



#2(54), 2020 część 5

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Ukraina, Kijów)

Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

#2(54), 2020 part 5

East European Scientific Journal
(Ukraine, Kiev)

The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w Ukraina, Kijów,
Pobedy Avenu, 56/1, Biuro 115**

**Sp. z o.o."Grupa Konsultingowa
"Образование и наука"**

**Ukraina, Kijów, Pobedy Avenu, 56/1,
Biuro 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,
<http://eesa-journal.com/>**

**Reprezentacja czasopisma naukowego
w krajach afrykańskich.**

Republika Angoli.

ADAMSMAT_SU_LDA,

**Sede: Rio Longa_ prédio Z11 Quarteirão Z,
Nº23, Município: BELAS, província: LUANDA**

E_mail: Adamsmat@mail.ru

Contribuinte n° 5417331007

Tel:+244-929527658

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

**Printed in the Ukraine, Kiev, Pobedy
Avenue, 56/1, office 115**

**LLC "Consulting group
"Образование и наука"**

**Ukraine, Kiev, Pobedy Avenue, 56/1,
office 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,
<http://eesa-journal.com/>**

**Representation of a scientific journal in
African countries:**

Republic of Angola

ADAMSMAT_SU_LDA,

**Sede: Rio Longa_ prédio Z11 Quarteirão Z,
Nº23, Município: BELAS, província: LUANDA**

E_mail: Adamsmat@mail.ru

Contribuinte n° 5417331007

Tel:+244-929527658

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Laptiev.O., Shuklin G., Stefurak O., Svynchuk O., Urdenko O., Hohoniants S. METHOD OF THE INCREASING THE DETECTION SYSTEM AND RECOGNITION OF DIGITAL RADIOSIGNALS	4
Аманова Б.Н., Жубаншев Б.У. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАРАЧАГАНАК.	17
Ахрамович В. М. СТВОРЕННЯ СТРУКТУРИ РОЗПОДІЛЕНОЇ СОЦІАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ PROTECTEDBOOK	21
Драгомиров С.Г., Эйдель П.И., Драгомиров М.С., Гамаюнов А.Ю. ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В АВТОТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ.....	28
Золотовська О.В. МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ТЕПЛОТИ СОНЯЧНОЮ УСТАНОВКОЮ	35
Мамедова Ф. М., Гасанов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СБРОСНЫХ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ ВОД ОТ ГИПСА.....	40
Смайлов Н.К., Бакторазов А.М, Марксұлы С. ҒАРЫШТАҒЫ ЕКІ БАЙЛАНЫСҚАН ДЕНЕ ДИНАМИКАСЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ	45
Дейнега Р.О., Івасів В.М., Михайлюк В.В., Фафлей О.Я. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАНДАЖУ НА ДЕФЕКТНУ ДІЛЯНКУ ТРУБОПРОВОДУ	55
Kuchynskyi K.A., Kramarskyi V.A., Hvalin D.I., Mystetskyi V.A. RESIDUAL LIFE AND HEAT CONTROL OF A TURBOGENERATOR STATOR WINDING INSULATION	63

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.056.053

Laptiev.O.

*candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, Associate Professor,
Department of Information and Cybersecurity Systems.*

Shuklin G.,

*candidate a degree Engineering Sciences,
Head of Department of Information and Cybersecurity Systems.*

Stefurak O.

*Senior Engineer,
department of Information and Cybersecurity Systems.*

Svynchuk O.

*candidate of Physics Mathematics Sciences,
associate professor department of mathematics.
State University of Telecommunications,
Kyiv, Ukraine.*

Urdenko O.,

*postgraduate
National Economic University named after Vadim Hetman.
Kyiv. Ukraine*

Hohoniants S.

*Ph.D. (military science), senior researcher
Chief of Science and Research Department of ADL Scientific Center,
National defence university of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi*

METHOD OF THE INCREASING THE DETECTION SYSTEM AND RECOGNITION OF DIGITAL RADIOSIGNALS

Лаптев Александр Анатольевич,

*кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
доцент кафедры систем информационной
и кибернетической защиты*

Шуклин Герман Викторович,

*кандидат технических наук
заведующий кафедры систем информационной
и кибернетической защиты*

Стефурак Олег Романович,

*ведущий инженер
кафедры систем информационной
и кибернетической защиты*

Свинчук Ольга Васильевна

*кандидат физико-математических наук.
доцент кафедры высшей математики
Государственный университет Телекоммуникаций,
г.Киев, Украина*

Гогонянц Спартак Юрійович

*кандидат военных наук,
старший научный сотрудник,
Національний університет оборони України
мені Івана Черняхівського.*

Урденко Олександр Георгійович.,

*аспірант
ГВНУ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана» г.Киев, Украина*

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Summary. In the process of detecting and recognizing a digital radio signal, a topical issue is increasing noise immunity. The features of the use of low frequency filters with quadratic and linear response dependence on the input signal are investigated in the article. It is shown that the principle of operation of filters is that the summation process is performed. In this case, the useful signal is summed up coherently and the interference signal is incoherent, ie, the useful signal increases and the interference signal decreases.

When acting on the input of linear and quadratic filters of rectangular pulse, which simulates the signals of modern digital means, the necessary parameters for further use of the input and output signals are determined: mathematical expectation, correlation coefficient, variance, root mean square deviation, ratio of signals to noise in temporal and spectral form. The payoff coefficient, which shows the efficiency of using low-pass filters, is calculated.

The graphs of the envelope voltage at the output of the ideal bandpass filter when exposed to the input of a rectangular pulse with different duration - the signal of the means of silent receiving of information.

The filtration process is simulated at different correlation coefficients. This confirmed the possibility of isolating the signal of the means of silent receiving of information by the method of determining the two-dimensional density of the likelihood of interference signal against the background of the common signal.

The process of increasing the noise immunity of the system as a whole is investigated. It is proved that the use in the process of signal processing of narrow-banded filters of low frequency allows to increase the noise immunity of the system of detection and recognition of digital radio air signals by 23%.

Аннотация. В процессе выявления, распознавания и локализации сигнала средств негласного получения информации в информационных системах актуальным вопросом является повышение помехоустойчивости. В статье исследованы особенности использования фильтров низкой частоты с квадратичной и линейной зависимостью отклика на входной сигнал. При воздействии на вход линейного и квадратичного фильтров прямоугольного импульса, который имитирует сигнал современных цифровых средств негласного получения информации, определены необходимые для дальнейшего использования параметры входных и выходных сигналов: математическое ожидание, коэффициент корреляции, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, отношение сигнала к помехе во временном и спектральном виде. Вычислено коэффициент выигрыша, который показывает эффективность использования фильтров низкой частоты. Приведены графики огибающей напряжения на выходе идеального полосового фильтра при воздействии на вход прямоугольного импульса с разной продолжительностью – сигнала средств негласного получения информации.

Проведено моделирование процесса фильтрации при разных коэффициентах корреляции. Это подтвердило возможность выделения сигнала средств негласного получения информации методом определения двумерной плотности вероятности сигнала помехи на фоне общего сигнала.

Исследуется процесс повышения помехоустойчивости системы в целом. Доказано, что использование в процессе обработки сигналов узкополосных фильтров низкой частоты позволяет добиться повышения помехоустойчивости системы определения, распознавания и локализации средств негласного получения информации на 23%.

Keywords: noise immunity, filter, mathematical expectation, variance, modeling.

Ключевые слова: помехоустойчивость, фильтр, математическое ожидание, дисперсия, моделирование.

Introduction

Radio interference means any kind of electrical oscillation which, when penetrated into or from inside the radio, complicates the determination of the radio signal. The signal and interference, acting simultaneously on the input of the receiver, are reproduced at the output of the latter as a random oscillatory process. As a result, the signal parameters cannot be precisely determined. Normal signal detection is only possible with a certain ratio of signal power and interference at the receiver output. The minimum signal strength at which a satisfactory signal determination is provided depends on the interference level. This amount of power characterizes the sensitivity of the receiver. The ability of a radio receiver to receive a signal of a given quality in the presence of interference is called noise immunity. Improving the noise immunity of radios is one of the major and most complex problems of radio engineering. In order to successfully solve it, it is necessary to study the properties and nature of the

influence of the interference on the signal, and then to determine the ways of attenuating their influence on the quality of signal determination.

Issues of overcoming interference also have their peculiarities in the process of detecting and recognizing digital radio signal. To this end, consider the issue of noise immunity in the study of the above processes.

Analysis of recent publications and problem statement

A considerable number of publications are devoted to the issue of noise immunity. Thus, in [1], the technical methods of improving radio efficiency related to noise immunity are considered. The methods of increase of noise protection and noise immunity are considered and the factors that shape them. The most dangerous interferences affecting the radio station are the relaying factors, when the correlation function of the useful signal and the interference take on large values compared with the values for the interference of the pseudo-probable sequence and the harmonic interference. It is shown that variants of coding of the

source of information do not fundamentally affect the stability of radio stations during the action of these interferences. However, noise immunity issues are not addressed when probable digital signals are detected. In [2], the process of noise immunity of a typical detection path composed of sequentially included modules is considered: an ideal bandpass filter, a quadratic detector, and an ideal integrator. The described technique for determining the probabilistic characteristics of detection can be applied to the study of typical path composed of other elements of considerable practical interest. However, the issue of the effect of interference on a rectangular signal that is similar to a digital signal is not addressed. In article [3], using the methods of statistical radio engineering, the noise immunity of receiving signals with quadrature amplitude modulation in the presence of noise and harmonic interference is analyzed. The dependences of the bit error probability on the signal-to-noise ratio, the noise intensity, and its decomposition relative to the center frequency of the useful signal spectrum are obtained. It is shown that the reception of signals with quadrature amplitude modulation is greatly impaired in the presence of harmonic interference, and with the increase of signal positionality this influence is enhanced. However, the determination of digital radio signals is not considered. In article [4], based on distributed models, a method of bringing voice signals to a single amplitude and time window is proposed. Distributed clustered schemes of voice signals training are also proposed for forming reference models of speech voice sounds. These methods make it possible to quickly convert quasiperiodic sections of different lengths into a single window of amplitude and time for further comparison, and to determine the optimal number of clusters, which increases the likelihood of clustering. The proposed methods can be used in signal recognition systems. In [5], an optimization model for the measurement of power in circuits was developed on the basis of studies conducted in MATLAB. The proposed algorithms can be used to develop the characteristics of various information signals, including digital signals from modern devices. In [6] investigated the effect of multiray propagation of radio waves on the transmission of audio content through channels with normal and lognormal interference distribution using GSM and WiMAX wireless technologies. For researching in the MATLAB Simulink software environment, appropriate models of transceivers have

been built using the elements of the Communication System Toolbox library. At the same time, we do not use low frequency filters with quadratic and linear dependence of the response on the input signal. In [7], a technique for the interaction of mobile technical objects in the process of data flow transfer under conditions of powerful electromagnetic field is proposed. The work [8] is devoted to increasing the noise immunity of information messages under the conditions of powerful electromagnetic interference by the use of complex signal-code structures. This increases the volume and speed of information transfer. As a result of encoding information with super short pulses in wireless information transmission systems, a quantitative and qualitative evaluation of the effectiveness of the proposed method was carried out. However, signal filtering methods are not addressed in this paper. In [9] the results of studies on increasing the signal-to-noise ratio in mobile communication systems are highlighted. This direction is realized through the use of methods of dynamic change of transmitter power, organization of multiple access and dynamic distribution of communication channels. However, the issue of digital signal recognition is not resolved. From the analysis of modern literature, we can conclude that the problems of noise immunity, which have their own peculiarities in the process of detecting and recognizing digital signal of digital radio broadcasting, are practically not considered. Therefore, it seems appropriate to investigate the issue of noise immunity in the automated detection system and the recognition of digital radio broadcasts.

Presentation of main material

Almost all methods of noise immunity receive signals based on the principle of signal averaging and interference. This principle is that the summation process is performed. Moreover, the useful signal is summed up coherently, and the noise signal is incoherent. For the purpose of averaging the useful signal and interference, linear systems of two types are used: narrow band filters and low frequency filters. It is possible to optimize low pass filters or narrow band filters.

To consider the issue of interference filtering, let us assume that the narrowband filter itself does not distort the signal that has passed through it. An ideal bandpass filter is a filter with an amplitude-frequency response of the type:

$$K(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2} \leq |\omega| \leq \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2} \\ 0 & \text{якщо } \left[-\infty, \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2} \right] \cup \left[\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}, \infty \right] \end{cases}, \quad (1)$$

where $\Delta\omega$ – filter bandwidth.

For an ideal filter, effective band $\Delta\omega_e$ and band $0,707 - \Delta\omega_{\sqrt{2}}$, is equal to the filter transparency band $\Delta\omega$.

For filters, the assumption is that $\Delta \omega \ll \omega_0$.

The frequency response of the expression for (1) is the impulse transition characteristic, which will be determined by the expression:

$$h_s(t) = \frac{\Delta \omega}{\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\Delta \omega t}{2}}{\frac{\Delta \omega t}{2}} \cos \omega_0 t \quad (2)$$

Given that the digital signal is not a clear pulse [10], it is possible to calculate the envelope voltage at the output of an ideal filter when exposed to a rectangular pulse of duration:

$$x(t) = \begin{cases} X_m \cos \omega_0 t & \text{якщо } 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{якщо }]-\infty, 0[\cup]T, \infty[\end{cases} \quad (3)$$

where X_m – the envelope signal $x(t)$ at the inlet of the filter.

Using the envelope voltage theorem of the narrowband filter, we write the expression for the envelope voltage at the output of the filter:

$$Y_m(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{fn}(j\omega) S_{X_m}(j\omega) e^{j\omega t} dt \quad (4)$$

where $S_{X_m}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X_m e^{-j\omega t} dt$ – the amplitude spectrum of the envelope signal $x(t)$,

K_{fn} – complex factor of low frequency filter transmission:

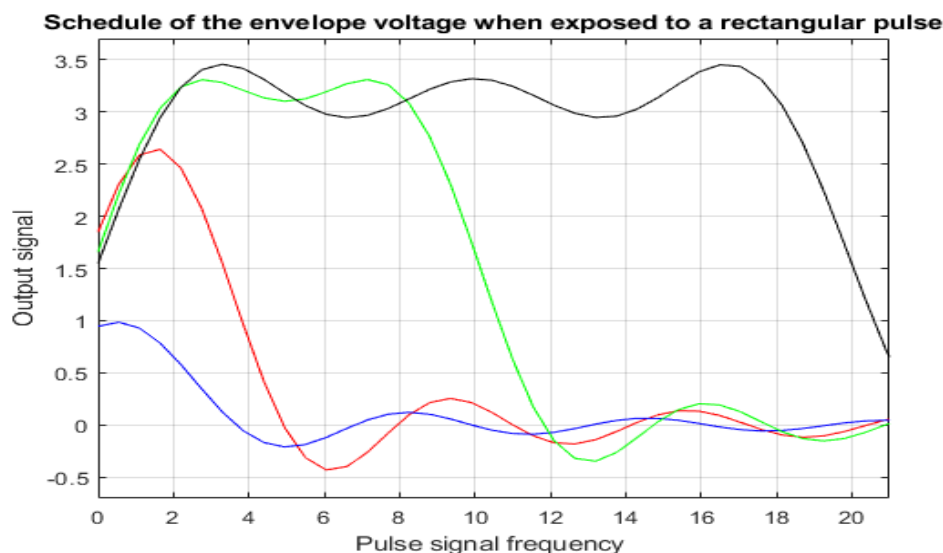
$$K_{fn}(j\omega) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } -\frac{\Delta \omega}{2} \leq |\omega| \leq \frac{\Delta \omega}{2} \\ 0 & \text{якщо }]-\infty, -\frac{\Delta \omega}{2}[\cup]\frac{\Delta \omega}{2}, \infty[\end{cases} \quad (5)$$

Substituting expression (5) into expression (4), we get the expression:

$$Y_m(t) = \frac{X_m}{2\pi} (Si(\Delta \omega t) - Si(\Delta \omega(t - T))) \quad (6)$$

where $Si(z) = \int_0^z \frac{\sin t}{t} dt$ – integral sinus [11].

In Pic. 1 dependency graphs of the duration of the influencing rectangular pulse (blue color - pulse duration $T = 1$, red color - $T = 10$, green color - $T = 15$ and black color - $T = 20$) on the frequency range (filter bandwidth).



Pic. 1. Graph of the envelope voltage when exposed to a rectangular pulse signal

The graphs show significant differences between the input rectangular pulse and the output signal. The distortion of the input impulse increases as its duration increases. This distortion of the pulse shape can be characterized by the duration of the envelope of the impulse of the filter output to the duration of the envelope of the output impulse.

This indicates that short-term rectangular signals can be isolated using a bandpass filter [12].

To further calculate the interference signal, we determine the autocorrelation coefficient of the white noise passed through the bandpass filter:

$$R_w(\tau) = \frac{\int_0^{\infty} K^2(\omega) \cos \omega \tau d\omega}{\int_0^{\infty} K^2(\omega) d\omega} \quad (7)$$

After substituting expression (1) into expression (7) we obtain:

$$R_w(\tau) = \frac{1}{\Delta\omega} \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \cos \omega \tau d\omega = \frac{\sin\left(\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}\right) \cdot \tau - \sin\left(\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}\right) \cdot \tau}{\Delta\omega \tau} \quad (8)$$

or

$$R_w(\tau) = r_w(\tau) \cos \omega_0 \tau, \quad (9)$$

where $r_w(\tau) = \frac{\sin(\Delta\omega \frac{\tau}{2})}{\Delta\omega \frac{\tau}{2}}$ – the envelope of the autocorrelation coefficient of the process at the output

of the bandpass filter.

Due to the fact that the signal of digital means of silent retrieval of information is a signal of a rectangular pulse, with an envelope of duration T , the expression has the form [13]:

$$y_s = \begin{cases} A \cos(\omega_0 + \varphi_0) & , 0 \leq t \leq T \\ 0 &]-\infty, t[U]t, \infty[\end{cases} \quad (10)$$

Then the numerical characteristics of the quadratic filter filtering process will look like:

$$m_1[z_{\Sigma 0}(t)] = \begin{cases} A_1 \sigma_{yN}^2 (1 + q^2), & 0 \leq t \leq T \\ A_1 \sigma_{yN}^2 = m_1[z_{N0}(t)], &]-\infty, t[U]t, \infty[\end{cases} \quad (11)$$

where $m_1[z_{N0}(t)]$ – mathematical expectation of low-frequency noise fluctuation.

$$R_{z\Sigma 0}(t, t + \tau) = \begin{cases} \frac{r_{yN}^2(\tau) + 2q^2 r_{yN}(\tau)}{1 + 2q^2} = R_{z\Sigma 0}(\tau), & 0 \leq t \leq (T - \tau) \\ r_{yN}^2(\tau) = R_{zN0}(\tau), &]-\infty, t[U]t, \infty[\end{cases} \quad (12)$$

$R_{zN0}(\tau)$ – autocorrelation coefficient of low-frequency noise interference.

$$D_{z\Sigma N} = \sigma_{z\Sigma N}^2(t) = \begin{cases} A_1^2 \sigma_{yN}^4 (1 + 2q^2) = \sigma_{z\Sigma 0}^2, & 0 \leq t \leq T \\ A_1^2 \sigma_{yN}^4 = \sigma_{zN0}^2, &]-\infty, t[U]t, \infty[\end{cases} \quad (13)$$

A process in which the mathematical expectation and the correlation function are independent of time at a fixed fixed time interval is called quasi-stationary. Then the process at the output of the filter will not affect

its additive amount of signal and interference and will be quasi-stationary [14].

For a linear filter, the numerical parameters of the filtering process take the form:

$$m_1[z_{\Sigma 0}(t)] = \frac{A_1 \sigma_{y\Sigma}^2}{\sqrt{2\pi}}; \quad (14)$$

$$R_{z\Sigma 0}(\tau) \approx r_{yN}^2(\tau); \quad (15)$$

$$\sigma_{z\Sigma 0}^2 = \frac{A_1 \sigma_{y\Sigma}^2}{8\pi}, \quad (16)$$

where $\sigma_{y\Sigma}^2 = D_{y\Sigma}$ – the variance of the total process at the inlet of the filter. It is determined by:

$$\sigma_{y\Sigma}^2 = \sigma_{yS}^2 + \sigma_{yN}^2, \quad (17)$$

where $D_{yS} = \sigma_{yS}^2, D_{yN} = \sigma_{yN}^2$ – signal dispersion and interference at the filter input.

We calculate the mutual correlation functions $z_{N0}(t), z_{\Sigma 0}(t)$ of the output signals.

In the case of an interference signal, the mathematical expectation for a second order mixed signal

$z_N(t)$, $z_\Sigma(t)$ will be determined by the expression:

$$\begin{aligned} m_1[z_N(t_1), z_\Sigma(t_2)] &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z_N(t_1) z_\Sigma(t_2) w_2[y_N(t_1), y_\Sigma(t_2)] \times \\ &\times dy_N(t_1) dy_\Sigma(t_2) = A_2^2 \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} y_N(t_1) y_\Sigma(t_2) w_2[y_N(t_1), y_\Sigma(t_2)] \times \\ &\times dy_N(t_1) dy_\Sigma(t_2) \end{aligned} \quad (18)$$

where $w_2[z_N(t_1), z_\Sigma(t_2)]$ – two-dimensional probability density of stationary normal processes $y_N(t)$, $y_\Sigma(t)$. Given that the autocorrelation coefficient of both signals is the same and equal to $R_{yN}(\tau)$, it is possible to write an expression for $w_2[z_N(t_1), z_\Sigma(t_2)]$ – two-dimensional probability density in the form:

$$\begin{aligned} w_2[z_N(t_1), z_\Sigma(t_2)] &= \frac{1}{2\pi \sigma_{yN} \sigma_{y\Sigma} \sqrt{1 - R_{yN}^2(\tau)}} \cdot \exp \times \\ &\times \left(-\frac{1}{2(1 - R_{yN}^2(\tau))} \left[\frac{y_N^2(t_1)}{\sigma_{yN}^2} - 2R_{yN}(\tau) \frac{y_N(t_1) y_\Sigma(t_2)}{\sigma_{yN} \sigma_{y\Sigma}} + \frac{y_\Sigma^2(t_2)}{\sigma_{y\Sigma}^2} \right] \right) \end{aligned} \quad (19)$$

Performing the substitution of the form: $\frac{y_N(t_1)}{\sigma_{yN}} = x$, $\frac{y_\Sigma(t_2)}{\sigma_{y\Sigma}} = y$ we get the expression:

$$m_1[z_N(t_1), z_\Sigma(t_2)] = \frac{A_2 \sigma_{yN} \sigma_{y\Sigma}}{2\pi \sqrt{1 - R_{yN}^2(\tau)}} \cdot \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \exp \left(-\frac{x^2 - 2R_{yN}(\tau)xy + y^2}{2(1 - R_{yN}^2(\tau))} \right) dx dy \quad (20)$$

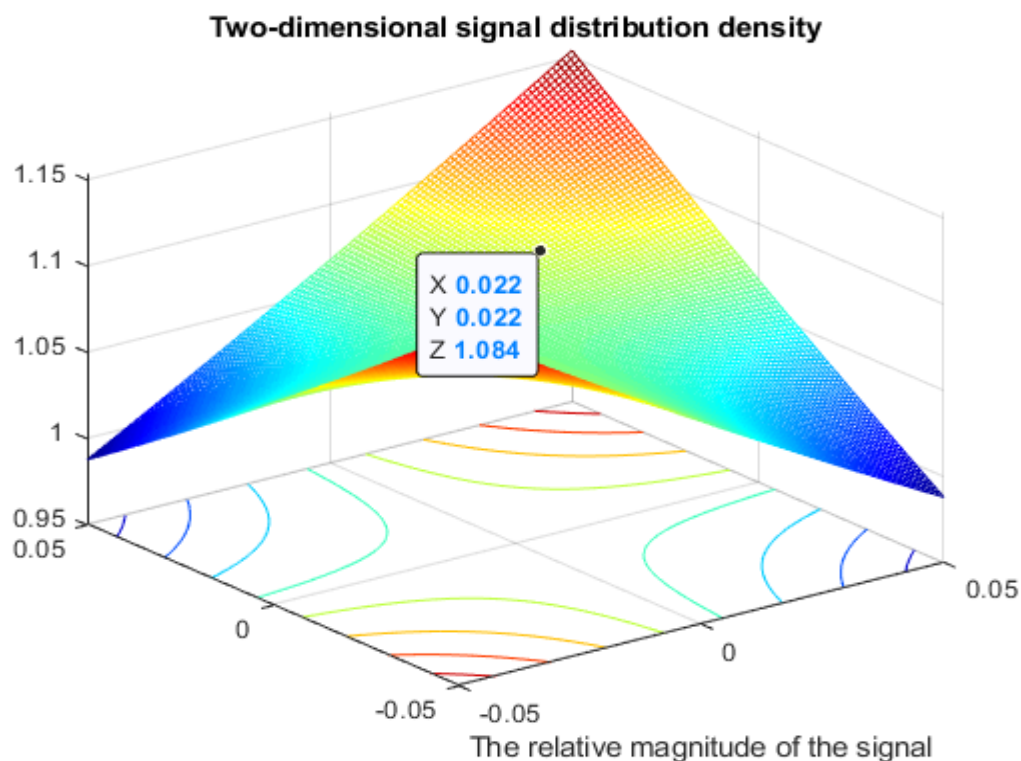
In order to determine the effect of the correlation coefficient (signal-to-noise ratio) on the mathematical expectation (ie, the effect of noise-to-signal), we will simulate the process.

To evaluate the strength of communication in the theory of correlation, the scale of English mathematics Cheddock is used: weak - from 0.1 to 0.3; moderate -

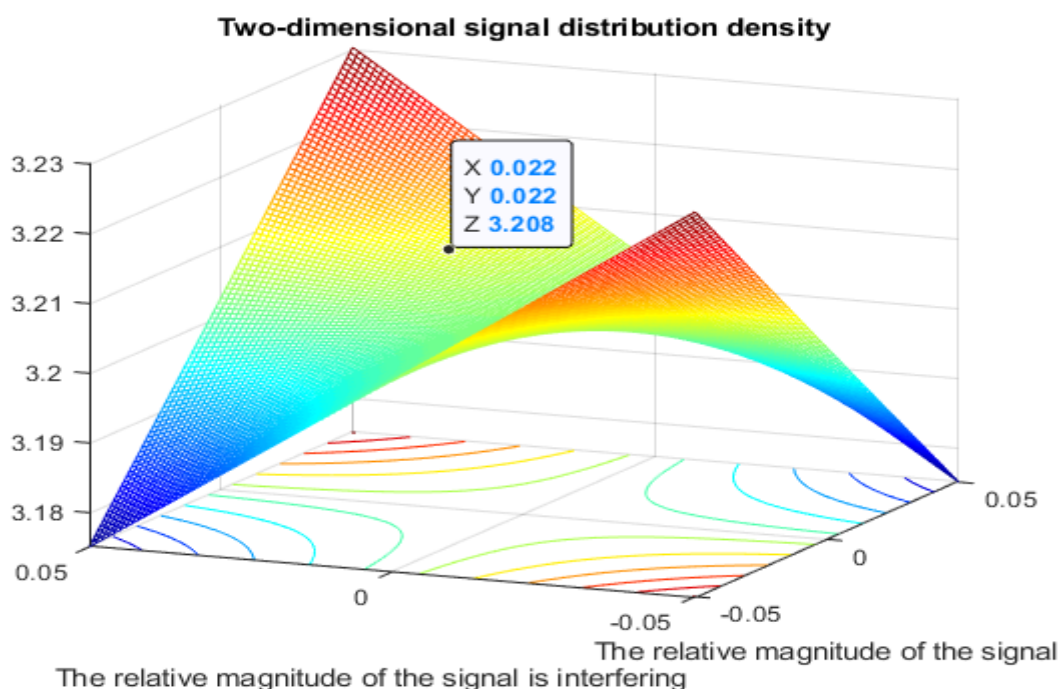
from 0.3 to 0.5; noticeable - from 0.5 to 0.7; high - from 0.7 to 0.9; very high (strong) - from 0.9 to 1.0.

Therefore, we consistently choose the correlation coefficient for weak, moderate and high bond strength of communication, respectively [15].

The simulation results are shown in Pic. 2-3:



Pic. 2. Two-dimensional density of signal distribution at $R_{yN} = 0.3$ (moderate dependence)



Pic. 3. Two-dimensional density of signal distribution at $R_{yN} = 0.9$ (moderate dependence)

To analyze the results obtained, on each of the graphs took the point with the same coordinates of the relative values of signal and interference.

As we can see from the above graphs Pic. 2-3, with increasing correlation dependence from weak to high, the magnitude of the signal distribution density increases. This indicates the ability to distinguish

between signal and interference, reducing interference by filtering.

To determine the signal-to-noise ratio at the output of a typical path when exposed to its input noise additive $N(t)$ and signal $S(t)$ we have:

$$x(t) = S(t) + N(t). \quad (21)$$

Suppose that the signal and the interference are stationary white noise, with zero mathematical expectation $m_1(S(t)) = m_1(N(t)) = 0$. Signal and interference are uncorrelated:

$m_1(S(t)(N(t))) = 0$ and defined over a long period of time. Then it is possible to write the expressions:

$$D_{\Sigma} = \sigma_{\Sigma}^2 = \Delta f_e S_{\Sigma}; \quad D_s = \sigma_s^2 = \Delta f_e S_s; \quad D_N = \sigma_N^2 = \Delta f_e S_N, \quad (22)$$

where Δf_e – effective filter transparency band;

$D_{\Sigma} = \sigma_{\Sigma}^2$ – variance and root mean square deviation of the signal mixture;

$D_s = \sigma_s^2$ – dispersion and root mean square deviation of the signal;

$D_N = \sigma_N^2$ – dispersion and standard deviation of interference;

$S_{\Sigma}; S_s; S_N$ – spectral densities, respectively, of a mixture of signal and noise, signal and noise.

The assumptions we have made are as follows:

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_s^2 + \sigma_N^2 \quad \text{or} \quad D_{\Sigma} = D_s + D_N. \quad (23)$$

The low-frequency component of the voltage at the output of the tract, detected at the time of reference $t = T$, denote $u_{\Sigma 0}$, the interference voltage u_{N0} , the voltage sum of the signal $u_{\Sigma 0}$. It should be noted that u_{N0} and $u_{\Sigma 0}$ are random variables.

The appearance of a signal at the input of the tract, detected at time $t = T$, can change the mathematical expectation of the low-frequency component voltage at the output of the tract, from magnitude $m_1[u_{N0}(t)]$ to $m_1[u_{\Sigma 0}(t)]$. This signal increase is called a useful signal. Write for him the expression:

$$C = m_1[u_{\Sigma 0}(T)] - m_1[u_{N0}(T)] = \Delta m_1[u_0(T)]. \quad (24)$$

In such a case, the interference at the same instant of time T will be determined by the mean square value of fluctuation of the random probable magnitude:

$$N = \sigma_{u\Sigma}(T) = \left(m_1[u_{\Sigma 0}^2(T)] - m_1^2[u_{\Sigma 0}(T)] \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (25)$$

The signal / interference ratio for $t = T$ will be:

$$\frac{C}{N} = \frac{m_1[u_{\Sigma 0}(T)] - m_1[u_{N0}(T)]}{\left(m_1[u_{\Sigma 0}^2(T)] - m_1^2[u_{\Sigma 0}(T)] \right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (26)$$

Expressions (17 - 19) are the definition of signal, interference and signal / interference ratio at the output of the receiving path. In the future, our task will be to determine the signal, interference and their correlation through the corresponding parameters at the input of the receiving path.

There are two methods for determining this relationship: spectral and temporal.

In the time method, the voltage at the output of the receiving path at time $t = T$ will be determined by the expression:

$$u(T) = \int_0^T h_{\delta}(T-t)z(t)dt, \quad (27)$$

where h_δ – impulse transient response of the filter, $z(t)$ – input voltage.

The mathematical expectation of this voltage when exposed to the input of a mixture of signal and interference will be:

$$m_1[u_\Sigma(T)] = \int_0^T h_\delta(T-t) m_1[z_\Sigma(t)] dt \quad (28)$$

Due to the fact that z_Σ – is a stationary process, its mathematical expectation is independent of time, then we have:

$$m_1[u_\Sigma(T)] = m_1[z_\Sigma(t)] \int_0^T h_\delta(T-t) dt = m_1[z_\Sigma(t)] \int_0^T h_\delta(t) dt \quad (29)$$

Similarly, it is possible to determine mathematical expectation when exposed only to interference:

$$m_1[u_N(T)] = m_1[z_N(t)] \int_0^T h_\delta(t) dt \quad (30)$$

Substituting expressions (18) and (19) into expression (13) we obtain:

$$C = \Delta m_1[z_0(T)] \int_0^T h_\delta(t) dt, \quad (31)$$

where $\Delta m_1[z_0(t)] = m_1[u_{\Sigma 0}(t)] - m_1[u_{N 0}(t)]$ increasing the mathematical expectation of the low-frequency component voltage at the output of the filter.

The dispersion of the fluctuations at the output of the low-pass filter is determined by:

$$D_{u_\Sigma} = \sigma_{u_\Sigma}^2 = \left(m_1[u_\Sigma^2(T)] - m_1^2[u_\Sigma(T)] \right) \quad (32)$$

From the expression:

$$u_\Sigma^2(T) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t_1, T) h_\delta(T-t_2, T) z_\Sigma(t_1) z_\Sigma(t_2) dt_1 dt_2 \quad (33)$$

we have:

$$m_1[u_\Sigma^2(T)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t_1, T) h_\delta(T-t_2, T) m_1[z_\Sigma(t_1) z_\Sigma(t_2)] dt_1 dt_2; \quad (34)$$

$$\begin{aligned} D_{u_\Sigma} = \sigma_{u_\Sigma}^2(T) = & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t_1, T) h_\delta(T-t_2, T) \times \\ & \times m_1[z_\Sigma(t_1) z_\Sigma(t_2)] dt_1 dt_2 - m_1^2[z_\Sigma(t)] \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t_1, T) h_\delta(T-t_2, T) \times \\ & \times h_\delta(T-t_2, T) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t_1, T) h_\delta(T-t_2, T) \times \\ & \times m_1[z_\Sigma(t_1) z_\Sigma(t_2)] dt_1 dt_2 - m_1^2[z_\Sigma(t)] dt_1 dt_2 \end{aligned} \quad (35)$$

We will replace: $\tau = t_2 - t$; $d\tau = dt_2$; $t = t_2$; $dt = dt_1$ Then we will have:

$$D_{u\Sigma} = \sigma_{u\Sigma}^2 = \sigma_{z\Sigma}^2 \left[\int_{-\infty}^{\infty} Q_h(\tau, T) R_{z\Sigma}(\tau) d\tau \right] \quad (36)$$

Where

$$Q_h(\tau, T) = \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t, T) h_\delta(T-t-\tau, T) dt \quad (37)$$

$$R_z(\tau) = \frac{m_1[z_\Sigma(t)z_\Sigma(t+\tau)] - m_1^2[z_\Sigma(t)]}{\sigma_{z\Sigma}^2}, \quad (38)$$

where $R_{z\Sigma}(\tau)$ – autocorrelation coefficient, $D_{z\Sigma} = \sigma_{z\Sigma}^2$ – the variance of the process when exposed to the input of the sum of signal and interference.

Assume that according to expression (37) the interference: $N = \sigma_{u\Sigma}(T)$ then we will have:

$$N = \sigma_{u\Sigma}(T) = \sigma_{z\Sigma} \left[\int_{-\infty}^{\infty} Q_h(\tau, T) R_{z\Sigma}(\tau) d\tau \right]^{\frac{1}{2}} \quad (39)$$

Due to the fact that energy spectrum is the main factor in determining the signal of the means of silent receiving of information, we will find the expression for interference in spectral form.

To do this, we use the Wiener-Hinchin theorem, which establishes the relationship between the correlation function and the power spectral density $g(\omega)$:

$$K(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (40)$$

Then we get:

$$\begin{aligned} N &= \left(\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t, T) h_\delta(T-t-\tau, T) dt \left[\int_{-\infty}^{\infty} g_{z\Sigma_0}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \right] d\tau \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left(\int_{-\infty}^{\infty} g_{z\Sigma_0}(\omega) d\omega \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t, T) dt \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t-\tau, T) e^{j\omega\tau} d\tau \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left(\int_{-\infty}^{\infty} g_{z\Sigma_0}(\omega) K_T(j\omega) d\omega \int_{-\infty}^{\infty} h_\delta(T-t, T) e^{j\omega(T-t)} dt \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left(\int_{-\infty}^{\infty} g_{z\Sigma_0}(\omega) |K_T(j\omega)|^2 d\omega \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\int_{-\infty}^{\infty} G_{z\Sigma_0}(\omega) |K_T(j\omega)|^2 d\omega \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (41)$$

where $K_T(j\omega)$ – low frequency filter complex frequency response;

$g_{z\Sigma_0}(\omega)$ – spectral power density of low-frequency fluctuations at the output of the filter over the entire frequency axis.

$$G_{z\Sigma 0}(\omega) = \begin{cases} 2g_{z\Sigma 0}(\omega) = \frac{2\sigma_{z\Sigma 0}^2}{\pi} \int_0^\infty R_{z\Sigma 0}(\tau) \cos \omega \tau d\tau, & \omega > 0 \\ 0, & \omega < 0 \end{cases}, \quad (42)$$

where $G_{z\Sigma 0}(\omega)$ – the spectral power density of the signal $z_{\Sigma 0}(t)$, determined only in the region of positive frequencies.

Thus, the expression for the signal-to-noise ratio at the output of a typical radio path in the mode of detecting a signal against the background of the signal takes the form:

Temporarily:

$$\frac{C}{N} = \frac{\Delta m_1[z_0(t)] \int_0^T h_\delta(t) dt}{\sigma_{\Sigma 0} \left[\int_{-\infty}^\infty Q_h(\tau, T) R_{z\Sigma 0}(\tau) d\tau \right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (43)$$

Spectral recording form:

$$\frac{C}{N} = \frac{\Delta m_1[z_0(t)] K_T(0)}{\left[\int_{-\infty}^\infty G_{z\Sigma 0}(\omega) |K_T(j\omega)|^2 d\omega \right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (44)$$

In addition to the signal-to-noise ratio, the filter's characteristic is the winning ratio, which is determined by the expression:

$$K_B = \frac{C / N_{\text{aux}}}{C / N_{\text{ex}}}. \quad (45)$$

Substituting expression (43) into expression (45), we obtain:

$$K_B = \left[\frac{\Delta m_1[u_0(T)]}{\sigma_{u\Sigma 0}(T)} \right] / \left[\frac{\Delta m_1[z_0(T)]}{\sigma_{z\Sigma 0}(T)} \right] = \left[\frac{\Delta m_1[u_0(T)]}{\Delta m_1[z_0(T)]} \right] / \left[\frac{\sigma_{u\Sigma 0}(T)}{\sigma_{z\Sigma 0}(T)} \right], \quad (46)$$

where $\frac{\Delta m_1[u_0(T)]}{\Delta m_1[z_0(T)]}$, $\left[\frac{\sigma_{u\Sigma 0}(T)}{\sigma_{z\Sigma 0}(T)} \right]$ – determine the increase in mathematical expectation and the

average square deviation of low-frequency fluctuations as a result of processing the input signal by a low-pass filter.

Thus, in order to increase the noise immunity of the detection and recognition system, it is necessary to use a low pass filter. This significantly lowers or completely eliminates the analysis of low-frequency interference.

Analysis of trends in the development of modern means of silent retrieval of information show trends in the transition of their work in the high frequency range. That is, the information transmission signal is shifted to the high frequency range, in which the process of detecting and recognizing digital signals is quite complicated.

By eliminating the low-frequency interference analysis, we will already significantly increase the system's overall noise immunity.

Conclusions

The peculiarities of the use of low-pass filters to increase the noise immunity of an automated system for detecting and recognizing digital airwaves are investigated. It is shown that the principle of operation of filters is that the summation process is performed. In this case, the useful signal is summed up coherently, and the noise signal is incoherent. That is, when

summing up, the useful signal increases and the interference signal decreases.

Taking into account the peculiarities of the digital signal, the signal parameters are defined (mathematical expectation, correlation coefficient, variance, root mean square deviation) and the outputs of linear and quadratic filters at the influence on the input of a rectangular pulse that simulates the signal of modern digital means of silent receiving of information are determined.

The graphs of the envelope voltage at the output of the perfect bandpass filter with the influence on the input of a rectangular pulse (digital signal) of different duration are obtained.

The results of the simulation of the filtering process, with different correlation coefficients, confirmed the possibility of selection of the digital signal by the method of determining the two-dimensional probability density of the signal of interference on the background of the common signal.

It is proved that the use in the process of signal processing of low bandwidth filters of low frequency allows to increase the noise immunity of the system of detection and recognition of digital radio airwaves signals by 23%.

REFERENCES

Aaron Don M. Africa, Ara Jyllian A. Abello, Zendrel G. Gacuya, Isaiah Kyle A. Naco, Victor Antonio R. Valdes. Face Recognition Using MATLAB. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. Vol. 8, № 4. July-August. P. 1110 – 1116.

Ara Jullion A. Abello, Gabriele Francesca Y., Domingo, Maria Jamelina T. Joven, Samanta Alexis S. Malubay. Power Measurement Model Optimization using MATLAB. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. Vol. 8, № 3, May – June. P. 538 – 542.

Bakiko V.M., Popovich P.V., Shvaychenko V.B. Viznachennya zavadostiykosti kanalu zv'yazku za vipadkovogo vplivu zavad. *Visnyk Nats. tehn. un-tu "HPI" : zb. nauk. pr. . – Kharkiv : NTU "HPI"*, 2018. № 14 (1290). S. 7 – 10.

Churyumov G., Tokarev V., Tkachov V., Partyka S. Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful

Electromagnetic Field. 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). 21-25 Aug. 2018. P. 183 – 186.

Fedorov E., Alrababah H., Nehad A. The distribution for mation method of reference patterns of vocal speech sounds. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2017. Vol. 6 (3), May - June, P. 35 – 39.

Kulikov G.V., Nesterov A.V., Lelyuh A.A. Pomehoustoychivost priema signalov s kvadraturnoy amplitudnoy manipulyatsiy v prisutstvii garmonicheskoy pomehi. *Zhurnal radioelektroniki*, № 11, 2018 [Elektronniy resurs] Rezhym dostupu:

Laptiev O.A., Barabash O.V., Savchenko V.V., Savchenko V.A., Sobchuk V.V. The method of searching for digital means of illegal reception of information in information systems in the working range of Wi-Fi. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. India. 2019. Vol. 6, Issue 7. P. 10101 – 10105.

Laptiev O., Shuklin G., Savchenko V., Barabash O., Musienko A., Haidur H. The Method of Hidden Transmitters Detection based on the Differential Transformation Model.. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. Vol. 8, №6, November- December. P. 538 – 542.

Laptiev Oleksander, Savchenko Vitalii, Syrotenko Anatolii, Shchypanskyi Pavlo, Matsko Oleksander, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) Volume-9 Issue-4, February 2020. Scopus Indexed - ISSN 2278 – 3075.P2114 – 2119.*

Parkhomenko A.N., Shotskyi B.I. Pereshkodostiikist tipovoho traktu pry vyavleni syhnaliv z fluktuatsiinoiu amplitudoiu. *Mizhnarodnii naukovo-tekhnichnyi zhurnal. [Elektronniy resurs] Rezhym dostupu: <http://radio.kpi.ua/article/view/S002134701982040219> (14.11.2019).*

Qualifying Requirements QR-160D (2004). Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, ARIAC. 2004.

Serkov O., Breslavets V., Tolkachov M., Kravets V. Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference. *Advanced Information Systems*. 2018. Vol. 2, No. 2. P. 145 – 148.

Аманова Б.Н.

старший преподаватель

кафедры нефтегазового дела и отраслевых технологий

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,

г. Уральск

Жубаниев Б.У.

старший преподаватель

кафедры нефтегазового дела и отраслевых технологий

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,

г. Уральск

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАРАЧАГАНАК.

Аннотация. В статье исследованы и проанализированы методы утилизации попутного газа на месторождении Карачаганак за последние три года.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, утилизация, факел, парниковый эффект.

Актуальность вопроса об утилизации и прикладном использовании попутного газа связана с тем негативным эффектом, который он оказывает, если его просто сжигать в факелах. При таком способе промышленность не только теряет ценное сырьё, но и загрязняет атмосферу вредными веществами, усиливающими парниковый эффект. Токсины и углекислый газ вредят и окружающей среде, и местному населению.

Основным препятствием для активного развития инфраструктуры, которая бы занималась очисткой и переработкой попутного нефтяного газа, является несоответствие размеров налога на сжигаемый в факелах газ и затрат на его эффективное применение. Большинство нефтяных компаний предпочитают заплатить штраф, нежели выделять значительный бюджет на предприятия, защищающие окружающую среду, которые окупятся лишь спустя несколько лет.

Острейшая проблема нефтегазовой отрасли, связанная с необходимостью утилизации попутного газа, сжигаемого в больших объемах на нефтяных месторождениях. В то время, когда промышленность и население многих областей республики ощущают острую нехватку газа, особенно в зимние периоды, миллиарды кубометров попутного нефтяного газа с содержанием сероводорода и меркаптанов, сжигаемые в факелах, наносят громадный экологический ущерб. Проблема сжигания попутного нефтяного газа при разработке месторождений углеводородного сырья является актуальной.

Сжигание газа влечет за собой 2 основных негативных фактора: 1) загрязнение окружающей среды; 2) безвозвратная потеря газа как минерального сырья. В связи с этим утилизация попутных газов на нефтегазовых месторождениях страны за последние годы приобрело государственное значение.

Особенность попутного нефтяного газа

Попутный нефтяной газ, или сокращённо ПНГ — это вещество, залегающее в нефтяных месторождениях. Оно образуется над основным

пластом и в его толще в результате снижения давления до показателей ниже давления насыщения нефти. Его концентрация зависит от того, насколько глубоко залегают нефть, и варьируется в пределах от 5 м³ в верхнем слое до нескольких тысяч м³ в нижнем. Как правило, при вскрытии пласта нефтяники натываются на так называемую газообразную «шапку». Углеводородные газы существуют и самостоятельно, и присутствуют в самой нефти в жидком виде, отделяясь от неё в процессе добычи и переработки. Сам газ состоит преимущественно из метана и более тяжелых углеводородов. Его химический состав зависит от внешних факторов, таких как география расположения пласта.

Принципиальное отличие попутного нефтяного газа от природного — наличие парообразных компонентов, высокомолекулярных жидкостей и веществ, не входящих в углеводородную группу: сероводорода; аргона; углекислоты; азота; гелия и т. д.

Условно попутный нефтяной газ делится на несколько групп в зависимости от того, насколько он «углеводородный»:

- чистый, содержащий 95–100% углеводородов;
- углеводородный с примесью углекислого газа (от 4 до 20%);
- углеводородный с примесью азота (от 3 до 15%);

Способы переработки попутного нефтяного газа

Существует несколько наиболее востребованных способов утилизации попутного нефтяного газа.

Фракционный способ

Данный метод переработки ПНГ представляет собой разделение газа на составляющие. В результате процесса получают сухие очищенные газы и широкую фракцию легких углеводородов: эти и другие продукты пользуются большой популярностью на мировом рынке. Существенный недостаток этой схемы — необходимость

транспортировки сырья конечным пользователям по трубопроводу.

Установка энергоблоков

Ещё одна значимая сфера эксплуатации попутного газа – это обеспечение энергией электростанций. При условии нужного состава сырья способ отличается высокой эффективностью и пользуется большой популярностью на рынке.

Компания применяет газотурбинные и поршневые энергоблоки. Эти устройства позволяют обеспечить полноценное функционирование станции.

Закачка ПНГ в пласт для интенсификации нефтеотдачи

Попутный нефтяной газ нередко используется для повышения нефтеотдачи на месторождениях через его обратную закачку в пласт. Исследованиями доказано, что данный метод способен в значительной мере повысить нефтеотдачу.

Из существующих методов поддержания пластового давления газоконденсатных месторождений наибольшее распространение на месторождении Карачаганак получил сайклинг-процесс.

Карачаганак – это газоконденсатное месторождение и для того, чтобы улучшить общее извлечение жидкости в течение всего периода эксплуатации месторождения, по плану нужно осуществлять частичное закачивание газа в пласт. Начальный уровень закачивания газа составит 6,6 Гм³/год и при успешном использовании он увеличится до 11 Гм³/год. 3 нитки с компрессорами для нагнетания смонтированы рядом с УКПП-2 и они подают газ под давлением 500-550 бар на все 20 существующих скважин, которые преобразованы для использования в качестве нагнетателей. Компрессоры приводятся в движение газовыми турбинами 5D, в блочном исполнении смонтированными на основании, номинальная мощность каждой из них составит 2,2 Гм³/год. Газ для нагнетания подается из манифольда нагнетания вниз по магистральным линиям, которые затем распределяют газ по нагнетательным скважинам через нагнетательные шлейфы.

Неочищенный газ повторно закачивается в пласт компрессорами, установленными рядом с УКПП-2. Высокосернистый газ, посылаемый непосредственно с КПЗ, повторно закачивается. Из-за высокого содержания воды, газ, получаемый на УКПП-2, должен быть сначала обезвожен, чтобы стать пригодным для использования в системе повторного закачивания. Осушенный газ из УКПП-2 насыщается углеводородом и подаётся в обратном направлении, поэтому линия, ведущая к компрессорам повторного закачивания снабжена теплоспутниками и термоизолирована. Любой газ, получаемый на УКПП-2 в дополнение к нуждам повторного закачивания должен сжигаться в факелах. В основном топливный газ на промысле

используется для компрессоров повторного закачивания газа, бойлеров и выработки электроэнергии на КПЗ.

Дымовые газы.

Технология этого метода сводится к следующему: добытое сырьё подаётся на КПЗ. Конденсат, сера и 90% сухого газа реализуется в установленном порядке. 10% товарного газа идёт на сжигание в теплоэлектростанцию, на которой получают электроэнергию, пар и продукты сгорания природного газа с воздухом 88% азота и 12% углекислого газа. Дымовые газы собираются в газгольдер и воздухоудвкой подаются на компрессорную станцию, которая поднимает давление до 45 МПа. При таком давлении дымовые газы закачиваются в залежь. В процессе компримирования из дымовых газов выделяется техническая вода, а также вырабатывается электроэнергия и тепло. Основные трудности связаны с повышением давления от атмосферного до 45 МПа и разбавления сырья, поступающего на КПЗ азотом и углекислым газом после прорыва нагнетательного газа в эксплуатационные скважины.

Карачаганакское месторождение является одним из крупнейших нефтегазоконденсатных месторождений в мире. Его расчетные балансовые запасы углеводородов составляют 13,3 миллиардов баррелей жидких углеводородов (1,7 млрд тонн нефти и конденсата) и 60,2 триллионов кубических футов (1,7 трлн м³ газа). На сегодняшний день извлечено около 11% жидких углеводородов и 12% газа. В настоящее время на Карачаганакском месторождении эксплуатируется 119 добывающих, 17 нагнетательных скважин, а общий фонд составляет – 441 скважин.

Производственная деятельность 2018 год:

- Дневная норма добычи в среднем – 381 тыс. БНЭ/д (баррели нефтяного эквивалента)
- Суточная добыча в среднем 435 тыс. БНЭ/д
- Плановые показатели на 2018г. – 141,925 тыс. БНЭ

Утилизация попутного нефтяного газа и всех его составляющих должна быть направлена на высокотехнологичное освоение месторождений нефти, для ликвидации неблагоприятных последствий и возврата в оборот углеводородного сырья. Возможны два направления утилизации попутного газа – это энергетическое и нефтехимическое. *Применение современных технологий позволяет использовать конечный продукт утилизации попутного газа в качестве топлива для получения электроэнергии на газотурбинных электростанциях и тепла. Обеспечивая подготовку и утилизацию попутного газа нефтедобывающая компания не только избегает штрафов за сжигание попутного газа, но и обеспечивает свою компанию качественной электроэнергией, теплом, сохраняя при этом имидж социально-ответственной организации. Современные технологии утилизации попутного газа предоставляют возможность полностью*

использовать попутный нефтяной газ на месторождениях, получать дополнительную электроэнергию, тепло и углеводородные газомоторные топлива.

Рассмотрим показатели для сравнения.

В 2017г – показатель утилизации газа на Карачаганаке составил 99,92%, что является достижением мирового уровня. Объем факельного сжигания газа составил – 0,08% от общего объема добытого газа, или 0,49 тонны на 1000 тонн добытого сырья. При этом удельные выбросы парниковых газов на единицу добычи углеводородов составили 69 тонн на 1000 тонн жидких углеводородов, что на 4% ниже чем аналогичный показатель в 2016 году. Фактическое сокращение выбросов парниковых газов составило 447 тыс. тонн CO₂ за счет сокращения сжигания нефти и газа при скважинных операциях. Вышеуказанные показатели опережают усредненные международные показатели нефтедобывающей промышленности на 54%.

В 2017 году показатель по добыче месторождения достиг рекордного уровня производства – 146 миллионов баррели в нефтяном эквиваленте стабилизированных и нестабилизированных жидких углеводородов, сырого газа и топливного газа. При этом объем обратной закачки газа для ППД (поддержания пластового давления) составил – 9,3 миллиардов кубометров, что примерно соответствует 49,1% от общего объема добываемого газа.

Касательно валового объема добычи газа компанией «КПО», в Ассоциации KAZENERGY отметили, что в 2016 году он составил 17,7 млрд м³.

Так, для сравнения: в 2006 году было сожжено 64 миллиона кубометров, утилизировано 99,47%, в 2016 году сожжено 29 миллионов кубометров газа, утилизировано 99,84%. Это в очередной раз подтверждает уровень мирового класса в сравнении с целевым показателем, утвержденным контролирующими органами Республики Казахстан в рамках Программы развития переработки попутного газа на 2016 год, составившим 99,6%.

Утилизация попутного газа на Карачаганаке реализуется путем его обратной закачки в пласт для поддержания пластового давления, продажи неочищенного газа и выработки топливного газа в целях производства электроэнергии для нужд КПО

и реализации местным энергораспределяющим компаниям.

– В 2016 году объем факельного сжигания газа составил 0,16% от общего объема добытого КПО газа, или 0,97 тонны на 1 тысячу тонн добытого сырья. По доступным данным мировых отчетов за 2015 год, аналогичный среднемировой показатель составляет 13,6 тонны на тысячу тонн, среднеевропейский – 3,8 тонны на тысячу тонн. Это подтверждает очень высокий уровень эффективности усилий КПО по данному показателю среди мировых и европейских предприятий по добыче нефти и газа, – говорят эксперты. – Несмотря на это, КПО продолжает поиск и внедрение дополнительных технологий сокращения выбросов, особенно в сфере испытания и очистки скважин.

В 2016 году КПО активно применил сепараторы и насосы высокого давления, в результате чего объем сжигания жидких углеводородов снизился на 72 тыс. тонны, а объем сжигания газа был уменьшен на 38 млн кубометров.

В 2015 году общий объем факельного сжигания газа составил 0,15% от общего объема добытого КПО газа или 0,88 тонн на тысячу тонн добытого сырья. Соответственно, показатель утилизации газа КПО составил 99,85%. Для сравнения, целевой показатель, утвержденный контролирующими органами РК в рамках Программы развития переработки попутного газа на 2015 год, составлял 99,6%.

По итогам прошлого года при реализации 5 технологических мероприятий было сокращено 337 тыс. тонн CO₂, что выше на 58% от запланированного значения. При этом основной вклад в получение данного результата стал возможным за счет использования технологии возвращения нефти и газа при испытании и очистке скважин.

В КПО не происходит постоянного, рутинного сжигания попутного и природного газа. Практически 99,84% газа утилизируется.

Производство в 2016 году G4-4 В 2016 г. компания КПО добыла 139,7 млн. баррелей нефтяного эквивалента (б.н.э.) в виде стабильных и нестабильных жидких углеводородов и газа. Объем поставок газа в 2016 г. достиг 8,9 млрд. м³.

В таблице 1 приведен общий объем добычи (объем закачанного в пласт газа не учитывается)

Таблица 1.

Объем добычи

Годы	Общий объем добычи** млн б.н.э	Общий объем нефти в стабилизированном эквиваленте тыс. т	Общий объем добычи газа млн м3	Объем газа, закачанного в пласт, млн м3	Очищенный газ, использованный на КПК для собственных нужд млн м3
2016	142,5	11004	18248	8818	689
2017	141,7	10796	18234	8652	687,5
2018	139,7	10466	17659	8040	605,4

Таблица 2.

Объем продаж

Годы	Общий объем продаж млн б.н.э	Конденсат, поставляемый на Оренбургский ГПЗ и мини-НПЗ тыс. т	Нефть и стабильный конденсат, поставляемые на КТК и по трубопроводу Атырау-Самара тыс. т	Неочищенный газ на Оренбургский ГПЗ млн м3
2016	137,9	732	10269	8594
2017	137,6	677	10127	8799
2018	137	898	9697	8934

Предлагаемые методы для дальнейшего исследования:

Переработка в сжиженный газ

Способ основан на криогенном процессе сжатия с использованием однопоточного холодильного цикла. Сжижение подготовленного ПНГ происходит через его взаимодействие с азотом в искусственно созданных условиях. Потенциал рассматриваемого метода зависит от целого ряда условий:

- производительность установок;
- давление исходного газа;
- запас газа;
- содержание тяжелых углеводородов, этана и сернистых соединений и т. д.

Наиболее эффективно схема проявит себя, если устанавливать криогенные комплексы на распределительных станциях.

Мембранная очистка

Одна из наиболее перспективных на данный момент технологий. Принцип работы метода заключается в различной скорости, с которой компоненты попутного газа проходят сквозь специальные мембраны. С появлением полуволоконных материалов способ приобрёл массу преимуществ над традиционными способами очистки и фильтрации ПНГ.

Очищенный газ подвергается сжижению и затем проходит через процедуру разделения в двух промышленных сегментах: для получения топлива или нефтехимического сырья. В результате процесса, как правило, образуется отбензиненный газ, который легко транспортируется, и ШФЛУ, которые отправляются на предприятия для производства каучука, пластмасс и топливных присадок.

Заключение: несмотря на видимые успехи в снижении объемов сжигаемого в Казахстане попутного нефтяного газа, эксперты считают,

что они все еще велики. Для решения проблемы предлагается перерабатывать газ в товарные продукты, а также совершенствовать государственную политику его утилизации, что в целом соответствует Государственной программе индустриально-инновационного развития РК на 2015-2019 годы. Ежегодно, сжигая на факелах попутный нефтяной газ (ПНГ), Казахстан сжигает более 100 млн долларов. Казахстан в списке стран, сжигающих ПНГ, по итогам 2017 года находится на 14 месте по объемам. Всего за прошлый год, по подсчетам международной финансовой организации, в Республике на факелах было сожжено порядка 2,7 млрд кубометров газа.

Проблема газификации регионов в Казахстане стоит достаточно остро. Решить ее можно за счет переработки ПНГ в компримированный природный газ. Кроме того, сера и товарный газ – отнюдь не единственные продукты, которые можно производить из ПНГ. Логистика, перевозка рентабельны в пределах 200 км. То есть, попутный газ можно утилизировать, пустить на производство метанола, СПБТ (смесь пропана и бутана технических), можно компримировать и в машинах развозить потребителям. К примеру, при цене газа в \$40 за 1000 м3 себестоимость одной тонны метанола составит \$55. При этом в 2017 году цена одной тонны метанола в Европе составляла \$355, в США – \$386, в Азии – \$330. По прогнозам экспертов, к 2020 году потребление метанола в Казахстане составит 100 тыс. тонн в год.

В заключение хотелось бы напомнить, что в 2015 году Казахстан присоединился к международной инициативе против факельного сжигания попутного нефтяного газа, выдвинутой Всемирным Банком. В соответствии с данной инициативой, Казахстан принял на себя обязательство покончить с практикой факельного сжигания ПНГ на нефтепромыслах до 2030 года.

СТВОРЕННЯ СТРУКТУРИ РОЗПОДІЛЕНОЇ СОЦІАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ PROTECTEDBOOK

Akhramovych Volodymyr Mikolayevich

Ph.D., associate Professor,

State University of Telecommunications

STRUCTURE CREATION OF THE PROTECTEDBOOK DISTRIBUTED SOCIAL NETWORK

Анотація. Protectedbook складається з вузлів. Вузли концентричних сфер організовані в кілька концентричних сфер, а саме шарів (оболонки), і кілька шляхів ведуть від вузлів у найглибшому шарі до вузлів у самому зовнішньому шарі.

Субстрат P2P Protectedbook - це розподілена Хеш-таблиця, аналогічна KAD, який відповідає за зберігання та отримання посилань на вхідні пункти всіх користувачів концентричних сфер. Така підкладка складається з усіх вузлів користувача і дозволяє будь-якому вузлу надіслати запит пошуку, щоб дістатися до концентричних сфер будь-якого користувача.

Довірена послуга ідентифікації СНІД - третя сторона, яка довіряє, генерує та надає для кожного користувача Protectedbook пару ідентифікаторів: ідентифікатор вузла v , однозначно ідентифікуючи V як рівень P2P, та ID користувача v однозначно ідентифікує V як користувача в соціальній мережі.

Основні функції Protectedbook можна розділити на три основні категорії: управління даними; управління ключами; управління зв'язком.

Protectedbook забезпечує конфіденційність даних завдяки традиційній криптографії з відкритим ключем та симетричній криптографії. Доступ до вмісту може бути обмежений декількома визначеними користувачами.

Спілкування між двома користувачами V та U може відбуватися як синхронно, так і асинхронно. Кожен користувач зберігає такі повідомлення у своєму власному РПЗД та при необхідності ділиться ним з надійними контактами.

Abstract. Protectedbook consists of nodes. Nodes of concentric spheres are organized into several concentric spheres, namely layers (shells), and several paths lead from nodes in the deepest layer to nodes in the outermost layer.

The P2P Protectedbook substrate is a distributed KAD-like hash table that is responsible for storing and retrieving inbound links for all users of concentric spheres. This substrate consists of all user nodes and allows any node to send a search query to get to the concentric spheres of any user.

Trusted service of reliable identification data (SRID) Identification Service - third side that trusts, generates and provides a pair of IDs for each Protectedbook user: node identifier v , definitely identifying V as a P2P layer, and user v definitely identifying V as a social network user.

Protectedbook's main features can be divided into three main categories: data management; key management; communication management.

Protectedbook provides data privacy with traditional open-key cryptography and symmetric cryptography. Content access can be restricted to several identified users.

Communication between two V and U users can be synchronously and asynchronously. Each user saves such messages in his or her own RPD and shares them with trusted contacts if needed.

Ключові слова: концентричні сфери, вузли, користувач, структура, ядро, шари, оболонка, дзеркало, призма, субстрат P2P, ключі, шифрування, ідентифікація, автентифікація, сертифікат, IP-адреса, сервер, конфіденційність, цілісність, захист, дані, управління, атрибут, хеш-функція, ключ, протоколи, комунікації, доступ, перехід, обліковий запис.

Keywords: concentric spheres, nodes, user, structure, kernel, layers, shell, mirror, prism, P2P substrate, keys, encryption, identification, authentication, certificate, IP address, server, privacy, integrity, security, data, management, attribute, hash function, key, protocols, communications, access, transition, account.

Вступ.

Як відмічалося в попередніх роботах, захист персональних даних користувачів, залежить в значній мірі від типу соціальної мережі. Перевагу треба віддати розподіленим соціальним мережам, оскільки вони виключають зловживання з боку адміністрації мережі, власників та адміністраторів.

В даній статті автори формулюють структуру такої мережі з її устроєм, та устроєм складових,

функціональні можливості, служби, протоколи, взаємодією користувачів, управління даними, ключами, комунікаціями, проблему створення, налаштування та обслуговування мережі.

Основна частина.

Концентричні сфери

Концентричні сфери - це структура друзів, яка надає користувачеві послуги зберігання даних та зв'язок. Концентричні сфери користувача V

складається з групи вузлів, що оточують вузол користувача. Вузли концентричних сфер організовані в кілька концентричних сфер, а саме шарів (оболонки), і кілька шляхів ведуть від вузлів у найглибшому шарі до вузлів у самому зовнішньому шарі ΩV . Оскільки $V \in$ вузлом у j -й шарі, а j , кожне концентрична сфера додатково має такі властивості:

1. Вузол V^0 розташований у центрі Концентричних сфер і називається ядром;

2. якщо пара вузлів V^j, V^{j+1} з'єднана,

стосунки дружби між ними існують у шарі соціальної мережі;

3. кожен вузол V^{dz} , розташований на

внутрішньому шарі λ_v і називається дзеркалом, є надійним контактом ядра V і зберігає дані V у зашифрованому вигляді;

4. кожен вузол V^{dz} , розташований на самій

зовнішній оболонці Ω_v і називається вхідною точкою, виступає шлюзом для всіх запитів, призначених V ;

5. кожен вузол $V^j, j \in [2, dz - 1]$,

розташований на оболонці між λ_v та Ω_v , називається призмою V ;

6. множину призм позначають як ∇_v

Підсумовуючи V_s Концентричні сфери θ_v - це об'єднання множини дзеркал Δ_v , безліч призм ∇_v , набір вхідних точок θ_v і серцевина V , кількість дзеркал V представляє кількість доступних розділів профільних даних V_s , хоча є стільки вхідних точок, скільки доріжок, які можуть провести до дзеркала. Кожне i^{th} дзеркало $\lambda_i \in \Delta_v$ являє собою корінь піддерева з гілками, що лежать у самій зовнішній оболонці θ_v . Розгалуження всіх підмножин, проміжного коефіцієнта, встановлюється V . Можливість множини θ_v внаслідок цього

$$|\Omega_v| = |\Delta_v| \cdot |\text{КП}|^{dz-1}$$

Субстратна підкладка

Субстрат P2P Protectedbook - це PXT, аналогічний KAD, який відповідає за зберігання та отримання посилань на вхідні пункти всіх користувачів концентричних сфер. Така підкладка складається з усіх вузлів користувача і дозволяє будь-якому вузлу надіслати запит пошуку, щоб дістатися до концентричних сфер будь-якого користувача. PXT визначається як:

Де: K - простір ключів PXT, N і R відповідають набору відповідно вузлів і набору ресурсів, а $id_n: N \rightarrow K, id_r: R \rightarrow K$, позначають функції, що уособлюють вузол та ресурс для їх ідентифікатора відповідно. Нарешті, $p: K \rightarrow \{N\}$ позначає функцію відображення, яка виводить набір користувачів, відповідальних за ресурс, заданий ідентифікатором ресурсу IPP. Ресурс складається з переліку посилань на вхідну точку цільового користувача

концентричних сфер. Відповідний ідентифікатор ресурсу IP_k представлений ідентифікатором користувача IPP або хешем атрибутів користувача, таких як його повне ім'я, день народження тощо. Надмірні копії пар (ключове значення) (IP_k , ресурс) можуть зберігатися на вузлах, ідентифікатор яких відповідає IP_k за попередньо визначеною кількістю перших бітів. KAD, Protectedbook реалізує оптимальну маршрутизацію, мінімізуючи відстань, виміряну в метриці XOR між IP_k для пошуку та ідентифікатором вузла сусідніх вузлів. Через обмеження конфіденційності щодо структури, на відміну від KAD, запити пошуку не завжди обробляються ітеративно: Protectedbook використовує рекурсивну обробку з анонімізацією стрибків як основну техніку для забезпечення непростежуваності запитів сторін у випадку, якщо список вхідних точок посилань запитується.

Довірена послуга ідентифікації СНІД - третя сторона, яка довіряє, генерує та надає для кожного

користувача V Protectedbook пару ідентифікаторів: ідентифікатор вузла IB_v , однозначно ідентифікуючи V як рівень P2P, та ID користувача IK_v однозначно ідентифікує V як користувача в рівні соціальної мережі. Обидва ідентифікатори обчислюються, починаючи з набору властивостей V_s , таких як повне ім'я, день народження, місце народження тощо. Пара сертифікатів посилає кожен ідентифікатор на відповідний відкритий ключ, наданий V . Відповідні приватні ключі відомі V і нікому більше. Оскільки система P2P дозволяє отримати IP-адресу вузла з ідентифікатором вузла, розділення ідентифікаторів вузлів та користувачів це потрібно, щоб запобігти зловмисним користувачам отримувати IP-адресу жертви. Тільки надійні контакти вузла здатні зв'язати ці два ідентифікатори, оскільки вони служать дзеркалами. СНІД є винятком, оскільки це єдина система Protectedbook, яка може зв'язати ідентифікатор користувача та ідентифікатор вузла користувачів, окрім їхніх власних довірених знайомих. У разі порушення, крім місця розташування користувачів, СНІД також може розкривати участь користувачів у Protectedbook. Однак СНІД не має приватних ключів будь-якого користувача, тому вона не може представити себе жертвою, а також отримати його набір довірених контактів або отримати доступ до вмісту даних, опублікованого з обмеженнями. Хоча СНІД є централізованою інфраструктурою і, як наслідок, може здатися, що порушиться парадигма децентралізованої архітектури Protectedbook, але це on-line сервіс, який використовується лише один раз кожним користувачем Protectedbook, і, на відміну від центрального сервера ОСМ, вона не загрожує конфіденційності користувачів, оскільки не бере участі в будь-якій операції зв'язку або управління даними серед користувачів. Погодження СНІД з постачальником послуг Інтернету обходило б концепцію відокремлення ідентифікаторів. Однак ця атака є успішною лише в тому випадку, якщо Інтернет-провайдер контролює доступ до всіх користувачів Protectedbook,

оскільки може бути розкрита лише конфіденційність користувачів, які використовують безпосередньо відстежувані Інтернет-з'єднання. Повний захист конфіденційності від зловмисного провайдера можливий лише за умови використання набагато складніших понять анонімізації, які заради ефективності не використовуються. Protectedbook справді не забезпечує анонімний зв'язок на рівні мережі.

Функціональні можливості

Основні функції Protectedbook можна розділити на три основні категорії:

- управління даними;
- управління ключами;
- управління зв'язком.

Управління даними

Функціональні можливості управління даними дозволяють користувачам генерувати, змінювати та видаляти конфіденційну інформацію в ОСМ. У Protectedbook об'єкти даних, які також називаються елементами даних, - це згенеровані користувачем фрагменти інформації, що описують інформацію користувача. Елемент даних D представлений у вигляді кортежу $(DId, тип, значення, версія)$, де тип описує характер даних, таких як особисті контактні дані, зв'язок, інтереси тощо; значення становить його вміст, і версія його -поточна версія. Ідентифікатор елемента даних ID_d однозначно ідентифікує D серед усіх об'єктів даних та дозволяє здійснювати основні операції зберігання, пошуку або видалення елемента. SV для розподіленого простору зберігання даних (РПЗД) визначено для кожного користувача на основі його дружніх стосунків. Дозвіл на зберігання вмісту на такому просторі походить із реальних життєвих відносин дружби V , а тому надається лише V . Розмір S_V є динамічним: при встановленні дружби кожен друг F_i з V резервує довільну кількість власного простору місцевого зберігання даних (МЗД) ПМЗД і для V . Сума МЗД кожного друга, виділена для V , формує РПЗД V .

Через розподілену природу РПЗД дані поділяються на n блоків, і для заданої кількості надмірності ці блоки кодується у $n + 1$ фрагментах, так що будь-які n фрагментів є достатніми для реконструкції вихідного об'єкта. Перш ніж розділити, операції шифрування вони можуть бути виконані на D , щоб гарантувати його конфіденційність та обмежити доступ до нього.

Управління ключами

Як було зазначено раніше, дані користувача можуть бути зашифровані на основі бажання власника. Основні функції управління дозволяють користувачам обмежувати доступ до своїх спільних конфіденційних даних. Protectedbook забезпечує конфіденційність даних завдяки традиційній криптографії з відкритим ключем та симетричній криптографії. Доступ до вмісту може бути обмежений декількома визначеними користувачами. Для того, щоб мінімізувати накладні витрати на зберігання даних в РПЗД, дані

шифруються лише одним ключем, а саме ключем шифрування даних (КШД). Цей КШД потрібно поширювати серед усіх користувачів, які мають право розшифровувати дані. Розподіл КШД вимагає шифрування його за допомогою ключа шифрування (КШ), який раніше розподіляється між членами під час встановлення дружби.

Користувачі не покладаються на будь-яку третю сторону для здійснення розподілу ключів; вони надсилають матеріали усім членам групи, якими вони керують. Друзі V доступу до S_V в межах політики контролю доступу (ПКД), визначеної V . В основному, користувачі в Protectedbook створюють групи контактів, визначаючи кілька атрибутів, таких як "Сім'я", "Колеги" тощо. пов'язати їх із кожним контактом. Дані, захищені під цими атрибутами, будуть доступні для всіх контактів, пов'язаних лише з відповідними атрибутами. У Protectedbook атрибути визначаються через знаки. Користувачі в Protectedbook знають, які знаки вони надали, яким контактам, але не можуть знати, скільки знаків вони отримали від даного контакту, а також опису пов'язаного атрибута. Наприклад, V може надати U значок "Відвідувач", не розкриваючи атрибут "Відвідувач" і не розкриваючи, хто з контактів V s також має цей знак U . З точки зору системи знак b відповідає набору КШД, використовуваних для шифрування даних, доступних для всіх контактів, наданих цим значком. Такий набір визначається як:

$D_b^n = \{h^i(s_b) : i \in \{1 \dots n\}\}$ позначає добре відому односторонню хеш-функцію $h()$, яка послідовно застосовується s_b . Ідея послідовного хешування паролів спочатку була запропонована в [79], а потім використовується для створення одноразових систем автентифікації паролів, таких як S / Key [72]. Protectedbook не виконує автентифікацію запитів користувачів і використовує кожен хеш як 1 . У рівнянні позначення двокрапка ($:$) означає "така, що"

КШД, а не разовий пароль. Коли V надає U знак, b , U отримує КШД посилання $h^i(s_b)$, яке не розкриває нічого про атрибут знака, а також про список друзів V s, які також отримали цей знак. Після прийому $h^i(s_b)U$ може отримати всі ключі $\{h^j(s_b) : j \in \{1 \dots n\}\}$ і отримати доступ до всіх даних, що зберігаються в SV , зашифрованих такими КШДs. Protectedbook не забезпечує зворотну таємницю: в контексті соціальної мережі фактично користувачі можуть дозволити новому члену групи отримати доступ до раніше розподілених даних для цієї групи. Коли V відкликає b від U , V рекламує $h^{i-1}(s_b)$ для всіх контактів, раніше наданих з b , один за одним, крім U . Майбутні дані, доступні раніше контактам, наданим з b , будуть зашифровані V за допомогою КШД $h^{i-1}(s_b)$. Раніше опубліковані дані, зашифровані за допомогою $h^j(s_b)$ (будучи $j \in \{1, \dots, n\}$), не будуть зашифровані знову, тому вони все ще будуть доступні U .

Оскільки визначення хеш-функції $h()$ для обчислень практично нездійснено, Protectedbook забезпечує передачу секретності, оскільки майбутня комунікація не буде доступною члену U , який залишає СМ. Взагалі кажучи, V де-не-його ПКД, вказавши набір правил знаків $r \in R_v$ та призначає основному S_r кожне правило. Коли контакт U надається набором значків $B_v^u E^u := \{h^i(S_r U_j): R_j^u V_j \in \{1, \dots, |R_v|\}, \in \{1, \dots, n\}\}$

від V , набір КШД, що відповідає правилам R_v^u , та відповідає U , надсилається йому. У таблиці 1 показаний приклад АКТ. При відкритті значка b від U , V рекламує новий набір КШД E^x кожному контакту X , що задовольняє одному або більше правилам U , також задовольняє при відкритті b від нього. З цього моменту V шифрує свої дані новими КШД.

Управління комунікаціями

Функціональні можливості управління комунікаціями дозволяють користувачам встановлювати непомітні зв'язки дружби та спілкуватися між собою, забезпечуючи при цьому конфіденційність та цілісність повідомлення. Спілкування між двома користувачами V та U може

відбуватися як синхронно, так і асинхронно. Кожен користувач зберігає такі повідомлення у своєму власному РПЗД та при необхідності ділиться ним з надійними контактами. У другому випадку V генерує повідомлення для U та зберігає його у своєму РПЗД S_v . Як тільки U шукає нові доступні дані V_s , він отримує повідомлення. Щоб відповісти, U виконує ті самі кроки: він зберігає відповідь у власному S_u , потім V отримує цю відповідь, запитуючи про нові V_s дані. Цілісність повідомлення гарантується використанням цифрового підпису, тоді як конфіденційність зв'язку досягається зашифруванням повідомлень із симетричним КШД, обчисленим (у разі синхронного зв'язку) або раніше спільним (у разі асинхронного) між відправником та одержувачем. Зв'язок перешкоджає багаторазовій маршрутизації повідомлень за ланцюжками друзів таким чином, що інформація про запитувача даних не може бути отримана. У разі синхронного зв'язку приховується IP-адреси комунікаційних сторін, а отже, і їх місце знаходження. У разі асинхронного зв'язку це також заважає приятелю V_s користувача F_i зберігати дані V_s виводити довірчі відносини між V та запитувачем даних U .

Таблиця 1

Приклад ПКД на основі встановлених операцій між контактами, наданими користувацькими знаками

Правило r	Список S_r	Поточний компонент i
B_{Prof}	S_{r1}	n-3
B_{Family}	S_{r2}	n-2
B_{Team}	S_{r3}	n-1
$B_{Prof} \vee B_{Family}$	S_{r4}	n-3

Основні протоколи.

Основні функції Protectedbook реалізують три основні групи операцій:

- створення, коли особа користувача створюється за допомогою сертифікатів, виданих СНІД;
- налаштування та обслуговування ОСМ, коли вузол користувача бере участь у розподіленій архітектурі ОСМ Protectedbook ;
- управління комунікаціями та відносинами СМ, де користувач отримує переваги від ОСМ.

Кожна операція вимагає виконання серії захищених протоколів, спрямованих на отримання облікових даних, створення та збереження послідовності накладок Protectedbook та створення безпечних каналів зв'язку. У всьому описі цих протоколів P_{kx} позначає повідомлення M , яке підписується приватним ключем користувача X_s позначає повідомлення $K_u E_{k_u}\{P\}$, яке шифрується з відкритим ключем користувача K_u^+ . Ідентифікатор користувача d в Protectedbook асоціюється з клавішами: в той час, як $N_x = N_x^-, N_x^+$ позначає клавішу для ідентифікатора вузла, $U_x = U_x^-, U_x^+$ позначає ключ ключа для ідентифікатора користувача вузла X . Для забезпечення цілісності та конфіденційності всі повідомлення при кожному переході підписуються приватним ключем

ідентифікатора вузла відправника (X) і шифруються відкритим ключем ідентифікатора вузла (Y). Для наочності термін $E_{n_u}\{P\}S_{n_x}$, позначається як P .

Проблема створення

Протокол створення особистих даних відповідає за надання новому користувачу V даних, необхідних для участі в Protectedbook. Щоб приєднатися, новий вузол V повинен запросити зареєстрованого користувача A , з яким повинен бути знайомим у реальному житті. Спочатку A надсилає (рис. 1) поза діапазоном V запит на запрошення 33 , підписаний за допомогою приватного ключа K_a^- . Він містить впорядковані $Name_A$ властивості, які є клавішами сеансу і використовуються для шифрування корисного навантаження. Такі ключі рекламуються на початку повідомлення, зашифрованого відкритим ключем id цільового вузла. Кожен приватний ключ, асоційований з ідентифікатором вузла або користувача, генерується власником ідентифікатора IP_r і невідомий нікому іншому. Визначає користувача A , сертифікат $Cert(h(Name_A), K_A^+)$, який надається СНІД, та ключ $K^+ +$ СНІД. Повідомлення 33 - це єдине повідомлення, яке надсилається чітким текстом, оскільки загальнодоступні ключі V_s -вузлів та

ідентифікаторів користувача ще не сформовані та не сертифіковані, і все одно надсилаються поза діапазоном. Після отримання повідомлення 33, V генерує дві клавіші IB_v – і IK_v згодом він запускає інший позадіапазонний процес: створює свій власний кордон NameV разом із підтвердженням права власності на NameV та передає обидва разом із відкритим ключем K_v^+ у повідомленні П до СНІД.

Потім СНІД генерує ідентифікатор користувача Vs і ідентифікатор ID IK_v вузла IB_v , застосовуючи дві різні ключові хеш-функції $h_{mk1}(\cdot)h_{mk2}(\cdot)$ та на $Name_v$. Крім того, він генерує та підписує реєстраційні ключі VIPK шляхом хешування та підпису всіх перестановок елементів у $Name_v$. СНІД реагує на повідомлення із записом П поза діапазоном, з генерованими ідентифікаторами та клавішами PXT разом із відповідними сертифікатами: Cert (IK_v, K_v^+) , Cert (IB_v, K_{nv}^+) , Cert (IP_{kv}, K_v^+) . На прийом в П, V приєднується до Protectedbook, а отже, P2P може почати створювати власні концентричні сфери. Згодом усі повідомлення, надіслані та отримані V у накладенні P2P, підписуються за допомогою N- відправника та шифруються за допомогою N + приймача.

Налаштування та обслуговування служб соціальних мереж

Після створення облікового запису користувач V може налаштувати свої концентричні сфери та отримати доступ до інших користувачів. Протокол

налаштування Концентричних сфер дозволяє створити Концентричні сфери. Під час першого виконання цього протоколу ініціюючий вузол V надсилає запрошення вузлу A, запит на створення шляху Ш. Це повідомлення містить маркер реєстрації MP, структуру даних СД щодо кількості переходів на створених шляхах, коефіцієнт прольоту КП для дерева через Концентричні сфери та підписане випадкове число ВЧ. Маркер реєстрації включає ключі PXT, які потрібно зареєструвати, для того, щоб Vs можна було знайти в ОСМ, сертифікат ідентифікатора користувача Vs, автентифікацію IK_v та весь час ExpireTime реєстрації IPkv. СД являє собою рекурсивно підписану структуру даних, що генерується V включаючи набір зменшених значень часу на основі бажаної довжини стрибка від ядра до однієї з вхідних точок. Кожен вузол при отриманні Ш видаляє один або більше підписів СД, таким чином потенційно спричиняючи постійне зменшення значення TTL при кожному переході. Значення в проміжку вказує дзеркалам і призмам, скільки наступних стрибкових вузлів слід вибрати для того, щоб гарантувати бажану доступність даних, які публікуються. Після отримання повідомлення Ш кожне дзеркало перевіряє цілісність маркера реєстрації, перевіряючи його підпис ключем, що міститься в сертифікаті СНІД. Потім він видаляє один або кілька підписів з СД і вибирає наступний перехід В зі свого списку друзів для шляху і передає оновлений Ш. У випадку, якщо в ядрі

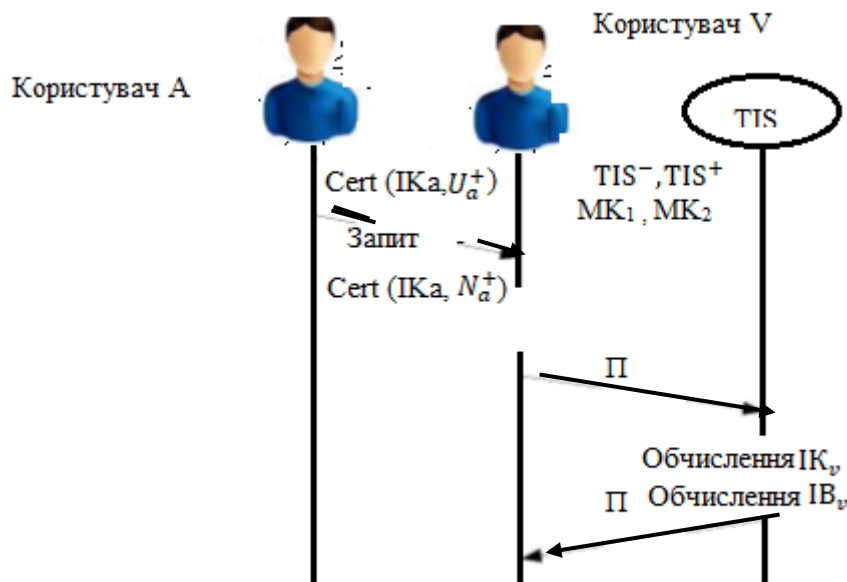


Рис. 1 Створення облікового запису для користувача V.

встановлено коефіцієнт, що більший за 1, він вибирає подальші вузли для пересилання оновленого Ш для досягнення потрібного розгалуження. Цей процес є рекурсивним: V видаляє підпис з СД і пересилає оновлений Ш на номер КП вибраних довірених контактів, і залучення більшої кількості підписів дозволяє ланцюгам Концентричні сфери мати різну

довжину. Однак значення СД ніколи не можна збільшувати для захисту від DOS-атак і так далі, поки на одному вузлі D не буде видалений останній підпис з СД. D стає, як наслідок, точкою входу для Концентричних сфер з V. Для цього він спрямовує один запит на реєстрацію для кожного ключа в IPk через систему P2P.

Оскільки посилання D_s як точки входу θ_{vs} буде інформацією у загальнодоступному доступі, D може ідентифікувати вузол K , чий ідентифікатор вузла є найбільш близьким до реєстраційного ключа: D вибирає із своїх сусідів вузол N_1 з ідентифікатором вузла, найближчий до реєстраційного ключа, вимірюється за допомогою показника XOR для наступного переходу. N_1 надає D посилання до (один або більше) найближчого вузла N_2 тощо, поки не буде досягнуто належного близького вузла K . Такий вузол K , який називається доком, відповідає за збереження асоціації (ІРк, EPTentry) у системі P2P. Потім D надсилає K реєстрове повідомлення, що містить $EPTentrus_{Nr}$ та випадкове число Rnd_{Suv} , представляє собою авторизацію, і D може претендувати на роль дійсної точки входу для V .

K додає в свою таблицю вхідних даних (EPT) і містить маркер реєстрації MP, сертифікат ідентифікатора вузла D_s , -адресу IP та час відмітки. Потім K оновлює свій EPT і відповідає на повідомлення P , яке пересилається назад до V за зворотним шляхом. Крім того, схожий на KAD, у Protectedbook K зберігає всі зареєстровані значення в k вузлах навколо цільового вузла запиту на реєстрацію RespArea доків для реєстраційного ключа.

Концентричні сфери відіграють основну роль у гарантуванні конфіденційності зв'язку до V та наявних даних V для всіх інших користувачів, без необхідності V бути в мережі. З цієї причини структура θ_v завжди автоматично має бути дійсною, використовуючи протокол оновлення Концентричних сфер, навіть у випадку появи та виходу вузла, останнє, можливо, обумовлено вибором (користувач виходить із Protectedbook) або збій (Інтернет-проблема з підключенням). Враховуючи, що вузол B залишає Protectedbook, він надсилає повідомлення про вихід вузла сусідам всередину (A) та назовні (C , ...) на шляху через Концентричні сфери. Повідомлення містить ідентифікатор користувача ID_d Концентричних сфер і передається до всіх точок входу, обрізаючи таким чином піддерево, укорінене в B . Точки входу відправляють незареєстроване повідомлення для всіх доків K , раніше адресованих на етапі реєстрації. А одночасно надсилає повідомлення $Ш$ і надсилає його новий вибраний контакт $\acute{e}$, не вимагаючи, щоб V знаходився в мережі. З цього моменту процес оновлення аналогічний створенню шляху.

Комунікація та управління відносинами у соціальних мережах

Концентричні сфери дозволяють користувачам отримувати доступ до засобів ОСМ. Далі ми детально розглянемо протоколи, відповідальні за пошук цільових даних для пошуку друзів / пошуку даних, знайомства з установою дружби користувачів та збереження даних у сховищі даних вузлів друзів. Протокол пошуку дозволяє отримати список вхідних точок

користувача V Концентричних сфер θ_v . Користувач, що запитує U , ініціює рекурсивний пошук у системі P2P шляхом обчислення ІРкв. Як тільки повідомлення про пошук epLook досягає одного з доків V_s , док відповідає на повідомлення epRep, що містить запис EPT, відповідний ІРкв :

$$\text{epRep} = \{\text{EPTentry}(\text{ІРкв}), \text{Cert}(\text{ІВ}_k, K_k^+)\}_{S_{Xk}}$$

Записи EPT кешуються під час прийому, щоб уникнути декількох зайвих запитів.

Протокол пошуку даних

Після виявлення вхідних точок Концентричних сфер користувача V протокол пошуку даних дає змогу користувачеві U отримувати профільні дані $Prof_v$ у зашифрованому вигляді. Перш за все, U делегує один із найпотаємніших вузлів оболонки Z , щоб надіслати повідомлення про запит $Зп$ для даних V_s до D , однієї з вхідних точок Концентричних сфер V_s . Цей запит рекурсивно передається через Концентричні сфери до A , одного з дзеркал V , що зберігає $Prof_v$. Потім надсилає відповідь на відповідне повідомлення $Пв$, що містить перелік зашифрованих підписаних елементів даних V . Це повідомлення доходить до U , слідуючи тим же шляхом у зворотному порядку. Відповідно до своїх привілеїв, U згодом може розшифрувати та отримати доступ до певних частин цих даних.

Ключі пошуку в шарах РХТ для того самого цільового користувача можна обчислити, починаючи з різних властивостей, таких як: ім'я, день народження тощо, і подаватися з різних доків. Заснування дружби у Protectedbook, довірчі відносини не розглядаються як симетричні. Замість того, щоб просити дружбу з цільовим користувачем V_s , користувач Protectedbook U рекламує свою дружбу до V . Ця реклама проходить у три етапи:

- перш за все, U шукає всі загальнодоступні дані користувачів, що володіють набором властивостей відповідні кількка ІРк;

- по-друге, серед усіх отриманих проєктів U вибирає цільового користувача V , який рекламується;

- Нарешті, повідомлення про дружбу D надсилається до V через Концентричні сфери V . Таке повідомлення включає $ІВ_v$ та марку друзів, що складаються із засвідченої ідентичності U , їх вузлів та ідентифікаторів користувача, короткого повідомлення про дружбу та списку симетричних ключів, які використовуються для розшифрування захищених даних Us .

Оголошення про дружбу можуть бути неодноразово делеговані довіреному контакту Z у рекламодавця (або його друга), через повідомлення frDel, що містить D разом зі списком вхідних даних Концентричні сфери V_s . У випадку, якщо V не є іншим, його дзеркало A буде виконувати роль поштової скриньки і зберігатиме рекламу про дружбу, поки V знову не з'явиться в мережі. Якщо V відповість U своєю рекламою дружби, стосунки довіри стають симетричними: U може стати новим дзеркалом V і навпаки.

Дані D користувача Us збирається в маркер разом із відповідними DId. Далі жетони підписуються з K_u^+ та шифруються за допомогою КШД. Такий зашифрований маркер ЗМ з підписами даних додатково зберігається у новому дзеркалі Us повідомлення DataStore разом із DId та ідентифікатором КШД IPP IPP DEKId, які використовуються V як літери під час відповіді на запит про дані даних на адресу U. Отримавши дані Store, V індексує ЗМ з DId, Dversion, DEKId, в РПЗД U, перш ніж відповісти на повідомлення storeConf. Після прийому підтвердження U може відслідковувати, на якому дзеркалі зберігається (розділений) (зашифрований) елемент.

Висновки.

У цій статті ми вказали на централізовану архітектуру існуючих он-лайн соціальних мереж як на ключове питання конфіденційності та розглянули рішення, яке спрямоване на те, щоб уникнути будь-якого централізованого контролю. Таке рішення, а саме Protectedbook - це он-лайн соціальна мережа, що базується на одноранговій архітектурі. Завдяки повному розповсюдженню характеру архітектура однорангових даних уникає централізованого контролю з боку будь-якого потенційно шкідливого постачальника послуг. Щоб впоратися з відсутністю довіри та відсутністю співпраці, яка є в централізованих мережах, використовуються однорангові системи для забезпечення базової конфіденційності серед користувачів соціальної мережі, Protectedbook використовує довірчі відносини, які є частиною самого додатка соціальної мережі. Конфіденційність в операціях з доступу до базових даних та обміну даними в соціальній мережі досягається завдяки техніці анонімізації, заснованій на багатосторонній маршрутизації між вузлами, які довіряють один одному в соціальній мережі. Співпраця між одноранговими вузлами налагоджується на основі довірчих відносин, які впливають із самої соціальної мережі.

Література

1. Ахрамович В.М. Проблеми відтворення атак на дані приватної особи та методи захисту в Інтернет-соціальних мережах. /- Sciences of Europe, Praha, Czech Republic.2019/ VOL 4, No 44. P. 31-38. www.european-science.org
2. Ахрамович В.М., Чегренець В.М. Постановка проблем захисту від загроз особистіям інформації приватній особі в інтернет-соціальних мережах через дослідження їх функцій. Тези доповідей VIII міжнародної науково-практичної конференції 1 частина: «Осінні наукові читання», м.Київ:—К.: Центр наукових публікацій, 2019. —с. 51-58. www.cnp.org.ua
3. Akhramovych V. M., Chegrenec V.M. The problem of the protection methods differences of the centralized and decentralized distributed social networks./ Perspectives of world science and education. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. CPN Publishing Group.

Osaka, Japan. 2019. Pp. . 217-225. URL: <http://sci-conf.com.ua>.

4. Ахрамович В.М., Чегренець В.М. Дослідження характеристик особистої інформації користувача в інтернет-соціальних мережах. Тези доповідей Discovery science. Proceedings of articles the international scientific conference Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 6 December 2019 Pp 101-109. <http://sci-conf.com.ua>.

5. Ахрамович В.М., Чегренець В.М. , Зідан А. М. Деякі аспекти безпеки особистих даних в соціальних мережах. Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the 1st International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Kharkiv, Ukraine. 2019. Pp. 175-178. URL: <http://sci-conf.com.ua>.

6. A. Satsiou and L. Tassioulas. Reputation-based resource allocation in p2p systems of rational users. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 21(4):466 -479, April 2010.

7. David Chaum. Blind signature system. In D. Chaum, editor, Advances in Cryptology, CRYPTO '83, page 153, New York, 1984. Plenum Press.

8. David Chaum. Blind signatures for untraceable payments. In Ronald Linn Rivest, A. Sherman, and D. Chaum, editors, Advances in Cryptology, CRYPTO '82, pages 199-203. Plenum Press, 1983.

9. Leucio Antonio Cuttillo, Re-k Molva, and Thorsten Strufe. Leveraging social links for trust and privacy in networks. In INetSec 2009, Open Research Problems in Network Security, Zurich, Switzerland, April 2009.

10. Leucio Antonio Cuttillo, Re-k Molva, and Thorsten Strufe. Privacy preserving social networking through decentralization. In WONS 2009, 6th International Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services, Snowbird, Utah, USA, February 2009.

11. Levente Buttyán and Jean-Pierre Hubaux. Enforcing service availability in mobile ad-hoc wans. In Proceedings of the 1st ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, MobiHoc '00, pages 87-96, Boston, Massachusetts, 2000. IEEE Press.

12. Mira Belenkiy, Melissa Chase, C. Chris Erway, John Jannotti, Alptekin Küpçü, Anna Lysyanskaya, and Eric Rachlin. Making p2p accountable without losing privacy. In Proceedings of the 2007 ACM workshop on Privacy in electronic society, WPES '07, pages 31-40, Alexandria, Virginia, USA, 2007. ACM.

13. P. Dewan and P. Dasgupta. P2p reputation management using distributed identities and decentralized recommendation chains. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 22(7):1000 -1013, July 2010.

14. P. Michiardi and R. Molva. CORE: a collaborative reputation mechanism to enforce node cooperation in mobile ad hoc networks. In Proceedings of IFIP Communication and Multimedia Security Conference, CMS 2002, Portoroz, SLOVENIA, 2002.

15. S. Buchegger and J-Y. Le Boudec. Nodes bearing grudges: Towards routing security, fairness and robustness in mobile ad hoc networks. In Proceedings of the 10th Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-based Processing, PDP 2002, Canary Islands, Spain, 2002.

16. V. Vishnumurthy, S. Chandrakumar, and E. Sirer. KARMA: A Secure Economic Framework for Peer-to-Peer Resource Sharing. In Workshop on the Economics of Peer-to-Peer Systems, P2PEcon, Berkeley, CA, USA, 2003.

Dragomirov S. G.

*doctor of engineering, professor,
Vladimir State University, Russia*

Eydel P. Ig.

engineer,

L.L.C. "STC "AutoSphere"

at Vladimir State University", Russia

Dragomirov M.S.

candidate of technical Sciences

L.L.C. "STC "AutoSphere"

at Vladimir State University", Russia

Gamayunov A.Y.

Engineer,

LLC "STC "AutoSphere"

at Vladimir State University", Russia

PROMISING APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM HIGH-EFFICIENCY COOLANT FILTRATION IN ENGINES VEHICLES

Драгомиров Сергей Григорьевич

*доктор технических наук, профессор кафедры двигателей
Владимирского государственного университета
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Россия*

Эйдель Павел Игоревич

инженер

ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия

Драгомиров Михаил Сергеевич

кандидат технических наук,

ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия

Гамаюнов Антон Юрьевич

инженер

ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В АВТОТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Summary. The article analyzes the critical and still unsolved problem of contamination of the coolant and engine cooling systems in General. The assessment of existing filtration devices is given, and their principal disadvantages are given. A new concept of modified hydrocyclone coolant cleaning is proposed. Its advantages, features, results of laboratory studies and operational tests are given. The conclusion is made about the prospects of this approach to solving the problem of high-efficiency filtration of engine coolant.

Аннотация*. В статье анализируется критически острая и до настоящего времени не решенная проблема загрязнения охлаждающей жидкости и систем охлаждения двигателей в целом. Дана оценка существующих устройств фильтрации, приведены их принципиальные недостатки. Предложена новая концепция модифицированной гидроциклонной очистки охлаждающей жидкости. Даны ее преимущества, особенности, результаты лабораторных исследований и эксплуатационных испытаний. Сделан вывод о перспективности данного подхода к решению проблемы высокоэффективной фильтрации охлаждающей жидкости двигателей.

Keywords: *coolant, pollution, motor vehicles, coolant filtration, hydrocyclone filters, separation, hydraulic resistance.*

* Данное исследование выполнено в рамках реализации инновационного Проекта № 45450 "Разработка конструкции инновационного высокоэффективного фильтра для систем охлаждения автотранспортных двигателей и формирование научно-технического задела для развития его промышленного производства" Программы СТАРТ.

Ключевые слова: охлаждающая жидкость, загрязнения, автотранспортные двигатели, фильтрация, гидроциклонные фильтры, сепарация, гидравлическое сопротивление.

Постановка проблемы

В области систем жидкостного охлаждения автотранспортных поршневых двигателей критически острой проблемой является загрязнение охлаждающей жидкости (ОЖ) и системы в целом. Эта проблема существует с момента появления систем жидкостного охлаждения, но, к сожалению, она до сих пор эффективно не решена в современной автоиндустрии, т.к. применяемые до последнего времени технологии и устройства очистки ОЖ в процессе эксплуатации двигателей не соответствуют современным постоянно возрастающим требованиям.

Структурные и конструктивные усложнения системы жидкостного охлаждения (СЖО) современных автотранспортных поршневых двигателей при одновременном повышении требований к ее надежности и теплоотводящей функции в процессе непрерывного форсирования двигателей, предъявляют повышенные требования к чистоте ОЖ и системы охлаждения. Неизбежность загрязнения СЖО двигателей (особенно тяжело нагруженных) и отсутствие на сегодняшний день эффективных научно-технических решений в этой области обуславливают необходимость новых подходов и инновационных решений для фильтрации ОЖ автотранспортных двигателей.

Статистические данные по эксплуатации автотранспортной техники показывают, что от 25 до 40 % неисправностей и отказов двигателей приходится на СЖО [1,2]. Чаще всего неполадки в системе охлаждения появляются уже после 150...200 тыс. км пробега автомобиля. У тракторных двигателей и двигателей тяжелых грузовиков (а также автобусов), работающих обычно с 70...85% нагрузкой, из-за более тяжелых условий работы неполадки могут возникнуть уже после 500...700 часов эксплуатации.

Обобщенная причина появления (генерации) загрязнений в СЖО – физико-химическое взаимодействие ОЖ с различными разнородными элементами и материалами системы охлаждения. Под физико-химическим взаимодействием следует понимать кавитационную эрозию, химическую коррозию, образование накали и различных отложений, разложение присадок, разрушение элементов системы и т.п.

Загрязнение ОЖ и системы охлаждения в целом неизбежно в силу ряда производственно-технологических причин (формовочный песок,

стружка, частицы абразива, окалина в процессе производства), в результате кавитационной эрозии и химической коррозии металлических элементов системы охлаждения, а также наличия продуктов разложения антифризов и образования различных отложений в системе, вследствие не достаточно высокой культуры эксплуатации, в результате чего система загрязняется песком, частицами герметиков, фрагментами прокладок, продуктами для предотвращения течей и др.

Зарубежные исследования систем жидкостного охлаждения автомобильных двигателей показали [1], что только около 30% их количества имеют относительно чистую СЖО, остальные характеризуются средней и высокой загрязненностью. В России подобные исследования до сих пор не проводились, но можно полагать, что ситуация с загрязнениями системы охлаждения отечественных автотранспортных двигателей еще более тяжелая.

Проведенный нами анализ и обобщение опыта эксплуатации и выполненных исследований систем жидкостного охлаждения поршневых автомобильных и тракторных двигателей позволяет сделать **однозначный вывод: практически все неисправности и отказы системы охлаждения и ее элементов вызваны исключительно частицами загрязнений, циркулирующими с ОЖ в системе**, которые затем превращаются в отложения на стенках теплопередающих поверхностей и в проточных каналах системы.

Анализ последних исследований и публикаций

Для устранения загрязнений ОЖ и системы охлаждения в целом, за рубежом более 70 лет устанавливаются специальные фильтры ОЖ (ФОЖ) на некоторые модели двигателей, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях (магистральные тягачи, тяжелые грузовики, карьерные самосвалы, строительные дорожные машины, промышленные и сельскохозяйственные тракторы и т.п.). Производителями таких фильтров являются фирмы *Fleetguard, Donaldson, Baldwin, Hengst, WIX* и др. [3-5].

Все выпускаемые на сегодняшний день зарубежные ФОЖ, по сути, являются несколько модифицированными аналогами традиционных масляных фильтров (рис.1). В России подобные фильтры производятся по зарубежным лицензиям, собственных конструкций до последнего времени не было.

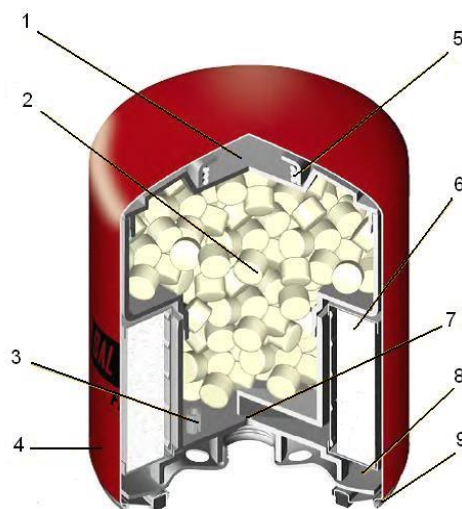


Рис. 1. Конструкция типичного фильтра охлаждающей жидкости фирмы Baldwin [3]:
 1 – пластиковая камера для хранения капсул; 2 – капсулы (гранулы) из специальной присадки к ОЖ;
 3 – дросселирующий канал для регулирования подачи присадки; 4 – металлический корпус с
 эпоксидным покрытием; 5 – пружина; 6 – синтетический фильтрующий элемент;
 7 – жиклер (у разных производителей – $\varnothing 3 \dots 4$ мм), ограничивающий поток ОЖ через фильтр;
 8 – стальное основание с резьбовым отверстием по центру; 9 – двойной закаточный шов,
 герметично соединяющий основание 8 с корпусом 4

Такие ФОЖ устанавливаются на специальное посадочное место (аналогично масляному фильтру) в блоке двигателя. В зоне этого посадочного места в блоке двигателя выполнен канал для подвода и отвода ОЖ. Следует отметить, что этот канал является байпасным, т.е. через него проходит только около 10% (по данным производителей) всего теплоносителя, подаваемого насосом. Такие ФОЖ по мере загрязнения в процессе эксплуатации увеличивают свое сопротивление при одновременном ухудшении улавливающей способности.

Эти фильтры обеспечивают улавливание частиц загрязнений более $30 \dots 50$ мкм (в зависимости от фирмы-производителя) с вероятностью 98%. Межсменный срок подобных служб фильтров составляет 1 год (или $150 \dots 200$ тыс. км пробега автомобиля, или 4000 часов его работы).

В качестве вещества специальных присадок, находящихся в виде гранул в корпусе фильтра, различные фирмы используют разные составы. В процессе работы фильтра эти гранулы медленно растворяются в антифризе, восстанавливая и улучшая его физико-химические свойства.

Как правило, это соли азотистой и борной кислот или соли фосфорной, азотистой и молибденой кислот. Каждая из фирм-производителей использует свой состав присадок и по своему их обозначает [3-5] – BTE, BTE-Plus, DCA-2, DCA-4, SCA и др. Использование того или иного типа присадок обусловлено требованиями производителей автомобильной и тракторной техники. Например, фирмы Cummins рекомендует использовать DCA-4, а Caterpillar и Detroit Diesel рекомендуют SCA.

Следует отметить, что часто подобные ФОЖ выпускаются без химических присадок внутри фильтра.

По нашим данным (эксперименты и компьютерное моделирование) через подобные ФОЖ пропускается менее 1% от всего основного потока ОЖ, что объясняется особенностями конструкции фильтров. Такая крайне малая пропускная способность этих фильтров является причиной их низкой эффективности. Можно уверенно полагать, что подобные фильтры не столько выполняют функцию фильтрации, сколько служат в качестве носителей описанных присадок для улучшения физико-химических свойств антифризов. Также эти фильтры принципиально не могут быть полнопоточными, т.к. при их полном засорении прекратится циркуляция антифриза. Такие фильтры не могут устанавливаться на любые двигателя, т.к. в конструкции двигателя должно быть предусмотрено соответствующее посадочное место под фильтр и подводящий/отводящий канал для ОЖ.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Кардинальным решением проблемы фильтрации ОЖ и поддержания в чистоте СЖО может быть установка высокоэффективного, надежного, простого и недорогого фильтра охлаждающей жидкости. До последнего времени такой фильтр в автомобильной технике не существовал.

Для обеспечения новых, инновационных подходов к проблеме фильтрации ОЖ в условиях эксплуатации, необходимо рассмотреть в целом возможности установки фильтров в различных

точках системы охлаждения современного автотранспортного средства.

В качестве примера (рис. 2) приведена упрощенная схема системы охлаждения двигателя

современного автотранспортного средства, включающей предпусковой подогреватель (типа Webasto, Eberspacher и др.).

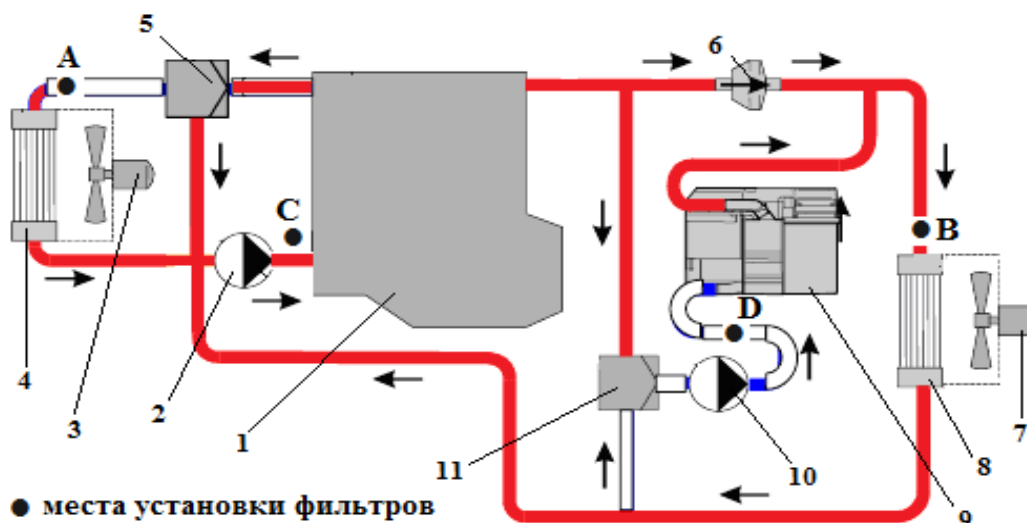


Рис. 2. Схема типичной системы охлаждения современного автотранспортного двигателя с установленным предпусковым подогревателем: 1 – двигатель; 2 – жидкостный насос СЖО двигателя; 3 – вентилятор обдува основного радиатора; 4 – основной радиатор двигателя; 5 – термостат СЖО двигателя; 6 – обратный клапан; 7 – вентилятор обдува радиатора отопителя салона; 8 – радиатор отопителя салона; 9 – предпусковой подогреватель; 10 – жидкостный насос предпускового подогревателя; 11 – термостат предпускового подогревателя

При этом возможности установки фильтра (даже без учета плотности компоновки моторного отсека) довольно ограничены. Принципиально его целесообразно устанавливать в следующих точках (местах):

- А – перед основным радиатором двигателя (для защиты радиатора от загрязнений);
- В – перед радиатором отопителя салона;
- С – после жидкостного насоса системы охлаждения (в том случае, если насос не встроен в блок двигателя, а выполнен в виде отдельного агрегата);
- D – после жидкостного насоса предпускового подогревателя (насос, как и подогреватель, выполняется в виде отдельного агрегата).

Установка фильтров на входе в жидкостные насосы невозможна, т.к. в этом случае существенно изменятся характеристики насоса и заметно упадет его производительность. Это недопустимо.

Другие радиаторы, входящие в СЖО – охлаждения моторного и трансмиссионного масла, надувочного воздуха, рециркулируемых отработавших газов и т.п. – не несут критически важных функций и их защита от загрязнений может условно считаться второстепенной задачей.

Следует отметить, что предпусковые подогреватели включают в себя (кроме насоса и собственно подогревателя) несколько переключающих электромагнитных клапанов,

которые очень чувствительны к загрязнениям, особенно к металлическим частицам в ОЖ. Поэтому эти подогреватели целесообразно защищать с помощью фильтров.

На кафедре «Тепловые двигатели и энергетические установки» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г.Столетовых в течении последних 5 лет были проведены НИОКР по созданию высокоэффективных инновационных устройств фильтрации ОЖ. Часть разработок защищена патентами на изобретения (патенты РФ № 2 552 547, 2 625 891), готовятся другие заявки для патентования.

Цель статьи

Целью статьи является изложение результатов разработки, лабораторных исследований и эксплуатационных испытаний инновационного высокоэффективного фильтра-сепаратора, созданного на основе модифицированного гидроциклонного принципа действия.

Изложение основного материала

На основе информационного поиска и анализа принципов действия и конструкций устройств фильтрации жидкости [6,7], наиболее перспективным направлением разработки был признан способ очистки жидкостей с использованием центробежных сил для удаления загрязнений из потока жидкости (принцип гидроциклонной очистки).

Гидроциклонные фильтры-сепараторы (ГФС) обладают целым рядом принципиальных достоинств: высокой производительностью и непрерывностью работы; предельно простой конструкцией, не содержащей подвижных элементов; отсутствием собственно фильтрующего элемента (тканевого, картонного, синтетического и т.п.) как такового; низкой стоимостью; высокой эффективностью; практически неограниченным сроком службы; повышенной надежностью даже при тяжелых условиях эксплуатации (высокие давления и температуры потоков, наличие агрессивных сред и т.п.), легкостью установки фильтра на автотранспортном средстве (как в производстве, так и в эксплуатации).

Естественно, фильтры на основе использования центробежных сил не позволяют осуществлять тонкую очистку жидкости (несколько мкм), но для условий современных СЖО автомобильных двигателей такая фильтрация и не требуется. Наши оценки показывают, что необходимая и достаточная номинальная тонкость

фильтрации ОЖ автотранспортных двигателей составляет около 200 мкм.

В ходе поисковых работ, были созданы и исследованы в лабораторных и реальных эксплуатационных условиях макетный и опытный образцы оригинального гидроциклонного фильтра охлаждающей жидкости, защищенного патентом РФ на изобретение [8].

В конструкции этого фильтра (рис. 3) удалось реализовать модифицированный гидроциклонный способ очистки жидкости при достижении компактности устройства и обеспечении возможности многократного его использования при разборной конструкции, позволяющей производить его вскрытие при демонтаже с транспортного средства для удаления загрязнений.

Данное техническое решение обладает всеми вышеуказанными принципиальными конструктивными и технологическими достоинствами гидроциклонных устройств при существенном сокращении габаритов конструкции по сравнению с классическим гидроциклоном.

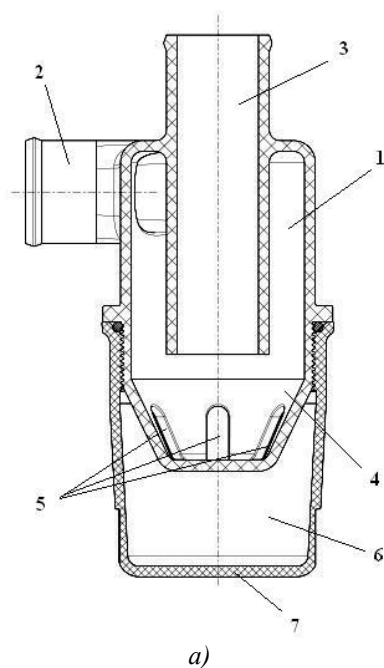


Рис.3. Схема гидроциклонного фильтра-сепаратора (а) для очистки ОЖ (патент РФ № 2 625 891) и внешний вид (б) фильтра, выпускаемого ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ»: 1 – вихревая рабочая камера; 2 и 3 – входной (тангенциальный) и выходной (осевой) патрубки; 4 – конусный улавливающий элемент; 5 – улавливающие отверстия; 6 – полость грязесборника; 7 – корпус грязесборника

ГФС может устанавливаться в основную магистраль системы охлаждения (а не в байпасную, как зарубежные аналоги), что обеспечивает его высокую эффективность.

Кроме этого, для ГФС не требуется специального посадочного места в блоке двигателя – он может устанавливаться в разрыве резиновых патрубков системы охлаждения, желательно – перед основным радиатором двигателя.

Предварительные исследования работы макетного образца гидроциклонного фильтра позволили достичь неплохих результатов.

Гидравлическое сопротивление (перепад давления между входом и выходом) серийного образца ГФС представлено на рис. 4. Как показывают представленные данные, фильтр имеет допустимое гидравлическое сопротивление -около 7 кПа при расходе 80 л/мин.

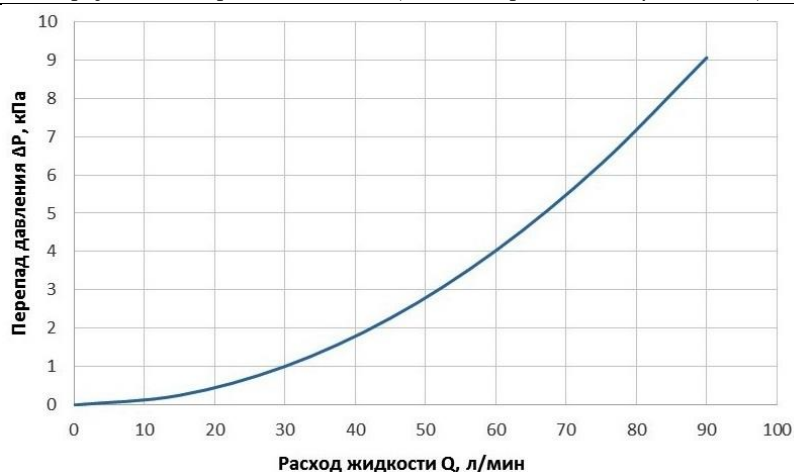


Рис.4. Гидравлическое сопротивление (перепад давления между входом и выходом фильтра) серийного образца ГФС в зависимости от расхода жидкости

Улавливающая способность ГФС характеризуется коэффициентом улавливания (фильтрации) β :

$$\beta = m_2/m_1, \%$$

где m_1 и m_2 – масса поданных на вход фильтра твердых частиц и масса уловленных в грязесборник частиц, соответственно.

Специально проведенные эксперименты с калиброванными твердыми частицами (кварцевый песок), дали следующие результаты (рис.5).

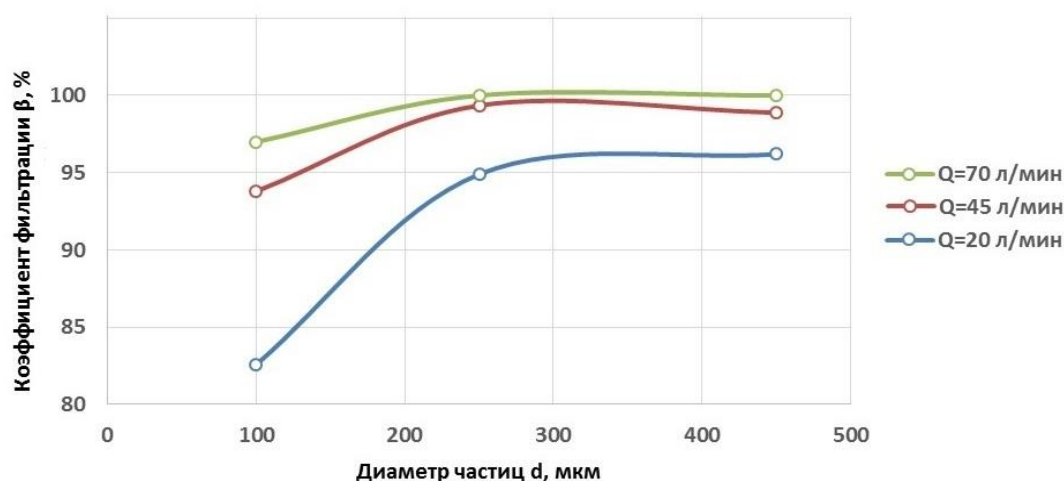


Рис.5. Улавливающая способность серийного образца ГФС в зависимости от расхода потока жидкости и размера твердых частиц

Данные графика на рис.5 показывают, что с повышением расхода жидкости (скорости потока) и с увеличением размера твердых частиц, улавливающая способность β ГФС растет. Это абсолютно закономерная зависимость для гидроциклонных устройств, улавливающая способность которых во многом определяется центробежными силами, действующими на твердую частицу определенной массы. Чем больше окружная скорость твердых частиц и масса (размер) каждой из них, тем выше улавливающая способность гидроциклона.

Следует отметить, что созданный ГФС имеет довольно высокую улавливающую способность, составляющую более 80% даже для частиц

размером около 100 мкм при расходах потока около 20 л/мин..

Опытные образцы ГФС прошли всесторонние испытания в реальных условиях эксплуатации на городских автобусах MAN, Mercedes, Setra, Волгабас. Установка ГФС на конкретном автобусе показана на рис. 6а.

В процессе эксплуатационных испытания за время пробега 30...35 тыс. км фильтры улавливали от 50 до 115 г твердых загрязнений (в сухом виде). Вид типичных загрязнений в грязесборнике ГФС представлен на рис. 6б.



а)



б)

Рис. 6. Установка серийного образца ГФС на городском автобусе Волгабас (а) и внешний вид загрязнений в грязесборнике фильтра (б)

Успешные испытания созданного гидроциклонного фильтра-сепаратора дают основание полагать, что он может найти эффективное применение в системах жидкостного охлаждения поршневых двигателей различного назначения - автомобилей, автобусов, тракторов, строительно-дорожных и лесотехнических машин, армейской техники и др.

Данные результаты разработок и исследований являются началом большой работы по становлению нового перспективного направления в области совершенствования автотранспортных поршневых двигателей – высокоэффективной фильтрации охлаждающей жидкости. В результате этой работы на рынке автокомпонентов должны появиться простые, недорогие, надежные и высокоэффективные инновационные гидроциклонные фильтры охлаждающей жидкости.

Выводы

1. Загрязнения в системе охлаждения автотранспортных поршневых двигателей неизбежны вследствие сложного физико-химического взаимодействия ОЖ с различными разнородными элементами и материалами системы охлаждения, а также за счет привнесенных извне в систему частиц загрязнений в процессе эксплуатации.

2. Практически все неисправности и отказы системы охлаждения и ее элементов вызваны исключительно частицами загрязнений, циркулирующими с ОЖ в системе, которые затем превращаются в отложения на стенках теплопередающих поверхностей и в проточных каналах системы.

3. Негативные последствия загрязнений системы жидкостного охлаждения проявляются в

ухудшении ее тепловых функций, в отказах и износах отдельных элементов и узлов.

4. Созданный высокоэффективный полнопоточный гидроциклонный фильтр-сепаратор решает проблему защиты системы охлаждения от загрязнений и объективно обладает существенными конкурентными преимуществами перед зарубежными аналогами, в связи с чем можно ожидать его распространения в области автомобильной и тракторной техники.

Библиографический список

- R.D. Hudgens, Hercamp R.D. SAE Technical Paper Series 2005-01-2014. An Overview of Onboard Coolant Filtration for Heavy Duty Diesel Engines – 2005. – 16 pp.
2. Engine cooling. – Behr Hella Service GmbH., 2008, 52 pp.
3. Защита системы охлаждения /Проспект компании Baldwin Filters Inc., 2016. – 2 pp., il.
4. Руководство по продуктам для системы охлаждения. – Cummins Filtration, 2009. – 8 с., ил.
5. Engine Liquid Filtration Guide. – Minneapolis: Donaldson Company Inc., 2014. – 156 pp.
6. Бродский Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин. – М.: Горная промышленность, 2004. – 360 с., ил.
7. Sutherland K. Filters and Filtration Handbook – Fifth Ed. – Elsevier Ltd., 2008. – 536 pp.
8. Патент РФ на изобретение № 2625891 «Гидроциклонное устройство для очистки от твердых частиц загрязнений охлаждающей жидкости поршневых двигателей // Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю., Селиванов Н.М. – 2017. – 10 с.

Zolotovs'ka O.V.

associate professor department of tractors and agricultural machinery
Dniprovsk state university of agriculture and economics

WARMTH ACCUMULATION MODELING BY SOLAR INSTALLATION

Золотовська Олена Володимирівна

кандидат технічних наук, доцент

кафедри тракторів і сільськогосподарських машин

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ТЕПЛОТИ СОНЯЧНОЮ УСТАНОВКОЮ

Анотація. В статті наведені результати теоретичних досліджень накопичення тепла. Приведена модель розрахунку зміни температури в часі в тепловому пристрої сонячної установки. Запропоновано технічне рішення, яке дозволяє використати переваги систем опалення при впровадженні сонячних колекторів з сумісним нагрівом повітря та рідинного теплоносія.

Summary. Results of theoretical researches of accumulation of heat are given in article. The model of calculation of temperature change is given in time in thermal devices of solar installation. Technical solution which allows to use advantages of heating systems at introduction of solar collectors with compatible heating of air and the liquid heat carrier is proposed.

Ключові слова: накопичення тепла, сонячна установка, температура.

Постановка проблеми. В останній час інтерес щодо використання сонячної енергії зростає. Тому, що її запаси можна віднести до поновлювальних енергоресурсів. Результатом реалізації сучасних технологій є використання енергії сонця колекторами. Поширеною помилкою є думка про недоцільність використання сонячних водонагрівачів, з яким у нас асоціюється бак, пофарбований у темний колір, на даху душевої kabini. Ефективність даної системи нагріву води невисока, а її використання обмежене теплою порою року. Сучасні технології дозволяють використовувати сонячну енергію навіть взимку. А саме дозволяють вирішити питання для автономного теплопостачання; в сільському господарстві при сушінні різних продуктів; акумулюванні сонячного тепла для теплиць; використання гарячої води в технологічних цілях, в промисловості та інше [1].

На жаль енергія сонця практично не використовується в системах опалення та технологічного теплопостачання. Можливо, це пояснюється відсутністю інженерних напрацювань у даній сфері. Сонячна енергетика повинна переплітатися з техніко-економічними реаліями нашої країни та відповідати таким вимогам: не висока вартість обладнання, впровадження у відповідній галузі, науково-інженерний підхід до впровадження сонячного теплопостачання [2].

У розвитку сонячної енергетики важливим кроком є використання систем, де теплоносієм являється повітря. Тому що повітряні системи володіють такими перевагами, як відсутність можливості розмерзання та затоплення систем та обладнання, більш високий коефіцієнт використання сонячної енергії, простіший в управлінні.

Основними елементами активної сонячної системи є: геліоприймач, акумулюючий пристрій теплоти, додаткове джерело енергії, споживач. Отже, для теплопостачання приміщення розробили принципову схему (рис. 1), яка відрізняється тим, що має три контури циркуляції подачі тепла: два рідинних та один повітряний:

– перший контур, що складається з сонячних колекторів 1, циркуляційного насоса 8 і рідинного теплообмінника 3;

– другий контур, що складається з акумулятора тепла 2, циркуляційного насоса 8 і теплообмінника 3, системи гарячого водопостачання 7;

– третій контур, що складається з водоповітряного теплообмінника (калорифера) 5, вентилятора 9, система повітряного опалення 6, бак-акумулятор 2.

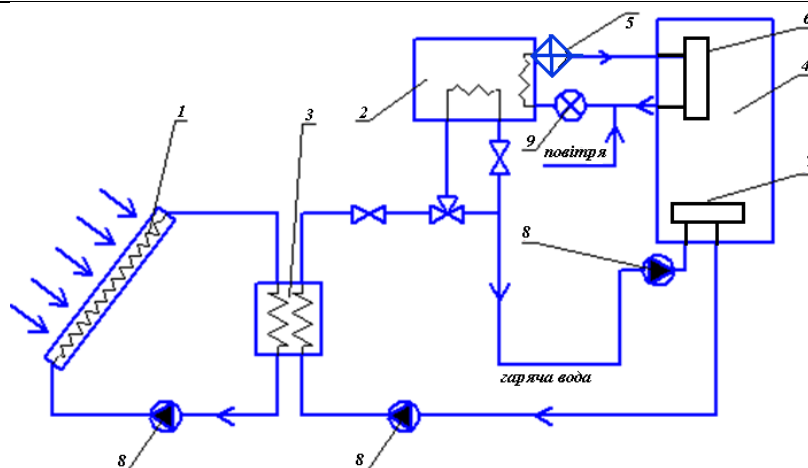


Рисунок 1 – Схема системи сонячного теплопостачання:

1 - сонячний колектор; 2 – акумулятор тепла; 3 - теплообмінник;
4 - приміщення; 5 - калорифер; 6 - система повітряного опалення; 7 – система гарячого водопостачання; 8 - циркуляційний насос; 9 - вентилятор.

Вибір і компонування елементів системи сонячного теплопостачання в кожному конкретному випадку є досить складним завданням і визначається кліматичними факторами, призначенням, режимом теплоспоживання, економічними показниками. Можна визначити наступні вимоги щодо схемного вирішення комбінованих сонячних установок:

- необхідно забезпечувати уловлювання максимально можливої кількості сонячної енергії, що досягається зниженням середнього рівня температури теплоносія в колекторі і використанням ефективного колектора;

- слід виходити з того, що сонячна енергія повинна використовуватися для попереднього підігрівання теплоносія, тоді як додаткове джерело енергії (паливо або електроенергія) – для доведення теплоносія до необхідної температури. При такому підході забезпечується максимальна економія пального завдяки найбільш ефективному використанню сонячної енергії;

- необхідно уникати змішення середовищ із різними рівнями температури в акумуляторі теплоти, зокрема, з цієї точки зору необхідно здійснювати підведення теплоти від дублера безпосередньо в бак-акумулятор сонячної установки.

Застосування даної схеми дозволяє використати переваги систем опалення при впровадженні сонячних колекторів з сумісним нагрівом повітря та рідинного теплоносія. Поліпшення мікроклімату в приміщені, тому що

нагрів повітря на 40–70 °С достатній для вентиляції. Відсутність проміжного теплоносія, що дозволяє відмовитися від водяного опалення. Взимку виключає ризик розморожування системи. А також, запропонована схема повинна задовольняти потребам в гарячій воді на технологічні нужди сільгоспвиробництва з відповідними нормами технологічного проектування як для тваринницьких, адміністративних так і для житлових приміщень.

Таким чином, метою роботи є дослідження акумулювання тепла в схемі сонячної установки з урахуванням її ефективності.

Оскільки в схемі передбачено накопичення теплоти, для використання її в холодну пору року, тому змодельовано акумулювання енергії в системі. (рис. 2) Теплові акумулятори в складі опалення виконують роль накопичувачів гарячої води. Це дозволяє забезпечувати споживача гарячою водою за будь-яким графіком незалежно від циклу надходження сонячної енергії. Найбільш важливими властивостями ТА вважається високий коефіцієнт корисної дії та довговічність експлуатації. Здатність теплового акумулятора зберігати температуру накопиченої води забезпечується застосуванням пасивного теплозахисту. Для цього поверхню акумулятора покривають шаром теплоізоляційних матеріалів. Метод розрахунку втрат через теплову ізоляцію базується на рівняннях стаціонарної теплопровідності.

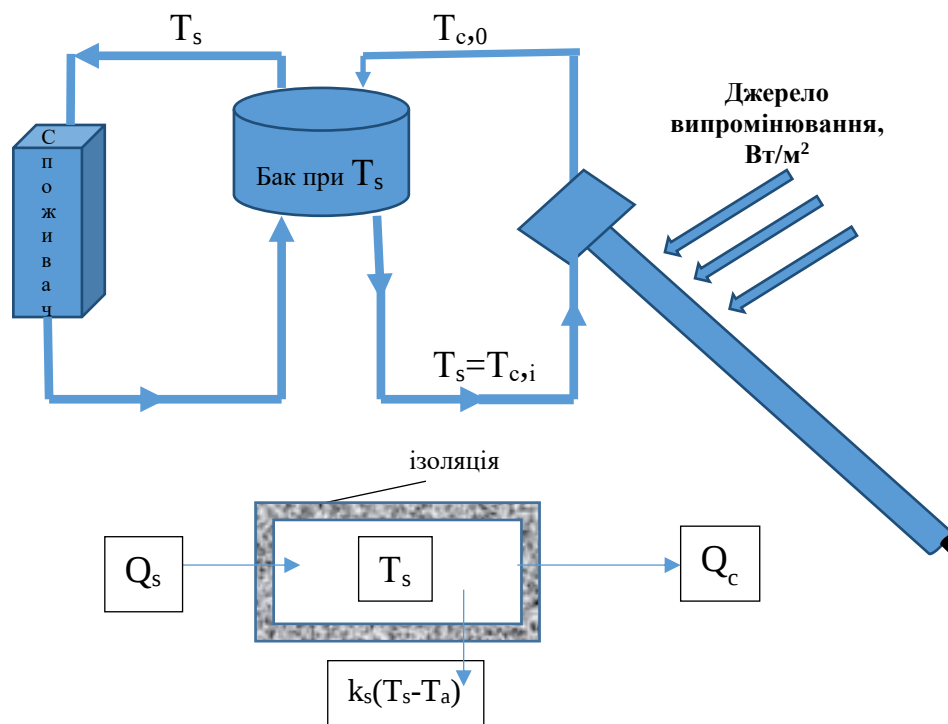


Рисунок 2 – Модель системи акумуляції тепла

Енергетична акумулююча здатність рідинного акумулятора, який працює при різниці температур, описується звичайним рівнянням (1):

$$Q = (mC_p)_s (T_1 - T_2) \quad (1)$$

де C_p – теплоємність m кг води в акумуляторі при нагріві в інтервалі температур $T_1 - T_2$.

Тому напишемо рівняння балансу енергії для бака у відповідності до схеми рисунка 2:

$$(mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_s - Q_c - k_s(T_s - T_n) \quad (2)$$

Для розрахунку використали такі дані: $k_s = 40$ кДж/(год °C), маса води 1500 кг, при цьому бак розміщено в приміщенні з температурою 20°C, та розглянутий період в баку починається при температурі 45 °C. В даному приближенні

де Q_s та Q_c – теплова енергія, яка надходить від колектору та яка відводиться до споживача, Дж;

T_s – температура яка потрапляє до споживача, яка змінюється у часі в оточуючому середовищі з температурою T_n .

Звідси, завдяки рівнянню (2) для бака акумулятора можна визначити зміну температури в часі. При чому теплові енергії задані як функції часу.

Використовуючи інтегрування по методу Ейлера обчислюється температура акумулятора на протязі доби.

Енергетичний баланс бака-акумулятора описується рівнянням (2), яке для кінцевого припущення часу має вигляд:

$$T_{s, \text{кінцева}} = T_{s, \text{почат}} + \frac{\Delta T}{(mC_p)_s} [Q_s - Q_c - k_s(T_{s, \text{почат}} - T_n)] \quad (3)$$

температура бака-акумулятора в кінці кожної години розрахована по температурі на початку цієї години по відомим надходженням та витратам енергії та в припущенні, що член, який описує втрати тепла за годинний період є сталим. Результати розрахунку представлені на рис. 3.

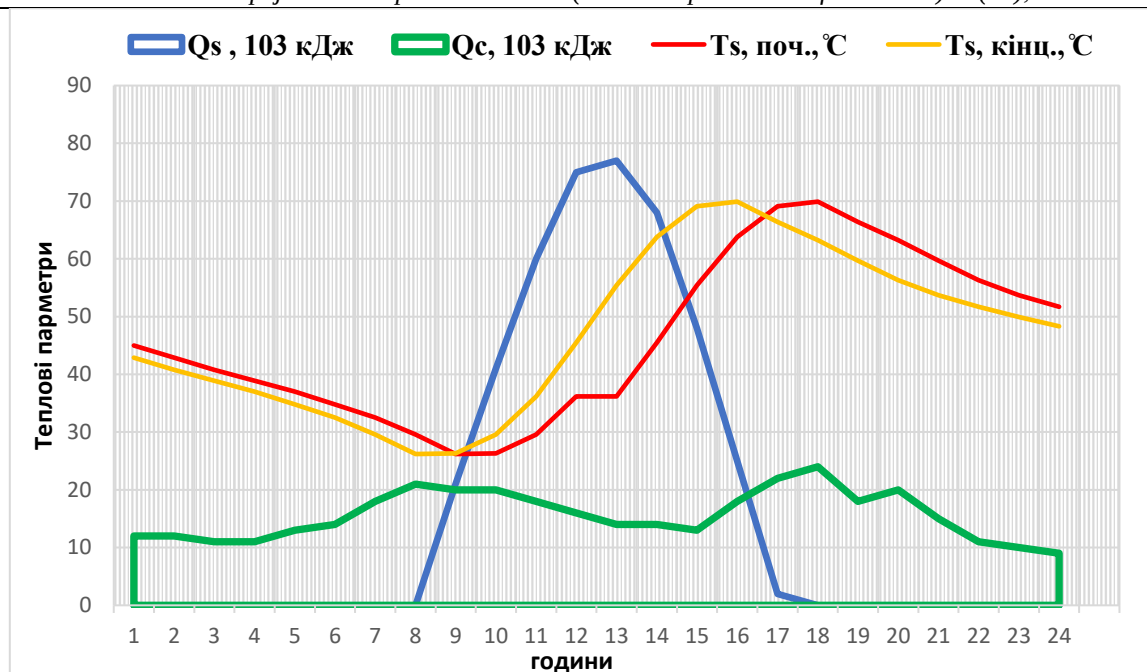


Рисунок 3 – Моделювання акумуляції тепла протягом доби

Згідно розрахункових даних отримали, що в період від 9⁰⁰ години до 14⁰⁰ спостерігалось зростання температури до 70 °C і звісно збільшення поглинання теплової енергії колектором від 20 · 10³ кДж до 70 · 10³ кДж. В подальшому зниженні температури оточуючого середовища спостерігалась сталість температури в бакі-

акумуляторі до 19⁰⁰. Слід зазначити, що тепла енергія споживача практично не змінювалась. Отже, накопичення тепла баком-акумулятором в зазначений період дає можливість користуватись теплом на протязі доби.

Рівняння сонячного колектору та бака-акумулятора можна об'єднати в одне рівняння:

$$(mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} = A_c F_R [S - Q_L (T_s - T_n)] - k_s (T_s - T_{\text{кімн}}) - (mC_p)_L (T_s - T_L) \quad (4)$$

Повна корисна енергія колектору, яка може бути розрахована в функції температури рідини на вході в колектор, Дж:

$$Q_s = A_s F_R [S - Q_L (T_{f,i} - T_n)] \quad (5)$$

Очевидно, що корисна енергія у формі (5) зручна при дослідженні сонячних енергетичних установок, тому що температура рідини на вході зазвичай відома. Однак, необхідно пам'ятати, що втрати, визначені по температурі рідини на вході, значно малі, оскільки тепло втрачається по всій довжині колектору, а температура рідини в направленні потоку безперервно зростає.

Коефіцієнт відведення тепла F_R вводиться в якості поправки, яка зменшує значення корисної енергії при умові, що вся поверхня колектору знаходиться при температурі рідини на вході $T_{f,i}$, до фактичного значення корисної енергії.

$$F_R = \frac{GC_p}{Q_L} \left(1 - e^{-\frac{Q_L F}{GC_p}} \right) \quad (6)$$

Із збільшенням витрат рідини через колектор перепад температур ($T_{f,o} - T_{f,i}$) зменшується. Це призводить до зниження втрат тепла в оточуюче середовище та відповідному збільшенню корисної енергії, оскільки середня температура колектору зменшується. Збільшення корисної енергії зі зростанням витрати рідини проявляється у збільшенні коефіцієнта відведення тепла з колектору. Зауважимо, що при нескінченному збільшенню витрат різниця температур на вході та виході з колектору прямує до нуля, однак температура поглинальної поверхні буде вища температури рідини.

Отже, використовуючи метод Ейлера, представим похідну $dT/d\tau$ вигляді $(T_{s, \text{кінц}} - T_{s, \text{поч}})/\Delta\tau$ та виразимо зміну температури акумулятора через відомі величини:

$$T_{s, \text{кінц}} - T_{s, \text{поч}} = \frac{\Delta\tau}{(mC_p)_s} \left[A_c F_R (S - Q_L (T_{s, \text{поч}} - T_n)) - k_s (T_{s, \text{поч}} - T_{s, \text{кім}}) - (mC_p)_s \cdot (T_{s, \text{поч}} - T_{L, \tau}) \right] \quad (7)$$

Для зручності напишемо вираз (7) у вигляді наступного виразу:

$$T_{s, \text{кінц}} - T_{s, \text{почат}} = \frac{\Delta \tau}{(mc_p)_s} [Q_s - Q_{\text{втрати}} - Q_{\text{навантаження}}] \quad (8)$$

В даному випадку крок розбиття часу в одну годину гарантує стійкість рішення. При підстановці значень параметрів в кДж в рівняння (7) отримуємо рішення для кожного кроку (рис. 4).

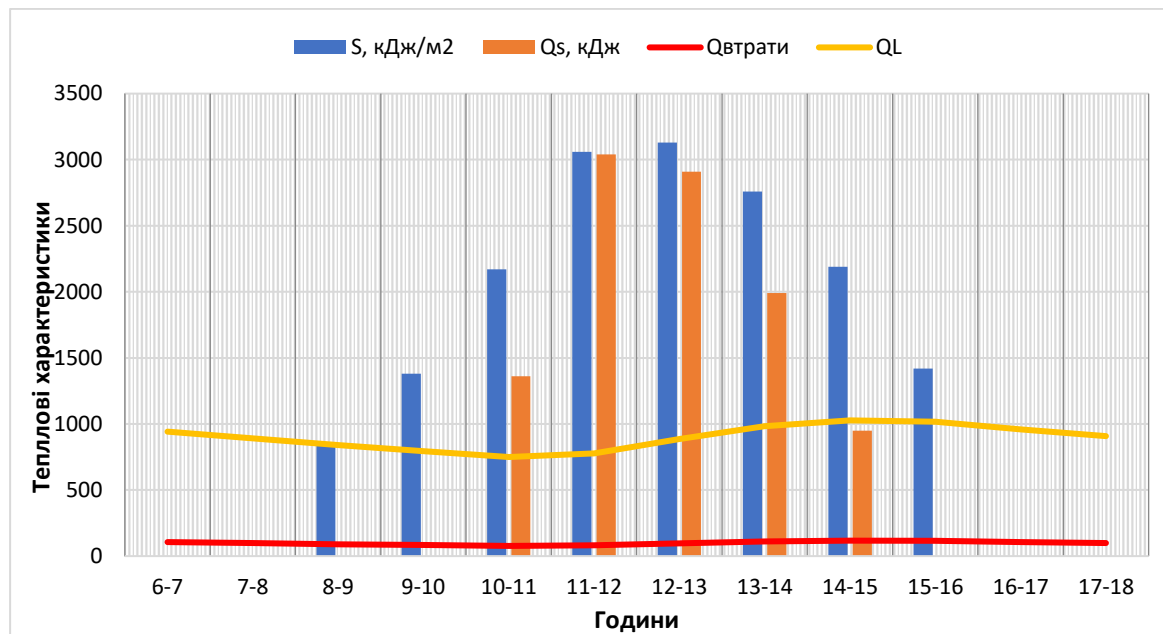


Рисунок 4 – Моделювання колектора з баком акумулятором при змінній температурі $T_{s, \text{поч}}$ кожної години

Таким чином, з розрахунків при поглинальній енергії до 3100 кДж отримуємо високі показники корисної енергії колектору, при цьому навантаження для системи практично не змінюється. Це свідчить, що в системі колектор-бак-акумулятор втрати тепла мають 3%. Очевидно, слід розглянути ізоляцію бака та температуру оточуючого середовища, в якому він знаходиться.

Отже, кінцева температура дорівнює 55,9 °C. Зміна внутрішньої енергії складає -1719 кДж, що практично дорівнює ΣQ . В даному випадку навантаження було задане у вигляді сталої витрати незалежно від температури. При зміні витрат в залежності від часу зміна температури в часі мала мати зовсім інший характер.

Тому для доцільності теоретичного дослідження проаналізовано показник

ефективності сонячного колектору, який дорівнює відношенню теплопродуктивності колектору до кількості сонячної енергії:

$$\eta_k = \frac{Q_k}{E_k A} \quad (9)$$

де Q_k – теплопродуктивність колектору, Вт
 E_k – кількість сонячної енергії, яка потрапляє на 1 м² поглинаючої поверхні, Вт/м²

A – площа поглинаючої поверхні, м²

Величина добового ккд не може дорівнювати середньому значенню годинних ккд, тому добовий ккд колектору знаходиться з формули:

$$\eta_{\text{доб}} = \frac{\Sigma Q_s}{A \Sigma E_n} \quad (10)$$

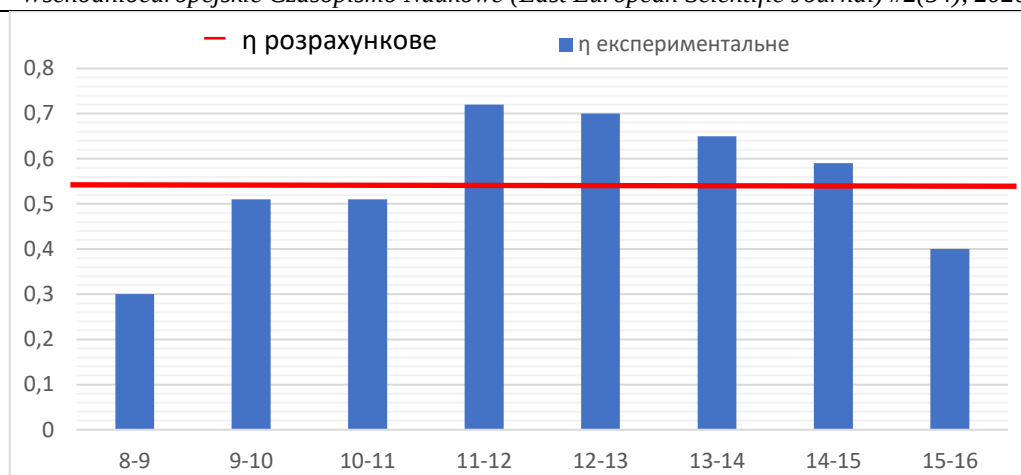


Рисунок 5 – Залежність ккд протягом дня

Отже, експериментальні дослідження приведені в роботі [4], свідчать, що показники сонячної активності впродовж дня на дослідній установці (при температурі оточуючого середовища 18°C) вказують на те що при сонячній активності 700 Вт/м² температура мідного нагрівача сонячного колектора в 10 годин піднімалася до 77 °C при цьому на батареї було 42 °C втрати тепла в системі передачі тепла складають 4% тобто приблизно 28 Вт/м² тепла. Впродовж дня сонячна активність складала в середньому 400 Вт/м². В результаті, при даних характеристиках, ккд спостерігається у межах від 0,72 до 0,65 в проміжках часу від 13⁰⁰-16⁰⁰, звідси при високій поглинальній здатності колектору. Але добий ккд, обчислений по формулі (10) дорівнює 0,68. Отже, результати розрахунків майже співпадають з експериментальними та паспортними даними колектора.

Висновки: проведений розрахунок дозволяє змодельовати реальний процес тривалістю декілька годин. Більшість задач моделювання процесів в сонячних установках досить не прості. При цьому, як правило, розглядаються досить не малі проміжки часу. Так теплові акумулятори повинні

задовольняти низку вимог: видавати воду при незмінній температурі, мати високий коефіцієнт корисної дії, простоту і надійність експлуатації, довговічність і дешевизну. Задовольнити всі ці вимоги одночасно практично не вдається.

Список літератури

1. Миронов О.С., Брижа М.Р., Золотовська О.В. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну, використання тепла в сільському господарстві. – Дніпропетровськ, ТОВ «ЕНЕМ», 2011. – 424 с.
2. Сонячна енергетика – один з перспективних напрямів розвитку відновлювальної енергетики в Україні.
1. http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248970577
3. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулярование энергии. Пер. с англ. под ред. д.т.н. В.М.Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
4. Золотовська О.В. Випробування вакуумної трубки сонячного колектора. / Золотовська О.В., Пивовар В.І. // Міжнародна наукова інтернет-конференція. – 2019. – Вип. 43, частина 2. – С.55-57.

Мамедова Ф. М., Гасанов А.А.

*Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности*

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СБРОСНЫХ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ ВОД ОТ ГИПСА

Аннотация. Приведены результаты исследований по кристаллизации гипса из отработанных регенерационных растворов Na и Mg-Na-катионирования. Изучались влияние основных факторов на кинетику кристаллизации гипса. Для определения зависимости степени очистки рассола от степени концентрирования солей, времени перемешивания, времени отстоя и количества наночастиц с применением математического планирования эксперимента. Получено уравнение регрессии позволяющее определить оптимальные условия очистки остаточных рассолов от гипса.

Ключевые слова: отработанный регенерационный раствор, степень концентрирования солей, эффективность перемешивания, кристаллизация гипса, математическое планирование эксперимента.

Одним из наиболее экономичных и эффективных методов умягчения морской воды являются методы Na- и Mg-Na катионирования.

Морская и минерализованная вода умягченная Na-катионированием, используется для питания испарителей и парогенераторов барабанного типа,

а умягченная Mg-Na - катионированием вода используется только для питания испарителей, концентраты которых применяются в качестве регенеранта катионитных фильтров. Отходами процесса являются сбросные регенерационные растворы этих фильтров, отличающиеся от исходной морской и минерализованная воды только более высокой концентрацией, способствующие загрязнению открытых водоемов.

В этой связи независимо от предлагаемого способа утилизации должна быть устранена пересыщенность сбросных рассолов от гипса. Поэтому основной задачей первого этапа работы являлось исследование условий и разработка решений, обеспечивающих высокую степень очистки рассола от гипса.

Как известно [1], имеется несколько факторов, которые могут влиять на скорость кристаллизации гипса—это степень концентрирования солей (ионная сила), температура, эффективность перемешивания и время отстоя. ,

Учитывая высокую пресыщенность сбросных рассолов по гипсу и с целью снижения затрат на

процессы очистки, представляется целесообразным организовать процесс очистки от гипса при комнатной температуре 20-25° С.

В настоящей работе рассматриваются вопросы очистки гипса в статических условиях. Соответственно ионному составу воды Каспийского моря из растворов Na₂SO₄, MgSO₄, NaCl и CaCl₂ готовились растворы, имитирующие сбросные регенерационные растворы различной степени концентрирования. Наиболее вероятное значение степени концентрирования отработавшего раствора (m) будет находиться в интервале 4-10.

Методика исследований была следующей. После приготовления имитата проверялась общая и кальциевая жесткости, а также хлориды по общеизвестной методике [2]. Затем через каждые 30 мин в течение 5-6 ч проверялась остаточная кальциевая жесткость. По изменению концентрации оценивали скорость кристаллизации.

Результаты этой серии опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований по определению остаточной кальциевой жесткости за первые 3 ч отстоя

Время отстоя, г	Остаточная кальциевая жесткость, мг-экв/л			
	m-4	m-6	m-8	m-10
0	64	96	128	160
1		90	110	66
2	50	88	82	65
3	48	97	81	64

Далее выдерживали имитат в течение 70-80 ч. Пробы отбирались через каждые 12-15 ч. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты исследований по определению остаточной кальциевой жесткости за 16-30 ч отстоя

Время отстоя, г	Остаточная кальциевая жесткость, мг-экв/л			
	m-4	m-6	m-8	m-10
16	44	60	36	34
20	43	56	44	28
24	42,5	53	33	26
28	42	52	32	26
30	42	50	31	26

Каждую серию опытов повторяли 3-4 раза. Данные этих опытов показывают, что в процессе кристаллизации можно различить два основных периода: в первом происходит выделение основной массы твердой фазы, и скорость кристаллизации имеет максимальное значение, во втором, в периоде остаточной кристаллизации, скорость кристаллизации, резко замедляется. Большая часть гипса осаждается в течение 1-3 ч. Например, за первый час при m = 4, 6, 8, 10 осаждается соответственно 14, 17, 39 и 63% исходного гипса. Характерно, что скорость кристаллизации увеличивается с увеличением m.

Влияние фактора m на кинетику кристаллизации сульфата кальция объясняется тем, что увеличение m вызывает уменьшение доли молекул воды, образующих гидратную оболочку ионов. Вследствие этого появляется вероятность взаимодействия ионов и образования устойчивых зародышей твердой фазы. С повышением концентрации растворов распределение ионов стремится к характерному для кристаллогидратов; которые выделяются из насыщенных растворов.

Замедление скорости кристаллизации в периоде остаточной кристаллизации объясняется снижением скорости диффузии растворенного

вещества к поверхности кристалла. В свою очередь, снижение скорости диффузии вызывается уменьшением концентрации ионов в результате кристаллизации в основной части. Ниже представлены значения остаточного содержания ионов кальция после 70-80-ч отстоя.

Затем исследовалось влияние времени перемешивания раствора на скорость кристаллизации гипса. Опыты проводились по следующей методике. Готовился имитат объемом по 0,5 л, проба устанавливалась на специальной

мешалке и перемешивалась. Для каждой степени концентрирования солей (m) изменялось время перемешивания $(\tau_{\text{пер}})$ в интервале 5÷50 мин. После перемешивания через каждые 30 мин определялась концентрация кальция. Данные опытов показывают, что перемешивание способствует существенному повышению скорости кристаллизации при $m=8$ и 10. В этом случае большая часть гипса выпадает в осадок в первые же 30 мин.

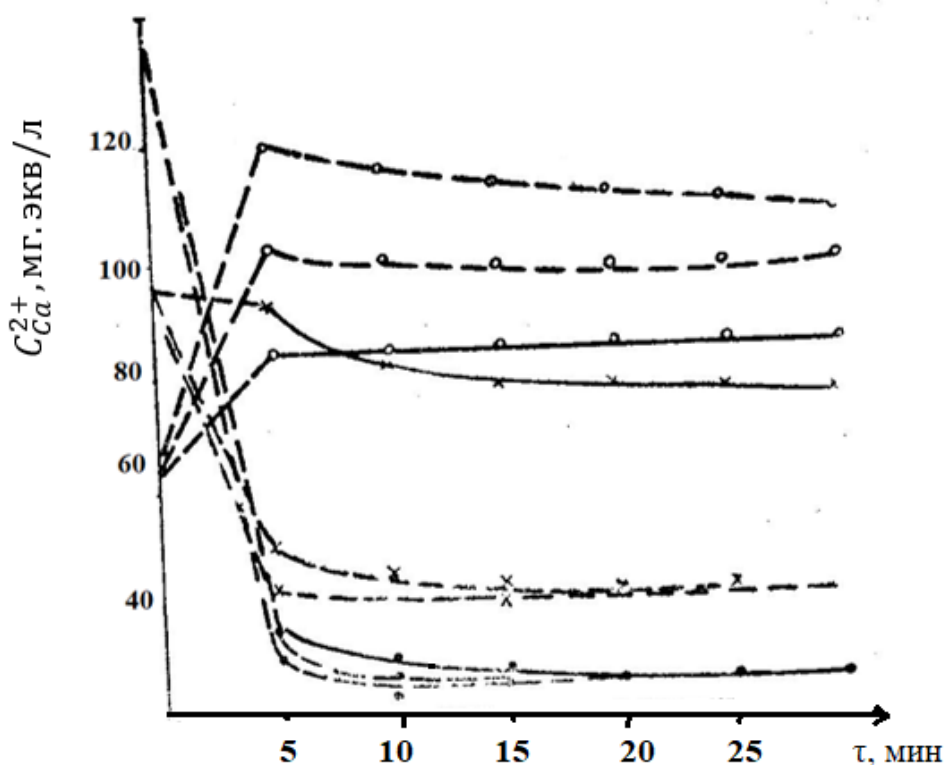


Рис. 1. Влияние дозы наночастиц (q), степени концентрирования (m) и времени отстоя (τ) на остаточную кальцевую жесткость рассола:

Известна высокая эффективность применения нано частиц для устранения пресыщенности раствора. В этой связи для исследования влияния

нано частиц на скорость осаждения сульфата кальция использовались нано частицы на основе гипса.

Степень концентрирования (m)	4	6	8	10
Остаточное значение кальция, мг-экв/л	34,4	37,1	32,6	29,1

Дозы принимались следующими: 0,01; 0,05; 0,09 мг/г. Выяснилось, что положительный эффект нано частиц наблюдается при $m > 6$ (рис. 1). Механизм действия частиц основан на образовании центров кристаллизации из однородных кристаллов и широко используется в технологии определения для предотвращения накипеобразования [1].

Из результатов приведенных опытов стали известны основные факторы, влияющие на степень очистки рассола от гипса: это степень концентрирования солей (m), время перемешивания ($\tau_{\text{пер}}$), время отстоя ($\tau_{\text{отс}}$) и количество нано частиц (q). Для определения зависимости степени очистки

рассола от указанных факторов был реализован ортогональный план второго порядка с числом опытов в центре плана $n_0=1$. По результатам предыдущих исследований были приняты следующие интервалы и уровни варьирования (табл. 3).

По [1] составлена матрица планирования, представленная в табл. 3; сюда же занесены результаты, пересчитанные на степень очистки.

В ходе опытов определяли остаточное содержание кальция и по выражению $C_{Ca_{II}}^{2+}/C_{Ca_I}^{2+} \cdot 100$ рассчитывали степень очистки, где: $C_{Ca_I}^{2+}$, $C_{Ca_{II}}^{2+}$ - концентрация исходных и остаточных ионов кальция соответственно.

Таблица 3

Уровни	Факторы			
	Степень концент- рования солей $m(x_1)$	Время перемешивания $\tau_{пер}, \text{ мин } (x_2)$	Время отстоя $\tau_{отс},$ $\text{ мин } (x_3)$	Количество нано частиц мг/г (x_4)
(-)	4	10	20	0,01
(+)	10	40	40	0,03
(0)	7	25	30	0,02
(-1,414)	2,758	14	16	0,007
(+1,414)	11,242	46	34	0,034

Каждый опыт повторялся 3 раза и для каждой строчки матрицы определялось среднее значение измеряемой величины по трем параллельным опытам, т. е.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i}{m} \quad (1)$$

Здесь i - номер строчки; m - число параллельных опытов, $m = 3$.

Дисперсия определяется по следующей формуле:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{Y}_{iu} - Y_i)^2}{m - 1} \quad (2)$$

Проверяется однородность выборочных дисперсий по критерию Кохрена. Для этого составляется отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий:

$$G = \frac{S_{imax}}{\sum_{i=1}^N S_i^2} = \frac{30.5}{146.0} = 0,209$$

Полученное отношение сравнивается с табличным: $G_{1-p}(f_1-f_2)$, где $p=0,05$; $f_1=m-1=2$; $f_2=N=25$; $G_{таб} = 0,2354$, в данном случае $G < G_{таб}$. Значит, дисперсии однородны.

Тогда в качестве оценки дисперсии воспроизводимости можно взять среднюю дисперсию:

$$S_{воспр}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} = \frac{146}{25} = 5,84$$

$$S_{воспр} = 2,42$$

Для расчета коэффициентов уравнения регрессии проводим следующее линейное преобразование квадратичных столбцов x_i^2 .

$$x_i^1 = x_i^2 - x_i^{-2} = x_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ji}}{\sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (3)$$

где j — номер столбца.

Полученные значения заносятся в ортогональную матрицу (табл. 4).

Таблица 4

x_1	x_2	x_3	x_5	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}$	S_i^2	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	$\hat{y}$
-	-	-	-	94	91	97	94	9	0,2	0,2	0,2	0,2	95
+	-	-	-	19	21	20	20	1	0,2	0,2	0,2	0,2	26
-	+	-	-	97	89	98	95	22,5	0,2	0,2	0,2	0,2	9
+	+	-	-	16	15	15	15	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	13
-	-	+	-	94	91	94	93	4,5	0,2	0,2	0,2	0,2	97
+	-	+	-	34	32	34	33	1,5	0,2	0,2	0,2	0,2	30
-	+	+	-	92	87	97	92	25	0,2	0,2	0,2	0,2	96
+	+	+	-	15	16	14	15	1,0	0,2	0,2	0,2	0,2	15
-	-	-	+	98	100	100	99	3,0	0,2	0,2	0,2	0,2	98
+	-	-	+	30	28	32	30	4	0,2	0,2	0,2	0,2	30
-	+	-	+	92	98	103	98	30,5	0,2	0,2	0,2	0,2	96
+	+	-	+	16	17	16	16	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	15
-	-	+	+	98	97	97	94	21,5	0,2	0,2	0,2	0,2	95
+	-	+	+	27	26	26	26	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	27
-	+	+	+	97	100	97	98	3	0,2	0,2	0,2	0,2	94
+	+	+	+	15	16	15	15	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	13
-1,414	0	0	0	127	122	125	125	6,5	1,2	-0,8	-0,8	-0,8	123
+1,414	0	0	0	13	16	16	15	3,0	1,2	-0,8	-0,8	-0,8	17
0	-1,414	0	0	58	59	57	58	1,0	-0,8	1,2	-0,8	-0,8	52
0	+1,414	0	0	34	35	33	34	1,0	-0,8	1,2	-0,8	-0,8	40
0	0	-1,414	0	33	32	34	33	1,0	-0,8	-0,8	1,2	-0,8	27
0	0	+1,414		23	25	22	23	2,5	-0,8	-0,8	1,2	-0,8	27
0	0	0	-1,414	29	30	29	29	0,5	-0,8	-0,8	-0,8	1,2	27
0	0	0	+1,414	26	24	25	25	1,0	-0,8	-0,8	-0,8	1,2	27

0	0	0	0	24	23	22	23	1,0	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	27
---	---	---	---	----	----	----	----	-----	------	------	------	------	----

Все коэффициенты регрессии определяются независимо друг от друга по формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (4)$$

Значения коэффициентов регрессии следующие:

$$b_0=52; b_1= -37,45; b_2= -3,95; b_3= -0,78;$$

$$b_4=-0,65;$$

$$b_{1,2}=-3,19; b_{1,3}=1,06; b_{1,4}=-0,63; b_{2,3}=-0,44;$$

$$b_{3,4}=-1,19;$$

$$b_{1,1}=21,8; b_{2,2}=9,8; b_{3,3}=0,82; b_{4,4}=0,32.$$

$$\bar{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_1 x_1 x_2 + b_{3,4} x_3 x_4 + b_{1,1} (x_1^2 - x_1^{-2}) + b_{2,2} (x_2^2 - x_2^{-2}) \quad (6)$$

Подставляя значения коэффициентов регрессии, получим следующее уравнение:

$$\bar{Y} = 26,72 - 37,45 x_1 - 3,95 x_2 - 3,19 x_1 x_2 - 1,19 x_3 x_4 + 21,8 x_1^2 + 9,8 x_2^2 \quad (7)$$

Для проверки адекватности полученного уравнения определим остаточную дисперсию

$$S_{\text{ост}} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - l} \quad (8)$$

где l - число значимых коэффициентов в уравнении регрессии, $l=7$; $y_1, \hat{y}_2$ - экспериментальное и расчетное значения параметра соответственно;

Значимость коэффициентов проверяется по критерию Стьюдента. Для этого рассчитывается t -отношение:

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{dj}} \quad (5)$$

где S_{bj} - дисперсии коэффициентов рассчитываются по [3]:

Табулированное значение критерия Стьюдента для уровня значимости $p=0,05$ и числа степеней свободы $f=2$; $t_p(f)=4,30$.

После отсева незначимых коэффициентов, для которых t -отношение меньше табулированного, получим уравнение регрессии вида:

Критерий Фишера определяется по следующей формуле:

$$F = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\text{воспр}}^2} = 2,7$$

Табличное значение критерия Фишера при уровне значимости $p=0,5$ и числе степеней свободы $f_1=19$ и $f_2=2$ равно 3,5 [3]. Так как $F < F_{1-p}(f_1, f_2)$, то полученное уравнение адекватно эксперименту.

В натуральном масштабе уравнение регрессии примет следующий вид:

$$\hat{Y} = 26,72 - 37,45 m - 3,95 \tau_1 - 3,19 m \tau - 1,19 \tau_2 q + 21 m^2 + 9,8 \tau_1^2 \quad (9)$$

Полученное уравнение регрессии может быть рекомендовано для определения оптимальных условий очистки остаточных рассолов от гипса.

Литература

1. Хамский Е.В. Кристаллизация в химической промышленности. М., «Химия» 1971
2. Унифицированные методы анализа вод. Под ред. Лурье Ю.Ю. М., «Химия» 1971
3. Ахназарова Г.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента химии и химической технологии М. 1978

4. Mammadova F.M., Huseynova M.A. Use of oil chemistry production by treatment of water and soil from oil products. East European Science journal, V.4, № 4, 2019, p.7-10. Warsaw

5. Мамедова Ф.М., Гасанов А.А. Утилизация сбросных рассолов опреснительных установок. Экоэнергетика Научно-технический журнал, №3 2018. С. 67-71. Баку

6. Мамедова Ф.М. Магний-натрий катионирование минерализованных вод широкого класса. Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук, сб. науч. трудов, 12 октября 2018 Санкт Петербург С. 58-63

MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF TWO BODIES CONNECTED IN SPACE

Н.К. Смайлов., А.М. Бакторазов., С.Маркұлы

¹доктор PhD сениор-литор,

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева,
Satbayev University, г. Алматы, 050057, Республика Казахстан;

²магистрант,

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева,
Satbayev University, г. Алматы, 050057, Республика Казахстан;

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ДВУХ ТЕЛ СВЯЗАННЫХ В КОСМОСЕ

Н.К. Смайлов., А.М. Бакторазов., С.Маркұлы

Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan,

ҒАРЫШТАҒЫ ЕКІ БАЙЛАНЫСҚАН ДЕНЕ ДИНАМИКАСЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Annotation. This article discusses the creation of two related body dynamics and a mathematical model in space, obtaining some independent solutions using two hinged links in order to stabilize the movement of an artificial satellite. The dynamics of a passive gravity-oriented satellite moving in a Circular and elliptical orbit on a plane is studied. Initially, we considered small fluctuations around the simplest equilibrium position of the satellite-stabilizers system in the plane of a circular orbit. the necessary and sufficient conditions for the asymptotic stability of the equilibrium state were demonstrated, and the parameters that provide the maximum rate of attenuation of the natural oscillations of the satellite-stabilizers system were analytically determined.

Аннотация. В данной статье рассматривается создание двух связанных динамиков тела и математической модели в космосе. получение некоторых самостоятельных решений с использованием двух шарнирных связей с целью стабилизации движения искусственного спутника. Изучается динамика пассивного гравитационного ориентированного спутника, перемещаемого по Окружной и эллипсовой орбите на плоскости. Вначале рассматривались небольшие колебания вокруг наиболее простого равновесного положения системы спутнико-стабилизаторов в плоскости круговой орбиты. были продемонстрированы необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости состояния равновесия, аналитически определены параметры, обеспечивающие максимальную скорость затухания собственных колебаний системы спутнико-стабилизаторов.

Резюме. Бұл мақалада ғарыштағы екі байланысқан дене динамикасы және математикалық моделін құру болып табылады. топсалы байланысқан екі дене есебін жасанды серіктің қозғалысын тұрақтандыру мәселесіне пайдаланып, кейбір дербес шешімдерін алу. Жазықтықтағы шеңберлік және эллипстік орбита бойымен қозғалатын пассивті гравитациялық ориентацияланған серіктің динамикасы зерттеледі. Алдымен, шеңберлік орбита жазықтығындағы серік-тұрақтандырғыш жүйесінің неғұрлым қарапайым тепе-теңдік жағдайының маңайындағы аздаған тербелістер қарастырылды. тепе-теңдік жағдайының асимптотикалық орнықтылығының қажетті және жеткілікті шарттары көрсетілді, серік-тұрақтандырғыш жүйесінің өздік тербелістерінің максималды өшу жылдамдығын қамтамасыз ететін параметрлер аналитикалық түрде анықталды.

Keywords: flight route, the radius-vector direction, the direction of the orbit, Newton's forces, circular orbit.

Ключевые слова: маршрут полета, радиус-вектор направление, направление на орбиту, Ньютоновские силы, круговая орбита.

Кілттік сөздер: ұшу бағыты, радиус-вектор бағыты, орбитаға бағыты, Ньютондық күштер, шеңберлік орбита.

Кіріспе

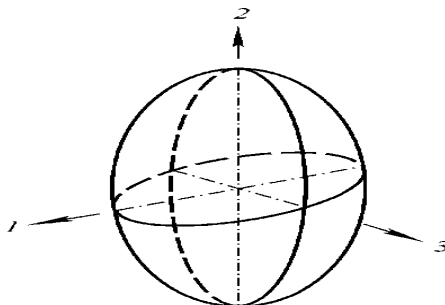
Курстық жұмыс ғарыштағы топсалы байланысқан екі дене – серік-тұрақтандырғыш жүйесін орнықтылыққа зерттеу есебіне арналған. Зерттеулер аспан механикасы, қатты дене динамикасы, ұйтқулар теориясы әдістерінде негізделеді.

Қазіргі заманғы ғарыш аппараттарына байланысты қойылатын есептердің шешімі, олардың ұзақ уақыт бойы Жерге ориентациялануын талап етеді. Бұған қол жеткізу тәсілдерінің біреуі – бұрыштық қозғалысты тұрақтандырудың пассивті жүйелерін қолдану, яғни өздері жұмыс жасау үшін энергия шығыны

немесе жұмыс денесін қажет етпейтін жүйелерді қолдану болып табылады.

Бұндай жүйелердің ішінде гравитациялық тұрақтандыру жүйелері (ГТЖ) кең таралған. Олар ньютондық күштер өрісіндегі шеңберлік орбитада бойындағы қатты дене қозғалысының белгілі қасиетіне негізделген: гравитациялық

моменттердің әсерінен, дененің инерция эллипсоидының ең үлкен өсі орбитаға радиус вектор бойынша, ортаншы өсі – орбитаға жанама бойымен, ал ең кіші өсі орбитаға бинормаль бойымен бағытталатындай болып, дене орнықты күйге түседі (1 сурет).

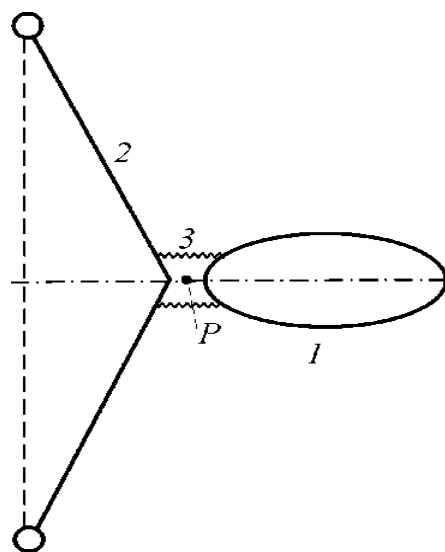


сурет – тепе-теңдік жағдайындағы гравитациялық орнықты серік

- 1 – ұшу бағыты;
2 – радиус-вектор бағыты;
3 – орбитаға бинормаль бағыты.

Серіктің бұрыштық қозғалысын тұрақтандыруда гравитациялық күштердің қалпына келтіруші моментін пайдалану идеясы бұрыннан белгілі. 1956 жылы Д.Е. Охочимский ГТЖ-ның мынадай сызбасын ұсынды: серікке

екінші дене – тұрақтандырғыш топса арқылы жалғанған (1.2-сурет). Гравитациялық тұрақтандырғыштар қатты штанг түрінде орындалады.



сурет – серік-тұрақтандырғыш жүйесі

- 1 – серік;
2 – тұрақтандырғыш;
3 – центрлеуші серіппелер;
P – сфералық топса.

ГТЖ-нің артықшылықтары: салыстырмалы қарапайымдылығы, конструкциясының арзандығы мен сенімділігі, ұзақ уақыт бойы энергия шығыны мен жұмыс денесінсіз жұмыс істей алуы, кеңістікті қалдық газдармен былғамауы және серіктің айналасындағы магнит өрісінің қисаймауы. Бұндай жүйелердің кемшілігі – активті жүйелермен салыстырғандағы ориентациясының дәлдігінің төмендігі.

Математикалық моделі орталық Ньютондық күштер өрісіндегі байланысқан екі дене жүйесінің кинетикалық энергиясы және күштік функциясы.

Серік-тұрақтандырғыш жүйесінің қозғалыс теңдеуі Лагранждың екінші тәсілі арқылы шығарылады. Ол үшін, негізгі санақ жүйелерін анықтау керек, жүйе үшін кинетикалық энергиясының және Жердің гравитациялық өрісінің серік пен тұрақтандырғышқа әсерін

сипаттайтын күштік функцияның өрнегін анықтау керек.

Жүйенің массалар центрі абсолюттік кеңістікте қозғалмайтын эллипстік орбитаның бойымен қозғалып бара жатыр деп болжайық. Төменірек күштік функцияның өрнегінен, бұл болжам тек жуықтап ғана, бірақ өте үлкен дәлдікпен орындалатынын көреміз.

Серік-тұрақтандырғыш жүйесінің қозғалыс теңдеуін шығаруға қажетті төрт оң тікбұрышты координат жүйелерін анықтайық (1 сурет):

$Cx_a y_a z_a$ – абсолют координаттар жүйесі; Cy_a – Жердің айналу өсі; $Cx_a z_a$ – жазықтығы Жердің экватор жазықтығымен сәйкес келеді.

$Oxyz$ – орбиталдық координаттар жүйесі; Ox өсі – Жердің массалар центрі мен серік-тұрақтандырғыш жүйесінің массалар центрін қосатын радиус вектор бойымен бағытталған; Oy

Ox -ке перпендикуляр және орбита жазықтығында жатыр; Oz осы жазық реперді кеңістіктегі оң координаттар жүйесіне толықтырады.

$Ox_1 y_1 z_1$ және $Ox_2 y_2 z_2$ үшжақтарының өстері сәйкесінше серік пен тұрақтандырғыштың орталық инерция эллипсоидтарының бас өстері бойымен бағытталған.

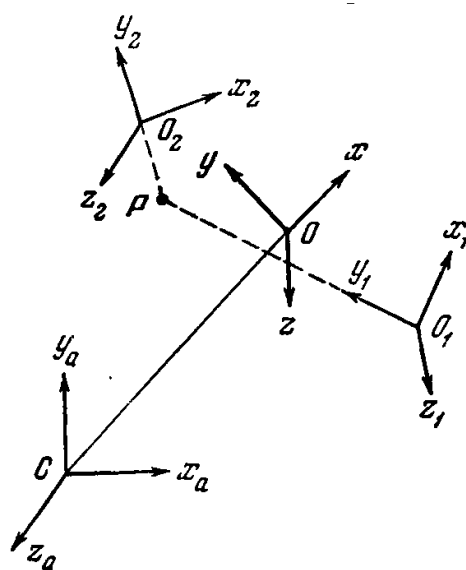
Серік пен тұрақтандырғышты байланыстырып тұрған P топсасы Oy_1 және Oy_2 өстерінің қиылысында орналасқан. Серік-тұрақтандырғыш жүйесінің параметрлері, жүйе орнықты тепеңдікте болған кезде, $Oxyz$, $Ox_1 y_1 z_1$ және $Ox_2 y_2 z_2$ жүйелерінің өстері параллель: $Ox_1 \parallel Ox_2$, $Oy_1 \parallel Oy_2$, $Oz_1 \parallel Oz_2$ болатындай етіп таңдап алынады.

Негізгі координат жүйелерінің арасындағы көшу матрицаларының элементтерін келесі кестедегідей белгілейік:

	X	Y	Z		X_i	Y_i	Z_i		X_i	Y_i	Z_i
x_a	c_{11}	c_{12}	c_{13}	x	$a_{11}^{(i)}$	$a_{12}^{(i)}$	$a_{13}^{(i)}$	x_a	$\bar{a}_{11}^{(i)}$	$\bar{a}_{12}^{(i)}$	$\bar{a}_{13}^{(i)}$
y_a	c_{21}	c_{22}	c_{23}	y	$a_{21}^{(i)}$	$a_{22}^{(i)}$	$a_{23}^{(i)}$	y_a	$\bar{a}_{21}^{(i)}$	$\bar{a}_{22}^{(i)}$	$\bar{a}_{23}^{(i)}$
z_a	c_{31}	c_{32}	c_{33}	z	$a_{31}^{(i)}$	$a_{32}^{(i)}$	$a_{33}^{(i)}$	z_a	$\bar{a}_{31}^{(i)}$	$\bar{a}_{32}^{(i)}$	$\bar{a}_{33}^{(i)}$

Мұндағы, $i = 1, 2$. Бұдан былай, i -дің 1-ге тең мәні серіктің параметрлеріне, ал 2-ге тең мәні

тұрақтандырғыштың параметрлеріне қатысты деп қараймыз.



3 сурет – Негізгі санақ жүйелері

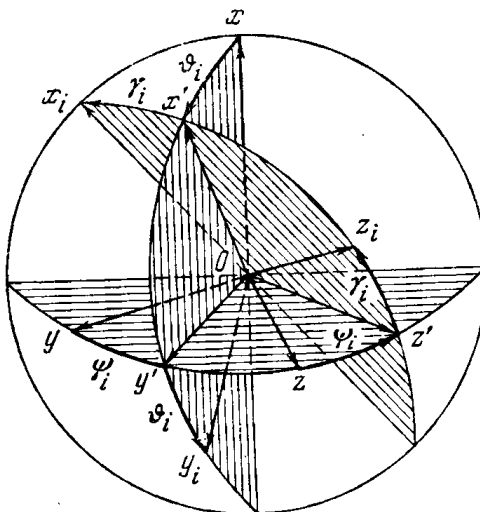
$Oxyz$ және $Cx_a y_a z_a$ үшжақтарының өстерінің арасындағы бағыттауыш косинустар нақты траекториясының элементтері арқылы анықталады:

$$\left. \begin{aligned} c_{11} &= \cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i, \\ c_{12} &= -\sin u \sin \Omega + \cos u \cos \Omega \cos i, \\ c_{13} &= -\cos \Omega \sin i, \\ c_{21} &= \sin u \sin i, \\ c_{22} &= \cos u \sin i, \\ c_{23} &= \cos i, \\ c_{31} &= \cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i, \\ c_{32} &= -\sin u \cos \Omega - \cos u \sin \Omega \cos i, \\ c_{33} &= \sin \Omega \sin i, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

мұндағы, $u = \bar{\omega} + v$, $\bar{\omega}$ - перигейдің түйіндер сызығынан бұрыштық қашықтығы, Ω - түйіндер сызығының тұрақты белгілі бағыттан бұрыштық қашықтығы, i – орбитаның көлбеулігі.

$O_i x_i y_i z_i$ үшжағының орбиталды координаттар жүйесіне қатысты O_i санақ басын O -ға көшіргеннен кейінгі орнын өзара тәуелсіз үш бұрыш: ψ_i , v_i , γ_i арқылы анықтауға болады (2 сурет). Мұндағы: ψ_i –

Оу_i-дің Оу_z өсіне проекциясы мен Оу өсінің арасындағы бұрыш; v_i - Оу_i өсінің Оу_z жазықтығымен жасайтын бұрышы; γ_i - Ох_i өсі мен Оху_i жазықтығының арасындағы бұрыш. Оху_i үшжағынан Ох_iу_iz_i көшу Ох, Оz', Оу_i өстері бойынша сәйкесінше ψ_i , v_i , γ_i бұрышқа бұру арқылы жүзеге асады.



4 сурет - $O_i x_i y_i z_i$ үшжағының орбиталды координаттар жүйесіне қатысты орналасуы

$O_i x_i y_i z_i$ үшжағы өстерінің орбиталды координаттар жүйесіне қатысты бағыттауыш косинустары мен осы үшжақтың айналуының

абсолют бұрыштық жылдамдығының $O_i x_i$, $O_i y_i$, $O_i z_i$ өстеріндегі проекциялары келесі формулалар арқылы есептеледі:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}^{(i)} &= \cos v_i \cos \gamma_i, \\ a_{12}^{(i)} &= -\sin v_i, \\ a_{13}^{(i)} &= \cos v_i \sin \gamma_i, \\ a_{21}^{(i)} &= \cos \psi_i \sin v_i \cos \gamma_i + \sin \psi_i \sin \gamma_i, \\ a_{22}^{(i)} &= \cos \psi_i \cos v_i \\ a_{23}^{(i)} &= \cos \psi_i \sin v_i \sin \gamma_i - \sin \psi_i \cos \gamma_i \\ a_{31}^{(i)} &= \sin \psi_i \sin v_i \cos \gamma_i - \cos \psi_i \sin \gamma_i \\ a_{32}^{(i)} &= \sin \psi_i \cos v_i \\ a_{33}^{(i)} &= \sin \psi_i \sin v_i \sin \gamma_i + \cos \psi_i \cos \gamma_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} p_i &= a_{11}^{(i)} \dot{\psi}_i - \dot{v}_i \cos \gamma_i + a_{31}^{(i)} \omega, \\ q_i &= a_{12}^{(i)} \dot{\psi}_i - \dot{\gamma}_i + a_{32}^{(i)} \omega \\ r_i &= a_{13}^{(i)} \dot{\psi}_i - \dot{v}_i \sin \gamma_i + a_{33}^{(i)} \omega \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Мұндағы $\omega = \frac{dv}{dt}$ - жүйенің массалар центрінің эллипстік орбита бойынша қозғалысының бұрыштық жылдамдығы. Нүкте арқылы уақытбойынша туынды белгіленді.

Серік-тұрақтандырғыш жүйесінің кинетикалық энергиясының өрнегін шығаруға көшейік. Екі еркін дене үшін кинетикалық энергия:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 M_i [\dot{x}_i]^2 + [\dot{y}_i]^2 + [\dot{z}_i]^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (A_i p_i^2 + B_i q_i^2 + C_i r_i^2), \quad (5)$$

мұндағы M_i – масса, A_i , B_i , C_i – бас орталық инерция моменттері.

Біз қарастырып отырған схемада, серік пен тұрақтандырғыш P сфералық топса арқылы

байланысқан; оның $O_i x_i y_i z_i$ үшжағына қатысты координатылары $0, b_i, 0$. Векторлық түрде жазылған байланыс шартын:

$$\mathbf{CO}_1 + \mathbf{O}_1 \mathbf{P} = \mathbf{CO}_2 + \mathbf{O}_2 \mathbf{P},$$

үш скаляр қатынас арқылы жазуға болады:

$$\left. \begin{aligned} x_1 + b_1 \bar{a}_{12}^{(1)} &= x_2 + b_2 \bar{a}_{12}^{(2)}, \\ y_1 + b_1 \bar{a}_{22}^{(1)} &= y_2 + b_2 \bar{a}_{22}^{(2)}, \\ z_1 + b_1 \bar{a}_{32}^{(1)} &= z_2 + b_2 \bar{a}_{32}^{(2)}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Жүйенің массалар центрінің анықтамасы бойынша:

$$\left. \begin{aligned} M_1 x_1 + M_2 x_2 &= (M_1 + M_2) x_0, \\ M_1 y_1 + M_2 y_2 &= (M_1 + M_2) y_0, \\ M_1 z_1 + M_2 z_2 &= (M_1 + M_2) z_0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Мұнда x_0, y_0, z_0 – серік-тұрақтандырғыш жүйесінің массалар центрінің абсолют координаталары. (6) мен (7)-ден, серік пен тұрақтандырғыштың массалар центрінің координаталары, серік-тұрақтандырғыш жүйесінің массалар центрінің координаталары арқылы келесі түрде өрнектеледі:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_0 - \frac{M_2}{M_1 + M_2} (b_1 \bar{a}_{12}^{(1)} - b_2 \bar{a}_{12}^{(2)}), \\ y_1 &= y_0 - \frac{M_2}{M_1 + M_2} (b_1 \bar{a}_{22}^{(1)} - b_2 \bar{a}_{22}^{(2)}), \\ z_1 &= z_0 - \frac{M_2}{M_1 + M_2} (b_1 \bar{a}_{32}^{(1)} - b_2 \bar{a}_{32}^{(2)}), \\ x_2 &= x_0 + \frac{M_1}{M_1 + M_2} (b_1 \bar{a}_{12}^{(1)} - b_2 \bar{a}_{12}^{(2)}), \\ y_2 &= y_0 + \frac{M_1}{M_1 + M_2} (b_1 \bar{a}_{22}^{(1)} - b_2 \bar{a}_{22}^{(2)}), \\ z_2 &= z_0 + \frac{M_1}{M_1 + M_2} (b_1 \bar{a}_{32}^{(1)} - b_2 \bar{a}_{32}^{(2)}). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Пуассон қатынастарын:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\bar{a}}_{11}^{(i)} &= r_i \bar{a}_{12}^{(i)} - q_i \bar{a}_{13}^{(i)}, & \dot{\bar{a}}_{21}^{(i)} &= r_i \bar{a}_{22}^{(i)} - q_i \bar{a}_{23}^{(i)}, & \dot{\bar{a}}_{31}^{(i)} &= r_i \bar{a}_{32}^{(i)} - q_i \bar{a}_{33}^{(i)}, \\ \dot{\bar{a}}_{12}^{(i)} &= p_i \bar{a}_{13}^{(i)} - r_i \bar{a}_{11}^{(i)}, & \dot{\bar{a}}_{22}^{(i)} &= p_i \bar{a}_{23}^{(i)} - r_i \bar{a}_{21}^{(i)}, & \dot{\bar{a}}_{32}^{(i)} &= p_i \bar{a}_{33}^{(i)} - r_i \bar{a}_{31}^{(i)}, \\ \dot{\bar{a}}_{13}^{(i)} &= q_i \bar{a}_{11}^{(i)} - p_i \bar{a}_{12}^{(i)}, & \dot{\bar{a}}_{23}^{(i)} &= q_i \bar{a}_{21}^{(i)} - p_i \bar{a}_{22}^{(i)}, & \dot{\bar{a}}_{33}^{(i)} &= q_i \bar{a}_{31}^{(i)} - p_i \bar{a}_{32}^{(i)}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ескеріп, (8) бен (4)-ті қолданып, (5)-тегі $\dot{x}_1, \dot{y}_1, \dot{z}_1, \dot{x}_2, \dot{y}_2, \dot{z}_2$ -ден құтылсақ, жүйенің кинетикалық энергиясын келесі түрде аламыз:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{2}(M_1 + M_2)(\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2 + \dot{z}_0^2) + \frac{1}{2}(A_1 p_1^2 + B_1 q_1^2 + C_1 r_1^2) + \\
 T &= \frac{1}{2}(M_1 + M_2)(\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2 + \dot{z}_0^2) + \frac{1}{2}(A_1 p_1^2 + B_1 q_1^2 + C_1 r_1^2) + \\
 &+ \frac{1}{2}(A_2 p_2^2 + B_2 q_2^2 + C_2 r_2^2) + \frac{1}{2}M\{b_1^2(p_1^2 + r_1^2) + b_2^2(p_2^2 + r_2^2) - \\
 &- 2b_1 b_2[(p_1 a_{12}^{(1)} - r_1 a_{11}^{(1)})(p_2 a_{12}^{(2)} - r_2 a_{11}^{(2)}) + (p_1 a_{23}^{(1)} - r_1 a_{21}^{(1)})(p_2 a_{32}^{(2)} - r_2 a_{21}^{(2)}) + \\
 &+ (p_1 a_{33}^{(1)} - r_1 a_{31}^{(1)})(p_2 a_{33}^{(2)} - r_2 a_{31}^{(2)})]\}.
 \end{aligned} \quad (10)$$

(10)-да $M = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$ деп белгілеу енгіздік.

Жердің тарту өрісінің Ньютондық өрістен ауытқуын ескермесек, Жердің гравитациялық өрісінің серік-тұрақтандырғыш жүйесіне әсерін сипаттайтын күштік өрісті келесі өрнек арқылы анықтауға болады:

$$U = k \sum_{i=1}^2 \iiint_{M_i} \frac{1}{\rho_i} dM_i, \quad (11)$$

мұндағы, $(\bar{\rho}_i)^2 = (\bar{x}_i)^2 + (\bar{y}_i)^2 + (\bar{z}_i)^2$, $\bar{x}_i = x_i + \tilde{x}_i \bar{a}_{11}^{(i)} + \tilde{y}_i \bar{a}_{12}^{(i)} + \tilde{z}_i \bar{a}_{13}^{(i)}$, $\bar{y}_i = y_i + \tilde{x}_i \bar{a}_{21}^{(i)} + \tilde{y}_i \bar{a}_{22}^{(i)} + \tilde{z}_i \bar{a}_{23}^{(i)}$, $\bar{z}_i = z_i + \tilde{x}_i \bar{a}_{31}^{(i)} + \tilde{y}_i \bar{a}_{32}^{(i)} + \tilde{z}_i \bar{a}_{33}^{(i)}$, $k = f M_0$,

f – тартылыс тұрақтысы, M_i – Жердің массасы, $\tilde{x}_i$, $\tilde{y}_i$, $\tilde{z}_i$ – интегралдаудың айнымалы нүктесінің $Ox_i y_i z_i$ үшжағына қатысты координаталары; $\tilde{x}_i$, $\tilde{y}_i$, $\tilde{z}_i$ (8) теңдеу арқылы анықталады.

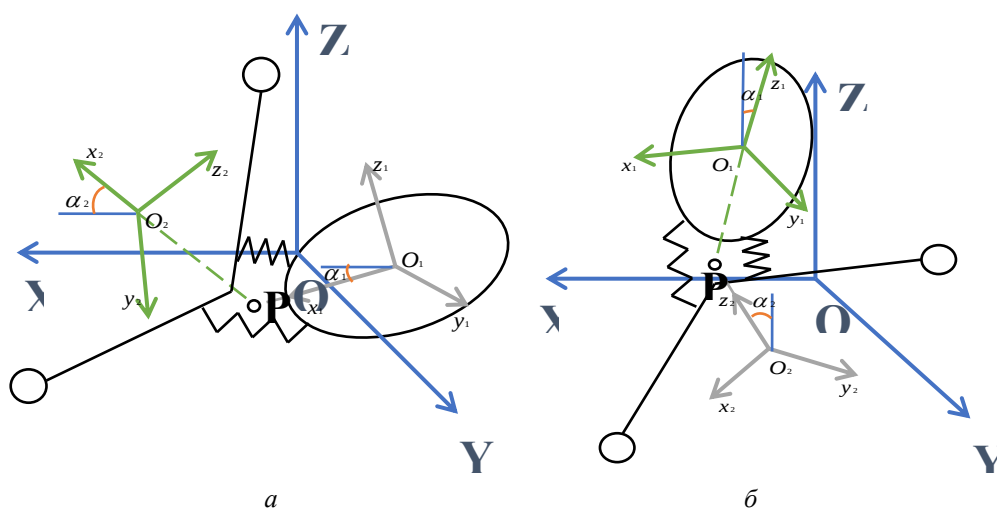
Шеңберлік орбита бойымен қозғалатын серік-тұрақтандырғыш гравитациялық жүйесінің оптималды параметрлері

Шеңберлік орбитадағы серік-тұрақтандырғыш жүйесінің практикалық тұрғыдан пайдалы мынадай тепе-теңдік жағдайлары бар:

1) Р топсасы орбитаға жанама бағытымен сәйкес келетін Ox_1 және Ox_2 өстерінің

қиылысында орналасқан (горизонталь схема) (сурет-2.3.1,а)

2) Р топсасы орбитаның қазіргі радиус векторының бағытымен сәйкес келетін Oz_1 және Oz_2 өстерінің қиылысында орналасқан (вертикаль схема) (сурет-2.3.1,б)



а
Сурет 5 – Серік тұрақтандырғыш жүйесі
а – горизонталь сызба; б – вертикаль сызба

Тепе-теңдік жағдайында серікпен және тұрақтандырғышпен байланысқан $Ox_1 y_1 z_1$ және $Ox_2 y_2 z_2$ координат жүйелерінің өстері $OXYZ$ орбиталды координат жүйесінің өстеріне параллель болады.

СТЖ-нің тепе-теңдік жағдайының маңайындағы кіші тербелістерді зерттеу мен әсер ету жылдамдығына қатысты оптималды параметрлерін анықтауға біршама жұмыстар

арналған. Екі дененің де массалар центрі топса Р мен сәйкес келетін жағдай [9]-да қарастырылған. [10] да Р топсасы бір дененің ғана массалар центрімен сәйкес келетін жағдай қарастырылған.

Бұл жұмыста СТЖ оптималды параметрлерін анықтау есебінің горизонталь және вертикаль сызбалары үшін аналитикалық және сандық шешімдері алынды.

Горизонталь сызба. Шеңберлік орбитадағы
СТЖ-ның кіші тербелістерін анықтайтын
теңдеулер жүйесі

$$\begin{aligned} (B_1 + Ma_1^2)\alpha_1'' - Ma_1a_2\alpha_2'' + 3(A_1 - C_1 - Ma_1^2)\omega_0^2\alpha_1 + \\ + 3Ma_1a_2\omega_0^2\alpha_2 + \bar{k}_1(\alpha_1' - \alpha_2') + \bar{k}_2(\alpha_1 - \alpha_2) = 0, \\ -Ma_1a_2\alpha_1'' + (B_2 + Ma_2^2)\alpha_2'' + 3Ma_1a_2\omega_0^2\alpha_1 + \\ + 3(A_2 - C_2 - Ma_2^2)\omega_0^2\alpha_2 - \bar{k}_1(\alpha_1' - \alpha_2') - \bar{k}_2(\alpha_1 - \alpha_2) = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Мұндағы $M=M_1M_2/(M_1+M_2)$; M_1, A_1, B_1, C_1 және M_2, A_2, B_2, C_2 – жүйе денелерінің массалары мен бас инерция моменттері; $(a_1, 0, 0), (a_2, 0, 0)$ – P топсасының $Ox_1y_1z_1$ және $Ox_2y_2z_2$ координат жүйелеріндегі координаталары, $\bar{k}_1$ – демпфирлеу коэффициенті, $\bar{k}_2$ – серіпімділік коэффициенті, ω_0 –

жүйенің массалар центрінің орбита бойымен айналуының бұрыштық жылдамдығы, α_1, α_2 – Ox_1 және Ox_2 өстері мен орбитаға жанаманың арасындағы бұрыштар. Штрих арқылы уақыт t бойынша дифференциалдау белгіленді.

Вертикаль сызба

СТЖ вертикаль орналасу сызбасының сызықтандырылған теңдеулер жүйесі мына түрде болады:

$$\begin{aligned} (B_1 + Mc_1^2)\alpha_1'' - Mc_1c_2\alpha_2'' + 3(A_1 - C_1 + Mc_1(c_1 - c_2))\omega_0^2\alpha_1 + \\ + \bar{k}_1(\alpha_1' - \alpha_2') + \bar{k}_2(\alpha_1 - \alpha_2) = 0, \\ -Mc_1c_2\alpha_1'' + (B_2 + Mc_2^2)\alpha_2'' + 3(A_2 - C_2 - Mc_2(c_1 - c_2))\omega_0^2\alpha_2 - \\ - \bar{k}_1(\alpha_1' - \alpha_2') - \bar{k}_2(\alpha_1 - \alpha_2) = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

мұнда $(0, 0, c_1), (0, 0, c_2)$ – P топсасының $Ox_1y_1z_1$ және $Ox_2y_2z_2$ координат жүйелеріндегі координаталары. (14)-дың сипаттаушы теңдеуі мына түрге келеді:

$$\lambda^4 + k_1\lambda^3 + [k_2 + 3(p_1 + p_2)]\lambda^2 + 3k_1p\lambda + 3k_2p + 9p_1p_2S = 0 \quad (14)$$

Мұнда мынадай белгілеулер енгізілген:

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{\bar{k}_1}{\omega_0} \frac{B_1 + B_2 + M(c_1 - c_2)^2}{(B_1 + Mc_1^2)(B_2 + Mc_2^2) - M^2c_1^2c_2^2}, \\ k_2 &= \frac{\bar{k}_2}{\omega_0} \frac{B_1 + B_2 + M(c_1 - c_2)^2}{(B_1 + Mc_1^2)(B_2 + Mc_2^2) - M^2c_1^2c_2^2}; \\ p_1 &= \frac{A_1 - C_1 + Mc_1(c_1 - c_2)}{B_1 + Mc_1^2}, p_2 = \frac{A_2 - C_2 + Mc_2(c_2 - c_1)}{B_2 + Mc_2^2}, p = \frac{(A_1 - C_1) + (A_2 - C_2) - M(c_1 - c_2)^2}{B_1 + B_2 + M(c_1 - c_2)^2} \\ R &= \frac{(1 + S_1)(1 + S_2)}{(1 + S_1 + S_2)}, S_1 = Mc_1^2/B_1, S_2 = Mc_2^2/B_2 \end{aligned}$$

Сипаттаушы теңдеуге қатысты алдындағы болжамды қабылдап, келесі қатынастарға келеміз:

$$\begin{aligned} k_1 = 4\xi, k_2 = 6\xi^2 - 3S(p_1 + p_2), \\ p = \frac{1}{3}\xi^2, \xi^2 = \frac{3}{10}S \left[p_1 + p_2 + \sqrt{(p_1 + p_2)^2 - 20 \frac{p_1p_2}{S}} \right]. \end{aligned} \quad (15)$$

ξ^2 -ті S бойынша дифференциалдап, $\frac{\partial \xi^2}{\partial S} = 0$ егер $p_1=0, p_2 \leq 0$, немесе $p_1 \leq 0, p_2=0$. Әрі екі жағдайда да $\xi^2=0$. Ендеше, максимал орнықтылық деңгейін S параметрінің өзгеру аймағында іздеу керек. $1 \leq S < \infty$ екені анық, $S=1$ болады, егер $S_1=0$ немесе $S_2=0$ болса.
 $S=1$ болсын, онда

$$\xi^2 = \frac{3}{10} [p_1 + p_2 + \sqrt{p_1^2 - 18p_1p_2 + p_2^2}]. \quad (16)$$

(17) өрнек, $p_1 \geq (9 + \sqrt{80})p_2$ немесе $p_1 \leq (9 + \sqrt{80})p_2$ болған кезде нақты. (2.3.22)-ны дифференциалдасақ, аламыз.

$$\frac{\partial \xi^2}{\partial p_1} = \frac{3}{10} \left[1 + \frac{p_1 - 9p_2}{\sqrt{(p_1 - 9p_2)^2 - 80p_2^2}} \right],$$

$$\frac{\partial \xi^2}{\partial p_2} = \frac{3}{10} \left[1 - \frac{9p_1 - p_2}{\sqrt{(9p_1 - p_2)^2 - 80p_1^2}} \right] \quad (17)$$

(18) дербес туындылардың екеуі бірдей 0-ге айналмайды, сондықтан, p_1 және p_2 параметрлерінің анықталу аймағында ξ^2 -тың экстремумы жоқ.

Физикалық мүмкін жүйелер үшін p_1 және p_2 келесі шарттарды қанағаттандырады

$$\text{егер } S_1=0, \text{ онда } |p_1| \leq l, \frac{S_2-1}{S_2+1} \leq p_2 \leq 1;$$

$$\text{егер } S_2=0, \text{ онда } |p_2| \leq l, \frac{S_1-1}{S_1+1} \leq p_1 \leq 1; \quad (18)$$

(19) туындыларының таңбаларын зерттегенде:

$$\text{егер } p_1 \geq (9 + \sqrt{80})p_2, \text{ онда } \frac{\partial \xi^2}{\partial p_1} > 0, \frac{\partial \xi^2}{\partial p_2} < 0;$$

$$\text{егер } p_1 \leq (9 + \sqrt{80})p_2, \text{ онда } \frac{\partial \xi^2}{\partial p_1} < 0, \frac{\partial \xi^2}{\partial p_2} > 0 \quad (19)$$

аламыз.

(13,14,15), және (15,12)-тен , максимал орнықтылық деңгейі $\sqrt[4]{9/5}$ -ке тең және параметрлердің келесі мәндерінде алынады:

- 1) $S_1 = 0, p_1 = -l, p_2 = l;$
- 2) $S_2 = 0, p_1 = l, p_2 = -l.$

және барлық жағдайлар үшін $k_1 = 4\sqrt{3}/\sqrt[4]{5}$,
 $k_2 = 18/\sqrt{5}, p = \frac{1}{3}\xi^2.$

Вертикаль сызба үшін Maple программалық пакетінде жасалған программа және алынған нәтижелер көрсетілді.

дифференциалдық теңдеулер жүйесін сандық әдіспен шешудің математикалық моделі MatLab пакетінің қосымшасы Simulink визуалды программалау жүйесі арқылы шешілді (Қосымша В). Программаны Dormand-Prince, Bogatcki-Shampine, Runge-Kutta, Euler, Heun, extrapolation сияқты қадамы тұрақты, және Dormand-Prince, Bogatcki-Shampine, Adams, сияқты айнымалы қадамды тәсілдер арқылы шешу режимдері бар.

Горизонталь схема үшін алынған нәтиже:

> restart;

> with(plots); with(plottools);

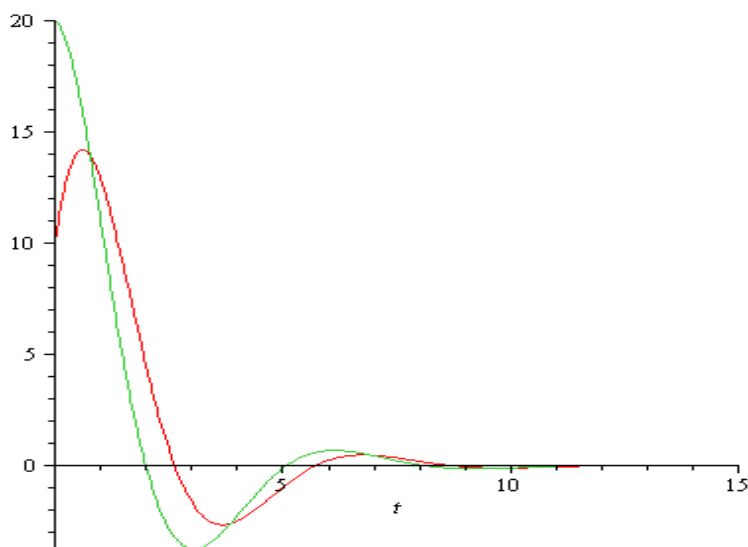
[animate, animate3d, animatecurve, arrow, changecoords, complexplot, complexplot3d, conformal, conformal3d, contourplot, contourplot3d, coordplot, coordplot3d, densityplot, display, dualaxisplot, fieldplot, fieldplot3d, gradplot, gradplot3d, implicitplot, implicitplot3d, inequal, interactive, interactiveparams, intersectplot, listcontplot, listcontplot3d, listdensityplot, listplot, listplot3d, loglogplot, logplot, matrixplot, multiple, odeplot, pareto, plotcompare, pointplot, pointplot3d, polarplot, polygonplot, polygonplot3d, polyhedra_supported, polyhedraplot, rootlocus, semilogplot, setcolors, setoptions, setoptions3d, spacecurve, sparsematrixplot, surfdata, textplot, textplot3d, tubeplot]

> eq := $x^4 + a_1 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x + a_4 = 0;$

eq := $x^4 + \frac{4}{5} \sqrt{3} 5^{3/4} x^3 + \left(\frac{18}{5} \sqrt{5} - \frac{3}{2} \right) x^2 + \frac{12}{5} \sqrt{3} 5^{1/4} x + \frac{9}{5} = 0$

> sol := solve($x^4 + a_1 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x + a_4 = 0$);

```
> plot( {e-0.54591974899562·t·( 20·cos(1.0215734989450·t) + 10
·sin(1.0215734989450·t)), e-0.54591974899562·t·( 10
·cos(1.0215734989450·t) + 20·sin(1.0215734989450·t)) }, t = 0
..15);
```



Вертикаль schema үшін алынған нәтиже:

```
> restart;
> with(plots); with(plottools);
[animate, animate3d, animatecurve, arrow, changecoords,
complexplot, complexplot3d, conformal, conformal3d, contourplot,
contourplot3d, coordplot, coordplot3d, densityplot, display,
dualaxisplot, fieldplot, fieldplot3d, gradplot, gradplot3d,
implicitplot, implicitplot3d, inequal, interactive, interactiveparams,
intersectplot, listcontplot, listcontplot3d, listdensityplot, listplot,
listplot3d, loglogplot, logplot, matrixplot, multiple, odeplot, pareto,
plotcompare, pointplot, pointplot3d, polarplot, polygonplot,
polygonplot3d, polyhedra_supported, polyhedraplot, rootlocus,
semilogplot, setcolors, setoptions, setoptions3d, spacecurve,
sparsematrixplot, surfdata, textplot, textplot3d, tubepoint]
```

```
x1 := 0.151688545004992 + 1.26584845716492 I
```

```
> x2 := evalf(sol[2]);
```

```
x2 := -1.65494358716300
```

```
> x3 := evalf(sol[3]);
```

```
x3 := -4.01499664784698
```

```
> x4 := evalf(sol[4]);
```

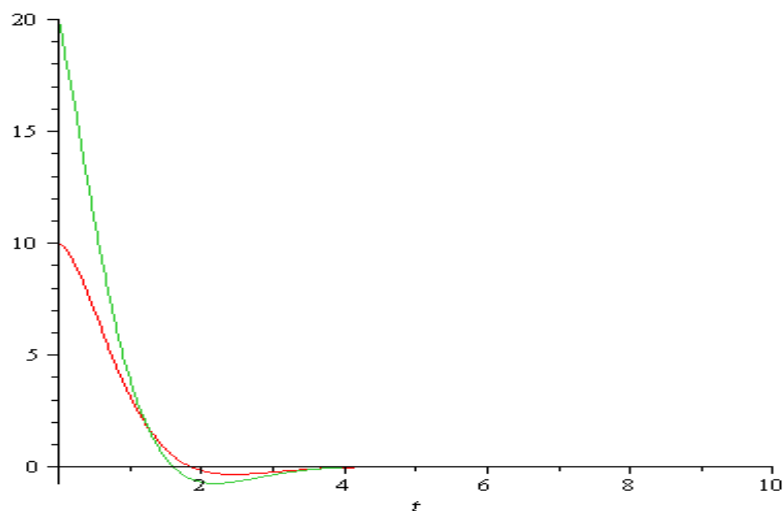
```
x4 := 0.151688545004992 - 1.26584845716492 I
```

```
> α1 := e $\frac{x_2}{2} \cdot t$ ; α2 := e $\frac{x_3}{3} \cdot t$ ;
```

```
α1 := e-1.65494358716300 t
```

```
α2 := e-4.01499664784698 t
```

$$\begin{aligned}
 &> \text{plot}\left(\left\{e^{-1.3805813711308 \cdot t} \cdot (20 \cdot \cos(1.26584845716492 \cdot t) + 10 \cdot \sin(1.26584845716492 \cdot t)), e^{-1.3805813711308 \cdot t} \cdot (10 \cdot \cos(1.26584845716492 \cdot t) + 10 \cdot \sin(1.26584845716492 \cdot t))\right\}, t\right. \\
 &\quad \left.= 0 : 10\right);
 \end{aligned}$$



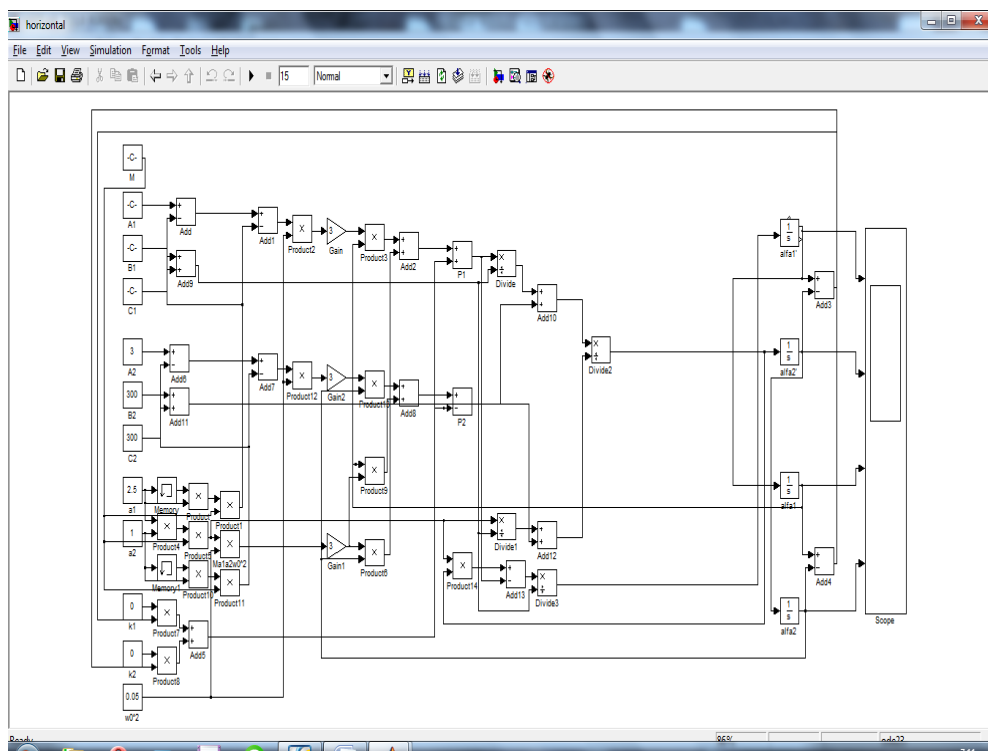
ҚОРЫТЫНДЫ

Эллиптикалық орбита жазықтығындағы жүйенің эксцентриситеттік тербелістері зерттелді. Серіктің эксцентриситеттік тербелістерінің амплитудасының минималды шамасына сәйкес келетін параметрлер көрсетілді. Кеңістіктегі шеңберлік және эллипстік орбита бойымен қозғалатын пассивті гравитациялық ориентацияланған серіктің динамикасы зерттеледі.

Алдымен, шеңберлік орбита жағдайындағы серік-тұрақтандырғыш жүйесінің неғұрлым қарапайым тепе-теңдік жағдайының маңайындағы аздаған тербелістер қарастырылды. тепе-теңдік

жағдайының асимптотикалық орнықтылығының қажетті және жеткілікті шарттары көрсетілді, қозғалыс горизонталь және вертикаль бөліктерге бөлініп қарастырылып, шеңберлік жағдай үшін аналитикалық және сандық шешімдер алынды, серік-тұрақтандырғыш жүйесінің өздік тербелістерінің максималды өшу жылдамдығын қамтамасыз ететін параметрлер анықталды.

Шеңберлік орбита бойымен қозғалатын жүйенің оптималды параметрлерін анықтайтын (қозғалыстың дифференциалдық теңдеуін шешетін) математикалық модель (Simulink).



ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ЭДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сарычев В.А. Исследование динамики системы гравитационной стабилизации // Искусственные спутники Земли. М.: Изд. АН СССР, 1963. №16. С.10-33.
2. Цыпкин Я.З., Бромберг П.В. О степени устойчивости линейных систем // Изв. АН СССР. Отделение технич. наук. 1945. №12. С.1163-1168.
3. Borelli R.L., Leliakov I.P. An optimization technique for the transient response of passively stable satellites // J. of Optimization Theory and Applications. 1972. V.10. №6. P.344-361.
4. Сарычев В.А., Сазонов В.В. Оптимальные параметры пассивных систем ориентации спутников // Космич. исслед. 1976. Т.14. №2. С.198-208.
5. Сарычев В.А., Мирер С.А. Оптимальные параметры гравитационной системы спутник-стабилизатор // Космич. исслед. 1976. Т.14. №2. С.209-219.

6. Sarychev V.A., Mirer S.A., Sazonov V.V. Plane oscillations of a gravitational system satellite-stabilizer with maximal speed of response // Acta Astronautica. 1976. V.3. №9-10. P.651-669.
7. Сарычев В. А. Вопросы ориентации искусственных спутников // Итоги науки и техники: Исследование космического пространства. Т. 11. — М.: ВИНТИ, 1978. — 223 с.
8. Охочимский Д.Е., Сарычев В.А. Система гравитационной стабилизации искусственных спутников // Искусственные спутники Земли. № 16 — М.: Изд. АН СССР, 1963. — С. 5–9.
9. E.E. Zajac. ARS J., 32, No. 12, 1871, 1962.
10. Sarychev V.A., Proc. of the Sec. Intern. Conf. on Space Engng, Venice, 1969, p. 574.
11. Сарычев В.А., Сеабра А.М., Сантуш Л.Ф., Динамика гравитационной системы спутник-стабилизатор на круговой и эллиптических орбитах. Космич. Исслед., 2006, Т.44. №1. 93-69.

Deineha R.O.

Assistant Department of Oil and Gas Field Machinery and Equipment
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Ivasiv V.M.

DSc, Professor Department of Construction and Civil Engineering
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Mykhailiuk V.V.

Associate Professor, PhD (in engineering)
Department of Oil and Gas Field Machinery and Equipment
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Faflei O.Y.

Assistant Department of Construction and Energy Efficient Structures
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

RESEARCH OF THE EFFECT OF THE BANDAGE ON THE DEFECT PIPELINE

Дейнега Р.О.

Асистент кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Івасів В.М.

Професор кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Михайлюк В.В.

Доцент кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Фафлей О.Я.

Асистент кафедри будівництва та енергоефективних споруд
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАНДАЖУ НА ДЕФЕКТНУ ДІЛЯНКУ ТРУБОПРОВОДУ

Summary. Thousands of kilometers of steel pipelines are operated in Ukraine to transport oil, gas, petroleum products, water, ammonia and the like. The aggressive effects of transportation products, external short-term and prolonged force effects in combination with the environment often cause defects such as metal loss on the surface of pipelines, dents, scratches, caverns and the like. All these defects in the process of operation will lead to the formation and growth of fatigue cracks that cause the pipeline to collapse. This inevitably requires repairing their defective areas or transferring the pipeline to a new, more moderate mode of operation.

Today, many different methods of repairing damaged sections of pipelines are used, which are aimed at extending its service life.

In the work the analysis of modern domestic and world technologies of repair of pipelines with use of couplings (bandages) is carried out. Depending on the type of defect, its dangers and geometrical parameters, different clutches can be applied, which have both advantages and disadvantages.

Therefore, the influence of the bandage, which is installed on the defective section of the pipeline by using simulation modeling, is investigated.

It is established that the application of a bandage to a defective section of the pipeline reduces the magnitudes of stresses that occur both in the defect zone and in the wall, almost twice. In terms of the number of cycles to fracture (taking into account the effect of the pressure ripple during the year), they increase from 12230 to 371530 when applying the bandage.

Анотація. Для транспортування нафти, газу, нафтопродуктів, води, аміаку тощо, в Україні експлуатується тисячі кілометрів сталевих трубопроводів. Агресивний вплив продуктів транспортування, зовнішні короткочасні та тривалі силові впливи у поєднанні з навколишнім середовищем часто спричиняють утворення дефектів, таких як втрата металу на поверхні магістральних трубопроводів, вм'ятини, подряпини, каверни та тощо. Всі ці дефекти у процесі експлуатації приведуть до зародження та росту втомних тріщин, що спричиняють руйнування трубопроводу. Це неминуче вимагає ремонту їх дефектних ділянок або перевodu трубопроводу на новий, більш помірний режим роботи.

Сьогодні застосовують багато різноманітних способів ремонту пошкоджених ділянок трубопроводів, які спрямовані на подовження його терміну експлуатації.

У роботі проведено аналіз сучасних вітчизняних та світових технологій ремонту трубопроводів із використання муфт (бандажів). Залежно від типу дефекту, його небезпеки та геометричних параметрів можуть застосовуватися різні за конструкцією муфти, які мають як ряд переваг так і недоліків.

Тому досліджено впливу бандажу, який встановлюється на дефектну ділянку трубопроводу за допомогою використання імітаційного моделювання.

Встановлено, що застосування бандажу на дефектну ділянку трубопроводу знижує величини напружень, що виникають як у зоні дефекту, так і у стінці, майже у два рази. Щодо кількості циклів до руйнування (із врахуванням впливу пульсації тиску протягом року), то при застосуванні бандажу вони збільшуються із 12230 до 371530.

Keywords: *pipeline, bandage, simulation, defect, fatigue cracks*

Ключові слова: *трубопровід, бандаж, імітаційне моделювання, дефект, втомні тріщини*

Постановка проблеми

Сьогодні в Україні експлуатується тисячі кілометрів сталевих трубопроводів (магістральних, промислових, міських, міжміських, внутрішньозаводських). Вони призначені для транспортування нафти, газу, нафтопродуктів, води, аміаку тощо. Багато з них відпрацювали більше 40 років.

Агресивний вплив продуктів транспортування, зовнішні короткочасні та тривалі силові впливи у поєднанні з навколишнім середовищем часто спричиняють утворення дефектів, таких як втрата металу на поверхні магістральних трубопроводів, вм'ятини, подряпини, каверни та тощо. Всі ці дефекти у процесі експлуатації приведуть до зародження та росту втомних тріщин, що спричиняють руйнування трубопроводу. Це неминуче вимагає ремонту їх дефектних ділянок або перевodu трубопроводу на новий, більш помірний режим роботи.

Сьогодні застосовують багато різноманітних способів ремонту пошкоджених ділянок трубопроводів, які спрямовані на подовження його терміну експлуатації.

В певній мірі будь-який спосіб ремонту дефектної ділянки трубопроводу повинен зменшити вплив на неї робочих навантажень та середовищ. Тому у статті розглядаються способи ремонту трубопроводу та вплив на дефектну ділянку, що містить тріщини, зовнішнього ремонтного покриття та режиму роботи трубопроводу протягом одного року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Технології ремонту з встановленням сталевих муфт. Аналіз вітчизняних і закордонних технологій ремонту трубопроводів показує, що сьогодні у світовій практиці існує ряд методів, які дозволяють проводити їх ремонт без зупинки. Одними з перспективних є технології ремонту, що передбачають встановлення на їх поверхні муфт (бандажів). Залежно від типу дефекту, його небезпеки та геометричних параметрів можуть застосовуватися різні за конструкцією муфти:

- без герметизації (обтискні): короткі та довгі;
- герметизуючі (приварні): герметичні (короткі та довгі, із заповненням і без заповнення), галтельні, посилені [1], пляшкові.

Кожна із цих муфт призначена для ремонту дефектів певного типу та певної довжини. За допомогою набору конструкцій таких муфт можуть бути відремонтовані такі дефекти, як корозія, подряпини, розшарування, дефекти зварних швів, вм'ятини, гофри, комбіновані дефекти (типу вм'ятини з ризикою).

Дані технології мають наступні основні недоліки [2]:

- необхідність застосування зварювання на поверхні нафтопроводу, заповненого нафтою (для приварних муфт);
- відсутність універсальності конструкції, застосовної для будь-яких типів дефектів;
- відсутність можливості ремонту тріщин в основному металі та зварних швах;

- проблема ремонту труб з овальностями (навіть із невеликими до 1%);
- складність здійснення повного контакту муфти з дефектною трубою по всій ремонтваній поверхні;
- можливість виникнення корозійних процесів у просторі між трубою та муфтою (для приварних муфт), що викликає необхідність заповнення цього простору антикорозійними матеріалами.

Технології ремонту із застосуванням пластикових муфт. Розроблені способи ремонту, що поєднують холодне зварювання та кільцеві муфти [3]. Для виготовлення муфт використовують багат шарове намотування високоміцної пластикової стрічки на трубу. На відміну від металевих, пластикові муфти швидко встановлюють на трубі без використання відкритого полум'я та електричної дуги і не вимагають припинення транспортування продукції трубопроводом. Щоб забезпечити можливість перерозподілу навантаження між трубою та муфтою при наступному підвищенні робочого тиску, потрібно створити умови, за яких матеріал муфти надійно зчеплений з металом труби, деформується разом з ним і не проковзує по її поверхні. Для цього формування муфти здійснюють шляхом щільного огортання пластикової стрічки навколо труби та розміщення між шарами стрічки, а також між стрічкою та металом, тонкого проміжного шару з матеріалу, що володіє адгезією до пластику та металу. Роль сполучного наповнювача в цьому випадку така ж, як і при холодному зварюванні. Однак у цьому випадку за рахунок ефективнішого застосування сполучного наповнювача вдається частково або повністю відновити несучу здатність дефектної ділянки трубопроводу.

Зниження внутрішнього тиску в трубопроводі (розвантаження) може викликати відшарування муфт, встановлених на трубі при робочому або близькому до робочому тиску. Це може призвести до часткової або повної втрати муфтою несучих властивостей.

Технологія фірми Clock Spring (США). В 1993 році американська фірма "Clock Spring CO." одержала ліцензію на розробку та використання методу ремонту, заснованого на застосуванні муфт із пружної композиційної стрічки, так званої "Годинникової пружини" (Clock Spring) [4].

Стрічка зі скловолокна шириною 12 дюймів (305 мм) намотується на дефектну ділянку в 8 шарів, кожний товщиною в 0,06 дюймів (1,5 мм) (рис. 1). На спеціально підготовлену поверхню труби та між шарами стрічки наноситься адгезія (клеючий склад - ізофталева смола). Дана технологія використовується для трубопроводів діаметром від 6 до 56 дюймів (152-1422 мм). Термін виконання такого ремонту трубопроводу зазвичай складає біля 2-х годин.

Технологія фірми "Clock Spring CO" використовується для ремонту нафтопроводів, що мають втрату товщини стінки до 80% за умови плавного обрису профілю дефекту [5]. Довжина муфти повинна не менш ніж на 50 мм із кожної сторони перекривати дефект, тобто однією муфтою можна ремонтувати дефекти довжиною не більше 180 мм. Для ремонту більше довгих дефектів потрібно встановлювати встик необхідну кількість муфт.

При своїй простоті дана технологія має такі недоліки:

- неможливість ремонту тріщин у поздовжньому та кільцевому зварному швах, дефектів втрати металу з гострим профілем (подряпини, задири);
- неможливість ремонту дефектів втрати металу на внутрішній поверхні труби;
- при наявності довгих дефектів необхідно робити установку декількох поруч розташованих муфт (шириною по 305 мм), заробляти стики між ними адгезивом: це в кілька разів підвищує трудомісткість і вартість ремонту та приводить до додаткових проблем із забезпечення герметичності кільцевих стиків.

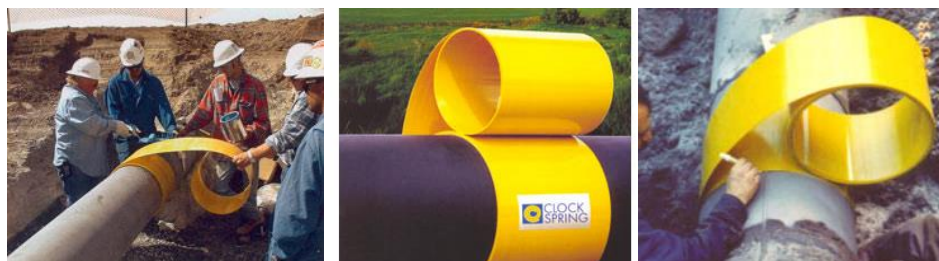


Рисунок 1 – Монтаж муфти Clock Spring

Проте цей спосіб не виключає участі техніки в проведенні ремонту, тому що для намотування стрічки потрібно мати вільний (співрозмірний діаметру труби) навколотрубний простір у зоні проведення ремонту.

Технології ремонту із застосуванням склопластикової муфти. Наприкінці 1990-х російські розробники запропонували конструкцію обтискової склопластикової муфти РСМ (ЗАТ «Нові Технології») (рис. 2).



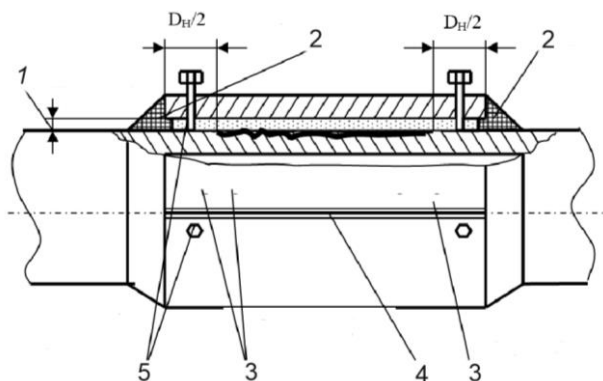
Рисунок 2 – Муфта PCM

Взявши за основу застосування склопластику з однонаправленого склоровінга, аналогічно Clock Spring, виготовили дві напівмуфти із заставними металевими деталями замість фланців. Напівмуфти стягаються між собою шляхом поперемінного згинчування восьми шпильок. За рахунок прикладання моменту затягування різьбових з'єднань створюється зовнішній тиск на ремонтвану ділянку трубопроводу, що розвантажує її стінки. Для цієї конструкції властиві наступні недоліки:

- обмеження ремонту за типорозмірами труб (720...1420 мм);
- неможливість повного перекриття по периметру через конструкцію вузла затягування;
- розгвинчування при тривалих вібраційних навантаженнях, як наслідок застосування шпильок

з різнобічними різьбами і неможливості установки граверних шайб.

Композитно-муфтова технологія фірми British Gas. Композитно-муфтова технологія (КМТ) ремонту фірми British Gas заснована на використанні сталевих муфт, у яких кільцевий зазор між муфтою та трубою заповнюється композитним матеріалом (епоксидною або поліестеровою смолою), що повністю затвердіває протягом доби (рис. 3). Згідно [6], ця технологія протягом 15 років успішно застосовується на трубопроводах компанії British Gas в усьому світі при ремонті трубопроводів різного призначення: для перекачування газу, нафти, нафтопродуктів, хімічних продуктів.



1 – кільцевий зазор; 2 – торцевий герметик; 3 – контрольні отвори;
4 – зварний шов; 5 – центрувальні болти

Рисунок 3 – Композитна муфта British Gas

Метод ремонту за технологією British Gas дозволяє ремонтувати практично всі типи дефектів нафтопроводів у широкому діапазоні зміни їхніх геометричних параметрів [7], призначена для постійного ремонту різних типів дефектів: корозія, вм'ятини, тріщини, розшарування, rischi і їх комбінації.

Муфти можуть встановлюватися як на прямих так і на криволінійних ділянках трубопроводу.

За допомогою КМТ можуть ремонтуватися дефекти довільної довжини (для цього застосовуються муфти стандартної довжини від 1

до 3 м), у тому числі та дуже довгі дефекти (до 20 м) - за допомогою муфт складеної конструкції, що зварюються з декількох муфт стандартної довжини.

Однак при всіх зазначених перевагах КМТ їй властиві такі недоліки:

- збільшення трудомісткості ремонту в зимовий період (пов'язане з необхідністю забезпечення температури застигання композитного матеріалу не нижче +3°C; для місцевого підігріву навколишнього повітря в зоні ремонту використовуються дизель-генераторні установки);

- необхідність зниження тиску в нафтопроводі на час установки муфти на 15-30 % від фактичного тиску.

Підсилююча композиційна муфта трубопроводів (ПКМТ). Використання муфт ПКМТ

дозволяє здійснювати швидкий, недорогий, порівняно простий і разом з тим надійний ремонт трубопроводів.



Рисунок 6 – Муфта ПКМТ

Принцип роботи ПКМТ – це компенсація внутрішнього тиску в трубопроводі за рахунок створення контактної тиску зовні при значній величині моменту затягування болтових з'єднань, що дозволяє проводити монтаж при робочих тисках у трубопроводі з гарантованою якістю, на відміну від муфт установлюваних без створення попереднього натягу. Муфта складається із двох напівоболонки, з'єднаних між собою з однієї сторони шарніром, а з іншої – чотирма болтовими з'єднаннями. Її відмінність від існуючих сьогоднішні типів ремонтних муфт – широкий спектр типорозмірів ремонтних труб (89...1420 мм), повне перекриття ремонтної ділянки, простота монтажу, висока швидкість проведення ремонту та малий об'єм підготовчих робіт. Для ремонту труб малого діаметра з метою встановлення ПКМТ досить вручну викопати невеликий шурф і за 15-20 хвилин відремонтувати дефектну ділянку. Це досить важливо, якщо, наприклад, у цей час доводяться ще й відкачувати ґрунтові води.

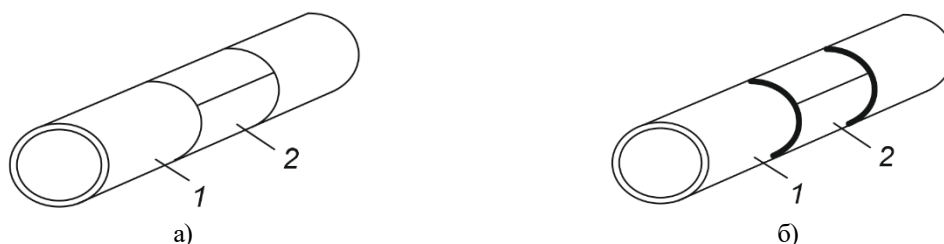
Ремонт магістральних газопроводів з використанням зварювальних і споріднених технологій без зупинки перекачування газу. Існуючі способи відновлення працездатності робочих трубопроводів, що перебувають під тиском газу, можна розділити на дві групи: безвогнєві та вогнєві.

Безвогнєві способи відновлення трубопроводів засновані на застосуванні

склопластикових оболонок, бандажуванні труб за допомогою сталевих кілець, дротів або стрічки. Застосування даних способів утруднено через громіздкість обладнання та дороговизни матеріалів (склопластиків, епоксидних смол), а також високими вимогами до підготовки поверхні труби. Проблематичним є питання забезпечення довговічності трубопроводів, відновлених безвогнєвими способами, при значних циклічних навантаженнях. Використання даних способів можливо тільки там, де гарантується відсутність ерозійного зношування та корозії внутрішньої поверхні стінки трубопроводу. У іншому випадку трубопровід може бути виведений з експлуатації за короткий строк після ремонту внаслідок утворення наскрізних корозійних пошкоджень. Застосування склопластикової оболонки може також не забезпечити необхідної довговічності трубопроводів через швидке старіння використовуваних матеріалів.

До вогнєвих способів належать ті, у яких застосовується дугове зварювання або наплавлення металу. За допомогою зварювання проводиться приварка муфт, латок. Наплавленням металу відновлюється стінка трубопроводу.

У закордонній і вітчизняній практиці найбільше застосовуються для відновлення міцності ділянок з поверхневими дефектами великої площі охоплюючі зварні муфти двох типів "А" і "В" (Рис. 4).



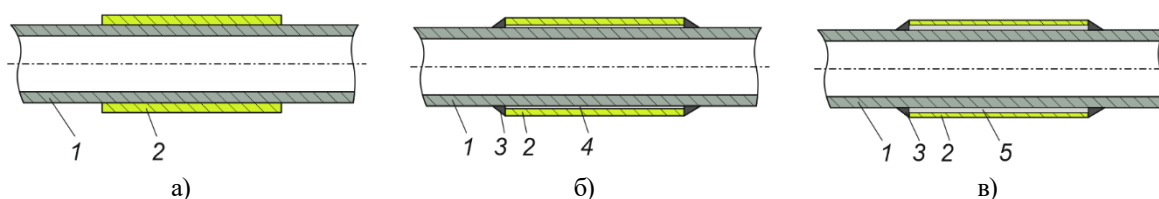
а – муфта типу А (кінці бандажу не зварені); б – муфта типу В (кінці бандажу приварені);
1 – труба; 2 – бандаж

Рисунок 4 – Охоплюючі зварні муфти

Муфта типу "А" зручна тим, що встановлюється на трубопроводі без приварювання до труби й виконує роль силового елемента, що збільшує міцність пошкодженої частини труби. Проте вона не призначена для сприйняття навантаження від внутрішнього тиску у трубопроводі і може використовуватися тільки для усунення ненаскрізних дефектів.

Для того, щоб муфта могла зменшити кільцеві напруження, що виникають у місці пошкодження труби, вона повинна бути встановлюватись на ній без зазору. Перевагою застосування муфти типу "А" перед іншими типами є її ефективна робота на коротких дефектних ділянках, що полягає в запобіганні випучування стінок труби в зоні дефекту. Оскільки при короткій довжині у муфті не виникає значних кільцевих напружень, товщину її стінки варто брати рівною товщині стінки труби. Для надійного запобігання руйнуванню стінки труби необхідно збільшити довжину муфти орієнтовно на 100 мм за межі дефектної зони. Очевидно, що цей тип муфти не повинен застосовуватися для посилення ділянки з кільцевими дефектами, тому що муфта не сприймає поздовжніх навантажень.

Муфта типу "В" відрізняється від муфти типу "А" тим, що краї муфти приварюються кутовим швом до труби трубопроводу. Муфти типу "В" використовуються для посилення ділянок трубопроводу з наскрізними дефектами та дефектами кільцевої орієнтації. Звідси випливає, що муфта типу "В" повинна витримувати робочий тиск ремонтного трубопроводу та досить значні поздовжні зусилля від поперечних навантажень, що діють на нього. Отже муфта типу "В" повинна бути високоміцним конструктивним елементом, що підвищує вимоги до технології виготовлення таких муфт. Зокрема, через необхідність витримувати робочий тиск, з'єднання двох половин сегмента труби повинне виконуватися якісним стиковим зварюванням на повну товщину, тому що зварювання внахлест із підкладкою є менш міцним. Чим довшою є муфта, тим важче забезпечити щільне її прилягання до трубопроводу. Оскільки нещільне прилягання негативно позначається на міцності поздовжнього шва, що з'єднує напівмуфти, довжину таких муфт намагаються обмежити трьома метрами. Муфти типу "А" і "В" прилягають до труби по периметрі в декількох точках, а в інших місцях виникає технологічний зазор (рис. 5, а, б, в).



а) повноохоплююча ремонтна муфта типу "А"; б) ремонтна муфта типу "В" (з технологічним зазором); в) ремонтна муфта типу "В" з порожниною, заповненою антикорозійною рідиною; 1 – труба; 2 – муфта; 3 – зварний шов; 4 – технологічний зазор; 5 – антикорозійна рідина

Рисунок 5 – Посилюючі муфтові конструкції

Розрізняють наступні види таких муфт: якщо зазор нічим не заповнений - це незаповнена муфта, якщо зазор заповнений яким-небудь полімерним матеріалом (звичайно застосовують епоксидний заповнювач) - це заповнений тип муфти, а для муфт типу "В" ще існує герметизований вид [1, 8] (рис. 5, в). Герметичні муфти типу "В" у випадку їх приварки до труби без врахування термічних деформацій, коли зварювання виконане електродами з недостатньо пластичними властивостями, можуть виявитися менш міцними, ніж муфти типу "А". Разом з тим, муфти типу "В", при якісному виконанні зварних швів здатні забезпечити надійну роботу при напруженнях у стінці труби на рівні границі текучості сталі, тобто при внутрішніх тисках які в 1,3-1,4 рази перевищують робочий тиск.

Найбільшу небезпеку для трубопроводів створюють комбіновані дефекти типу глибоких вм'ятин і гофр з надрізами, тріщинами, корозійними пошкодженнями наскрізного або поверхневого характеру. Для посилення ділянок трубопроводу із такими дефектами є досить ефективними оболонкові конструкції типу "труба в

трубі", коли відстань між трубопроводом і посилюючим кожухом значно перевищує технологічний зазор у муфтах типу "В" і ця порожнина використовується для заповнення спеціальними складом (не корозійно-активна рідина, бетон, цементно-піщаний заповнювач, епоксидно-утримуючі розчини). Посилююча конструкція з не корозійно-активним заповнювачем дозволяє зупинити ріст корозійних пошкоджень металу й разом із цим, за рахунок перерозподілу тиску між основною трубою й захисною оболонкою відбувається зниження величини напружень у стінках трубопроводу.

При пошкодженні трубопроводу з порушеннями геометрії труби застосовують посилюючу оболонкову конструкцію із заповненням міжтрубного простору бетоном або піщано-цементним заповнювачем, оскільки затверділі розчини перешкоджають вільним переміщенням стінок труби в зоні, наприклад у вм'ятині. При виборі технології монтажу такої конструкції варто враховувати можливі усадки бетону або піщано-цементного заповнювача під час

його затвердіння, що приводять до виникнення зазорів між стінками труби й захисної оболонки.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Яким би із вище розглянутих способів не відбувся ремонт трубопроводу, в процесі його подальшої експлуатації відбуватимуться перерозподіл напружень як у дефектній частині так і у бандажі. Залежно від того, як працюватиме бандаж разом із дефектною ділянкою трубопроводу при зміні внутрішнього робочого тиску трубопроводу (циклічного навантаження), буде визначатися і термін його експлуатації.

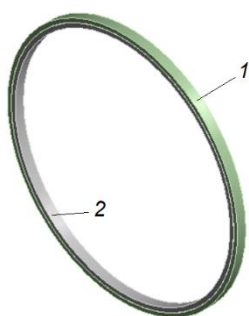
Метою роботи є дослідження впливу бандажу, який встановлюється на дефектну ділянку трубопроводу за допомогою використання імітаційного моделювання.

Викладення основного матеріалу

Для дослідження напружено-деформованого стану дефектної ділянки трубопроводу побудовано її тримірну модель (рис. 1). Розглядалася труба діаметром 530 мм з товщиною стінки 9 мм та бандаж товщиною також 9 мм. Для спрощення розрахунку довжину труби та бандажу взято рівними 30 мм.

Граничними умовами при моделюванні прийнято тиск на внутрішню стінку труби (5 МПа) та застосування спеціальних умовних пружин для підтримання моделі (Weak Springs).

Для імітації дефекту (тріщини) труби застосовано функцію програми Ansys «Fracture». Побудовано у стінці труби напівеліптичну тріщину, зображену на рис. 2.



1 – трубопровід; 2 – бандаж

Рисунок 1 – Модель для дослідження

Побудовано сітку кінцевих елементів, особливістю якої є використання елемента «Sphere of Influence», що дало змогу у виділеній зоні (рис. 3) згустити елементи сітки.

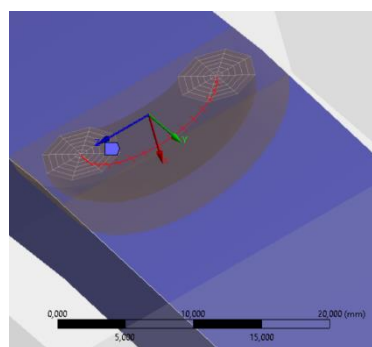
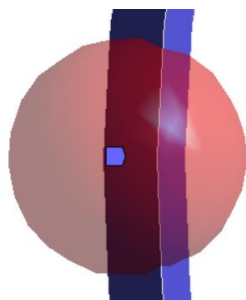
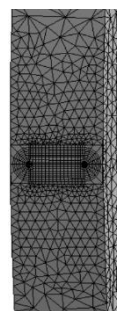


Рисунок 2 – Модель тріщини на зовнішній поверхні трубопроводу

Body Sizing
17.02.2020 13:14
Body Sizing



а)



б)

а – об'єм, у якому параметри сітки кінцевих елементів відмінні від іншої частини моделі; б – згущена сітка та сітка тріщини

Рисунок 4 – Сітка кінцевих елементів

Оскільки робота трубопроводу супроводжується зміною у ньому робочого тиску, то для дослідження втоми задано зміну тиску протягом року.

Залежність, що описує цю зміну, наведена на рис. 5.

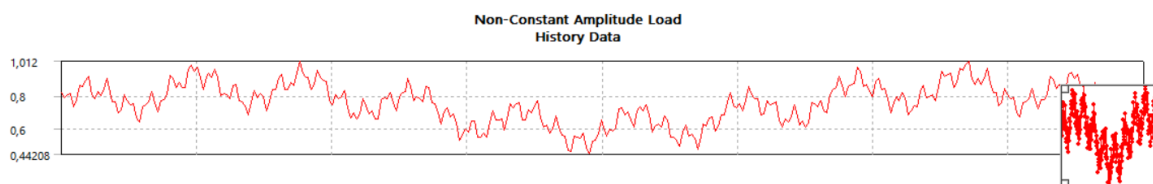


Рисунок 5 – Апроксимована залежність тиску газу у газопроводі протягом року (пульсації внутрішнього тиску)

Спочатку імітаційне моделювання проводилось для моделі трубопроводу без бандажу. При цьому отримані величини еквівалентних напружень та кількість циклів до руйнування (рис. 6-7).

Слід зауважити, що для зручності перегляду отриманих результатів відображення деформацій збільшено в 170 разів порівняно із реальними.

На рис. 8 зображено розподіл еквівалентних напружень у стінці труби.

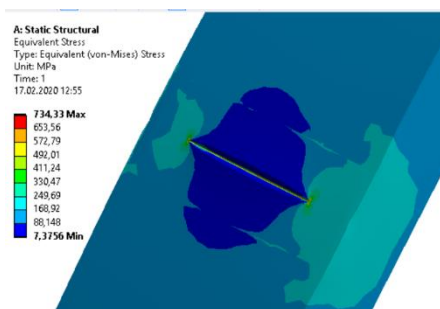


Рисунок 6 – Розподіл еквівалентних напружень у тріщині стінки трубопроводу

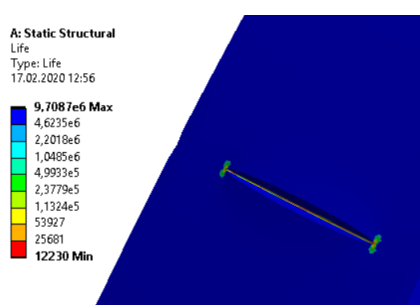


Рисунок 7 – Кількість циклів до руйнування

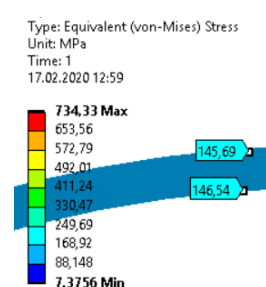


Рисунок 8 – Розподіл еквівалентних напружень у стінці труби

Далі наведені результати імітаційного моделювання моделі трубопроводу із

встановленим бандажем. Для зручності перегляду результатів бандаж зроблено невидимим.

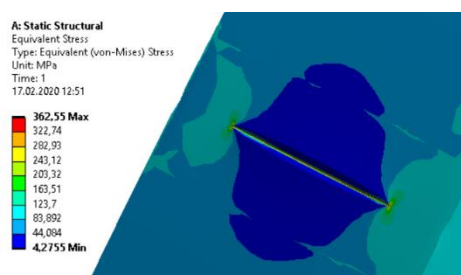


Рисунок 9 – Розподіл еквівалентних напружень у тріщині стінки трубопроводу (з врахуванням дії бандажу)

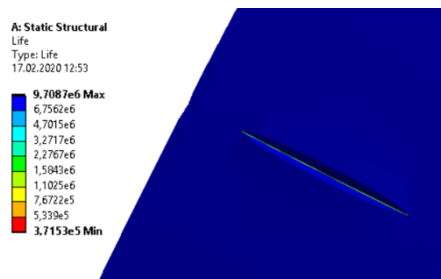


Рисунок 10 – Кількість циклів до руйнування (з врахуванням дії бандажу)

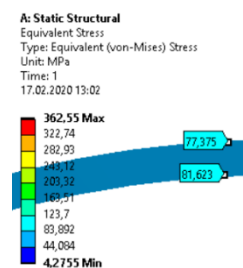


Рисунок 11 – Розподіл еквівалентних напружень у стінці труби (з врахуванням дії бандажу)

Отже, використання бандажу, для подовження експлуатації трубопроводу, на якому є дефекти має позитивний вплив. Встановлено, що значення еквівалентних напружень як у стінці труби так і у зоні дефекту (із врахуванням впливу пульсації тиску протягом року) при встановленні бандажу знижується майже у 2 рази, кількість циклів навантаження до руйнування без бандажу становить 12230, а із бандажем – 371530.

Висновки

Аналіз способів ремонту трубопроводів показав, що сьогодні у світі застосовується їх значна кількість. В загальному, вони відрізняються між собою різними параметрами, хоча у всіх є одна мета – подовжити термін експлуатації трубопроводу.

Оскільки найбільшого поширення здобули способи ремонту трубопроводів за допомогою бандажів, що встановлюються на його зовнішню поверхню, то у статті проведено імітаційне

дослідження напружено-деформованого стану дефектної ділянки труби.

Встановлено, що застосування бандажу на дефектну ділянку трубопроводу знижує величини напружень, що виникають як у зоні дефекту, так і у стінці, майже у два рази. Щодо кількості циклів до руйнування (із врахуванням впливу пульсації тиску протягом року), то при застосуванні бандажу вони збільшуються із 12230 до 371530.

Список літератури:

1. Мазель А.Г., Гобарев Л.А. и др. Работоспособность сварных муфт для ремонта дефектов трубопроводов под давлением// Строительство трубопроводов. - 1996. - №1. - С. 16-22.
2. Черняев К.В. Разработка системы предупреждения отказов и продление срока службы магистральных нефтепроводов России. Дис... д.т.н. -М., 1988. 348 с.

3. Зандберг А.С., Тарлинский В.Д. Механизм перераспределения нагрузок при ремонте трубопроводов с применением пластиковых муфт // Сварочное производство. -2000. -№ 12. - С.11-18.

4. Reissner E. Note on the effect of transverse shear deformation in laminated anisotropic plate // Comput. Meth. Appl. Mech. and Eng., 1979. 20, №2. p.203-209.

5. Хачалов Г.Б. Расчет ортотропных составных пластинок // Изв. вузов. Строительство. - 1992. - №4. - С.29-32.

6. Кордер И. Ремонт магистральных нефтепроводов муфтами, заполненными

эпоксидной смолой, как надежный, наилучший и дешевый метод (В.Г.Е.858). 58-ой осенний симпозиум IGE 24-25 ноября 1992г., Лондон.

7. Эксплуатация магистральных нефтепроводов. Справочное издание / Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. С. 18-19.

8. Мазель А.Г., Гобарев Л.А., Нагорнов К.М., Рыбаков А.И. Сварные муфты для ремонта трубопроводов. // Газовая промышленность, 1996, №9-10, с.55-57.

Kuchynskyi K.A.¹

*doctor of sciences (engineering),
leading research worker*

Kramarskyi V.A.¹

*candidate of sciences (engineering),
senior research worker*

Hvalin D.I.²

*candidate of sciences (engineering),
acting scientific secretary*

Mystetskyi V.A.^{1,2}
engineer

¹*Institute of Electrodynamics, NAS of Ukraine*

²*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine*

RESIDUAL LIFE AND HEAT CONTROL OF A TURBOGENERATOR STATOR WINDING INSULATION

Abstract. Residual life and heat control method of a turbogenerator stator winding insulation based on the regular heat control data and the temperature excess regressive dependences for load conditions parameters is presented. It is shown, that the reliability for insulation residual life definition of a generator stator windings is higher when the calculated value of maximum temperature is taken for the insulation temperature, rather than the resistance thermometers readings installed in the slots.

Keywords: *powerful turbogenerator, end zone, control, diagnostics, stator core, stator winding insulation, temperature.*

Continuous state control of electrical machines windings insulation and the possibility of ensuring the parameters reliable prediction characterized its condition allow significantly improves the reliability and the safety of machine. Dependence of insulation defects development speed on the load conditions, structural and technological features, operating time of an electrical machine determines the probability of damage and excessive wear windings. The probability of winding insulation damage can be reliably estimated in case of analysis in three directions: continuous and periodic control data, trend of parameters, resource characteristics («life history» analysis).

The definition and prediction state of electrical machines windings insulation can be made with help the heuristic and statistical analysis based on deterministic methods. The heuristic analysis is mostly associated with the use of expert systems, when experts determines the insulation state based on intuitive knowledge with help the insulation parameters and according to the developed rules. Dependencies of residual life on the parameters of these processes, in

particular, the so-called «life formulas» can be constructed on the basis of physical processes studies. The prediction state of electrical machines windings is also performed according to the trend of parameters. Moreover, the diagnosis is made at an arbitrary time interval.

The insulation life can also be determined by «life history» data, which determines the change tendency of diagnostic parameters and load characteristics in the presence of technological characteristics information, load and operating conditions of an electrical machine.

For powerful turbogenerators the most important parameter determines the winding insulation life is, first of all, temperature. Electrophysical and mechanical parameters significantly affect the windings insulation life. If the influence of the latter parameters is less studied and their control is practically not carried out, then the windings temperature control is carried out continuously with the installation of temperature sensors depending on a turbogenerator type at almost every winding bar.

The dependence of turbogenerator insulation life on the temperature θ is known [1] and can be represented as:

$$T = e^{\left(\frac{A+B}{273+\theta}\right)}, \quad (1)$$

where A , B are the constants depends on the insulation properties. Expression (1) is the «life formula» of insulation, which taking into account «life history» data can be specified in the operation process. Such «life formulas» can give in a general form using some approximation methods for determine or specify of approximation coefficients.

However, it is necessary to solve a number of scientific and technical problems in order to these states realize in practice of turbogenerators in real time.

It is necessary to develop methodical means for temperature field definition along the all section of slot as the winding temperature sensors are only installed in possibility places. It should be emphasized that, as a rule, the maximum temperatures in the generator are not controlled. It is also important to develop methodical means and algorithms for winding residual life definition in real time of a certain point and fixed prediction period.

The first problem is solved on the basis of mathematical simulation for heat processes. At definite copper winding losses for a certain load condition the temperature field in section of winding bar can be found in the most approximate two-dimensional formulation when the steel temperature is set at the slot border. With specified calculation methods of steel losses this

approximation may not have a place. Limit temperatures are experimental for well-equipped turbogenerators or calculated with help the other mathematical models.

The compound geometry of machine requires detailed calculation nodes when high load conditions. The use of triangular mesh or high-order elements in the finite element method allows makes this in the best way. The advantage of the finite element method is also the simplicity of boundary conditions install.

The interpretation of temperature function as a potential allows applying the basic equations of the finite element method and the general potential theory for calculation of stationary and non-stationary temperature fields [2].

When numerical calculation taken the following basic assumptions:

- the temperature field is plane-parallel;
- the homogeneous regions are isotropic, the thermo-physical characteristics of materials are independent on temperature;
- the heat conjugate on border interface of regions is ideal.

Fig. 1 shows the temperature field distribution in section of winding bar of a turbogenerator type TGV-200 from the turbine side for the load condition $P = 160$ MW, $Q = -52$ MVar. The refrigerant temperature in elementary conductors is 60°C . Fig. 1 shows that the temperature of stator winding insulation is unevenly distributed. The maximum temperature of stator winding bar is over nearly in 2 times than the minimum temperature.

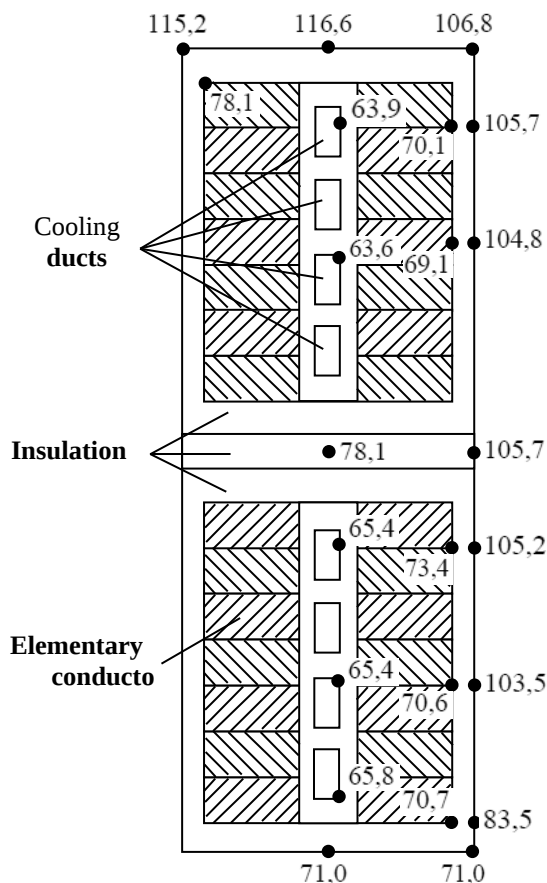


Fig. 1

This turbogenerator is well equipped with thermocouples and tested in many load conditions. The maximum temperature of winding bar insulation and the average maximum one for most critical zone in terms of aging and damage insulation were calculated for nine operating conditions of a generator with load

and heat process parameters. This zone is decisive in determining the residual life.

Table 1 shows the temperature of cooling gas θ_{cg} in relation to which the excess temperature in the stator winding is determined, the average maximum temperature of isolation θ_{max} and its excess $\Delta\theta_{max}$.

Table 1

N ^o load	P, MW	Q, MVA _r	U _s , kV	I _s , kA	cos φ	U _r , V	i _r , A	θ _{cg} , °C	θ _{max} , °C	Δθ _{max} , °C	θ _i , °C
1	144	79,6	15,9	6,1	0,857	295	1421	34	70,4	36,4	33
2	142	46,3	15,67	5,5	0,95	251,5	1235	36	76,2	40,2	19,5
3	138	5,77	15,12	5,2	1,0	205,6	1024	34,5	82,5	48	19,5
4	138	-39	14,7	5,66	-0,985	171	848	35,5	99,3	63,8	30,2
5	158	6,8	15,45	5,92	~ 1,0	224	1110	33	92,1	59,1	24,4
6	157	-45,3	14,7	6,35	-0,965	187	929	37,25	117	79,8	23,5
7	185	106	16,65	7,56	0,845	379	1702	42	95,4	53,4	33,1
8	179	6,6	15,75	6,6	~ 1,0	245	1203	34	96,79	62,7	22,6
9	204	66	16	7,7	0,953	336,2	1549	42,5	109,6	67,1	31,5
10	206	118	16,65	8,48	0,845	417,4	1844	45	93,14	48,14	37
11	200	-55	15	7,977	-0,965	187	929	37,25	153	116	27
12	200	-83	14,7	8,5	-0,924	160	800	36	191	155	38

Using bulky mathematical software for the maximum temperature calculation at different load conditions of a turbogenerator in real time (with continuous control in operating conditions) is not quite convenient, so it is more advisable to obtain regressive dependences of the maximum temperature on the controlled parameters during the operate of generator. Such parameters are the load condition characteristics and the resistance thermometers signal installed in the stator winding and indirectly characterized its temperature. It is necessary that such regressive dependences can also be used for predict the maximum temperature of winding insulation in the stator end packets in the underexcitation load conditions of a turbogenerator with the maximum temperature of stator core [3, 4]. The input in dependences of resistance thermometers readings will also to estimate the insulation maximum temperature value with heat defects of the core steel and the stator winding. Studies of parameters optimum choice by the criterion of minimum temperature variation in the underexcitation load conditions were made for determine of exact regressive dependences.

Some of regressive dependences obtained according to load condition data 6 (see Table 1) and the relative errors of calculated and experimental data for this load condition are as following:

$$\Delta\theta_s \cos \varphi_{max}, \delta = 21,2\%, \quad (2)$$

$$\Delta\theta_s \cos \varphi_{max}, \delta = 17\%, \quad (3)$$

$$\Delta\theta_{s_{max}}, \delta = 11,5\%, \quad (4)$$

$$\Delta\theta_s \cos \varphi_{r_{s_{max}}}^2, \delta = 2,6\%. \quad (5)$$

It can be seen from the above dependences that the last is the most accurate for underexcitation load conditions with such control parameters: the stator load conditions, the stator and the rotor currents, and cos φ. Taking into account this result the following regressive dependences for control and diagnostics of isolation state and its resource definition can be obtained:

$$\Delta\theta_{i_{s_{r_{max}}}^2} \quad (6)$$

$$\Delta\theta_{i_{s_{r_{c_{max}}}^2}}, \quad (7)$$

where $\Delta\theta_s$ and $\Delta\theta_c$ – excess temperature of steel and copper by the regular control system of a turbogenerator, respectively.

The maximum relative error of dependence (6) for all load conditions not exceeds 3,5 %. For dependence (7) this value is slightly higher (5 – 7 %). That is, taking into account the resistance thermometers readings installed between the winding bars worsens the convergence of obtained regressive dependences. The coefficient at $\Delta\theta_c$ of dependence (7) is insignificant. This indicates that the load condition parameters and resistance thermometers readings installed at the slot bottom have a more influence on the maximum temperature for the present turbogenerator. This corresponds to the peculiarities of heat processes in such machines in the underexcitation load conditions.

Taking into account the method of resistance thermometers install at the slot bottom area (from the third packet of stator core end zone), it can be expected that their readings will not show the peculiarities of heat processes in end packets under load conditions of reactive power consumption (increase of heating with decrease of excitation current). This can also be seen from Table 1. The magnitude of resistance

thermometers readings installed between the winding bars and at the slot bottom area is directly proportional to active power and stator current and almost does not respond to reactive power. Therefore, regressive dependences of type (6), (7) advisable to obtain only for load conditions of reactive power consumption. These dependences are as following:

$$\Delta\theta_{i_{sc_{max}}}^2 \quad (8)$$

$$\Delta\theta_{i_{sr}}^2 \cos \varphi_{max}. \quad (9)$$

These expressions allow predicting the readings $\Delta\theta_i$ i $\Delta\theta_c$ for the specified load conditions diapasons after $\Delta\theta_{max}$ is found from (5). **It is necessary to note the removal from a regression parameters number of current excitation makes significant the regression coefficient to θ_c .**

It is possible to predict the maximum temperature for load conditions 11 and 12 (the reactive power consumption at nominal active power) using the obtained regressive dependences. It can be seen from Table 1 that for these load conditions the maximum temperature insulation exceeds the allowable value.

The resistance thermometers readings are as follows: for load 11: $\Delta\theta_i = 27^\circ\text{C}$, for load 12: $\Delta\theta_i = 38^\circ\text{C}$.

The resistance thermometers readings do not exceed 40°C for all of these load conditions. The resistance thermometers do not respond at all to increase of insulation temperature in the end packets zone in the underexcitation load conditions. This causes the need for a specified temperature control of winding insulation on the basis of above methodical foundations.

The above method for maximum temperature definition of a turbogenerator stator winding insulation to calculate of its residual life in real time will use.

It is known the residual life insulation calculates for the nominal load temperature θ_n when an electrical machine designs. Thus, find the calculated residual life insulation θ_{cal} . The temperature θ differs significantly from one θ_n in the process of turbogenerator work. It is advisable therefore to find the actual lifetime insulation for any temperature by the formula:

$$T_i = t_i \left(\frac{T_{cal}}{e^{\frac{A+B}{(273+\theta)}}} \right), \quad (10)$$

where t_i are the intervals of the present operation time in which the temperature deviates from some average value by a small quantity. Thus, the actual lifetime isolation will increase when $\theta > \theta_n$ and decrease when $\theta < \theta_n$ in separate intervals of operation time as compared with the present time. For time moment

$$t = \sum_{i=0}^n t_i,$$

where t_0 – the operation beginning of new insulation,
the residual life is

$$T_{res} = T_{cal} - \sum_{i=0}^n T_i^*. \quad (11)$$

It is clear the insulation part at the maximum temperature wears out much faster than the others its areas.

How much the residual life insulation decreases in consideration of high heat zones will show.

According to [1] $B = 1020$, $A = -15,5$ for stator winding insulation of a turbogenerator under consideration. When winding temperature T_{max} for the nominal load condition is $97,4^\circ\text{C}$ the calculated insulation life $T_{cal} = 28$; and $T_{cal} = 79$ years when θ is the temperature determined by means of resistance thermometer.

It is assumed that a turbogenerator for year works 6000 hours. Let a turbogenerator for 28 years in load condition 12 have worked 1008 hours. Then by (10) the insulation part of stator winding at the maximum temperature actually will live 26000 hours. The residual life is $T_{res} = 23,8$ hours. The insulation part that will be determined at the average temperature ($\sim 60^\circ\text{C}$), will live during this time only 57 hours, and the residual life will be reduced by these 57 hours. In case the winding insulation temperature is the resistance thermometers value that the residual life will be even greater.

Conclusions

1. The reliability for residual life definition of generator stator windings insulation is higher when the calculated value of the maximum temperature is taken as the insulation temperature.

2. The given methodical means can be applied in the control and diagnostics systems of a turbogenerators in real time.

Literature

1. Kotelenets N.F., Kuznetsov N.L. Tests and reliability of electrical machines: Training appliances institute of higher education for in specialty «Electromechanics». Moskva: Vysshaya shkola, 1988. 232 p. (Rus.)

2. Segerlind L. Application of the finite element method. Moskva: Mir, 1979. 392 p. (Rus.)

3. Schastlivyi G.G., Titko A.I., Fedorenko G.M., Kovalenko V.P. Reliability of modern and prospective turbogenerators. Kiev: Naukova dumka, 1978. 224 p. (Rus.)

4. Titko A.I. Electromagnetic shielding by unclosed structures in electrical machines. Kiev: Naukova dumka, 1994. 301 p. (Rus.)

#2(54), 2020 część 5

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Ukraina, Kijów)

Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

#2(54), 2020 part 5

East European Scientific Journal
(Ukraine, Kiev)

The journal is registered and published in Poland.

The journal is registered and published in Poland.

Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English,**

German, Polish and Russian.

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w Ukraina, Kijów,
Pobedy Avenu, 56/1, Biuro 115**

**Sp. z o.o."Grupa Konsultingowa
"Образование и наука"**

**Ukraina, Kijów, Pobedy Avenu, 56/1,
Biuro 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,
<http://eesa-journal.com/>**

**Reprezentacja czasopisma naukowego
w krajach afrykańskich.**

Republika Angoli.

ADAMSMAT_SU_LDA,

**Sede: Rio Longa_ prédio Z11 Quarteirão Z,
N°23, Município: BELAS, província: LUANDA**

E_mail: Adamsmat@mail.ru

Contribuinte n° 5417331007

Tel:+244-929527658

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

**Printed in the Ukraine, Kiev, Pobedy
Avenue, 56/1, office 115**

**LLC "Consulting group
"Образование и наука"**

**Ukraine, Kiev, Pobedy Avenue, 56/1,
office 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,
<http://eesa-journal.com/>**

**Representation of a scientific journal in
African countries:**

Republic of Angola

ADAMSMAT_SU_LDA,

**Sede: Rio Longa_ prédio Z11 Quarteirão Z,
N°23, Município: BELAS, província: LUANDA**

E_mail: Adamsmat@mail.ru

Contribuinte n° 5417331007

Tel:+244-929527658