой не ниже +70 °C;
- абсорбционные машины типа SYBH, работающие на горячей воде температурой не ниже +140 °C;
- абсорбционные машины типа SYBE и SYBDE, работающие на отходящих дымовых газах;
- абсорбционные машины типа SYBS, работающие на паре давлением 0,3-0,9 МПа;
- комбинированные абсорбционные машины фирмы “Systema”, работающие на горячей воде и дополнительно оснащенные газогорелочным блоком.

Отбор тепла из рабочих контуров ТЭЦ может осуществляться:

- путем отбора отходящих дымовых газов котлов и непосредственного направления их в абсорбционные холодильные машины;
- за счет утилизации тепла отходящих дымовых газов, нагрева горячей воды и подачи этой воды в абсорбционные холодильные машины;
- путем подачи в абсорбционные холодильные машины сетевой или обратной воды.

Таблица 1. Расчет основных технико-экономических показателей для выбора источников тепло и ходоснабжения для административного здания с потребностью в тепле 1620 кВт и потребностью в холоде 1160 кВт

№ п/п	Наимено- вание	Вариант 1 Отопление и кондиционирование – абсорбционные чиллеры и фанкойлы. Те же чиллеры являются источником тепла для горячего водоснабжения	Вариант 2 Отопление водяное от собственной котельной. Кондиционирование через фанкойлы от компрессорных холодильных машин
1.	Стоимость основного оборудования, тыс. евро	370,1 , из них: - холодильные машины 320,4; - градирни 23,8; - пиковые котлы 25,9; - стоимость гидромодуля и запорно-регулирующей арматуры одинакова для обоих вариантов	271,2 , из них: - холодильные машины 210,5; - котельная 60,7. стоимость гидромодуля и запорно-регулирующей арматуры одинакова для обоих вариантов
2.	Максимальный часовой расход газа, м ³ /ч	167,0	196
3.	Установленная электрическая мощность, кВт	32,0	394,0
4.	Годовой расход газа, тыс. м ³ /год	405,5	381,6
5.	Годовой расход электрической энергии, кВт.ч/год	103 488	589 392
6.	Общие эксплуатаци- онные расходы в год, тыс. евро	102,1	132,5

Таблица. 2. Температура хранения некоторых видов сельскохозяйственной продукции

Наименование	Температура хранения, °C	Наименование	Температура хранения, °C
Апельсины	от +4 до 7	Ананасы	от +7 до 13
Грейпфруты	от +10 до 13	Баклажаны	от + 7 до 10
Лимоны	от +10 до 15	Картофель	от + 3 до 4
Лаймы	+ 10	Перец стручковый	от +7 до 10
Бананы	+14	Томаты зеленые	от +11 до 13
Манго	от +12 до 13	Тыква	от +1 до 15

Выводы

1. Кроме дорогостоящих проектов по строительству новых теплоэлектроцентралей на других, альтернативных природному газу, видах топлива существуют возможности повышения энергетической безопасности Республики Молдова за счет более высокой эффективности использования импортируемого природного газа и снижения потребления электрической энергии для нужд холодоснабжения. Один из способов заключается в использовании тепловой энергии для производства холода.
2. Технико-экономические расчеты показывают, что применение абсорбционных машин, использующих в качестве основного энергетического источника горячую воду или тепло отходящих дымовых газов, целесообразно и дает значительный экономический эффект. Для больших зданий он может достигать нескольких десятков тысяч евро в год.
3. В качестве основного оборудования для решения рассмотренных выше задач могут быть рекомендованы, например, абсорбционные холодильные машины типа SYBDH, SYBH, SYBDE, SYBE, SYBS производства итальянской фирмы “Systema”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Concepția privind renovarea sistemului de termoficare al Republicii Moldova. Ministerul Energeticăi al Republicii Moldova. Chișinău. 2002. 17 p.
2. План обустройства национальной территории. Постановление Правительства Республики Молдова № 1362 от 07.12.2001.
3. Постановление Административного совета Национального агентства по регулированию в энергетике Республики Молдова № 363 от 14 января 2010 г.
4. Постановление Административного совета Национального агентства по регулированию в энергетике Республики Молдова № 365 от 14 января 2010 г.

Максимук Евгений Петрович - кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института прикладной физики Академии Наук Республики Молдова. Автор более шестидесяти опубликованных научных работ и патентов на изобретение в области теплоэнергетики, процессов и аппаратов пищевых технологий. Неоднократный лауреат международных выставок изобретений. E-mail: maximuk@phys.asm.md

TRANSCRITICAL CO₂ HEAT PUMP WITH EXPANDER-EJECTOR CYCLE

SIT B., TIMCENCO D., SIT M.

Abstract. Heat pump with expander – ejector cycle, method of this cycle control of this cycle and the scheme of the heat pump with the second loop are presented in this paper.

Key words: heat pump, automatic control.

POMPA DE CĂLDURĂ PE DIOXID DE CARBON ÎN REGIM TRANSCRITIC DE LUCRU CU CICLUL DETANTOR-EJECTOR

Şit Boris, Timcenko Dumitru, Şit Mihail

Rezumat. Este demonstrat, că la utilizarea detantorului în compoziția pompei de căldură pe dioxid de carbon COP se majorează ca urmare a alegării corecte a coordonatei punctului de lucru la intrarea gazului în detantor. Totodată este inadmisibil de a diminua eficiența exergetică a instalației cu pompa de căldură condiționată de creșterea pierderilor de presiune în schimbătorul intermedian de căldură. Alegerea caracteristicilor de debit prin supapele de reglare a pompei de căldură se face ținând cont de funcționarea racordată a acestor supape.

Cuvinte cheie: pompa de căldură, sistem de dirijare.

ТЕПЛОВОЙ НАСОС НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА В ТРАНСКРИТИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ РАБОТЫ ПО СХЕМЕ ДЕТАНДЕР-ЭЖЕКТОР

Шит Б.М., Тимченко Д.В., Шит М.Л.

Аннотация. Рассмотрен тепловой насос на диоксиде углерода в транскритическом цикле работы по схеме детандер-эжектор. Приведена методика выбора регулирующих клапанов для данной схемы теплового насоса.

Ключевые слова: тепловой насос, автоматическое управление.

1. Introduction

Application of heat pumps (HP) in the industry makes up a very small part from the total heat pumps amount [1]. Energy intensity decrease of the food industry production is now the purpose of innovative development in this area. So, for example, heat pumps using low grade heat from technological processes in winemaking practically are not applied, though examples of heating of a part of a factory premises from ground source heat pumps (USA). We had been offered earlier the scheme of HP use in winemaking [2] where HP is used simultaneously at cooling of fermenters and at the processing of wines by heat or at the sanitary processing, later the same heat pump is used in technological process of wine processing by a cold and simultaneously at hot water preparation (sanitary processing of the equipment, hot water for personnel needs). This heat pump is used at work of distiller after the end of the period of wine processing by cold, or in the absence of a distiller for the bleeding of heat from the boiler flue gases (serving for the preparation of steam and hot water for the technological process needs) with the purpose of fuel utilization factor increase of the boiler. Expander use is possible, in the last case, in a heat pump loop what raises its energy and economic efficiency. Heat pump station should be supplied with the replaceable gas coolers and evaporators, and also to have a second loop (intermediate heat carrier contour). It is discussed in this paper a cycle of the heat pump with the expander and ejector and HP work conditions at variable heat load assuming the use of linear control laws, and also an adjustable electric drive of the compressor. The use of ejectors for heat pumps on carbon dioxide is described in different works [3-6]. But common use of expander and ejector was not considered in heat pump till now.

2. Heat pump scheme and its control

It is shown at the Fig.1 heat pump with the expander – ejector scheme for a case of hot gases heat utilization. The scheme works as follows.

The subcritical CO_2 enters the compressor 1 in state point 1 (see Fig.2) after the internal heat exchanger 3, to which gas goes from the separator 8 at the state point 12. The compressed gas enters the gas cooler 2 at the state point 2. The supercritical CO_2 is then cooled in gas cooler to the state 3, passes the internal heat exchanger and leaves it in the state point 4.

The supercritical CO_2 goes through control valve 4, to the additional heat exchanger 5, where the liquid is heated from the state point 5 to state point 6 by means of hot gas. It is shown by means of the dashed-line that the gas is moved through the heat exchanger 5 by the means of the fan 11. The hot gas goes after the heat exchanger 5 to the evaporator 10. Further the refrigerant from the heat exchanger 5 enters in the expander 6 where it extends up to a biphasic state point 7. This gas-liquid mixture enters on a working ejector input 7 where after an exit from a nozzle it comes to the state point 8 (Fig.2). Saturated vapor from the evaporator 10 in the state point 15 arrives on the second ejector input 7 in which case it extends to the biphasic state 9. Further in the ejector mixing chamber at constant pressure gas mixture occurs with the biphasic state in 8 and with a state point 9 up to a state point 10. Further refrigerant from the state point 10 isentropically passes in ejector's diffuser, to state point 11.

For the maintenance of a normal mode of expander work it is necessary to stabilize coordinate in point 6 of the thermodynamic cycle. The temperature in a state point 6 is stabilized by the automatic control system of the low grade heat carrier flow rate, and the pressure of the compressor is stabilized by the control valve 4 (see Fig. 1). Let's consider combined work of the valves in this system.

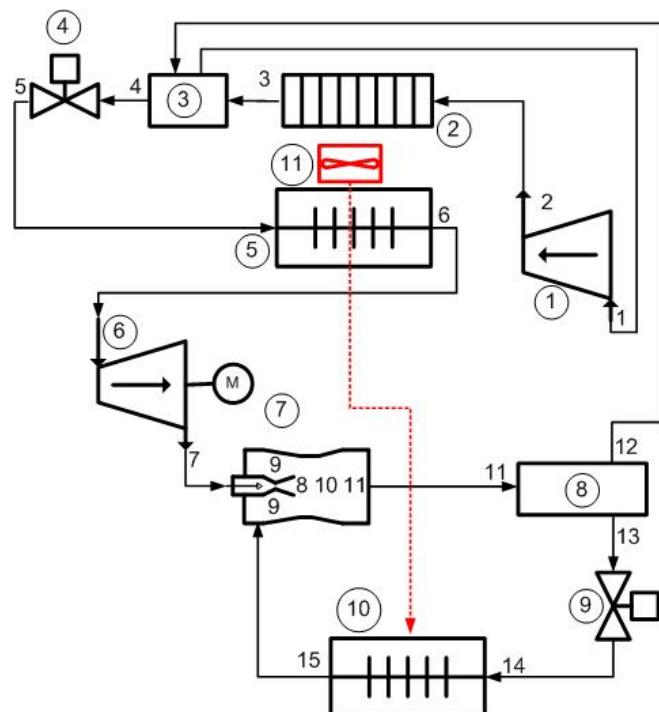


Fig. 1. Schematic of expander–ejector heat pump cycle

We will write down the equations establishing dependencies between pressures before and after the compressor and the flow rate through the control valves.

$$(1) \quad dp_4' + dp_9' = p_4 - p_{14} - p_{5-13} = p_d$$

$$(2) \quad G_1' = C_{V1}' \sqrt{dp_4'}$$

$$(3) \quad G_2' = C_{V2}' \sqrt{dp_9'}$$

$$(4) \quad G_2' = U \cdot G_1'$$

$$(5) \quad p_{5-13}' = p_5' - p_{13}'$$

It is accepted the following nomenclature: dp_j' – pressure drop across the control valve number j (Fig.1), p_i' – pressure in the i point of the loop, U – entrainment ratio of ejector and G_i' – flow rates on the ejector working input and on the ejector second suction input. C_{V1}' , C_{V2}' – the flow coefficients, are dimensionless values that relate to a valves flow capacity. Superscripts correspond to the variant of compressor output setting.

It is necessary both gas cooler pressure stabilization in the system, and pressure stabilization on the exit of the evaporator. We will consider how the refrigerant flow rate through the evaporator and gas cooler will change at the refrigerant pressure disturbance in the heat pump loop.

From the equations (2 – 4) it is possible to obtain a rule for choice of the valves trims for given heat pump taking into account entrainment ratio of the ejector. As in the part of the expression (7) in brackets, obtained from expressions (1) and (6) is always more than one, it follows that it is always possible to choose such values U, C_{V1}', C_{V2}' which also satisfy to certain technical requirements to the ejector's entrainment ratio and control valves design.

$$(6) \quad \Delta p_9' = \frac{U^2 (C_{V1}')^2}{(C_{V2}')^2} \Delta p_4'$$

$$(7) \quad \Delta p_4' \left(1 + \frac{U^2 (C_{V1}')^2}{(C_{V2}')^2} \right) = p_d$$

It is necessary for the equation 7 to have the solutions at certain entrainment ratio values, that expression in brackets of the equation 7 to be constant at the constant gas flow rate through the compressor or to vary to satisfy the expression 7 at change of the pressures in loop points, starting from state point 4 and finishing at state point 14. There is a considerable difference of pressures in the line after the control valve number 4 and the valve trim of this valve becomes essentially nonlinear irrespective of, whether the valve has the linear or equal percent trim rangeability. It is necessary to take this into account while designing the pressure control system of the compressor and of the evaporator.

Let's set the value of the mass flow rate $G_1'' < G_1'$ at the constant value of p_d . In this case the system equations will be the following.

$$(8) \quad G_1'' = C_{V1}'' \sqrt{dp_4''}$$

$$(9) \quad G_2'' = C_{V2}'' \sqrt{dp_9''}$$

The solution of the system will be.

$$(10) \quad dp_4'' = \frac{P_d}{1 + \frac{U^2 (C_{v1}'')^2}{(C_{v2}'')^2}}$$

It is necessary for the system to have the solution taking into account (8) and (9) that $C_{V1}' \geq C_{V1}''$, and $C_{V1}' < C_{V2}''$.

It is shown thus that the decision of the equations (8) and (9) always exists. For normal work of the valves control system it is necessary to provide a solving system (8) (9) at the current values of temperatures and pressures of the refrigerant in states points 4 ... 14 of the thermodynamic loop of heat pump system and demanded heat load.

Let's consider a thermodynamic cycle when there is no regenerative heat exchanger, and the gas superheat before of the compressor is ensured by the separate heat exchanger. In this case it is necessary to make separate exergetic analysis to choose, what is more effective from the point of view of energy expenditures: to have two resistances to refrigerant flow or one, having increased the resistance for a gas through the superheater before the compressor.

This stream enters the gas-liquid separator 8, where it is divided into saturated liquid and saturated vapor streams. The liquid stream enters at the state 13 into the control valve 9, which is connected with the evaporator 10.

The pressure-enthalpy diagram is built in accordance with [8, 9]. Here heat pump station heat efficiency factor will be: $COP_{old} = 8,68$. If to assume that isentropic efficiency of the expander $\eta_d = 0,7$, and electric generator efficiency $\eta_e = 0,8$, than new heat pump system COP (COP_{new}) will be equal to:

$$COP_{new} = \frac{(h_2 - h_1) \cdot COP_{old}}{(h_2 - h_1 - (h_7 - h_6) \cdot \eta_e \eta_d)} = \\ = \frac{(63,12 - 33,57) \cdot 8,68}{(63,12 - 33,57 - (112,98 - 99,03) \cdot 0,8 \cdot 0,7)} = \frac{256,36}{21,74} \approx 11,8$$

So, COP growth will be 35,9 %. Overall consumption of energy by the installation will depend, considering the change of capacity of the ventilator for overcoming of aerodynamic resistance of the heat exchanger 5, on the compressor capacity and additional capacity of the ventilator. It is necessary to tend therefore in each specific case to choose the heat exchanger 5 with a minimal aerodynamic resistance, at the account of restrictions on its cost and dimensions. G – quality of vapor.

The increase of the compressor output occurs with a very small inertia (inertia of the frequency converter constitutes tens milliseconds). The change of level of a liquid phase in the evaporator occurs in accordance with the first order differential equation [7]. The level of the intermediate heating carrier will change in the intermediate heat exchanger according to algorithm of an intermediate contour functioning.

The temperature on an exit of the intermediate heat exchanger will change according to the lag effect of this heat exchanger depending on change of the heating agent flow rate through the heat exchanger and the heat transfer surface area.

Let's consider the heat pump dynamics on the condition of set point change on produced heat capacity if fermentation process intensity changes. The control signal appears to increase the flow rate of heat pump refrigerant at the increase of the value of fermenting liquid temperature and of the speed of change of its temperature.

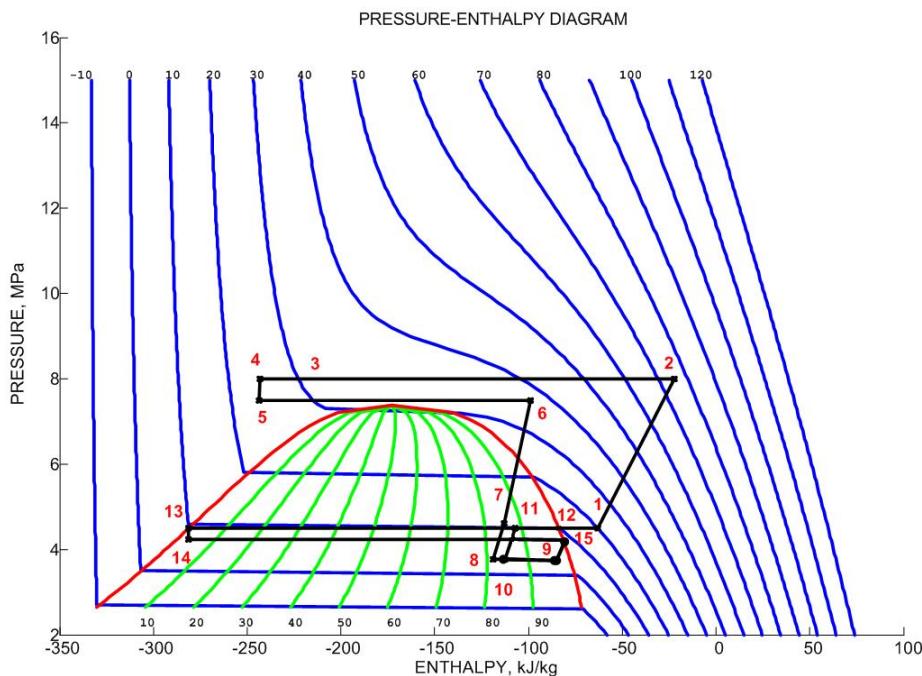


Fig. 2. P-h diagram of expander–ejector heat pump cycle

Table 1

Coordinates of the basic points (NN) of heat pump thermodynamic cycle with expander, ejector and intermediate heat exchanger

NN	t, °C	p MPa	%G	h kJ/kg	s, kJ/kg	η	ρ, kg/m³
1	20	4.50	100.00	-63.12	-0.882	0	116.96
2	75.32	8.00	100.00	-33.57	-0.832	0.95	166.12
3	30.00	8.00	100.00	-222.79	-1.467	0	702.06
4	25.16	8.00	100.00	-243.27	-1.535	0	775.27
5	24.42	7.50	100.00	-243.55	-1.534	0	770.28
6	37.00	7.50	100.00	-99.03	-1.060	0	252.55
7	11.00	4.61	85.50	-112.98	-1.060	0	243.30
8	3.00	3.77	81.40	-119.07	-1.060	0	256.53
11	10.00	4.50	87.1	-140.21	-1.142	0	331.16
12	10.0	4.50	100	-81.43	-0.938	0	124,37
13	10	4.50	0.00	-281.09	-1.651	0	861.10
14	7.50	4.23	3.00	-281.09	-1.650	0	854.50
15	10	4.50	100	-83.86	-0.954	0	135.16

The level of two-phase mixture increases in the evaporator as well. The liquid temperature on an evaporator exit decreases because of heat-transfer surface area increase from the working heat pump agent to the evaporator second loop contour (contour of the intermediate heating agent). The level in the intermediate heat exchanger increases because of the increase of the set-point of its level controller simultaneously with level growth in the evaporator (as it is necessary to increase transferred heat capacity from heat pump through the evaporator in intermediate heat pump contour).

3. Conclusions

1. The use of the expander in a heat pump on carbon dioxide allows increasing its COP in case of the rational choice of a working point of the input of the refrigerant in expander. Thus should not decrease exergetic efficiency of heat pump station in whole.
2. The choice of flow coefficients of control valves in the heat pump should be defined from a condition of the maintenance of their common work.

References

1. Jovmir M.M., *Utilization of low source heat from combustion products of fuels by means of heat pumps*. Industrial Heat Engineering, (in Ukrainian) **30**, 2, 90-97 (2008).
2. Balanuta A.V., and others *Energy efficiency decrease of wine production technological processes due to use of heat pumps and heat pipes*. Problems of the Regional Energetics, 3, (2009), http://ieasm.webart.md/data/m71_2_122.doc
3. Li D., Groll A., *Transcritical CO₂ refrigeration cycle with ejector-expansion device*. International Journal of Refrigeration, **28**, 5, 766–773, (2005).
4. Yari M., Sirousazar M., *Cycle improvements to ejector-expansion transcritical CO₂ two-stage refrigeration cycle*. International Journal of Energy Research, **32**, 7, 677–687 (2008).
5. Deng J-Q., Jiang P-X., Lu T., Lu W., *Particular characteristics of transcritical CO₂ refrigeration cycle with an ejector*. Applied Thermal Engineering, **27**, 12, 381–388 (2007).
6. Elbel S., Hrnjak P., *Experimental validation of a prototype ejector designed to reduce throttling losses encountered in transcritical R744 system operation*. International Journal of Refrigeration, **31**, 3, 411-422 (2008).
7. Tao Cheng., Xiang – Dong He., Harry Asada H., *Nonlinear Observer Design and Experimental Verification for Heat Exchangers during the Start-up Process*. Proceedings of the 2005 American Control Conference, June 8-10, Portland, OR, US, **2005**. pp. 4814-4819.

Sit Mihail. is the head of the Laboratory of Energy Efficiency and Control Systems of the Institute of Power Engineering of the ASM, PhD. His research interests include carbon dioxide heat pump thermodynamic cycles and coordinated control systems for heat pumps, control system for industry, agriculture, energetics, control of automatic guidance systems, e-mail: mihail_sheet@yahoo.com.

Timcenko Dmitry – senior programmer in Energy Efficiency and Control Systems laboratory of the Institute of Power Engineering of ASM, scientific interests area: control system design, network programming; author of 4 scientific publications. E-mail: dimmy@bk.ru

Sit Boris - programmer in Energy Efficiency and Control Systems laboratory of the Institute of Power Engineering of ASM, scientific interests area: control system design in economical and technical systems; network programming; author of 20 scientific publications, has 1 patent. E-mail: boris_fld@rambler.ru

УДК 621.1.016:004

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ИНФОРМАЦИИ Попова Т.М.

(Одесский национальный политехнический университет)

Аннотация. Статья содержит сведения по применению термодинамического метода для анализа эффективности информационных процессов. Сравнение информационных и термодинамических процессов привело к основополагающему выводу об энергетической природе информации.

Ключевые слова: инфопия, эффективность, анергия, эксергетический КПД, потери эксергии.

CARACTERUL TERMODINAMIC AL INFORMAȚIEI

T.M.Popova

(Universitatea Politehnica Națională din Odesa)

Rezumat. Articolul include informații referitor utilizare a metodei termodinamice pentru analiza a eficienței a proceselor informaționale. Comparare a proceselor informaționale și termodinamice a dus la concluzie principală despre esența energetică a informației.

Cuvinte cheie: eficiență, anergia, randamentul exergetic, pierderi de energie.

THE THERMODYNAMIC CHARACTER OF INFORMATION

T.M.Popova

(Odessa National Polytechnic University)

Annotation. The article includes data concerning application of one of the universal method of the modern science based on fundamental thermodynamic laws to analyze the efficiency of the information processes.

The comparison of the information and thermodynamic processes brought the author to the basic conclusion of the energetic character of information.

Key words: efficiency, exergetic performance, loss of exergy.

Какая научная теория обошлась без
взражения скептиков?
Из наблюдений автора

Введение

Как известно, наука – это некий объем постоянно растущих знаний, для освоения которых требуются два обстоятельства:

- овладение фундаментальными понятиями и терминологией науки;
- выбор оптимального маршрута продвижения к конкретно сформулированной цели.

Конец же XX и начало XXI века характеризуются «наводнением» научных сведений, во многом непонятных не только просвещенным читателям или коллегам высшей квалификации, но и самим авторам монографий, статей, изобретений. Анализ состояния науки по данной тематике позволяет констатировать, что Закон перехода количества в качество - вечен и неопровергим [1,2,3,4,5], а наиболее прогрессивные идеи «витают в воздухе» [6, 7]. Поиск рациональных средств и форм обмена информацией всегда связан с проблемой компактного, экономически выгодного представления знаний.

Современное насыщенное состояние таких знаний в этой области привело к возврату исходных форм, постулатов, законов. Однако общая картина прогрессивного обращения к истокам должна быть обоснованной, ясной, доступной для понимания.

Автор предлагает новый, единообразный способ сравнения функционирования термодинамических и информационных систем, хотя трудно представить в нынешнем мире положение, когда с новой теорией могут сразу согласиться какие-либо ученые, даже наделенные чувством реальности.

Методические предпосылки

Общее для термодинамических и информационных систем состоит в следующем:

- они содержат два и более объектов;
- процессы, протекающие в них, односторонне направлены. Все это говорит об асимметричности, необратимости этих явлений;
- взаимодействие источника и приемника энергии - такое же, как у источника и приемника информации (рис.1). Однако в первом случае оно сопровождается ростом энтропии, а во втором - увеличением инфопии соответствующих систем.

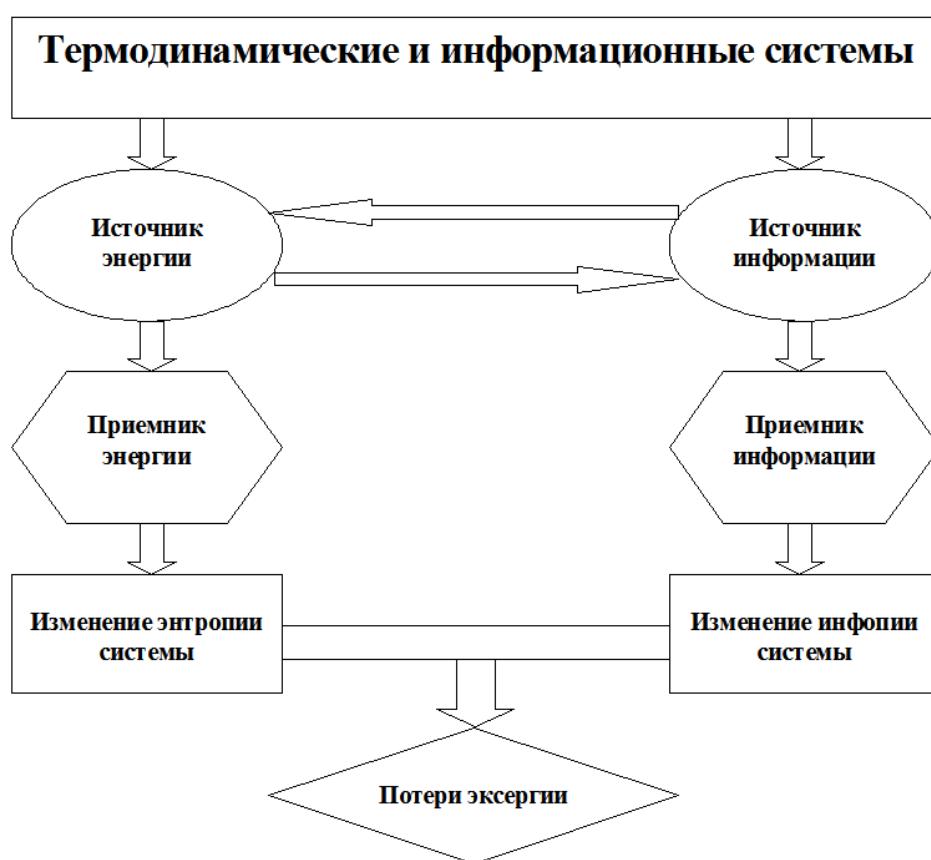


Рис. 1. Разрозненные понятия энергии и информации

Для качественного сравнения этих явлений возможно применение любого метода аналогии. Наиболее эффективным в этом отношении, с точки зрения автора, является термодинамический метод, базирующийся на основных законах технической термодинамики.

Техническая термодинамика (ТТД) – наука о взаимопреобразованиях теплоты и работы, а также о свойствах рабочих тел. Фундаментальные положения этой науки давно проверены на основании теоретических и экспериментальных данных.

Теплота – неорганизованная, неупорядоченная, хаотическая форма энергии (движения материи). Она в конечном итоге рассеивается, излучаясь в мировое пространство.

Работа - организованная, упорядоченная форма энергии (движения материи).

Рабочее тело – вещества в жидким, твердом, газообразном состоянии, непосредственно принимающее участие в энергетических преобразованиях.

Изолированная термодинамическая система (ИТС), всегда состоящая из двух и более рабочих тел, не обменивается ни теплотой, ни работой с другими телами. Вне ее находится окружающая среда неограниченной емкости.

Термодинамический метод базируется на совместном использовании двух законов ТТД, единообразно применяемых к любому энергетическому объекту или процессу в пределах балансового контура.

Балансовый контур – это условная граница, через которую проходят информационные, материальные, энергетические и эксергетические потоки.

Оба закона (Первый и Второй) основаны на исходных постулатах, принимаемых без доказательства на базе многолетнего опыта человечества.

Следует обратить внимание на правило знаков для теплоты и работы [8]:

Теплота считается положительной, когда она к телу подводится, и отрицательной – когда она от тела отводится.

Работу, наоборот, считают отрицательной, когда она к телу подводится (затрачивается), и положительной - когда она от тела отводится (совершается).

Научная идея.

По аналогии можно принять такое же правило знаков для информации и знания.

Информацию можно считать положительной, когда она к субъекту подводится, и отрицательной - когда она от субъекта отводится.

Знание, наоборот, считается отрицательным, когда оно к субъекту подводится и положительным - когда оно от субъекта отводится.

Объект – это то, что осуществляет действие (например, солнце, преподаватель). Субъект – это то, что подвергается воздействию (например, камень греется от солнца, студент воспринимает информацию, превращая ее в знание).

По мнению автора, информация - это энергия.

Первая попытка определения энергии была предпринята более 150 лет назад. Ее рассматривали как источник движущих сил и меру движения всех форм материи.

Информационное поле, окружающее Землю, питает ее всеми возможными видами энергии: гравитационной, биологической, химической, механической.

Каждый живой и неживой объект является носителем информации, т.е. энергии.

Без доказательства, по аналогии с предыдущим, можно принять за *первый закон информологии* следующее утверждение:

Сумма информационных потоков на входе, например, в компьютер, равняется сумме информационных потоков на выходе из него

$$\sum J_{ex} = \sum J_{вых} \quad (1)$$

Второй закон информологии можно представить в таком виде: Существуют функции информационного состояния – инфопия и степень информированности субъекта, связанные между собой в равновесном информационном процессе следующим образом: изменение инфопии отдельно взятого субъекта равно отношению информации к степени его информированности:

$$d\hat{S} = \delta J / \hat{c}, \quad (2)$$

где: $d\hat{S}$ – бесконечно малое изменение инфопии, кДж/бит,
 δJ – элементарное количество информации, кДж,
 \hat{c} – степень информированности, бит.

Протекание любого информационного процесса – необратимо и сопровождается ростом инфопии изолированной информационной системы

$$d\hat{S} \cdot c > 0 . \quad (3)$$

Информация и теплота, в отличие от инфопии и энтропии, – функции процесса, а не состояния. Они не могут увеличиваться или уменьшаться. Они либо подводятся, либо – отводятся от субъекта [8].

В случае отсутствия их изменения процессы соответственно называются: изоинфопийный или изоэнтропийный.

С точки зрения предыдущих исследований автора [9, 10, 11, 12], изменение энтропии термодинамической системы является частным случаем изменения инфопии, и тогда информация служит обобщенным понятием для энергии (рис.2).

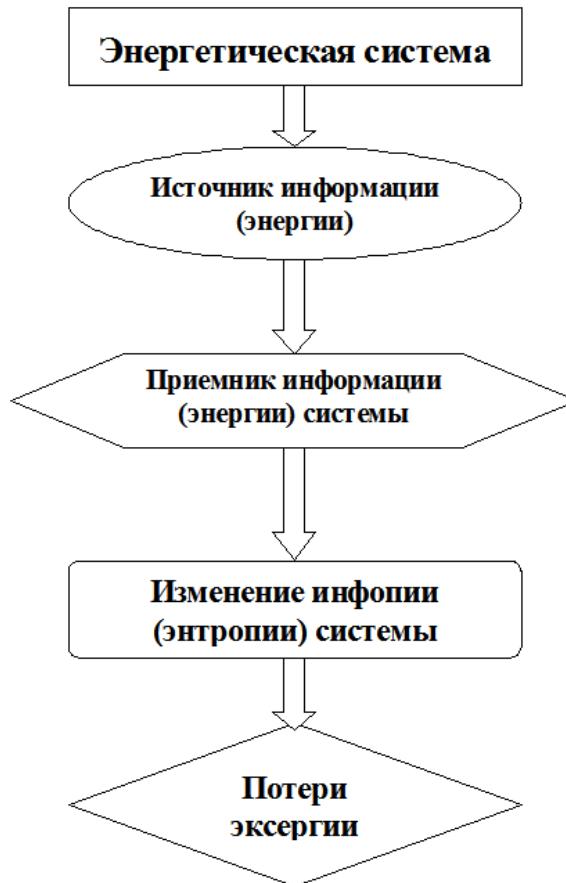


Рис. 2. Обобщенное понятие: информация – энергия

Как известно, любая энергия \mathcal{E} состоит из двух частей: эксергии E и анергии A

$$\mathcal{E} = E + A . \quad (4)$$

Эксергия – это часть энергии, которую можно превратить в полезную работу в условиях обратимого взаимодействия с окружающей средой неограниченной емкости.

Анергия - это часть энергии, которую превратить в полезную работу невозможно ни при каких условиях.

По аналогии с предыдущим, легко ввести понятие эксергии и анергии информации. При этом старые закономерности не отменяются. Они становятся, на основании законов дедукции, частным случаем общих новых закономерностей.

Эксергия информации – это максимальная ее часть, которую можно превратить в Знание, т.е. информация в Знание превращается частично.

Анергия информации - это часть информации, которую превратить в полезное Знание невозможно ни при каких условиях.

Как показывает опыт, эксергия информации непрерывно теряется. С ней обращаются спонтанно и неэффективно, неэкономно используя финансовые, человеческие, социальные средства. Обмен информацией происходит при огромных потерях эксергии информации, которые следует всячески сокращать.

Особенно потери эксергии информации повсеместно наблюдаются при прослушивании и просмотре радио- и телепередач. Огромную долю из этих потерь составляет реклама.

С минимальным полезным эффектом, при затрате значительных средств, реклама делает бесконечно необратимым процесс восприятия сведений, направленных на финансовый успех.

При этом бесполезно тратится электрическая энергия, становятся лишенными здравого смысла усилия многочисленных создателей рекламного ролика, крадется время у зрителей, прерывается действие фильма или познавательной передачи.

И в то же время информация не теряется. Ее надлежит экономить, т.к. теряется ее эксергия. Только за эксергию информации и следует платить!

Если представители украинской науки задумаются над этим, то во многих отраслях народного хозяйства Украины можно будет добиться значительной экономии первичных энергоресурсов. Под этим углом зрения необходим пересмотр развития многих наук для выявления оптимального функционирования отраслей их применения.

Пути экономии информации и нахождение способов увеличения эффективности информационных процессов составляют направление дальнейших исследований автора [13].

Выводы

1. Термодинамический метод, по аналогии примененный для анализа необратимых информационных процессов, позволил установить энергетическую природу информации.
2. Научное значение утверждения, что информация - это энергия, и она обобщает все разновидности этого понятия, состоит в привлечении внимания ко всяческой экономии информации.
3. Ввод новых понятий «Эксергия информации» и «Потери эксергии информации» обосновывает необходимость внедрения конкретных мер по рациональному использованию информационных ресурсов.
4. Повсеместная и целенаправленная борьба с потерями эксергии в информационных системах Украины может привести к ощутимому финансовому и социальному результату.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Шенон К. Э. Работы по теории информации и кибернетике (под ред. Р.Л. Добрушина, О.Б. Лупанова), М.,1963.
2. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М., 1987.
3. Н.Виннер. Кибернетика и общество. М., 1986.
4. Brillouin.L. Science and Information Theory; New York, USA, 1956.
5. Стратонович Р.Л. Теория информации. М., 1975.
http://kirsoft.com.ru/freedom/KSNews_186.htm
6. Michael C.Parker and Stuart D.Walker. Dynamic Model of Information and Entropy. www.mdpi.com/jurnal/entropy. 2010.
7. Вяткин В.Б. Синергетическая теория информации. Часть 3. Информационные функции в энтропии Больцмана. Научный журнал КубГАУ, №46(2). 2009.
8. Попова Т.М. Техническая термодинамика: Конспект лекций. Одесса: ОНПУ, 1996 -74с.
9. Tamara M. Popova. Ĉu vere la naturaj procezoj tendencas flui senreturne en unu flankon? Scienco kaj kulturo, № 3 (47), 2003 – p. 42-43 (на языке эсперанто).
10. Попова Т.М. Инфопия в информационных, химических и термодинамических необратимых процессах. Вестник Одесского национального университета. Том 10, выпуск 1, 2005, с. 80-83.
11. Попова Т.М. На стыке энергетики и информатики. Materiały V Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji "Strategiczne pytania śiatowej nauki-2009". Vol.11. Techniczne nauki. Nauka I studia. – str. 48-50.
12. Попова Т.М., Мельник С.И. Особенности информационных процессов в свете основных законов технической термодинамики. Materiály v mezinárodní vědeckopraktická konference "Efektivní nastroje moderních věd - 2009". Dil 14. Matematika. Moderni informačni technologie Praga. Publishing House "Education and Science" s.r.o. 2009, c. 37-39.
13. Tamara M. Popova. Energetic charge of an information process. Энергетический заряд информационного процесса. Problemele Energeticii Regionale 3(11), 2009. http://ieasm.webart.md/data/m71_2_119.doc

Попова Тамара Моисеевна. В 1957 году окончила Одесский политехнический институт. Квалификация: инженер-теплоэнергетик. В 1969 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Энергетические характеристики многокорпусных выпарных установок». Т.Попова около 50 лет работает в Одесском Национальном Политехническом Университете. С 1975 года - в должности доцента кафедры теоретической, общей и нетрадиционной энергетики. Основное направление научной деятельности: Применение основных законов технической термодинамики для анализа эффективности термодинамических и информационных процессов. Т.Попова – автор более сотни научных и научно-методических работ. Среди них - несколько мультимедийных учебников для дистанционного обучения студентов. Область научных интересов: энергетика, информатика, педагогика и психология высшей школы, этикет, эсперанто.