

Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал
№ 04 (119)/2024 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

• **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

• **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

• **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

Aliyev I. G.

METHODOLOGY FOR SELECTING CONDITIONS OF
NON-STATIONARY GAS PIPELINE EXPLOITATION
DURING THE RECONSTRUCTION STAGE.....3

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА

Акунсартов Т.

КАК СОЗДАТЬ ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ
РАЗНЫХ СФЕР ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ТОП-5 СОВЕТОВ ОТ
JAVA-РАЗРАБОТЧИКА ТАЛГАТА АКУНСАРТОВА28

Dolzhenko V.

THE INTRODUCTION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES
INTO TRADITIONAL BUSINESS MODELS: PROSPECTS
AND CHALLENGES31

Саидзода И.М., Комилиён Ф.С.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ
КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛИНОЙ СЕМЬИ
.....36

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Алланиязов Г.Ш., Торениязова Л.А.,

Мусиров Ш.З., Ержанова Д.Ж.,

Каримбаев Н.М., Салаева Н.С.

ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ВИДОВ ОДНОСЛОЙНЫХ
ТРИКОТАЖНЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИИ.....42

Серикулы Ж., Муталов Н., Рысалы К.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО
ДВИЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.....45

Серикулы Ж., Муталов Н., Рысалы К.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И
РАЗМЕРОВ УСТАНОВКИ.....49

Serikuly Zh., Mutalov N.,

Rysaly K., Zaurbekov M.

THE INFLUENCE OF IRREGULARITIES ON THE
OPERATION OF DEVICES WITH A REGULAR
STRUCTURE52

Sukhoterin E.V.

EXPLORING OPPORTUNITIES FOR OPTIMISING WATER
USE IN THE REFINING INDUSTRY55

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

DOI: 10.24412/2709-1201-2024-352-366

UDK: 621.6

METHODOLOGY FOR SELECTING CONDITIONS OF NON-STATIONARY GAS PIPELINE EXPLOITATION DURING THE RECONSTRUCTION STAGE.

Aliyev Ilgar Giyas oglu

Director of BQIR Department,

Azerbaijan Architecture and Construction University,

Baku, Azerbaijan.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2023

SUMMARY

The paper provides a comprehensive overview of the methods for solving special differential equations describing the fundamental laws of gas movement, the calculation of non-stationary operating conditions of gas pipelines, and the theoretical investigation of gas dynamic parameters during non-stationary processes in the pipeline. Additionally, the conformity of the law governing the variation of pressure along the length of the pipeline over time under various operating conditions in a parallel pipeline system has been determined. Furthermore, recommendations for boundary conditions ensuring continuous operation in the pipeline section are proposed in relation to the occurrence of accidents in the gas pipeline.

The efficient operation regime of the pipeline system is determined to prevent the sudden cessation of gas supply to consumers through the theoretical investigation of the obtained analytical expressions of non-stationary gas dynamics. The purpose of the research is based on the premise that the strategy of reconstruction for managing non-stationary gas transportation processes with parallel pipeline systems relies on the characteristics of operating conditions to minimize the potential damage accidents could cause.

Key Words: leakage, flow, pipeline, damaged, gas dynamics, non-stationary, accident regime

Introduction: The selection of optimal strategies for reconstruction, primarily ensuring the efficient exploitation regime of gas pipelines, and enhancing the reliability of elements installed in the pipeline's section under operating conditions are associated with minimizing the potential damage from accidents to an acceptable level. To address such issues, it is necessary to develop comprehensive control schemes for gas pipeline operations and utilize modern tools.

Control over the operation of main pipelines is primarily implemented through the calculation of transient processes during accidents. This allows for the calculation of technological alternatives and the making management decisions before the entire hydraulic system is fully deployed. To achieve this, it is necessary to use technical tools based on the simplest principles of exponential form, which have undergone theoretical and experimental tests in known areas of application. One of the significant challenges encountered during the calculation of gas dynamics issues is determining the appropriate method for solving processes that undergo changes depending on time and coordinates. This type of solution should be characteristic of modern applications of science, engineering, and technology problems. The establishment and selection of methods for constructing and analyzing different schemes of gas dynamics are crucial for solving the given problem. The main objective of the research is to determine and select optimal operating regimes during the system's reconstruction stage.

Analysis and Generalized Methods of Existing Research:

For various technological conditions, especially those limited to a specific scope, individual researchers have developed specific methods for the operational management of pipelines [3,4,5,9]. Certain areas of gas dynamics have been studied for quite some time and are undergoing significant development intensively. As a result, many important and interesting findings have been obtained. However, general methods for solving gas dynamic issues are still not available. Moreover, it should be noted that the existence and uniqueness of a general solution have not yet been proven. This is attributed to the complexity of gas dynamics equations and, above all, their non-linearity. Considering such events complicates the mathematical formalization of the issues and leads to the emergence of independent problems in their solution. However, the essence of the problem still lies in the classical equations of gas dynamics. Therefore, developing and preparing effective methods for solving these equations is an important issue for many areas of modern science.

Practically applying reliable and effective schemes and algorithms that have been tested in experiments to solve complex problems and utilizing a variety of programs to implement numerical algorithms on computers should be adapted to the requirements of today. Modern software allows for the calculation of parameters of transported gas in real-time by considering changes occurring in its physical processes [7].

Learning the approximation of the difference scheme (estimated calculations) for piecewise functions is not difficult in both linear and non-linear cases. Proving the stability of the scheme actually leads to obtaining certain a priori evaluations that express the

continuous dependence of the solution on the initial data of the problem. Unlike linear situations, establishing such evaluations for non-linear equations is associated with significant challenges, and such evaluations are completely absent for gas dynamics equations. Therefore, the verification of scheme stability is usually carried out in some linear analogs of the initial problem.

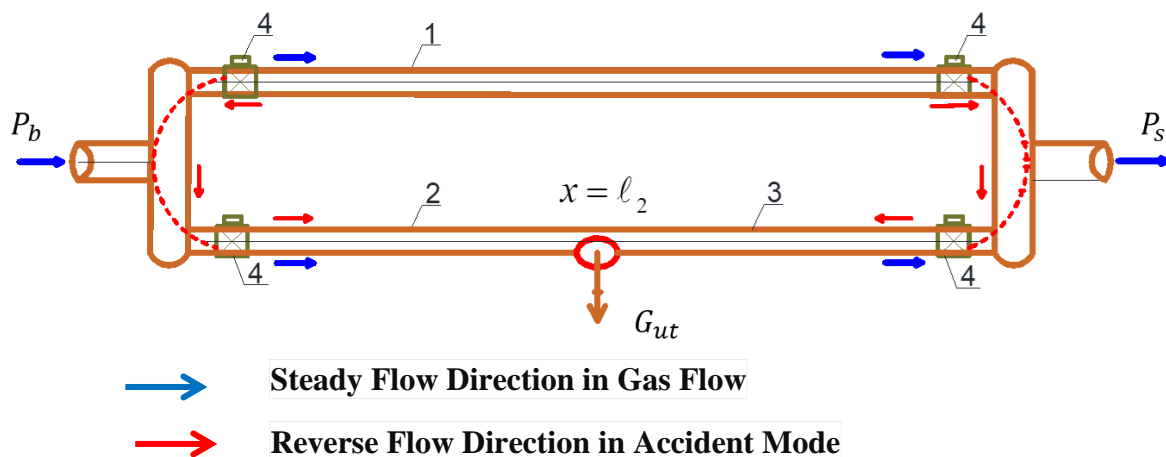
It should be noted that for the class of one-dimensional non-stationary gas dynamics problems under consideration, other numerical solution methods also exist, such as the method of characteristics [10], the method of discontinuous decomposition [11], the "large particles" method, and so on. A detailed description of these can be found in the referenced works. Instead of exploring all possible methods, we will implement boundary conditions, one of the simplest approaches, to address the issue. The majority of research in the field of gas pipeline dynamics is associated with the method of solving gas dynamic partial differential equations with various initial and boundary conditions.

It is possible to obtain solutions to the problem of determining the distribution of pressures and flow rates

along the pipeline. Non-stationary gas flows in the main pipeline system are described by a system of non-linear partial differential equations. One of the captivating areas of research is the use of analytical methods [2].

Analysis of Nonlinear Differential Equation Systems Using Analytical Methods.

The system of nonlinear differential equations typically relies on simplifying the initial equations and their subsequent manipulation. However, the difficulty of analytical solutions doesn't necessarily outweigh the benefits of simpler methods. This approach's disadvantage lies in its reliance on external similarity to significantly simplify the equations. Simplification is not only employed to simplify the initial equations for gas flow but also during the modeling of other physical processes, which is not always justified. On the other hand, the possibility of visually observing variable pressure fields and gas flow consumption in a complex network of gas pipelines stimulates research efforts. In this regard, we adopt the scheme of the following parallel gas pipeline, which accommodates various operating conditions.



Scheme 1. The principal scheme of a parallel gas pipeline operating in unfieldt hydraulic regime.

1- Intact pipeline section of the gas pipeline;

Portion of the damaged pipeline section from the starting point of the damaged pipeline to the leakage point ($x = \ell_2$);

Portion of the damaged pipeline section from the leakage point to the end point; P_b - Pressure at the starting point of the gas pipeline in steady-state regime; P_s - Pressure at the end point of the gas pipeline in steady-state regime; G_{ut} - Mass flow rate of gas leakage

Pa-san
^m

The valve fittings (such as valves and taps) installed on parallel gas pipelines are positioned at a certain distance, taking into account the ease of their technical operation and repair as well as the requirements of gas supply facilities [6]. Let's assume that an accident occurs at point $x = \ell_2$ on one of the lines of the parallel gas pipeline due to a rupture in the pipeline. As shown in Scheme 1, both the damaged and intact sections of the gas pipelines will operate under

non-steady-state gas flow conditions. It should be noted that selecting the parameters based on the operation of the main gas pipelines is required for calculating the occurrence of non-stationary processes caused by any accident situation [8]. This requirement should be considered one of the highest priorities when selecting the operational regime of the gas pipeline. Technologically-based information has been analyzed to determine the physical laws governing accident situations in parallel pipeline transportation processes. For any technological scheme, there are certain parameters and indicators that characterize it. All the technological issues mentioned above are resolved by mathematical modeling of gas flow parameters related to the solution of the following system of differential equations [6].

To calculate the gas flow in the pipeline, we utilize the dimensionless continuity and momentum equations recommended by I.A. Charney in the literature cited in the first reference.

$$\begin{cases} \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} = -2a G(x,t) \\ \frac{\partial G(x,t)}{\partial x} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial P(x,t)}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

Here, $2a = \lambda \frac{v}{2d}$; - I.A. Charney theorem; $G = \rho v$;
 $P = \rho \cdot c^2$;
 c- Sound propagation speed of gas for an isothermal process, m/san.;
 d - The internal diameter of the pipe, m;
 x- A coordinate aligned with the gas flow and coinciding with the axis of the pipe., m;
 P - Absolute average gas pressure in sections, Pa;
 v - Average gas velocity at the cross-section, m/san;
 ρ - Average density of the gas, kg/ m³ ;

t -time, san;
 λ - Hydraulic resistance coefficient of the gas pipeline section, dimensionless;
 G- Mass flow rate of the gas flow, $\frac{Pa \cdot san}{m}$;
 If we differentiate the first equation of the system with respect to x, and substitute $\frac{\partial G}{\partial x}$ in the second equation, then after taking the Laplace transform, we obtain the heat transfer equation for the mathematical solution of the problem.

$$\frac{d^2 P_i(x,S)}{dx^2} = \frac{2a}{c^2} [S P_i(x,S) - P_i(x,0)] : i=1,2,3 \quad (2)$$

Using this equation, we need to determine boundary conditions to properly formulate the problems. The set of boundary and initial conditions establishes the connection between models, and the proper formulation of boundary conditions is often achieved through the modification of at least a general source of information database.

Analysis of non-steady-state gas dynamic processes under operating conditions with fixed pressure maintained at the ends of parallel pipeline lines.

Let's assume that a fixed pressure is maintained at the end of the parallel gas pipeline. Initial conditions are homogeneous for the system under consideration. For solving the mathematical model of equation (2), we accept the initial condition of the initial stationary distribution of gas flow pressures in the calculation domain.

$$t=0; P_i(x,0) = P_b - 2aG_0 x; i=1,2,3$$

Using the obtained general model, the boundaries of the calculation domain, conditions for pressure variation at the boundaries, and changes in gas flow are determined. Considering the fixed pressure at the end of the gas pipeline, we take into account pressure functions that describe the flow rate G(t) and its abrupt changes at the beginning of the pipeline. Thus, the following boundary conditions are accepted for solving equation (2):

$$\begin{aligned} &\text{At the point } x=0 \begin{cases} P_1(x,t) = P_2(x,t) \\ \frac{\partial P_1(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial P_2(x,t)}{\partial x} = -2aG_s(t) \end{cases} \\ &\text{At the point } x = \ell_2 \begin{cases} P_2(x,t) = P_3(x,t) \\ \frac{\partial P_3(x,t)}{\partial x} - \frac{\partial P_2(x,t)}{\partial x} = -2aG_{ut}(t) \end{cases} \\ &\text{At the point } x=L \begin{cases} P_1(x,t) = P_s \\ P_3(x,t) = P_s \end{cases} \end{aligned}$$

In this case, the general form of the solution for equation (2) will be as follows:

$$P_1(x,s) = \frac{P_i - 2aG_0 x}{S} + c_1 Sh\lambda x + c_2 Ch\lambda x \quad 0 \leq x \leq L \quad (3)$$

$$P_2(x,S) = \frac{P_i - 2aG_0 x}{S} + c_3 Sh\lambda x + c_4 Ch\lambda y \quad 0 \leq x \leq \ell_2 \quad (4)$$

$$P_3(x,S) = \frac{P_i - 2aG_0 x}{S} + c_5 Sh\lambda x + c_6 Ch\lambda x \quad \ell_2 \leq x \leq L \quad (5)$$

$$\text{Here, } \lambda = \sqrt{\frac{2as}{c^2}}, \beta = \sqrt{\frac{2ac^2}{s}}$$

(3), (4), and (5) functions represent the determination of pressure distribution along the axial sections of the gas pipeline in a general form. To assign physical meaning to these equations, it is necessary to determine the constants c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 and c_6 . By using

the Gauss method to determine the mentioned constants, and substituting them into functions (3), (4), and (5), and after performing simple operations, we obtain the following expressions to determine the pressure distribution in converted form:

$$0 \leq x \leq L \quad (6)$$

$$P_2(x, S) = \frac{P_2(x, 0)}{S} + \frac{\beta}{2} \left[G_0(S) - \frac{G_0}{S} \right] \frac{sh\lambda(L+x)}{ch\lambda L} -$$

$$-\beta G_{ut}(S) \frac{sh\lambda(L-\ell_2)sh\lambda(L-x)}{sh\lambda 2L}$$

$$0 \leq x \leq \ell_2 \quad (7)$$

$$\ell_2 \leq x \leq L \quad (8)$$

$$P_3(x, S) = \frac{P_3(x, 0)}{S} + \frac{\beta}{2} \left[G_0(S) - \frac{G_0}{S} \right] \frac{sh\lambda(L+x)}{ch\lambda L} -$$

$$-\beta G_{ut}(S) \frac{sh\lambda(L+\ell_2)sh\lambda(L-x)}{sh\lambda 2L}$$

The original general solutions for functions (6), (7), and (8) will be written as follows:

$$P_1(x, t) = P_s + 8aG_oL \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_1 t}}{[\pi(2n-1)]^2} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2L} +$$

$$+ \frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2L} \int_0^t [G_0(\tau)] \cdot e^{-\alpha_1(t-\tau)} d\tau -$$

$$-\frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \sin \frac{\pi(L-\ell_2)}{2L} \sin \frac{\pi(L-x)}{2L} \int_0^t G_{ut}(\tau) \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau \quad 0 \leq x \leq L \quad (9)$$

$$P_{2,3}(x, t) = P_s + 8aG_oL \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_1 t}}{[\pi(2n-1)]^2} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2L} +$$

$$\frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2L} \int_0^t [G_0(\tau)] \cdot e^{-\alpha_1(t-\tau)} d\tau -$$

$$-\frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \int_0^t G_{ut}(\tau) \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau \begin{cases} \sin \frac{\pi(L-\ell_2)}{2L} \sin \frac{\pi(L+x)}{2L}, & 0 \leq x \leq \ell_2 \\ \sin \frac{\pi(L+\ell_2)}{2L} \sin \frac{\pi(L-x)}{2L}, & \ell_2 \leq x \leq L \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{Here, } \alpha_1 = \frac{\pi^2(2n-1)^2 c^2}{8aL^2}, \alpha_2 = \frac{\pi^2 n^2 c^2}{8aL^2}$$

The non-steady-state operating conditions of gas pipelines lead to significant fluctuations in pressure and can compromise the normal functioning of gas supply to consumers. Studying these processes under various operating conditions of gas pipelines and considering the results of the analytical solutions obtained at dispatcher control points will significantly increase the reliability of gas supply and the efficiency of gas transportation processes. This function should be considered one of the highest priorities for the reconstruction of gas pipelines. When selecting the optimal operating conditions for gas pipelines, it should be noted that the task of calculating non-steady-state processes caused by any accident situation is fundamental to the operation of trunk gas pipelines. Selecting parameters for information measurement and control systems for gas distribution networks should minimize the time of transfer to dispatcher control points. During operation, information-measurement and control systems for gas distribution networks should ensure reliable collection and transmission of

data and, using modern methods, monitor accident situations and efficiently manage non-steady-state gas dynamic processes to ensure uninterrupted gas supply to consumers.

During accidents in trunk gas pipelines, temporary processes must be determined at least one order of magnitude higher than the calculation time [12]. For this purpose, it is necessary to adopt theoretical and experimental simplification methods based on known areas of application and to use calculation programs based on simple rules. Currently, such programs are available and are specialized simplifications for the operational management of pipeline networks [8].

$$G_0(t) = G_0, \quad G_{ut}(t) = G_{ut} = \text{const},$$

$$n=1, 2, 3, \dots, 10.$$

Adopting the simplifications mentioned above, we consider the following expressions (9) and (10) and the given data to determine the law of pressure change of gas along the axial length of the complex parallel pipeline in different scenarios of gas leakage locations (1st scenario - $\ell_2 = 2,5 \cdot 10^4$ m; 2nd scenario - $\ell_2 = 7,5 \cdot 10^4$ m).

$P_b = 55 \cdot 10^4$ Pa; $P_s = 4 \cdot 10^4$ Pa; $G_0 = G_1 + G_2 = 30 \frac{Pa \cdot sec}{m}$; $2a = \frac{1}{sec}$; $c = 383,3 \frac{m}{sec}$; $L = 10^5$ m; $d = 0,7$ m; 1st scenario $\ell_2 = 2,5 \cdot 10^4$ m; 2nd scenario $\ell_2 = 7,5 \cdot 10^4$ m;

First, considering the fixed pressure at the end of the parallel gas pipeline under operating conditions, we

assume a rupture location at a distance of $\ell_2 = 2,5 \cdot 10^4$ m from the end, with gas leakage occurring every 300 seconds, and calculate the values of gas pressure along the gas pipeline for different values of leaked gas mass at point $x = 25000$ m. We record the calculated values in Table 1 below.

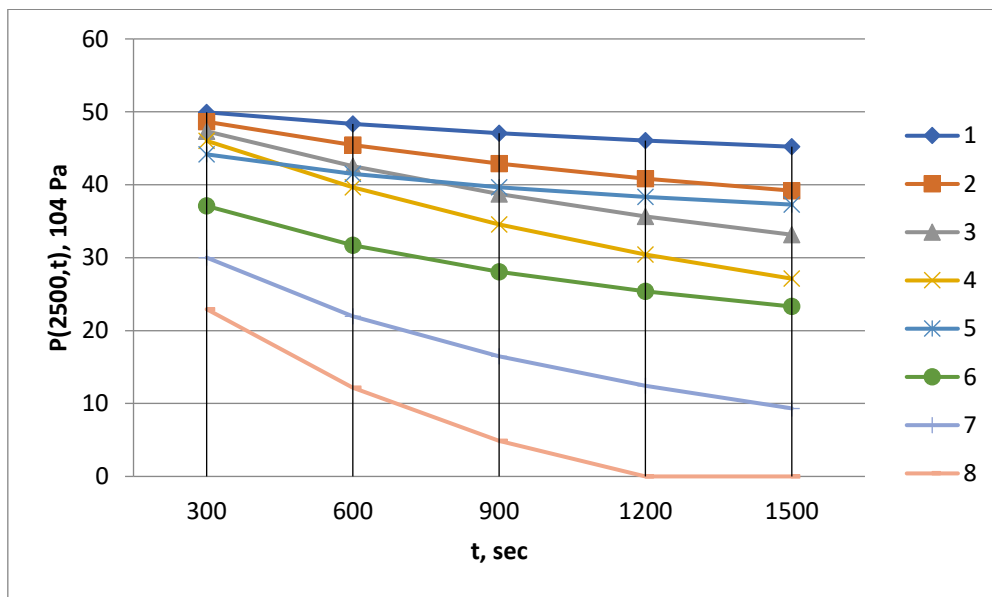
Table 1.

Pressure values over time for different leaked gas masses at the point of gas leakage at $x = 25000$ m along the gas pipeline (1st scenario).

$\ell_2 = 25000$ m	$P_1(25000, t), 10^4$ Pa				$P_2(25000, t), 10^4$ Pa			
t, sec	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$
300	49,94	48,64	47,33	46,03	44,17	37,09	30,01	22,94
600	48,36	45,46	42,57	39,67	41,48	31,71	21,94	12,17
900	47,07	42,89	38,72	34,54	39,66	28,07	16,48	4,89
1200	46,05	40,84	35,64	30,44	38,32	25,39	12,45	0
1500	45,22	39,19	33,15	27,12	37,28	23,3	9,33	0

Using Table 1, let's create a graph (Graph 1) showing the variation of pressure at the point $l=25000$

m of the complex gas pipeline over time and depending on the leaked gas mass.



Graph 1. Variation of pressure over time at the point $x = 25000$ m of the gas pipeline in the first scenario of gas leakage. 1, 2, 3, and 4 - Unaffected pipeline section (1- $G_{ut} = 0,4 G_0$, 2- $G_{ut} = 0,8 G_0$, 3- $G_{ut} = 1,2 G_0$, 4- $G_{ut} = 1,6 G_0$); 5, 6, 7, and 8 - Affected pipeline section (at the point of rupture), (5- $G_{ut} = 0,4 G_0$, 6- $G_{ut} = 0,8 G_0$, 7- $G_{ut} = 1,2 G_0$, 8- $G_{ut} = 1,6 G_0$).

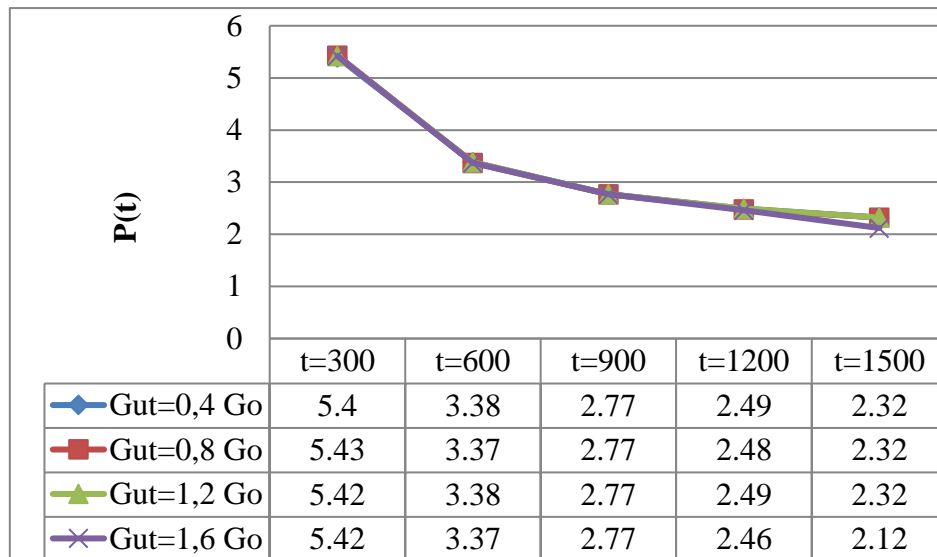
Table 1 and Graph 1 demonstrate that the non-steady state caused by the rupture of one pipeline in a parallel gas pipeline operating under unit hydraulic conditions disrupts the steady state of the other unaffected pipeline. This process can be explained by the fact that, in the event of an accident resulting from the rupture of one pipeline, the gas flow of the main sections of the pipeline tends towards the damaged section. In other words, in the operating conditions where the pressure remains constant at the end of the parallel gas pipeline and the mass flow at the beginning changes over time, the mass flows at the beginning of the pipeline are directed towards the damaged section

of the pipeline. In this case, the main section of the pipeline operates in a non-stationary gas movement regime due to the extraction of gas from the starting sections of the undamaged pipeline. Consequently, the length of the undamaged pipe, its pressure, and the gas flow consumption vary depending on both coordinates and time due to the extraction of non-uniform gas mass from the starting section and the continuous supply of gas to the consumer institutions from the final section. As a result, a decrease in pressure along the length of both pipelines occurs. Based on the provided data, in the stationary regime, the pressure at $x = 25000$ m for both the damaged and undamaged pipelines is $P(25000,$

0) = 51,25 · 10⁴ Pa. Analysis of Graph 1 reveals that the magnitude of pressure decrease in the damaged pipeline is several times greater than that in the undamaged pipeline. Thus, for a duration of t=300 seconds and when the volume of the leaked gas mass is 40% of the volume of the pipeline's final section ($G_{ut} = 0,4 G_0$), the magnitude of pressure decrease in the damaged pipeline is $[P(25000,0) - P_2(25000,t)] = 51,25 - 44,17 = 7,08 \cdot 10^4$ Pa. Meanwhile, the magnitude of pressure decrease in the undamaged pipeline will be $[P(25000,0) - P_1(25000,t)] = (51,25 - 49,94) = 1,31 \cdot 10^4$ Pa. The value of the pressure

drop in the damaged pipeline is 5.4 times greater than the pressure drop occurring in the undamaged pipeline. The value of this ratio varies depending on time for a constant value of gas leakage. For instance, at t=600 seconds, it is 3.37; at t=900 seconds, it is 2.77; at t=1200 seconds, it is 2.48, and at t=1500 seconds, it decreases to 2.32.

It appears from this that the value of this ratio reaches its maximum at t=300 seconds for a constant value of gas leakage ($G_{ut} = 0,4 G_0$) and then decreases over time (Graph 2).



Graph 2. The graph of the dependence of $[P(x,0) - P_2(x,t)] / [P(x,0) - P_1(x,t)] = p(t)$ at the point $x = 25000$ m of the gas pipeline on time t .

The value of the pressure drop in the damaged pipeline is several times greater than the pressure drop in the undamaged one when the volume of leaked gas mass is $G_{ut} = 0,8 G_0$. Thus, during the period of $t = 300$ seconds, the value of the pressure drop in the damaged pipeline $(51,25 - 39,07) = 14,16 \cdot 10^4$ Pa, while in the undamaged pipeline, this value will be $(51,25 - 48,64) = 2,61 \cdot 10^4$ Pa. However, the ratio of the pressure drop in the damaged pipeline to the pressure drop in the undamaged pipeline becomes equal to the value when the gas leakage is $G_{ut} = 0,4 G_0$, which is 5.4. Despite the gas leakage increasing by a factor of 2, the value of this ratio remains unchanged, only varying with time. As seen from Graph 2, the value of this ratio decreases only for $G_{ut} = 1,6 G_0$ at $t = 1500$ seconds. The reason for this is that, as shown in Graph 1, the pressure in the damaged pipeline at $x = 25000$ m approaches zero after 1200 seconds.

In other words, the process of the gas pipeline being almost completely emptied occurs in the

damaged pipeline. Therefore, in the analyzed operating conditions of parallel gas pipelines [$P_1(L,t) = P_2(L,t) = P_s = \text{const}$], after $t = 1200$ seconds, the efficiency of gas supply to consumers is significantly compromised, meaning that most consumers cannot be supplied with gas. The proposed operating condition does not effectively account for uninterrupted gas supply to consumers in emergency regimes, thus rendering the operation of parallel gas pipelines in a single hydraulic regime ineffective within the specified boundary conditions.

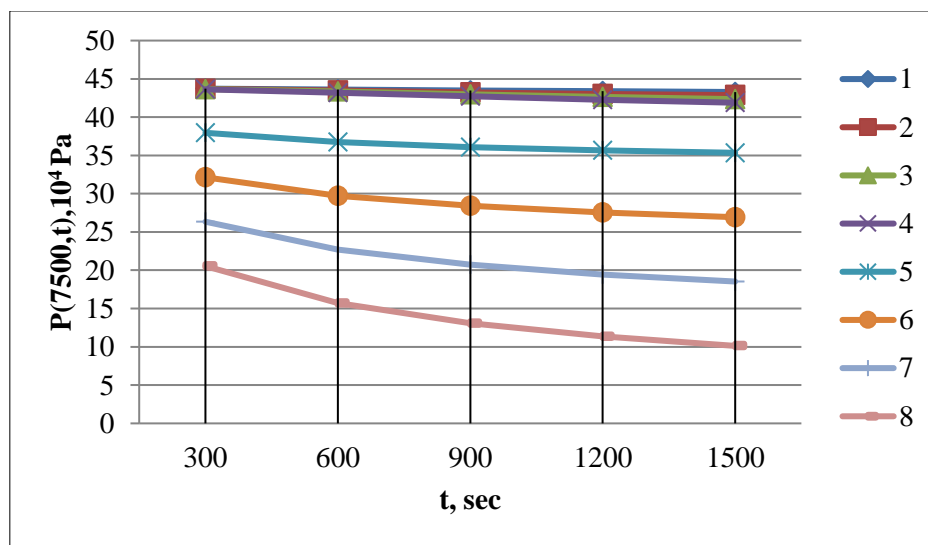
Let's analyze the variant where the boundary condition of maintaining constant pressure at the end of the gas pipeline is $\ell_2 = 75000$ m. In this case, considering different values of the leaking gas mass every 300 seconds, we calculate the values of gas pressure at $x = 75000$ m and record them in the following Table 2. From the expression $P_i(x,0) = P_b - 2aG_0x$, the value of gas pressure in the stationary regime at $x = 75000$ m will be $43,75 \cdot 10^4$ Pa.

Table 2.

Pressure values at the leakage point $x = 75000$ m of the gas pipeline for different values of leaked gas mass (2nd variant).

$l_2=75000$ m	$P_1(75000,t), 10^4$ Pa				$P_2(75000,t), 10^4$ Pa			
t, sec	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$
300	43,72	43,69	43,66	43,63	37,95	32,14	26,34	20,54
600	43,61	43,48	43,34	43,2	36,74	29,72	22,71	15,7
900	43,49	43,23	42,98	42,72	36,08	28,41	20,74	13,07
1200	43,38	43,01	42,64	42,27	35,65	27,55	19,45	11,36
1500	43,28	42,88	42,35	41,88	35,34	26,93	18,53	10,12

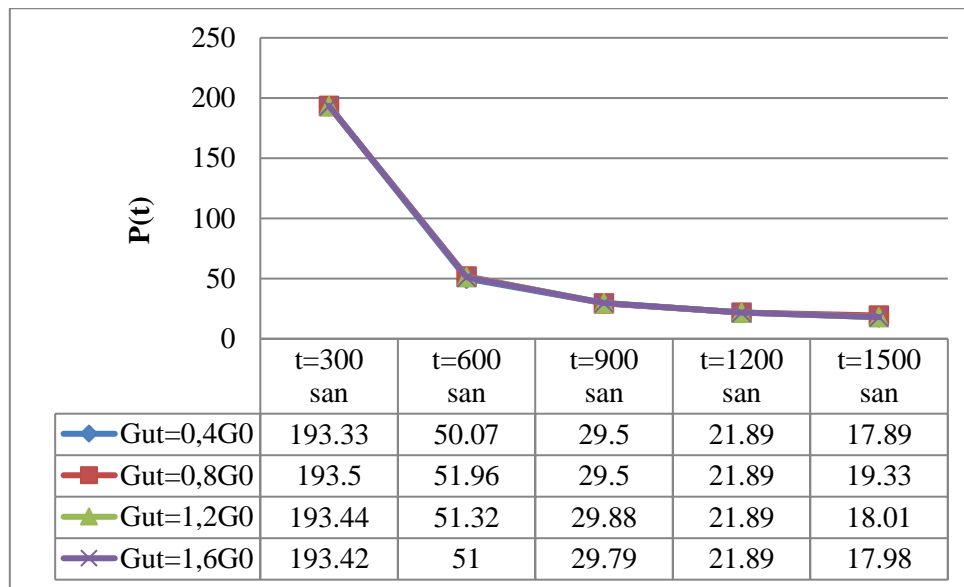
We'll construct the following graph using the data provided in Table 2



Graph 3. The graph illustrates the variation of pressure over time at the point $x = 75000$ m for the second scenario. In this graph, curves 1, 2, 3, and 4 represent the pressure variation for the undamaged pipeline (1- $G_{ut}=0,4 G_0$, 2- $G_{ut}=0,8G_0$, 3- $G_{ut}=1,2 G_0$, 4- $G_{ut}=1,6 G_0$); while curves 5, 6, 7, and 8 represent the pressure variation for the damaged pipeline (at the point of breach) (5- $G_{ut}=0,4 G_0$, 6- $G_{ut}=0,8 G_0$, 7- $G_{ut}=1,2 G_0$, 8- $G_{ut}=1,6 G_0$).

Based on the analysis of Graph 3, it can first be said that the non-stationary process occurring in the damaged pipeline due to the integrity breach in the last part of the belt is not felt in the undamaged pipeline. Specifically, 300 seconds after the accident, the volume of the leaked gas mass is $G_{ut} = 0,4 G_0$. At this time, the pressure drop in the damaged pipeline is $(43,75 - 37,95) = 5,8 \cdot 10^4$ Pa, while the pressure drop in the undamaged pipeline will be $(43,75 - 43,72) = 0,03 \cdot 10^4$ Pa. Thus, the value of the pressure drop in the damaged

pipeline is 193 times greater than the pressure drop in the undamaged pipeline. This ratio changes over time depending on the steady value of the gas leakage, being 51 at $t = 600$ seconds, 29.5 at $t = 900$ seconds, 21.9 at $t = 1200$ seconds, and decreasing to 18.0 at $t = 1500$ seconds. Using the data from Table 2, we will construct the graph of the coefficient $p(t)$, which characterizes the ratio of the pressure drop values in the damaged pipeline to the pressure drop values in the undamaged pipeline, depending on different values of gas leakage and time (Graph 4).



Graph 4. Graph of the coefficient $[P(x,0)-P_2(x,t)]/[P(x,0)-P_1(x,t)]=p(t)$ as a function of time t , at point $x=25000$ on the gas pipeline.

The analysis of Graph 4 shows that the values of $p(t)$, which characterize the ratio of the pressure drop in the damaged pipeline to that in the undamaged pipeline, remain nearly constant across different gas leakage rates and over time. This constancy is attributed to the maintenance of stable pressure in the final segment of the operational gas pipeline. However, the mass of gas delivered to consumers decreases sharply as the value of the coefficient describing the ratio of pressure drops

between the damaged and undamaged pipeline sections decreases from 193 to 18.

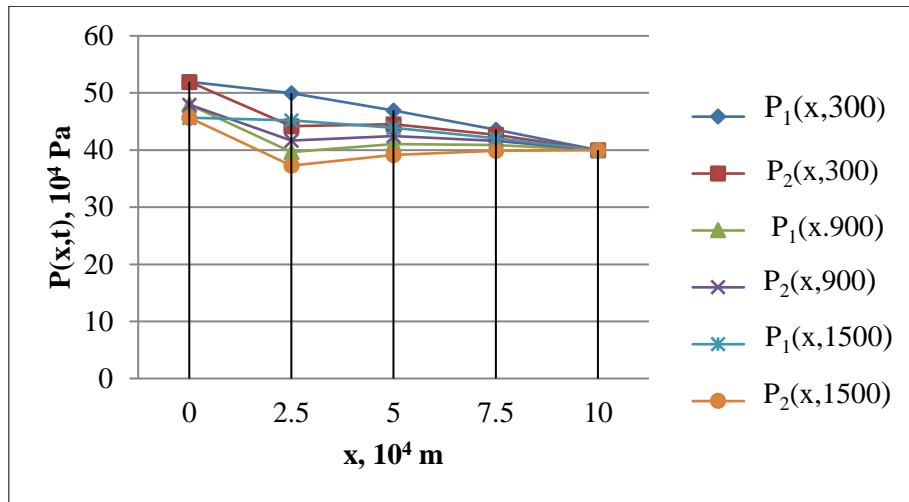
During the rupture of the second line at a distance of $l_2=25000\text{m}$ and at a gas leakage rate of $G_{ut}=0.4 G_0$, the values of pressure distribution in the damaged and undamaged pipeline are calculated at different times, every $25 \cdot 10^4 \text{ m}$, to determine the conformity to the law of pressure distribution as follows:

Table 3.

For the case of the rupture of the first line of the gas pipeline and a gas leakage rate of $G_{ut}=0,4 G_0$, the pressure values along the length of the damaged and undamaged pipeline, depending on time, are as follows.

$G_{ut}=0,4 G_0$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$
X, 10^4 m	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	51,95	51,95	47,96	47,96	45,67	45,67
2,5	49,94	44,17	39,66	41,68	45,22	37,28
5	46,95	44,54	41,04	42,47	43,9	39,17
7,5	43,55	42,67	40,87	41,62	42,07	39,86
10	40	40	40	40	40	40

Using the data from Table 3, we will create Graph 5



Graph 5. The distribution of pressure along the length of the damaged and undamaged pipelines in the non-stationary regime due to the rupture of the parallel gas pipeline at a distance of $\ell_2 = 25000$ m and a gas leakage rate of $G_{ut} = 0,4 G_0$.

The analysis of Graph 5 reveals that, except for the pressure at the final point of the gas pipeline, where the pressure remains constant under steady operating conditions, the pressure values along both the damaged and undamaged sections of the pipeline decrease over time due to the rupture of the parallel pipeline at a distance of $\ell_2 = 25000$ m. Additionally, the rate of pressure decrease increases along the direction from the final point to the starting point of the pipeline in both the damaged and undamaged sections. As a result, a process of gas discharge occurs at the beginning of the gas pipeline. By increasing the mass of leaking gas

without changing the operating conditions of the gas pipeline, we can determine the maximum discharge time at which this process is possible.

In order to maintain the rupture point of the second line at a distance of $\ell_2 = 25000$ m and with the gas leakage rates of $G_{ut} = 0,8 G_0$ and $G_{ut} = 1,2 G_0$, we calculate the pressure values along the length of the damaged and undamaged pipelines at different times, every $2,5 \cdot 10^4$ m, and record them in the following tables (Table 4 and Table 5).

Table 4.

Pressure values along the length of the damaged and undamaged pipelines, depending on time, for the case of the rupture of the first line of the gas pipeline and a gas leakage rate of $G_{ut} = 0,8 G_0$.

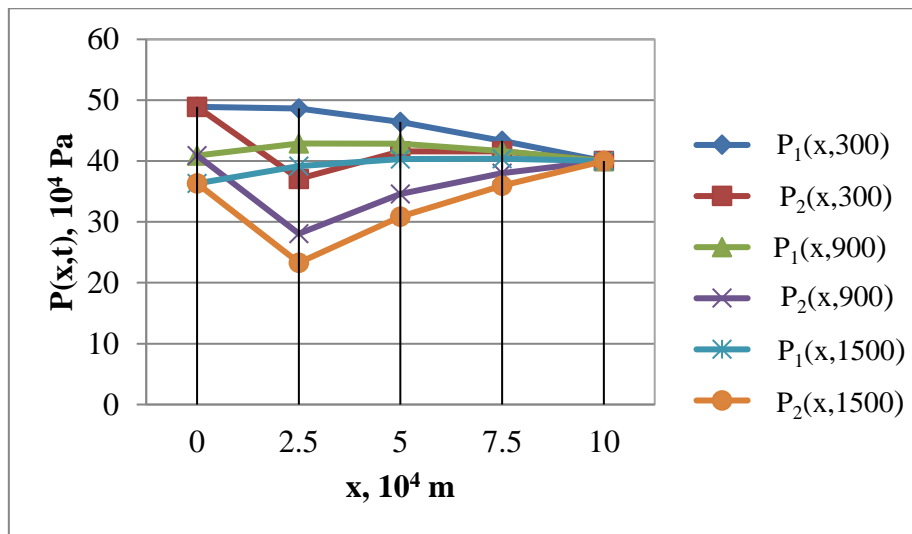
$G_{ut} = 0,8 G_0$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$
	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
X, 10^4 m	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	48,91	48,91	40,93	40,93	36,33	36,33
2,5	48,64	37,09	42,89	28,07	39,19	23,3
5	46,41	41,57	42,84	34,59	40,31	30,84
7,5	43,35	41,6	41,67	37,99	40,39	35,98
10	40	40	40	40	40	40

Table 5.

Pressure values along the length of the damaged and undamaged pipelines, depending on time, for the case of the rupture of the first line of the gas pipeline and a gas leakage rate of $G_{ut} = 0,4 G_0$.

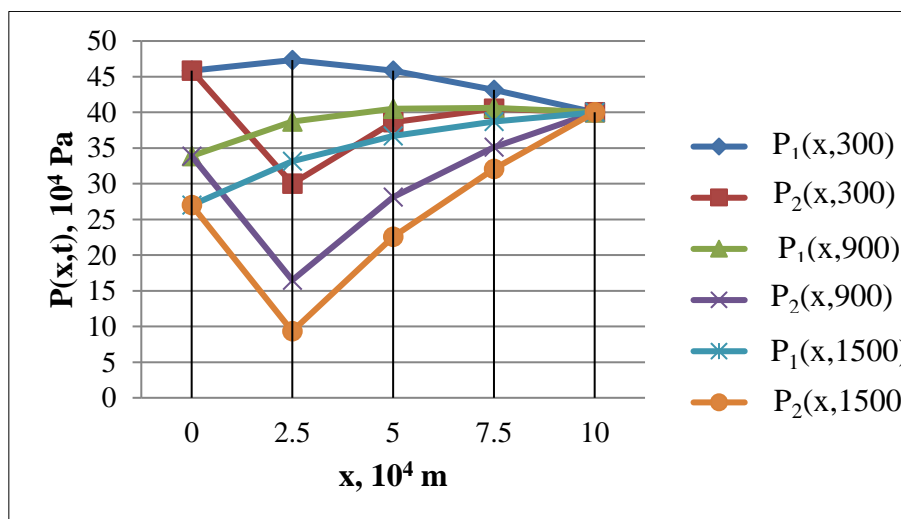
$G_{ut} = 1,2 G_0$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$
	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
X, 10^4 m	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	45,86	45,86	33,89	33,89	27	27
2,5	47,33	30,01	38,72	16,48	33,15	9,33
5	45,86	38,61	40,52	28,13	36,71	22,55
7,5	43,15	40,52	40,63	35,11	38,72	32,09
10	40	40	40	40	40	40

We will create the following graphs using the data from Table 4 and Table 5 (Graph 6 and Graph 7).



Qrafik 6. Paralel qaz kəmərinin $\ell_2 = 25000$ m məsafədə kipliyinin pozulması və qaz sızmasının $G_{ut}=0,8 G_0$ qiymətində zədələnmiş və zədələnməmiş boru xətlərində qeyri-stasionar rejimdə təzyiqlərin xətti boyu paylanması mənzərəsi.

Graph 6. The distribution of pressure along the length of the damaged and undamaged pipelines in the non-stationary regime due to the rupture of the parallel gas pipeline at a distance of $\ell_2 = 25000$ m and a gas leakage rate of $G_{ut}=0,8 G_0$.



Graph 7. Visualization of the longitudinal distribution of pressures in a non-stationary regime along the damaged and undamaged pipeline sections, when the integrity of a parallel gas pipeline is compromised at a distance of $\ell_2 = 25000$ m and gas leakage occurs at $G_{ut}=1,2 G_0$

The analysis of Graph 6 and 7 indicates that, under steady-state operating conditions with constant pressure maintained at the endpoint of the gas pipeline, the profile of longitudinal pressure decreases along the damaged and undamaged pipeline sections in the direction from the endpoint to the starting point of the pipeline, which resembles the curve depicted in Figure 5. However, due to an increase in the mass flow rate of gas leakage, the extent of pressure reduction along the damaged pipeline increases sufficiently. Specifically, at the point x of the $\ell_2 = 25000$ m along the damaged pipeline segment (where the rupture occurred), if the pressure decrease over a duration of $t = 1500$ seconds is $(43,5 - 37,28) \cdot 10^4 = 6,22 \cdot 10^4$ Pa for gas

leakage at $G_{ut}=0,4 G_0$, then for gas leakage at $G_{ut}=0,8 G_0$, it would be $(43,5 - 23,3) \cdot 10^4 = 20,2 \cdot 10^4$ Pa, and for $G_{ut}=1,2 G_0$, it would be $(43,5 - 9,33) \cdot 10^4 = 34,17 \cdot 10^4$ Pa. Thus, as a result of the mass flow rate of gas leakage increasing by a factor of $(1,2/0,4)=3$, the pressure decrease at the point $\ell_2 = 25000$ m along the damaged pipeline increases by a factor of $(34,17/6,22)=5,5$. This means that the pressure decrease accommodates nearly twice the increased magnitude of the mass flow rate of gas leakage. On the other hand, according to Graph 7, in the damaged pipeline, the minimum value of pressure decrease along the pipeline in the direction from the endpoint to the starting point is observed at the point $\ell_2 = 25000$ m,

reaching a value of $(9,33 \cdot 10^4 \text{ Pa})$, and this value increases gradually towards the starting section, reaching a value of $27 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ at the starting point. At the same time, this value is equal to the pressure at the same point ($x = 0$) of the undamaged pipeline. The reason for this is the parallel operation of the gas pipelines in a unified hydraulic regime. In other words, the pipelines have the same starting and ending points. As a result, at the beginning section, the gas flow from the undamaged pipeline merges with the damaged pipeline. From this, we can conclude that in non-stationary regimes, the process of diverting the gas flow from the undamaged section to the damaged section and extracting it from the leakage point (Scheme 1) results in a discharge process at the beginning of both pipeline sections. As a result, in the section from the beginning of the gas pipeline to the point of rupture, the possibility of alternate emptying and filling of the damaged pipeline section is accompanied by a sharp decrease in pressure, and these pressure values are often significantly lower than those at the endpoint of the pipeline. This contradicts the requirement for normal gas flow in the pipeline for gas-dynamic processes. Therefore, as mentioned above, the exploitation process of parallel gas pipelines operating in a unified hydraulic regime is not effectively accounted for.

The analysis of non-stationary gas dynamic processes under exploitation conditions with maintained constant pressure at the beginning of parallel pipeline systems.

Let's analyze the specified exploitation conditions for the gas pipeline. Let's assume that at the beginning of the utilized parallel gas pipeline, the pressure is maintained constant. For the solution of the equations in mathematical model (2), we accept the initial stationary distribution of gas flow pressures in the calculation domain.

$$t=0; P_i(x,0)=P_b-2aG_0x: i=1,2,3$$

Using the derived general model and maintaining constant pressure at the beginning of the gas pipeline, we consider the pressure functions that describe the flow rate $G(t)$ and its abrupt changes at the end of the pipeline. Thus, the following boundary conditions are adopted for the solution of equation (2):

$$\begin{aligned} &\text{At the point } x=0 \begin{cases} P_1(x, t) = P_b \\ P_2(x, t) = P_b \end{cases} \\ &\text{At the point } x = \ell_2 \begin{cases} P_2(x, t) = P_3(x, t) \\ \frac{\partial P_3(x, t)}{\partial x} - \frac{\partial P_2(x, t)}{\partial x} = -2aG_{ut}(t) \end{cases} \\ &\text{At the point } x = L \begin{cases} P_1(x, t) = P_3(x, t) \\ \frac{\partial P_1(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial P_2(x, t)}{\partial x} = -2aG_k(t) \end{cases} \end{aligned}$$

Using the Gauss method as outlined above, if we determine the coefficients specified in (3), (4), and (5) functions and substitute them into the equations, and after carrying out the uncomplicated operations, we obtain the following expressions to determine the distribution of pressure in transformed form:

$$P_1(x, S) = \frac{P_1(x, 0)}{S} + \frac{\beta}{2} \left[\frac{G_0}{S} - G_s(S) \right] \frac{sh\lambda x}{ch\lambda L} - \beta G_{ur}(S) \frac{sh\lambda x sh\lambda \ell_2}{sh\lambda 2L} \quad 0 \leq x \leq L \quad (11)$$

$$P_2(x, S) = \frac{P_2(x, 0)}{S} + \frac{\beta}{2} \left[\frac{G_0}{S} - G_s(S) \right] \frac{sh\lambda x}{ch\lambda L} - \beta G_{ur}(S) \frac{sh\lambda x sh\lambda (2L - \ell_2)}{sh\lambda 2L} \quad 0 \leq x \leq \ell_2 \quad (12)$$

$$P_3(x, S) = \frac{P_3(x, 0)}{S} + \frac{\beta}{2} \left[\frac{G_0}{S} - G_s(S) \right] \frac{sh\lambda x}{ch\lambda L} - \beta G_{ur}(S) \frac{sh\lambda \ell_2 sh\lambda (2L - x)}{sh\lambda 2L} \quad \ell_2 \leq x \leq L \quad (13)$$

The original general solutions for functions (11), (12), and (13) will be written as follows:

$$\begin{aligned} P_1(x, t) = & P_b - 8aG_0L \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{e^{-\alpha_1 t}}{[\pi(2n-1)]^2} \text{Sin} \frac{\pi(2n-1)x}{2L} - \\ & - \frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \text{Sin} \frac{\pi(2n-1)x}{2L} \int_0^t [G_s(\tau)] \cdot e^{-\alpha_1(t-\tau)} d\tau - \end{aligned}$$

$$-\frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \text{Sin} \frac{\pi n \ell_2}{2L} \text{Sin} \frac{\pi n x}{2L} \int_0^t G_{ut}(\tau) \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau \quad 0 \leq x \leq L \quad (14)$$

$$P_{2,3}(x, t) = P_b - 8aG_0L \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{e^{-\alpha_1 t}}{[\pi(2n-1)]^2} \text{Sin} \frac{\pi(2n-1)x}{2L} -$$

$$\frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \text{Sin} \frac{\pi(2n-1)}{2L} \int_0^t [G_s(\tau)] \cdot e^{-\alpha_1(t-\tau)} d\tau -$$

$$-\frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \int_0^t G_{ut}(\tau) \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau \left\{ \begin{array}{l} \text{Sin} \frac{\pi n(2L-\ell_2)}{2L} \text{Sin} \frac{\pi n x}{L}, 0 \leq x \leq \ell_2 \\ \text{Sin} \frac{\pi n \ell_2}{2L} \text{Sin} \frac{\pi n(2L-x)}{L}, \ell_2 \leq x \leq L \end{array} \right\} \quad (15)$$

Here, $\alpha_1 = \frac{\pi^2(2n-1)^2 c^2}{8aL^2}$, $\alpha_2 = \frac{\pi^2 n^2 c^2}{8aL^2}$

As noted, it is essential to develop methods for analyzing the dynamics of the main section of gas pipelines in parallel systems to better understand the operation of the systems. To achieve this, it is necessary to adopt simplification methods based on theoretical and experimental tests in relevant areas of application and to use calculation programs based on simple principles. Currently, such programs are available, and they are specialized simplifications for the operational management of pipeline networks [8].

$G_s(t) = G_0$, $G_{ut}(t) = G_{ut} = \text{const}$,
 $n=1,2,3,\dots,10$.

First, by maintaining the position of the rupture point of the second line at a distance of $\ell_2 = 25000$ m along the gas pipeline and considering the variations of gas leakage at $G_{ut}=0,8 G_0$ and $G_{ut}=1,6 G_0$, we calculate the values of pressure along the length of the damaged and undamaged pipeline for various times at intervals of $2,5 \cdot 10^4$ m, and we present the following tables (Table 6 and Table 7).

Table 6.

Pressure values along the length of the damaged and undamaged pipeline as a function of time for the rupture and gas leakage at $G_{ut}=0,8 G_0$ in the first variant of the gas pipeline.

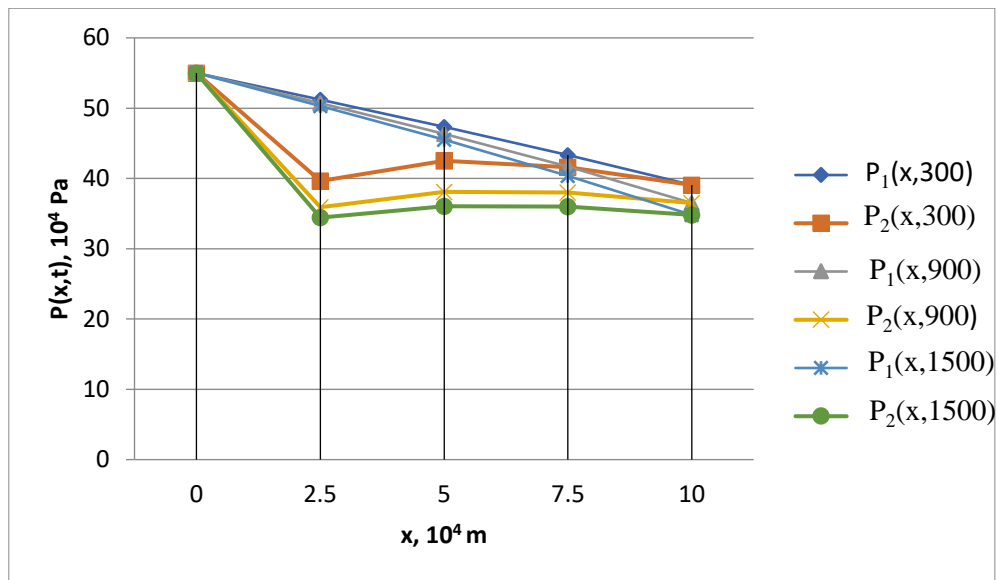
$G_{ut}=0,8 G_0$	$P_1(x,t), 10^4$ Pa	$P_2(x,t), 10^4$ Pa	$P_1(x,t), 10^4$ Pa	$P_2(x,t), 10^4$ Pa	$P_1(x,t), 10^4$ Pa	$P_2(x,t), 10^4$ Pa
X, 10^4 m	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	55	55	55	55	55	55
2,5	51,19	39,64	50,73	35,91	50,32	34,43
5	47,33	42,5	46,34	38,08	45,5	36,03
7,5	43,35	41,6	41,67	37,99	40,39	35,98
10	39,07	39,07	36,5	36,5	34,81	34,81

Table 7.

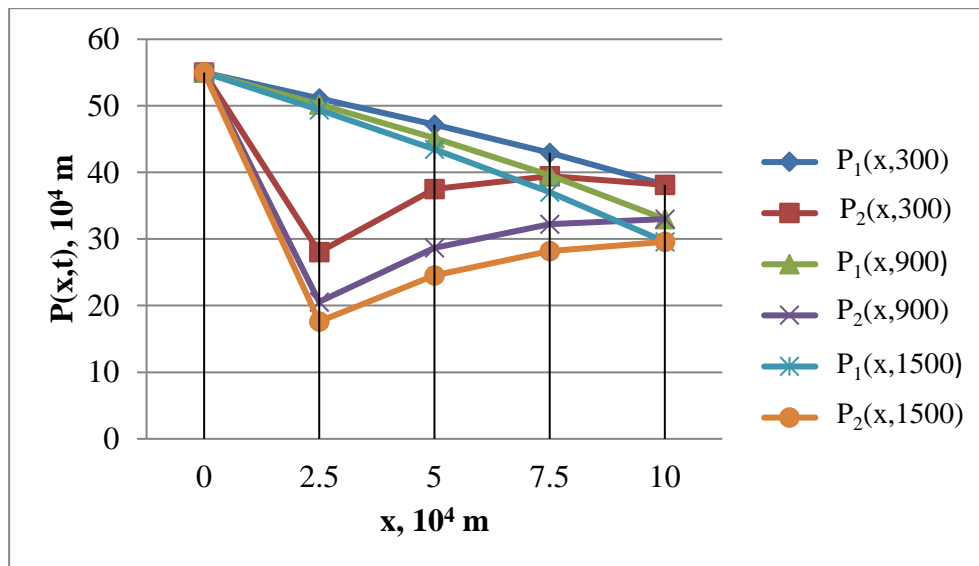
Pressure values along the length of the damaged and undamaged pipeline as a function of time for the rupture and gas leakage at $G_{ut}=1,6 G_0$ in the first variant of the gas pipeline.

$G_{ut}=1,6 G_0$	$P_1(x,t), 10^4$ Pa	$P_2(x,t), 10^4$ Pa	$P_1(x,t), 10^4$ Pa	$P_2(x,t), 10^4$ Pa	$P_1(x,t), 10^4$ Pa	$P_2(x,t), 10^4$ Pa
X, 10^4 m	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	55	55	55	55	55	55
2,5	51,13	28,04	50,22	20,57	49,38	17,62
5	47,17	37,5	45,18	28,67	43,5	24,56
7,5	42,96	39,44	39,59	32,23	37,04	28,2
10	38,15	38,15	33	33	29,61	29,61

Using the data provided in Tables 6 and 7, let's construct the following graphs (Graph 8 and Graph 9).



Graph 8. The distribution of pressure along the length of the damaged and undamaged pipelines in the non-stationary regime due to the rupture and gas leakage at $G_{ut}=0,8G_0$ in the first variant of the parallel gas pipeline.



Graph 9. The distribution of pressure along the length of the damaged and undamaged pipelines in the non-stationary regime due to the rupture and gas leakage at $G_{ut}=1,6G_0$ in the first variant of the parallel gas pipeline.

The analysis of Graph 8 and Graph 9 reveals that, under conditions where pressure remains constant at the starting point of the gas pipeline, the curvature depicted by the declining pressure along the length of the pipeline from the endpoint towards the starting point is contrary to the view of the pipeline's endpoint under conditions of constant operational pressure.

In the case where the damaged section of the line is at $\ell_2 = 25000$ m (the damaged section due to the rupture), in the $G_{ut}=0.8G_0$ variant, at $t=1500$ seconds, if the pressure decrease due to gas leakage is $(43,5 - 34,43) \cdot 10^4 = 9,07 \cdot 10^4$ Pa, then in the $G_{ut}=1,6G_0$ variant, the pressure decrease due to gas leakage would be $(43,5 - 17,62) \cdot 10^4 = 25,88 \cdot 10^4$ Pa.

So, as a result of the gas leakage mass loss increasing by a factor of $(1.6/0.8)=2$, the pressure drop at the point $\ell_2 = 25000$ m on the damaged pipeline

increases by a factor of $(25.88/9.07)=2.9$. Thus, the pressure drop factor reflects the increased magnitude of gas leakage.

On the other hand, according to Graph 9, the pressure drop value along the pipeline in the damaged section, in the direction from the starting point of the pipeline to its endpoint, reaches its minimum value $(17,62 \cdot 10^4$ Pa) at the point $\ell_2 = 25000$ m and increases towards the endpoint, reaching a value of $29,61 \cdot 10^4$ Pa. At the same time, the pressure at the endpoint of the undamaged pipeline is the same. This pressure value is approximately 1.4 times lower than the values in the steady-state regime. The reason for this is the operation of the parallel gas coupling in a single hydraulic regime. In other words, it means that the pipelines have the same starting and ending points. As a result, at the endpoint, the gas flow from the undamaged pipeline

converges with the damaged pipeline. From this, it can be inferred that in non-steady-state regimes, the process of diverting the gas flow from the undamaged to the damaged pipeline and removing it from the leakage point (Scheme 1) results in the emptying process occurring in both pipelines. As a result, the possibilities of alternative emptying and filling of the damaged pipeline section to the point of rupture are accompanied by a sharp decrease in pressure in that section, and these pressure values are several times lower than the values at the endpoint of the pipeline.

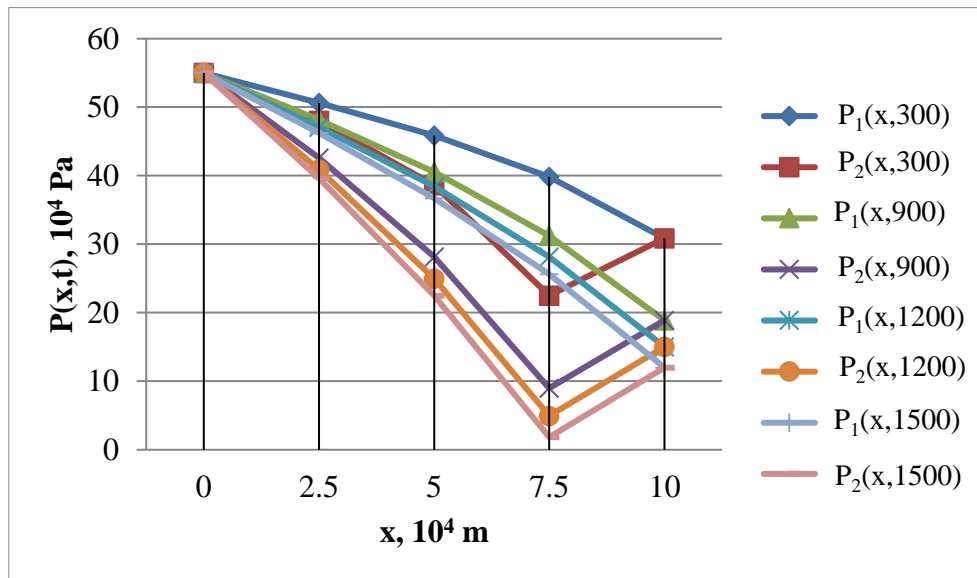
To conduct a more detailed analysis of the information regarding the non-normal gas yield compromising the reliability of the gas pipeline, we assume the location of the gas leakage point on the pipeline to be $\ell_2 = 7,5 \cdot 10^4$ m and calculate the values of gas pressure in the pipeline at intervals of 300 seconds for different values of gas mass leakage at the point $x = 75000$ m. We then record these pressure values in the following Table 8.

Table 8.

Pressure values along the length of the damaged and undamaged pipeline segments depending on time for the case of rupture of the gas coupling and gas leakage at $G_{ut}=1,2 G_0$ in the 2nd variant.

$G_{ut}=1,2 G_0$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$
X, 10^4 m	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1200 sec.		t=1500 sec.	
0	55	55	55	55	55	55	55	55
2,5	50,65	48,02	48,13	42,61	47,09	40,91	46,22	39,59
5	45,86	38,61	40,52	28,13	38,43	24,96	36,71	22,5
7,5	39,83	22,51	31,22	8,98	28,14	4,95	25,65	1,83
10	30,86	30,86	18,89	18,89	15,04	15,04	12	12

Using the data provided in Table 8, let's construct the following graphs (Graph 10).



Graph 10. The distribution of pressure along the length of the damaged and undamaged pipeline segments in non-steady-state conditions due to the rupture of the gas coupling at $\ell_2 = 75000$ m distance and gas leakage at $G_{ut}=1,2G_0$.

From Graph 10, it is evident that at the point $\ell_2 = 75000$ m on the damaged pipeline (where the coupling is ruptured), the pressure drop due to gas leakage at $G_{ut}=1,2G_0$ 0 scenario is $(43,5- 1,83) \cdot 10^4 = 41,92 \cdot 10^4$ Pa at $t = 1500$ seconds. On the other hand, according to Graph 10, the pressure drop along the pipeline in the damaged section, in the direction from the starting point of the pipeline to its endpoint, reaches its minimum value $(1,83 \cdot 10^4$ Pa) at the point $\ell_2 = 75000$ m and increases towards the endpoint, reaching a value

of $12 \cdot 10^4$ Pa at the endpoint. On the other hand, the pressure at the endpoint of the damaged pipeline is equal to that value. This value is 3.3 times lower than their values in the steady-state regime. Therefore, the gas efficiency for consumers cannot exceed 40%. This means that despite the ingress of gas leakage from the damaged pipeline into the undamaged pipeline, the gas mass emptied at $t = 1500$ seconds due to leakage surpasses the incoming gas mass, resulting in a sharp emptying of the final section.

We consider the point where the gas leak occurs in the gas pipeline to be $\ell_2 = 7,5 \cdot 10^4$ m, and we calculate the values of the gas pressure in the pipeline at intervals of every $t=300$ seconds for different values

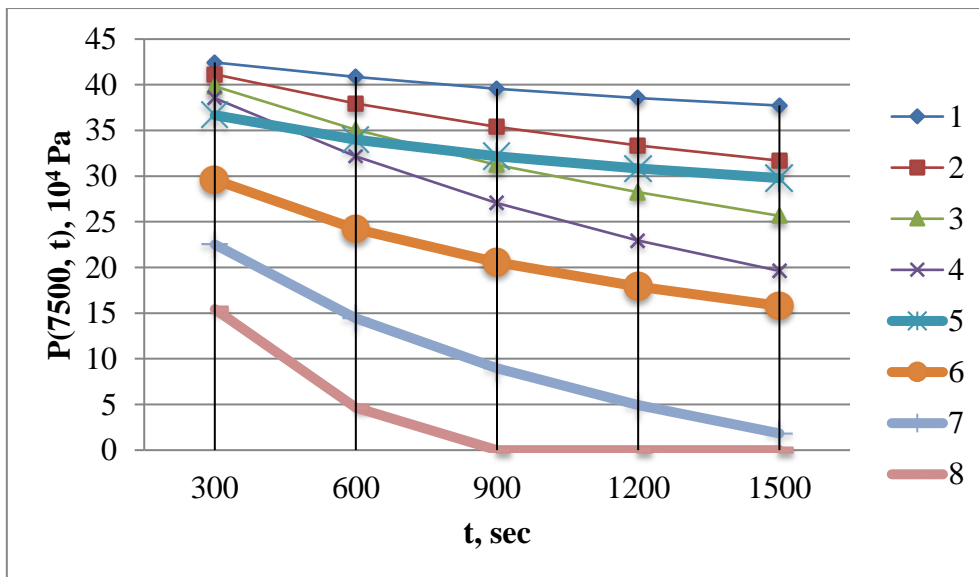
of gas mass leakage at the point $x=75000$ m. We record these pressure values in the following Table 9.

Table 9.

Pressure values of the damaged and undamaged pipeline segments over time for various values of gas leakage in the 2nd variant of the gas pipeline with the rupture of the gas coupling and gas leakage.

$\ell_2=75000$ m	$P_1(75000,t), 10^4$ Pa				$P_2(75000,t), 10^4$ Pa			
t, sec	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$
300	42,44	41,14	39,83	38,53	36,67	29,59	22,51	15,44
600	40,86	37,96	35,07	32,17	33,98	24,21	14,44	4,67
900	39,57	35,39	31,22	27,04	32,16	20,57	8,98	0
1200	38,55	33,34	28,24	22,94	30,82	17,89	4,95	0
1500	37,72	31,69	25,65	19,62	29,78	15,8	1,83	0

Using the data provided in Table 9, let's construct the following graphs (Graph 11)



Graph 11. The depiction of the variation of pressure over time at point $x=75000$ m in the gas pipeline:

1, 2, 3, and 4 - in the undamaged pipeline $x_{\text{тннд}}(1-G_{ut}=0,4 G_0, 2-G_{ut}=0,8 G_0, 3-G_{ut}=1,2 G_0, 4-G_{ut} =1,6 G_0)$;

5, 6, 7, and 8 - in the damaged pipeline (at the point of coupling rupture):

(5- $G_{ut}=0,4 G_0, 6-G_{ut}=0,8 G_0, 7-G_{ut}=1,2 G_0, 8-G_{ut} =1,6 G_0)$.

From Table 9 and Graph 11, it is evident that the pressure drop in the damaged pipeline is multiple times greater than the drop in the undamaged pipeline. For instance, within a duration of $t=300$ seconds and with the volume of leaked gas being 40% of the gas consumption in the steady-state regime ($G_{ut}=0,4 G_0$), the pressure drop in the damaged pipeline segment $[P(75000,0) - P_2(75000,300)] = (43,75 - 42,44) \cdot 10^4 = 1,31 \cdot 10^4$ Pa, whereas the pressure drop in the undamaged pipeline segment $[P(75000,0) - P_1(25000,300)] = (43,75 - 36,67) \cdot 10^4 = 7,08 \cdot 10^4$ Pa.

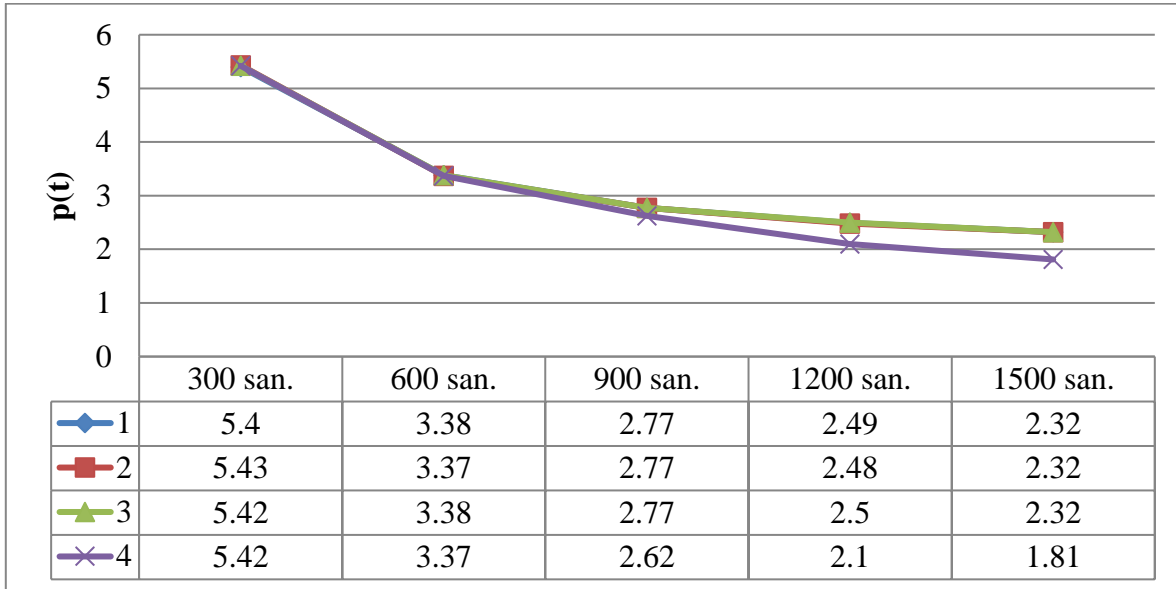
The pressure drop in the damaged pipeline segment is 5.4 times greater than the pressure drop in the undamaged pipeline segment. This ratio varies over time for a constant value of gas leakage: it reaches a maximum value at $t=300$ seconds and then decreases over time, reaching 3.38 at $t=600$ seconds, 2.77 at $t=900$ seconds, 2.49 at $t=1200$ seconds, and further decreases to 2.32 at $t=1500$ seconds. This indicates that the ratio reaches its maximum value at $t=300$ seconds for a constant value of gas leakage ($G_{ut} = 0,4 G_0$) and then decreases over time (Graph 12).

The ratio varies over time for a constant value of gas leakage at $G_{ut}=0,8 G_0$ it reaches 5.43 at $t=300$ seconds, 3.37 at $t=600$ seconds, 2.77 at $t=900$ seconds, 2.48 at $t=1200$ seconds, and further decreases to 2.31 at $t=1500$ seconds. This indicates that the ratio reaches its maximum value (5.43) at $t=300$ seconds for a constant value of gas leakage ($G_{ut}=0,8 G_0$) and then decreases over time, reaching a value of 2.31 at $t=1500$ seconds

(Graph 12). On the other hand, it is apparent that, despite an increase in the volume of gas leakage, the ratio of the pressure drop in the damaged and undamaged sections remains constant until $t=900$ seconds.

However, for $G_{ut} = 1,6 G_0$, this value decreases to 2.1 at $t=1200$ seconds and to 1.81 at $t=1500$ seconds.

The reason for this is that the pressure in the damaged pipeline is approaching zero at the $x=75000$ m point, as shown in Graph 11. In other words, it indicates that the gas pipe in the damaged pipeline segment is essentially fully emptied. Therefore, after 900 seconds, the gas supply regime for consumers is disrupted.



Graph 12. The graph of $p(t)$ dependency on time (t) for the $[P(x, 0) - P_2(x, t)] / [P(x, 0) - P_1(x, t)] = p(t)$ at the $x = 75000$ m point of the gas pipeline (1- $G_{ut} = 0,4 G_0$, 2- $G_{ut} = 0,8 G_0$, 3- $G_{ut} = 1,2 G_0$, 4- $G_{ut} = 1,6 G_0$).

According to the mentioned conditions, it can be concluded that in the analyzed operational conditions of parallel gas pipelines [$P_1(0, t) = P_2(0, t) = P_s = \text{const}$], the gas supply regime to consumers is significantly disrupted after $t = 1200$ seconds. In other words, a large portion of consumers cannot be supplied with gas. Since the proposed operational condition does not comply with the continuous gas supply efficiency standards for consumers in accident scenarios, the effective utilization of parallel gas pipelines operating in a single hydraulic regime under the specified conditions is not feasible.

The analysis of the non-stationary gas dynamic process considers the variation of pipeline losses at the beginning and end points of the gas pipeline under the given operating conditions.

Let's analyze the following operating conditions for the gas pipeline: Suppose that the variation of mass flows at the beginning and end of the utilized parallel gas pipeline varies over time. For solving the mathematical model (2), we assume the initial condition of the gas flow pressures for the initial stationary distribution.

$$t=0; P_i(x, 0) = P_b - 2aG_0x; i=1,2,3$$

Using the general model obtained, let's consider the case where the variation of mass flow at the beginning and end of the gas pipeline is known. Thus, the following boundary conditions are assumed for solving equation (2):

$$\text{At the point } x=0 \begin{cases} P_1(x, t) = P_2(x, t) \\ \frac{\partial P_1(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial P_2(x, t)}{\partial x} = -2aG_0(t) \end{cases}$$

$$\text{At the point } x = \ell_2 \begin{cases} P_2(x, t) = P_3(x, t) \\ \frac{\partial P_3(x, t)}{\partial x} - \frac{\partial P_2(x, t)}{\partial x} = -2aG_{ut}(t) \end{cases}$$

$$\text{At the point } x = L \begin{cases} P_1(x, t) = P_3(x, t) \\ \frac{\partial P_1(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial P_2(x, t)}{\partial x} = -2aG_k(t) \end{cases}$$

Following the above sequence, by using the Gauss method, let's determine the coefficients stated in equations (3), (4), and (5) after substituting and performing straightforward operations. Then, we obtain the following expressions to determine the distribution of pressure in transformed form:

$$P_1(x, S) = \frac{P_1 - 2aG_0x}{S} + \frac{\beta G_0}{2S} \frac{sh\lambda(x - \frac{L}{2})}{ch\lambda \frac{L}{2}} + \frac{\beta}{2} G_0(S) \frac{ch\lambda(L-x)}{sh\lambda L} - \frac{\beta}{2} G_s(S) \frac{ch\lambda x}{sh\lambda L} - \frac{\beta}{2} G_{ut}(S) \frac{ch\lambda(L - \ell_2 - x)}{sh\lambda L} \quad 0 \leq x \leq L \quad (16)$$

$$P_2(x, S) = \frac{P_1 - 2aG_0x}{S} + \frac{\beta G_0}{2S} \frac{sh\lambda(x - \frac{L}{2})}{ch\lambda \frac{L}{2}} + \frac{\beta}{2} G_0(S) \frac{ch\lambda(L-x)}{sh\lambda L} - \frac{\beta}{2} G_s(S) \frac{ch\lambda x}{sh\lambda L} - \frac{\beta}{2} G_{ut}(S) \frac{ch\lambda(L - \ell_2 + x)}{sh\lambda L} \quad 0 \leq x \leq \ell_2 \quad (17)$$

$$P_3(x, S) = \frac{P_1 - 2aG_0x}{S} + \frac{\beta G_0}{2S} \frac{sh\lambda(x - \frac{L}{2})}{ch\lambda \frac{L}{2}} + \frac{\beta}{2} G_0(S) \frac{ch\lambda(L-x)}{sh\lambda L} - \frac{\beta}{2} G_s(S) \frac{ch\lambda x}{sh\lambda L} - \frac{\beta}{2} G_{ut}(S) \frac{ch\lambda(L + \ell_2 - x)}{sh\lambda L} \quad \ell_2 \leq x \leq L \quad (18)$$

The original general solution of equations (16), (17), and (18) will be written as follows:

$$P_1(x, t) = P_b - 2aG_0 \frac{L}{4} + 4aG_0L \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_1 t}}{[\pi(2n-1)]^2} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{L} + \frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi n x}{L} \int_0^t [G_0(\tau) - (-1)^n G_s(\tau)] \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau + \frac{c^2}{2L} [G_0(\tau) - G_s(\tau) - G_{ut}(\tau)] d\tau - \frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi n(\ell_2+x)}{L} \int_0^t G_{ut}(\tau) \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau \quad 0 \leq x \leq L \quad (19)$$

$$P_{2,3}(x, t) = P_b - 2aG_0 \frac{L}{4} + 4aG_0L \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_1 t}}{[\pi(2n-1)]^2} \cos \frac{\pi(2n-1)x}{L} + \frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi n x}{L} \int_0^t [G_0(\tau) - (-1)^n G_s(\tau)] \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau + \frac{c^2}{2L} [G_0(\tau) - G_s(\tau) - G_{ut}(\tau)] d\tau - \frac{c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi n(x-\ell_2)}{L} \int_0^t G_{ut}(\tau) \cdot e^{-\alpha_2(t-\tau)} d\tau \rightarrow \ell_2 \leq x \leq L \quad (20)$$

Here, $\alpha_1 = \frac{\pi^2(2n-1)^2 c^2}{8aL^2}$, $\alpha_2 = \frac{\pi^2 n^2 c^2}{8aL^2}$

An analysis of the investigated conditions [P₁(0,t) =P₂(0,t) =P_b and P₁(L,t) =P₂(L,t) =P_s] of the parallel gas pipelines showed that under non-stationary regimes, the specified operating condition does not fulfill the function of providing normal gas supply to consumers for a certain period. For this purpose, we analyze the following operating conditions:

Firstly, in the first variant of the gas pipeline (at a distance of $\ell_2 = 25000$ m), during the rupture of the second line and for the $G_{ut}=0,4 G_0$ gas leakage scenario,

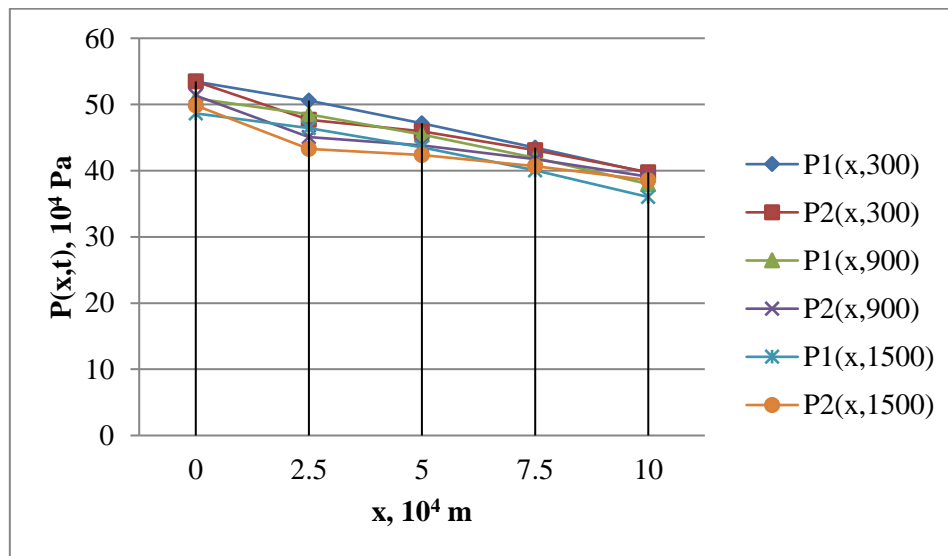
pressure values are calculated at different times for every $2,5 \cdot 10^4$ m meters along the length of the damaged and undamaged pipelines to determine the conformity of pressure distribution over time. The calculated pressure values at various times are recorded in the table below (Table 10).

Table 10.

Pressure Values over Time Dependent on the Length of the Damaged and Undamaged Pipeline in the First Variant of the Gas Pipeline for the Rupture of the Second Line and a Gas Leakage Scenario of $G_{ut}=0,4 G_0$:

$G_{ut}=0,4 G_0$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_1(x,t), 10^4 \text{ Pa}$	$P_2(x,t), 10^4 \text{ Pa}$
X, km	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	53,45	53,47	50,92	51,34	48,65	49,85
2,5	50,57	47,69	48,53	45,08	46,43	43,28
5	47,16	45,97	45,48	43,84	43,52	42,35
7,5	43,5	43,11	41,95	41,74	40,03	40,68
10	39,66	39,77	37,98	39,09	36,02	38,57

Based on the data provided in Table 10, we create the following graph (Graph 13)



Graph 13. Visualization of the non-stationary gas flow distribution along the length of the damaged and undamaged pipelines in the parallel gas pipeline at a distance of $\ell_2 = 25000 \text{ m}$, during the exposure of the 2nd line (damage) and gas leakage with $G_{ut}=0,4G_0$.

It appears from the analysis of Graph 13 that, under the examined operating conditions of the gas pipeline, the pressure values of both the damaged and undamaged pipeline sections decrease over time due to the rupture of the 2nd line at a distance of $\ell_2 = 25000 \text{ m}$. On the other hand, at any given moment in the initial section of the gas pipeline, the pressure value of the undamaged pipeline section is greater than the pressure drop of the damaged pipeline section. Additionally, in the final section of the gas pipeline, at the examined moments, the pressure drop of the undamaged pipeline section is greater than the pressure drop of the damaged pipeline section.

This extreme condition of the gas dynamic process is explained by the fact that in the event of an accident caused by the rupture of one of the pipelines in a parallel gas pipeline system operating under unit hydraulic conditions, the main sections of the gas pipeline direct the flow of gas towards the damaged section. In other words, in operating conditions, the

mass flows of the initial and final sections of the pipeline are directed towards the damaged section of the pipeline over time. As a result of the withdrawal of gas from both the initial and final sections of the undamaged pipeline and the continuous supply of gas to consumer facilities from its final section, the pressure and gas flow along the length of the undamaged pipeline vary both in coordinate and time due to non-uniform gas consumption. Thus, during the occurrence of a non-stationary flow regime resulting from the rupture of one of the pipelines in a parallel gas pipeline operating under unit hydraulic conditions, the non-stationary flow regime is transferred to the other undamaged pipelines, and when gas supply and withdrawal (leakage) are stopped simultaneously, the distribution of pressure in the pipeline segment can ensure the quality of the stationary regime.

Let's note that the process described above in the two operating conditions of the gas pipeline ($P_1(0,t) = P_2(0,t) = P_b = \text{const}$ and $P_1(L,t) =$

$P_2(L,t)=P_s=const$) has not been discovered. To illustrate our statements clearly, we will prepare the following table using the data from Table 10 (Table 11).

Table 11.
Pressure Drop Values Over Time in the Initial, Leakage, and Final Sections of Damaged and Undamaged Pipeline Sections during the Rupture of the 2nd Line at $G_{ut}=0,4 G_0$

t,sec	The pressure drop at the starting point of the gas pipeline		The pressure drop at the leakage point of the gas pipeline		The pressure drop at the end point of the gas pipeline	
	In the undamaged pipe line	In the damaged pipe line	In the undamaged pipe line	In the damaged pipe line	In the undamaged pipe line	In the damaged pipe line
	$[P_b-P_2(0,t)] , 10^4 Pa$	$[P_b-P_2(0,t)] , 10^4 Pa$	$[P(\ell_2,0) - P_1(\ell_2,t)] , 10^4 Pa$	$[P(\ell_2,0) - P_2(\ell_2,t)] , 10^4 Pa$	$[P_s-P_1(L,t)] , 10^4 Pa$	$[P_s-P_2(L,t)] , 10^4 Pa$
300	1,55	1,53	0,68	3,56	0,34	0,23
900	4,08	3,66	2,72	6,17	2,02	0,91
1500	6,35	5,15	4,82	7,97	3,98	1,43

Table 11 reveals that contrary to the process occurring at the initial and final points, the pressure drop value at the leakage point of the damaged pipeline section is greater than that of the undamaged pipeline section. This aligns with the physics of the gas dynamic process. In other words, the value of gas mass flow leaking into the unconfined environment at the point of damage in the parallel gas pipeline surpasses the value of gas mass flow entering the initial and final sections of the undamaged pipeline section. At the leakage point, the pressure drop values in both pipeline sections increase over time. As a result, a discharge process

occurs in the leakage section of the damaged pipeline. Without altering the operating conditions of the gas pipeline, we can determine the maximum discharge time of the process by increasing the leaking gas mass.

Taking into account the rupture point of the 2nd line at a distance of $\ell_2 = 25000$ m fixed, and considering gas leakage values of $G_{ut}=0,8 G_0$ and $G_{ut}= 1,2 G_0$, we calculate the pressure distribution along the length of the damaged and undamaged pipeline sections at various times, every $2,5 \cdot 10^4$ m, and record their values in the following tables (Table 12 and Table 13).

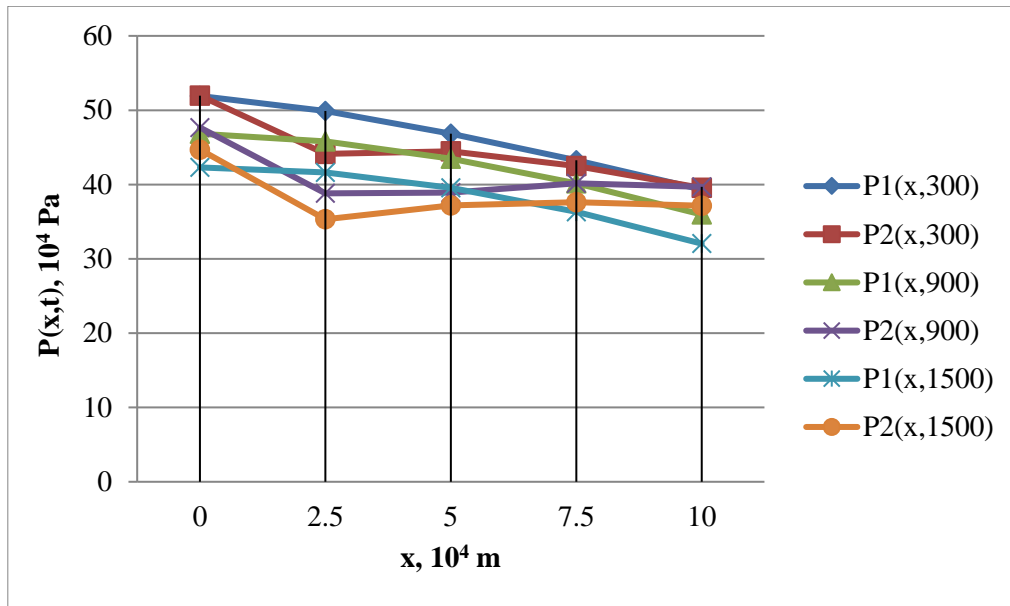
Table 12.
Pressure Values Over Time Along the Length of Damaged and Undamaged Pipeline Sections during the Rupture of the 2nd Line in Variant 1 of the Gas Pipeline, with Gas Leakage at $G_{ut}=0,8 G_0$

$G_{ut}=0,8 G_0$	$P_1(x,t) , 10^4 Pa$	$P_2(x,t) , 10^4 Pa$	$P_1(x,t) , 10^4 Pa$	$P_2(x,t) , 10^4 Pa$	$P_1(x,t) , 10^4 Pa$	$P_2(x,t) , 10^4 Pa$
X, km	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	51,91	51,95	46,83	47,67	42,3	44,7
2,5	49,88	44,12	45,8	38,81	41,61	35,32
5	46,82	44,45	43,46	38,91	39,54	37,2
7,5	43,26	42,47	40,15	40,17	36,32	37,61
10	39,32	39,54	35,96	38,18	32,04	37,13

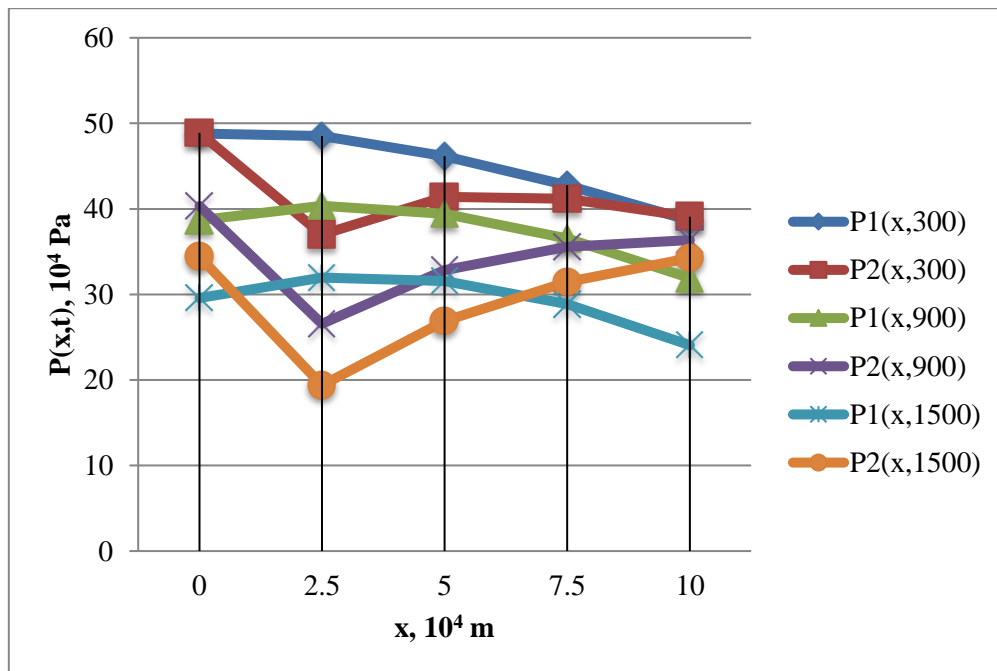
Table 13.
Pressure Values Over Time Along the Length of Damaged and Undamaged Pipeline Sections during the Rupture of the 2nd Line in Variant 1 of the Gas Pipeline, with Gas Leakage at $G_{ut}=1,6 G_0$

$G_{ut}=1,6 G_0$	$P_1(x,t) , 10^4 Pa$	$P_2(x,t) , 10^4 Pa$	$P_1(x,t) , 10^4 Pa$	$P_2(x,t) , 10^4 Pa$	$P_1(x,t) , 10^4 Pa$	$P_2(x,t) , 10^4 Pa$
X, km	t=300 sec.		t=900 sec.		t=1500 sec.	
0	48,81	48,89	38,66	40,34	29,6	34,4
2,5	48,51	37	40,36	26,57	31,97	19,38
5	46,15	41,39	39,42	32,84	31,57	26,9
7,5	42,77	41,19	36,54	35,58	28,89	31,47
10	38,65	39,07	31,92	36,36	24,07	34,27

Using the data from Table 12 and Table 13, we create the following graphs (Graph 14 and Graph 15).



Graph 14. Pressure Distribution Along the Length of Damaged and Undamaged Pipeline Sections in the Non-stationary Gas Flow Regime during the Rupture of the 2nd Line and Gas Leakage at Gut = 0.8 G0 in Variant 1 of the Parallel Gas Pipeline.



Graph 15. Pressure Distribution Along the Length of Damaged and Undamaged Pipeline Sections in the Non-stationary Gas Flow Regime during the Rupture of the 2nd Line and Gas Leakage at Gut = 1.6 G0 in Variant 1 of the Parallel Gas Pipeline.

From the analysis of Graphs 14 and 15, it is apparent that the distribution of pressure along the length of the pipeline does not change depending on the volume of leaked gas mass. Specifically, at any given moment, the pressure value of the undamaged pipeline section at the beginning and end of the gas pipeline is higher than the pressure value of the damaged pipeline

section. However, increasing the mass flow of gas leakage leads to a proportional increase in the mentioned pressure ratios over time.

To illustrate our findings clearly, we created the following table using the data from Tables 12 and 13 (Table 14)

Table 14.

Pressure Ratio Over Time in the Initial, Leakage, and Final Sections of Damaged and Undamaged Pipeline Sections during the Rupture of the 2nd Line in Variant 1 of the Gas Pipeline, with Gas Leakage at $G_{ut}=0,8 G_0$ and $G_{ut}=1,6 G_0$

t, sec	The pressure drop ratio of the pipeline at the starting point of the gas pipeline		The pressure drop ratio of the pipeline at the leakage point of the gas pipeline		The ratio of pressure drop values of the pipeline at the end point of the gas pipeline	
	$[P_b - P_2(0,t)] / [P_b - P_2(0,t)]$		$[P(\ell_2,0) - P_1(\ell_2,t)] / [P(\ell_2,0) - P_2(\ell_2,t)]$		$[P_s - P_1(L,t)] / [P_s - P_2(L,t)]$	
	$G_{ut}=0,8 G_0$	$G_{ut}=1,6 G_0$	$G_{ut}=0,8 G_0$	$G_{ut}=1,6 G_0$	$G_{ut}=0,8 G_0$	$G_{ut}=1,6 G_0$
300	1,01	1,01	5,20	5,20	1,48	1,45
900	1,11	1,11	2,28	2,27	2,22	2,22
1500	1,23	1,23	1,65	1,65	2,77	2,78

From the analysis of Table 14, it can be concluded that the ratio of pressure values between the undamaged pipeline sections at the beginning, leakage, and final points does not change depending on the increase in the mass flow of leaked gas. However, the ratio of pressure values at the beginning and end points of the pipeline sections increases over time. Conversely, the ratio of pressure values at the leakage point decreases over time. This indicates that the discharge process of the damaged pipeline section is sluggish and does not allow for effective discharge. These indicators will positively influence the gas supply regime for consumers during non-stationary gas flow, ensuring uninterrupted gas delivery. Thus, the analyzed operating condition of the

gas pipeline meets the criteria for seamless gas supply to consumers.

Certainly, in order to confirm our assertions, we need to analyze the distribution of pressure along the damaged and undamaged pipeline sections in the non-stationary gas flow regime, considering that the leakage point is near the end of the parallel gas pipeline (in the 2nd variant). Let's assume that the 2nd line of the parallel gas pipeline ruptures at a distance of $\ell_2=75000$ m. For this scenario, we determine the variation of pressure over time at points near the beginning of the pipeline, at the point $\ell_2=25000$ m, and at the location of the rupture, and record the results for the different mass flow rates of the leaked gas in the following tables (Table 15 and Table 16).

Table 15.

Variation of Pressure Over Time at the Point $\ell_2=25000$ m in the Damaged and Undamaged Pipeline Sections during the Rupture of the 2nd Line in Variant 2 of the Gas Pipeline, Depending on Different Mass Flow Rates of Leaked Gas

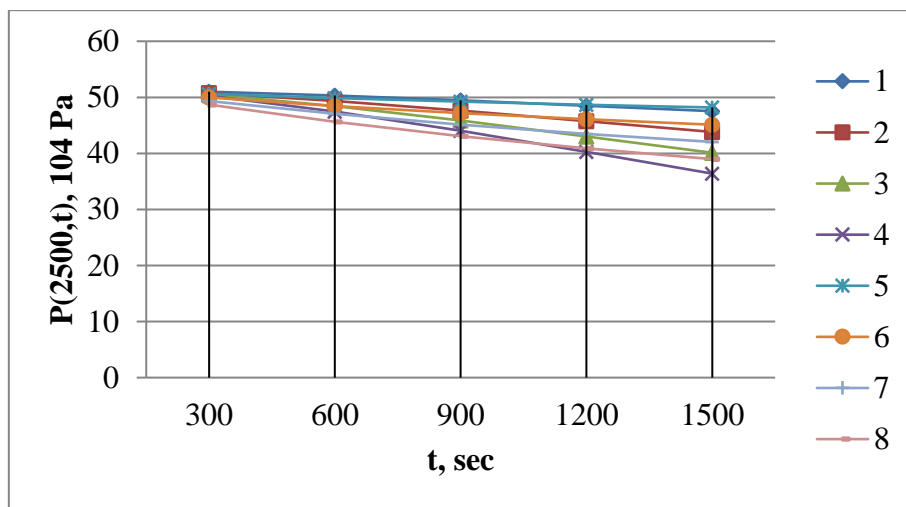
$\ell_2=75000$ m	$P_1(25000,t), 10^4$ Pa				$P_2(25000,t), 10^4$ Pa			
	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$	$G_{ut} = 0,4 G_0$	$G_{ut} = 0,8 G_0$	$G_{ut} = 1,2 G_0$	$G_{ut} = 1,6 G_0$
t, sec								
300	51	50,76	50,51	50,27	50,61	49,97	49,33	48,69
600	50,31	49,37	48,43	47,49	49,85	48,45	47,04	45,64
900	49,45	47,65	45,84	44,04	49,21	47,17	45,12	43,08
1200	48,51	45,77	43,03	40,29	48,66	46,07	43,48	40,89
1500	47,53	43,82	40,1	36,39	48,18	45,11	42,04	38,97

Table 16.

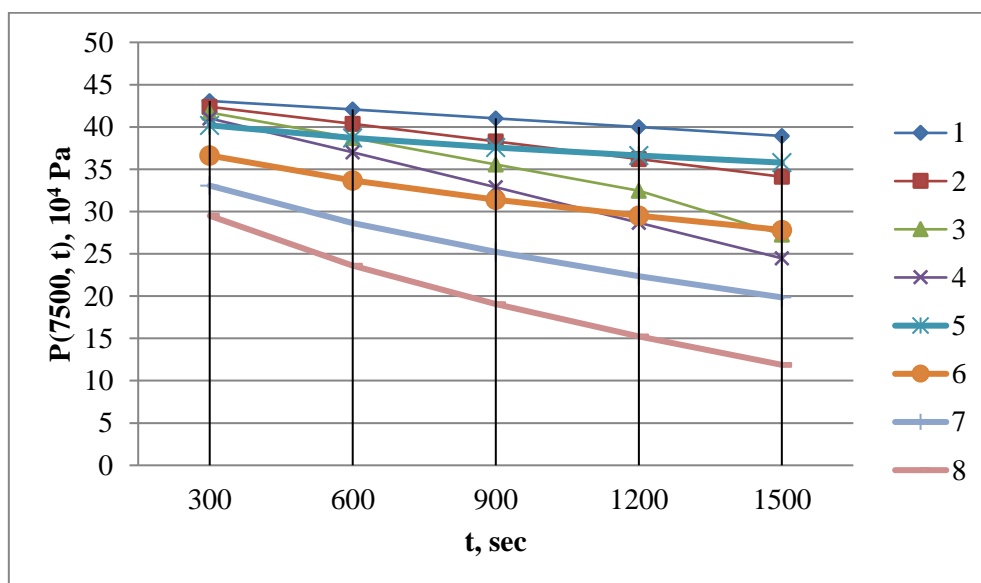
Variation of Pressure Over Time at the Point $\ell_2=75000$ m (Rupture Point) in the Damaged and Undamaged Pipeline Sections during the Rupture of the 2nd Line in Variant 2 of the Gas Pipeline, Depending on Different Mass Flow Rates of Leaked Gas.

$\ell_2=75000$ m	$P_1(75000,t), 10^4$ Pa				$P_2(75000,t), 10^4$ Pa			
t, san	$G_{ut} = 0,4$ G_0	$G_{ut} = 0,8$ G_0	$G_{ut} = 1,2$ G_0	$G_{ut} = 1,6$ G_0	$G_{ut} = 0,4$ G_0	$G_{ut} = 0,8$ G_0	$G_{ut} = 1,2$ G_0	$G_{ut} = 1,6$ G_0
300	43,07	42,38	41,7	41,01	40,19	36,62	33,06	29,5
600	42,06	40,37	38,69	37	38,71	33,67	28,63	23,6
900	41,03	38,3	35,58	32,86	37,58	31,41	25,24	19,07
1200	39,98	36,21	32,44	28,67	36,62	29,5	22,37	15,25
1500	38,93	34,11	29,29	24,47	35,78	27,82	19,85	11,88

Using the data from Table 15 and Table 16, we can create the following graphs (Graph 16 and 17)



Graph 16: It illustrates the variation of pressure over time at the point $x=25000$ m during the rupture of the 2nd line in Variant 2 of the gas pipeline for both the damaged and undamaged pipeline sections, considering different mass flow rates of leaked gas. Lines 1, 2, 3, and 4 represent the undamaged pipeline, while lines 5, 6, 7, and 8 represent the damaged pipeline.



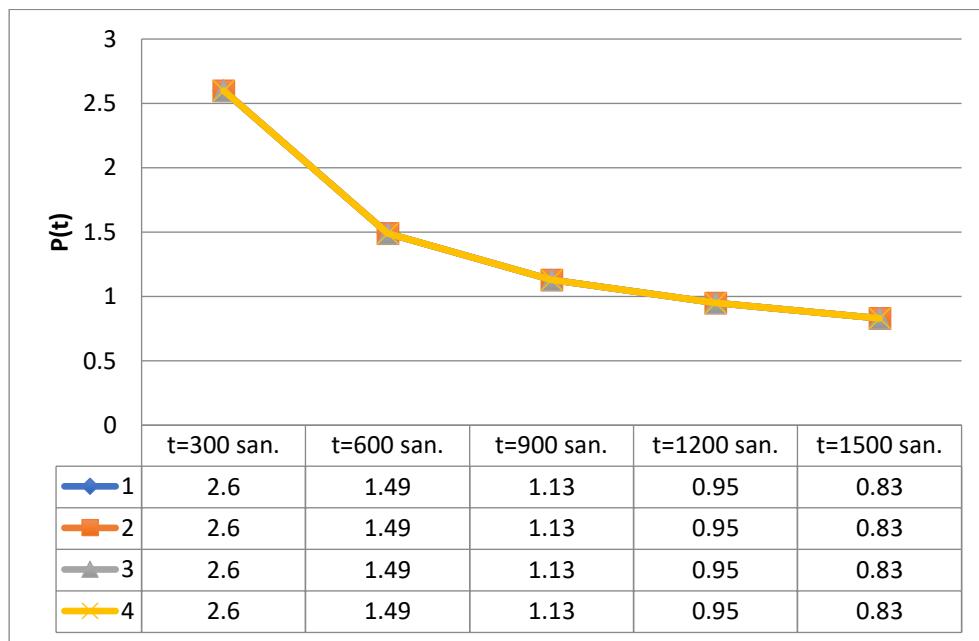
Graph 17. The view of the pressure of the damaged and undamaged pipeline segments at $x=75000$ m point as a function of time, dependent on the values of the escaping gas mass. 1, 2, 3, and 4 - in the undamaged pipeline segment. 5, 6, 7, and 8 - in the damaged pipeline segment.

From Graph 16, it is evident that the magnitude of pressure drop in the damaged pipeline segment is several times greater than that in the undamaged pipeline segment. For example, over a duration of $t=300$ seconds and with a volume of escaping gas mass ($G_{ut} = 0,4 G_0$), the pressure drop in the undamaged pipeline segment can be calculated as $[P_1(25000,0) - P_2(25000,300)] = (51,25 - 51) \cdot 10^4 = 0,25 \cdot 10^4$ Pa, while the pressure drop in the damaged pipeline segment would be $[P(25000,0) - P_1(25000,300)] = (51,25 - 50,61) \cdot 10^4 = 0,64 \cdot 10^4$ Pa.

So, the value of the pressure drop in the damaged pipeline segment is 2.6 times greater than that in the undamaged pipeline segment. This ratio varies over time for a constant gas leakage rate; at $t=600$ seconds, it is 1.49; at $t=900$ seconds, it reduces to 1.13; at $t=1200$ seconds, it further decreases to 0.95, and finally, at

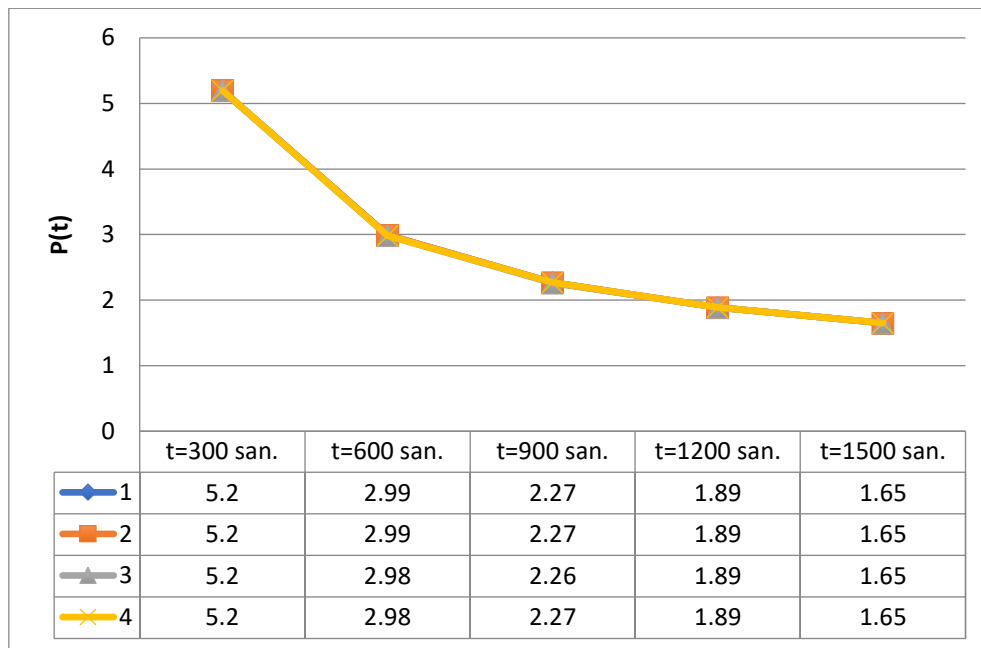
$t=1500$ seconds, it decreases to 0.83. It is evident that the value of this ratio reaches its maximum at $t=300$ seconds for a constant gas leakage rate ($G_{ut} = 0,4 G_0$) and then decreases over time (Graph 18).

The value of this ratio remains constant for different fixed gas leakage rates ($G_{ut}=0,8 G_0$, $G_{ut}=1,2 G_0$ в $G_{ut}=1,6 G_0$), but it varies over time. At $t=300$ seconds, it is 2.6; at $t=600$ seconds, it is 1.49; at $t=900$ seconds, it decreases to 1.13; at $t=1200$ seconds, it further reduces to 0.95; and finally, at $t=1500$ seconds, it decreases to 0.83 (Graph 2). On the other hand, it appears that regardless of the increase in gas leakage volume, the ratio of the pressure drop in the damaged and undamaged pipeline segments remains constant. Therefore, it can be concluded that the process of complete gas discharge does not occur in the damaged pipeline segment.



Graph 18. Time-dependent graph of the expression $[P(x,0) - P_2(x,t)] / [P(x,0) - P_1(x,t)] = p(t)$ at the point $x=25000$ m along the gas pipeline for different values of gas leakage rates (1- $G_{ut}=0,4 G_0$, 2- $G_{ut}=0,8 G_0$, 3- $G_{ut}=1,2 G_0$, 4- $G_{ut}=1,6 G_0$).

With the location of the damage to the pipeline at $\ell_2=75000$ m, let's construct the graph of the ratio $p(t) = [P(75000,0) - P_2(75000,t)] / [P(75000,0) - P_1(75000,t)]$ based on the data provided in Table 16 and Graph 17.



Graph 19. The graph of the ratio $[P(x, 0) - P_2(x, t)] / [P(x, 0) - P_1(x, t)] = p(t)$ as a function of t for the gas pipeline at $x = 75000$ m, with different values of (1-Gut=0,4 G₀, 2-Gut=0,8 G₀, 3-Gut=1,2 G₀, 4-Gut =1,6 G₀).

Indeed, as seen from Graph 19, regardless of the location of the leakage point, the pressure of the gas in both the damaged and undamaged pipelines does not approach zero, indicating that the process of complete emptying does not occur.

The efficiency of the exploitation of main gas pipelines primarily depends on the actual parameters of non-stationary regimes, primarily on the transmission capacity of gas pipelines and the dynamic condition of pipelines affecting the gas supply regime of consumers. The results of the analyzed exploitation conditions show that the change in gas pressure along the length of the gas flow and its portion does not vary significantly in a wide range, as in other exploitation conditions. For example, in the non-stationary regimes of the first variant of the gas pipeline ($\ell_2 = 75000$ m), the difference in pressure at the start and leakage points of the damaged pipeline is as follows:

At the end of the gas pipeline, maintaining constant pressure in the pipelines under exploitation conditions: for $G_{\text{uit}} = 0,8 G_0$ and $t = 1500$ seconds (based on Table 4),

$$P_1(0, t) - P_1(\ell_2, t) = (36,33 - 23,3) \cdot 10^4 = 13,03 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

At the beginning of the gas pipeline, maintaining constant pressure in the pipelines under exploitation conditions: for $G_{\text{uit}} = 1,2 G_0$ and $t = 1500$ seconds (based on Table 6),

$$P_2(0, t) - P_2(\ell_2, t) = (55 - 34,43) \cdot 10^4 = 20,57 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

At the beginning and end points of the gas pipeline, measuring the consumption of pipelines under exploitation conditions: for $G_{\text{uit}} = 1,2 G_0$ and $t = 1500$ seconds (based on Table 12),

$$P_2(0, t) - P_2(\ell_2, t) = (44,7 - 35,32) \cdot 10^4 = 9,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Certainly, it is known that the wide range of pressure variations at the beginning and leakage points of the pipeline is not regulated by the ratio of the leakage amount to the initial consumption value. Therefore, based on the differences in pressure values, it can be said that the change in the consumption of pipelines at the beginning and end points of the gas pipeline under exploitation conditions results in at least 1.37 times less loss of gas to the environment compared to other exploitation conditions.

Thus, the change in the consumption of pipelines at the beginning and end points of the gas pipeline, measured in exploitation conditions, is superior to other exploitation conditions based on both the reliability of gas supply to consumers and the lower amount of gas leakage into the environment. Therefore, it is necessary to take these characteristics into account during the exploitation and reconstruction of gas pipelines.

Results:

1. Based on theoretical research, the mathematical models of non-stationary regimes in pipeline systems have been studied, and the methodology and algorithms for their application have been proposed. According to theoretical investigations, the laws of pressure variation over time along the length of gas transmission systems under different operating conditions during the non-stationary gas flow generated by the rupture of parallel gas pipelines have been determined.

2. Using the analysis and generalization methodology of existing materials, a methodology for calculating the non-stationary operating regimes of pipelines has been proposed. The proposed methodology allows for selecting optimal operating conditions by performing various calculations in accident regimes, ensuring reliable gas supply to

consumers, and minimizing gas losses according to the criteria of gas efficiency and gas loss.

3. The conditions for selecting rational operating regimes based on the obtained analytical model of non-stationary gas flow determine new trends in the development of system reconstruction technology. These conditions contribute not only to the acceptance of fuel resulting from the reconstruction of parallel gas pipelines but also to reducing damage to consumer facilities, thereby increasing the reliability of gas supply.

References

1. "Unsteady Flow of Real Fluid in Pipes" by I. A. Charnyi. Moscow, 1975.
2. "Assessment of Gas Leakage Location in Complex Gas Pipeline Systems" by M. A. Huseynzade and O. N. Petrova. Moscow: Publishing house "Technika", LLC "TUMA GROUP", 2003. 32 p.
3. Seleznev, V.E. Basics of Numerical Modeling of Main Pipelines / V.E. Seleznev, V.V. Aleshin, S.N. Pryalov; edited by V.E. Seleznev. - Moscow: KomKniga, 2005. - 495 p.
4. Pyatakova, O.N. On Determining the Location of Gas Leakage in a Gas Pipeline and Its Compensation / O.N. Pyatakova, T.S. Soboleva // Oil and Gas. 1997. - P. 241-244.
5. Karpova, N.A. Research on the Parameters of Unsteady Gas Transmission and Selection of the Optimal Technological Mode of Operation of Main Gas Pipelines: author's abstract. dis. Cand. tech. sciences / N.A. Karpova. Moscow, 1970. - 20 p.
6. Aliyev, I.Q. Yusifov, M.Z. Omargadieva, M.R. Investigation of the Efficient Placement of Connectors for Parallel Gas Pipelines in Non-Stationary Mode // International Scientific-Practical Journal, December 30, 2023 Almaty, Kazakhstan. P. 212-219, ISSN 2709-1201.
7. Akulich I.L. Mathematical Programming in Examples and Problems. Moscow: Lan, 2011. 352 p.
8. Bogdanov R.M., Lukin S.V. Determination of a Series of Optimal Operating Modes of Main Pipelines when Choosing Criteria of Optimality. Patent of the Russian Federation, No. 2011611173, 2011.
9. Budzulyak B.V. Methodology for Increasing the Efficiency of the Gas Pipeline Transport System at the Stage of Development and Reconstruction. Moscow: Nedra, 2003. - 176 p.
10. Grishin Yu. A. Variant of the Method of Characteristics with a Floating Grid // Mathematical Modeling. - 2002. - Vol. 15. - No. 8. - P. 3-8.
11. S.V. Bogomolov, A.E. Kuvshinnikov, Particle Method of Gas Dynamics on Gasdynamic Examples, Mathematical Modeling, 2019, vol. 31, No. 2, 63–77
12. Aliyev I.Q. Analysis of Transition Processes in the Exploitation of Complex Gas Pipelines in Various Operating Modes // International Scientific-Practical Journal, March 26, 2024 Almaty, Kazakhstan. P. 212-219, ISSN 2709-1201.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА

КАК СОЗДАТЬ ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РАЗНЫХ СФЕР ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ТОП-5 СОВЕТОВ ОТ JAVA-РАЗРАБОТЧИКА ТАЛГАТА АКУНСАРТОВА

Талгат Акунсартов

Место работы: Ness Digital Engineering

Рига, Латвия

старший инженер программного обеспечения

Java компании Ness Digital Engineering

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2024

АННОТАЦИЯ

Статья рассматривает 5 основных советов для разработки эффективного приложения независимо от сферы его применения. Рассмотрены такие аспекты, как понимание потребностей пользователей, простота и удобство использования, оптимизация производительности, обеспечение безопасности данных и важность поддержки и обновления приложения.

Ключевые слова: разработка приложений, анализ целевой аудитории, интуитивный интерфейс, оптимизация приложения, безопасность данных, обновления, поддержка.

Мобильные приложения становятся неотъемлемой частью повседневной жизни, обеспечивая пользователей широким спектром услуг и возможностей. Однако, чтобы выделиться среди множества конкурентов и добиться успеха, необходимо создавать эффективные программы, которые отвечают потребностям и ожиданиям пользователей. Независимо от того, разрабатываете ли вы продукт в сфере здравоохранения, образования, туризма или бизнеса, рекомендации в этой статье помогут создать приложение, которое не только привлечет внимание пользователей, но и останется популярным и конкурентоспособным на рынке.

1. Понимание потребностей пользователя

Понимание потребностей пользователей является важнейшим фактором разработки успешных приложений в любых сферах деятельности. Прежде чем приступить к разработке, важно провести глубокий анализ интересующей отрасли и целевой аудитории. Рынок каждого товара состоит из существующих и потенциальных клиентов, которые в нем нуждаются и имеют возможность и желание платить за него. Обычно, когда мы думаем о таких клиентах, первое, что приходит в голову — это группа людей, обладающих одинаковыми качествами. Но качества группы людей редко заставляют их покупать продукт. Вместо этого следует рассмотреть поведение и ситуации, окружающие людей, желающих совершить покупку, то есть посмотреть на их проблемы.

Кристофер Ли в своей статье «Your Definition of a “Target Market” is Wrong» показывает такой пример: целевым рынком пиццерии могут стать молодые специалисты. Но это не означает, что все профессионалы в возрасте 25-35 лет будут готовы платить за пиццу. Не качества человека заставляют его покупать что-то. Если пицца — это продукт, решает ли она проблему 25-35-летнего профессионала? Нет. Но она решает проблему голода и спешки. Однако, если посмотреть на поведение и ситуацию, можно обнаружить, что

множество разных людей оказываются в положении, когда пицца является хорошим решением. И хотя определение рынка заключается не в том, кто совершает покупку, а в том, почему, часто люди со схожими качествами оказываются в одинаковых ситуациях. То, что вы молодой профессионал, не означает, что вы покупаете пиццу, но это означает, что вы с большей вероятностью окажетесь голодными и при этом будете спешить. Поэтому важно понимать проблемы пользователей, чтобы определить ключевые функции приложения. Например, в здравоохранении это может быть запись к врачу и отслеживание медицинских данных, а в образовании — доступ к учебным материалам и обратная связь от преподавателей. Важно также учитывать контекст использования: приложение для туризма должно быть доступно офлайн, а для бизнеса — быть надежным и интегрированным. Чем глубже происходит погружение в мир пользователей и чем тщательнее анализируются их потребности, тем более подходящую и эффективную программу можно создать.

2. Простота и удобство использования

Простота и удобство использования важны, потому что они привлекают пользователей, увеличивают удовлетворенность, снижают необходимость обучения и вероятность ошибок, а также повышают эффективность использования продукта. Для создания понятных и удобных приложений необходимо проектировать интерфейс, который интуитивно понятен даже новым пользователям. Это означает, что основные функции должны быть очевидны, без необходимости долгого изучения или их поиска. Исследователи Квинслендского технологического университета доказали, что интуитивное взаимодействие с продуктом обусловлено предыдущим опытом пользователей. Для обеспечения легкости освоения нового решения следует использовать знакомые символы и метафоры, которые аудитория уже знает из других приложений или устройств. Сохранение

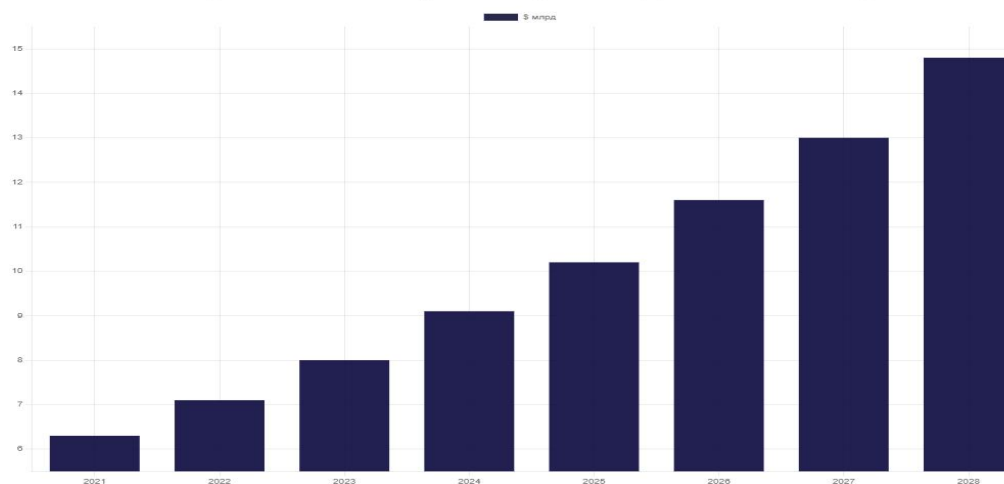
согласованности в дизайне интерфейса позволяет пользователям применять свой опыт к новым функциям и элементам. Эти принципы — использование знакомых элементов, метафор для новых функций и согласованность в дизайне — помогают создавать продукты, способствующие интуитивному взаимодействию и упрощающие внедрение новых технологий. В итоге, создание простого и удобного в использовании приложения поможет привлечь и удержать большую аудиторию, повышая его эффективность и успешность на рынке.

3. Оптимизация производительности

В эпоху, когда миллисекунды могут повлиять на удовлетворенность пользователей, замедлить рабочие процессы и повлиять на прибыль, обеспечение оптимальной производительности приложений имеет первостепенное значение для успеха любого цифрового бизнеса. О влиянии

производительности известно уже давно: более 10 лет назад Amazon обнаружил, что каждые 100 мс задержки обходятся им в 1% продаж, а Google в 2006 году обнаружил, что дополнительные 0,5 секунды времени создания поисковой страницы снижали трафик на 20%. Производительность критически важна, поскольку она напрямую влияет на вовлеченность пользователей. Высокая вовлеченность, в свою очередь, способствует удержанию аудитории, ее лояльности, рекомендациям и доходам. Низкая производительность может вызвать разочарование и потерю доверия, что может привести к оттоку пользователей в пользу конкурентов. Поэтому так растет глобальный рынок мониторинга производительности приложений. В 2021 году он оценивался в \$6,3 млрд, а к 2028 году ожидается, что он достигнет \$14,8 млрд при среднегодовом темпе роста 12,9%.

Глобальный рынок мониторинга производительности приложений

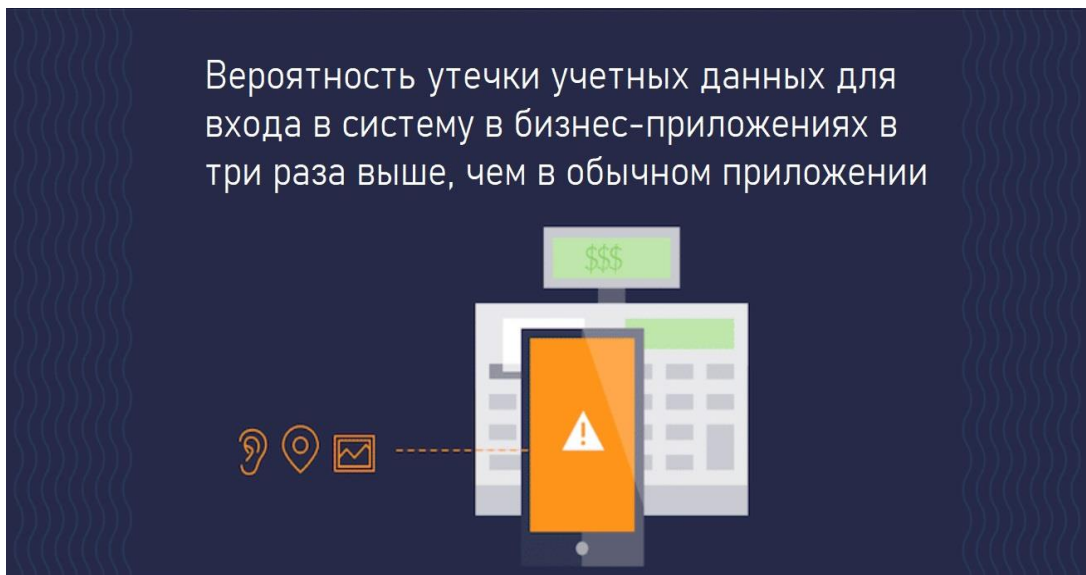


Для эффективной оценки оптимизации приложения крайне важно собирать метрики производительности. Они предоставляют информацию о различных аспектах работы, таких как время загрузки, скорость ответа, использование ресурсов и стабильность. Анализ этих данных поможет выявить узкие места и проблемные зоны, что в свою очередь позволит разработчикам принимать целенаправленные меры по оптимизации, которые приведут к повышению удовлетворенности и улучшению пользовательского опыта.

4. Безопасность данных

Безопасность данных является критическим фактором при разработке любого приложения. Для обеспечения надежной защиты данных пользователей необходимо применять современные методы криптографии и безопасности. Сюда входят использование сильных

алгоритмов шифрования для защиты конфиденциальных данных при их передаче через сеть, а также при хранении на устройстве или в облачном хранилище. Для обеспечения аутентификации пользователей следует применять надежные методы, такие как двухфакторная аутентификация или использование биометрических данных. В инфографике Now Secure показано, что вероятность утечки учетных данных для входа в систему в бизнес-приложениях в три раза выше, чем в обычном приложении; каждое четвертое мобильное приложение содержит как минимум одну уязвимость безопасности высокого риска; а 50% приложений, которые скачали от пяти до десяти миллионов человек, имеют уязвимости в защите. При этом с каждым годом приложений становится больше и растет потенциальная угроза для безопасности данных и конфиденциальности пользователей.



5. Поддержка и обновления

Поддержка и обновления играют значительную роль в успешной эксплуатации приложений. Регулярные обновления не только исправляют обнаруженные ошибки, но и добавляют новые функции, что делает программу более привлекательной. Кроме того, обратная связь от пользователей помогает выявлять проблемы и потребности, которые позволяют оперативно реагировать на потребности пользователей и на изменения рынка. Не менее важно обеспечить поддержку различных версий устройств и операционных систем, чтобы максимально охватить целевую аудиторию. Сюда входят тестирование и адаптация программы под разные разрешения экранов, размеры устройств и технические характеристики. Постоянная работа над улучшением приложения и его соответствием

современным требованиям позволит удерживать пользователей и обеспечивать стабильный рост продукта на рынке.

Источники:

1. Your Definition of a “Target Market” is Wrong, LinkedIn (<https://www.linkedin.com>)
2. Intuitive Interaction Applied to Interface Design, Research Gate (<https://www.researchgate.net>)
3. Application Performance Monitoring Market | Size, Share & Trends Analysis Report, LinkedIn (<https://www.linkedin.com>)
4. Amazon Found Every 100ms of Latency Cost them 1% in Sales, Giga Spaces (<https://www.gigaspace.com>)
5. INFOGRAPHIC: Surprising mobile security statistics expose data dangers, Now Secure (<https://www.nowsecure.com>)

THE INTRODUCTION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES INTO TRADITIONAL BUSINESS MODELS: PROSPECTS AND CHALLENGES

*Viktoria Dolzhenko
Team Leader at Itez
Kaluga, Russia*

**ВНЕДРЕНИЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАДИЦИОННЫЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ:
ПЕРСПЕКТИВЫ И СЛОЖНОСТИ**

*Долженко Виктория Анатольевна
Team lead в блокчейн-проекте Itez
Калуга, Россия*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2045

АННОТАЦИЯ

В исследовании оценивается процесс внедрения блокчейн-технологий в традиционные бизнес-модели, с учетом перспектив и сложностей цифровизации бизнеса в подобном ключе. В быстроразвивающемся мире современных технологий блокчейн-технологии начинают проявлять себя эффективнее, результативнее и активнее в наши дни, чем в первые годы их появления в цифровой среде экономики. Крупные иностранные предприятия активно и осознанно инвестируют в блокчейн-технологии, которая начинает апробацию и в России, в том числе в традиционных бизнес-моделях. В статье рассмотрены преимущества и сложности, перспективы внедрения новых блокчейн-технологий. Приведены данные о появлении и развитии блокчейн-технологий, факторы, оказывающие влияние на внедрение новых технологий, а также препятствия на пути внедрения блокчейна; высказаны предположения – каким образом можно минимизировать угрозы и затруднения во внедрении новых технологий в экономике. Выявлены основные плюсы и опасности блокчейн-технологий в традиционных бизнес-моделях: на примере предприятий нефтегазовой отрасли, транспортных услуг, промышленности, а также во внутрифирменных процессах. Перечисленные примеры подтверждают полезность блокчейн-технологий в настоящее время и на перспективу в плане повышения эффективности различных экономических показателей, на которые влияют блокчейн-технологии. Обосновываются преимущества блокчейн-технологий за счет его сравнения с традиционными способами по хранению и обработке информации. Указаны основные сложности внедрения блокчейн-технологий в традиционные бизнес-модели, что, преимущественно, связано с необходимостью реформирования нормативно-правовой базы, минимизацией кибер-угроз. Основными новаторами и пользователями новой блокчейн-технологии в России остаются предприятия нефти- и газопереработки, а также предприятия, оказывающие транспортные услуги.

ABSTRACT

The study evaluates introducing blockchain technologies into traditional business models, considering the prospects and difficulties of digitalizing business in a similar way. In the rapidly developing world of modern technologies, blockchain technologies are beginning to manifest themselves more effectively, efficiently and more actively these days than in the first years of their appearance in the digital economy environment. Large foreign enterprises are actively and consciously investing in blockchain technology, which is beginning to be tested in Russia, including in traditional business models. The article discusses the advantages and difficulties, prospects for the introduction of new blockchain technologies. Data on the emergence and development of blockchain technologies, factors influencing the introduction of new technologies, as well as obstacles to the introduction of blockchain are presented; suggestions are made on how threats and difficulties in the introduction of new technologies in the economy can be minimized. The main advantages and dangers of blockchain technologies in traditional business models are revealed: on the example of oil and gas enterprises, transport services, industry, as well as in intra-company processes. These examples confirm the usefulness of blockchain technologies at the present time and in the future in terms of improving the efficiency of various economic indicators influenced by blockchain technologies. The advantages of blockchain technologies are substantiated by comparing it with traditional methods of storing and processing information. The main difficulties of introducing blockchain technologies into traditional business models are indicated, which is mainly due to the need to reform the regulatory framework and minimize cyber threats. The main innovators and users of the new blockchain technology in Russia remain oil and gas processing enterprises, as well as enterprises providing transport services.

Ключевые слова: блокчейн-технология, нейронная сеть, нефтегазовая отрасль, промышленное предприятие, транспортная логистика.

Keywords: blockchain technology, neural network, oil and gas industry, industrial enterprise, transport logistics.

Introduction

From today's perspective any idea that has recently emerged can become obsolete and unusable because a newer idea emerges. Blockchain technology is more of an exception; having appeared about ten years ago, it is not becoming obsolete; on the contrary, it is increasing its development potential, affecting the economy as a whole. Blockchain is a chain of blocks that process and store recorded information. Based on this information, interested parties (users) can exchange data. This technology's data can include not only ordinary messages, but also money and even real estate - anything that can be provided in digitized form.

Blockchain technology investment is growing, not only in finance but also in many other industries, including traditional business models.

Materials and Methods

The methodological and theoretical basis of this article was formed by analytical and scientific research of Russian scientists and practitioners on the experience of blockchain technologies implementation in traditional business models. This article used such general scientific methods as ascending from the abstract to the concrete, from the particular to the general, analysis and synthesis, classification and scientific abstraction.

Results and Discussion

Blockchain technologies belong to the advanced achievements of economics and science. Russia pays great attention to advanced technologies, making technological development of the country a priority task based on the application of implemented digital technologies [1]. Blockchain has long ceased to be an idea and is becoming a technology in which huge financial resources are invested. But, like any new technology, blockchain has its advantages and disadvantages, which are the task of the coming days.

Blockchain in Russia began to be introduced as a technology primarily in IT organizations, but today

digital solutions are being applied in oil and gas, transport and other organizations. Blockchain technologies are actively used in various economic sectors, such as: finance (creation of financial systems based on the principle of decentralization, for example, cryptocurrency and smart contracts), retail (the technology is used to track goods movement and increase logistics efficiency), manufacturing (blockchain-based supply chain management, increasing production transparency).

Business in the oil and gas industry can be referred to traditional business models, as the industry is based on the extraction, processing and sale of natural gas and oil - these are classic business activities. R. H. Azieva writes that blockchain allows for secure storage of company data; the technology makes it possible to reduce such processes as: quality monitoring, settlements with suppliers, and permitting of facilities to computerized ones. PJSC "Gazpromneft" focuses the introduction of blockchain technology on processes that enable the rating of oil and gas suppliers, thus simplifying procurement and increasing its efficiency[2].

The evolution of blockchain technologies is traced by R. H. Azieva, she distinguishes the following periods of technology implementation (Figure 1) [2]. According to R. H. Azieva, the problem of introducing blockchain technologies into business structures has its own difficulties associated with the fact that technologies change not only the data structure, their storage and updating, but also affect management technologies, allowing to reduce costs, optimizing various business processes, minimizing the time taken to perform specific operations - and management technologies change very slowly, which can affect the introduction of blockchain technologies in the actual practice of organizations [2].

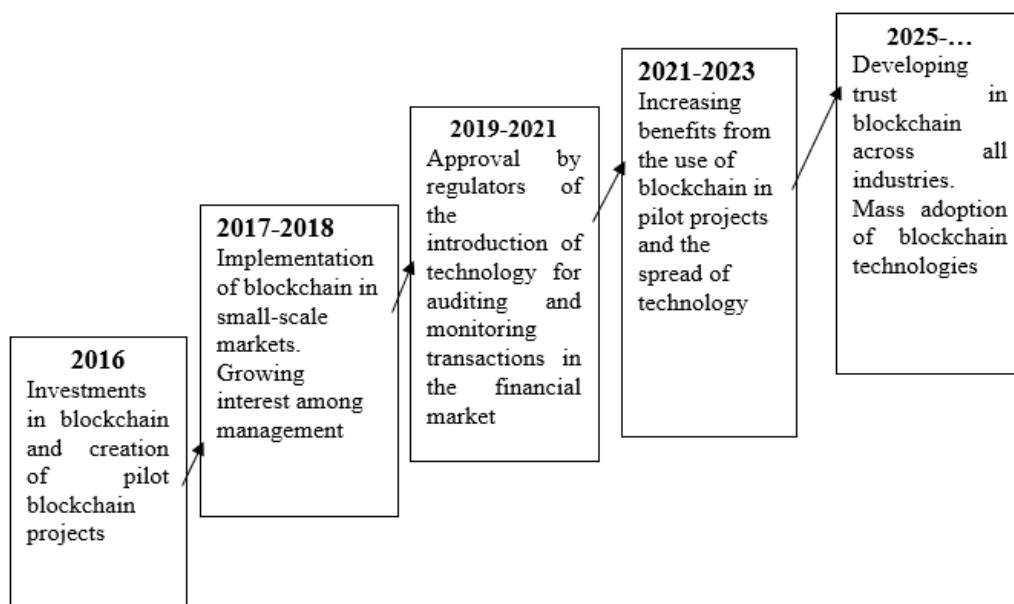


Figure 1 – Periods of implementation of blockchain technologies [2]

H. A. Loginov writes about how blockchain is being implemented in business structures of the oil and gas industry [3]. First of all, he gives an example of the

advantages of blockchain technology over other ways of fixing information, in the table (Table 1).

Table 1

Comparison of different methods in storing and processing information [3]

Characteristic	Blockchain	Log Journal	Tracking Technology (without blockchain)
Reliability	High	Low	Medium
Hacking Probability	Minimal	Possibility of Loss	Medium – due to server centralization
Algorithm Complexity	Requires a high-level specialist	No complexity	Sufficient standard programming skills
Mass Adoption	No limitations	Limited	Widely applied
Falsification Possibility	Absent	Easily falsifiable information	Possibility of information substitution
Technology Improvement	There is a possibility of improvement	No possibility of improvement	Several methods of modernization exist
Technology Relevance	Relevant, beginning of technology development	Obsolete technology	Relatively new

Table 1 shows that the least reliable and developed way for storing and processing information can be called journal. The main competition is between centralized and decentralized information systems. Blockchain technology is also decentralized, it is not limited, for example, by the factor of fundamental discoveries, because it is adaptive in its nature: the computational load when working with blockchain technology is located on all nodes, or only on their part, it makes it more difficult to crack the network. At the same time, the issue of reducing the network workload and its scalability is one of the basic issues [3].

Gazprom Neft is the most active organization that implements blockchain technologies. So far, however, this technology has a low estimated effect, the author sees the problem in the fact that blockchain technology is implemented not in mass in the organization, but only in some of its divisions. At the same time, the introduction of this technology throughout the organization would accelerate and optimize the activities of the entire company. This problem remains

relevant to the issues of blockchain technology implementation [3].

According to N. A. Loginov, in order to accelerate the introduction of blockchain technologies into the business model, it is necessary to make large investments in the latest software, devoting additional time and money to this process. But when the first significant results are obtained (except for the primary success of accelerating the processing of incoming requests), if the organization follows to rearrange the structure of the organization and business models, the organization will eventually get a significant advantage among competitors, namely: accelerated time to perform various operational tasks, faster service to customers [3].

D. Nazarova [4] is convinced that blockchain technologies bring not only new opportunities to the economy, but also set certain vectors and challenges to its development, which can be systematized in the table (Table 2).

Table 2

Opportunities and challenges of blockchain technologies for the economy [4]

Opportunities	Challenges
Increasing production efficiency through automation of processes, leading to cost reduction, and further - to the increase in labor productivity characteristics	Uneven development: may lead to increased inequality between countries, as well as between the rich and the poor among the population
Creation of new markets, new opportunities for business. Blockchain creates new services and products that previously did not exist or were inaccessible	Security threats: data leakage, cybercrime
Improving the quality of life of the population: providing higher quality and more accessible services and goods	Growth instability: may lead to economic instability, changing supply and demand

Blockchain technologies are actively beginning to be implemented in transportation services. As a rule, the transportation service tariff itself is information (or carries smart-document information), thanks to which it can display not only the state of the controlled objects, but also other uncontrolled agents of the flexible adaptation component under the condition of the existence of various forms of uncertainty. The tariff can be easily transformed, acquiring the forms of electronic money. The tariff is interfaced with program code, which can function in the conditions of blockchain as a register of blocks of various transactions, and then in the form of further execution of transactions by automated means, or the performance of various other significant transactions.

D. N. Mesnik points out that the work on blockchain technology is not particularly difficult for enterprises providing transportation services [5]. The end of each of the passenger and freight transportation transactions is always confirmed by money transfer as a transaction. In a neural network, the new blockchain technology helps store and use information about transactions so that at the right time each of the transaction participants can independently trace money movement, and in turn, the company providing transportation services has the confidence that it will receive its payment.

The chain of transaction occurs as follows: the action is deposited in the block, which already contains a large volume of information about similar services performed all over the world. Simultaneously with the block filling a new one is generated, which keeps the attachment with the already filled block, as a result such a chain of blocks is formed, which contains information about all of the performed transactions. This information is cumulated not on one computer, but decentralized in the environment of those who develop the neural network, i.e. on many computers. Thus, fulfillment of transportation service transactions can be confirmed by a group of computers, and all developers of this group can receive their reward for the transaction. In the future, based on the experience of a number of foreign countries, this technology (blockchain) can serve as a source of covering some part of the costs (conditionally fixed), which are not written off to the transportation cost [5].

At the same time, there are difficulties, which, according to D. N. Mesnik, are related to the improvement of legislation, as well as the introduction of international experience in security, which would collectively regulate such economy areas as: banking, social, financial and others. Neural network, as part of its nodes, can carry out parallel calculations on a significant scale, relying on arithmetic blocks, access to which is now simplified due to the growth of electricity generation capacity. Blockchain adoption has the potential to bring tangible benefits to transportation services by creating new links between different areas of the country's economy. In the near future, according to D. N. Mesnik, artificial intelligence will become an indispensable assistant for all service organizations, including transport enterprises [5].

According to E. Zh. Anbiev, the introduction of blockchain technology for the development of transportation logistics at the enterprise has the following advantages:

- reduction of errors in work;
- work simplification;
- ensuring transparency and reliability of information about participants;
- optimization of goods (suppliers) and product distribution, etc.;
- reducing the duration of document turnover;
- formation of a unified infrastructure for the management of commodity flows;
- reducing the duration of the logistics cycle [6].

Transport logistics integration through the blockchain system is a key point in the enterprise, reducing labor costs for systematization of information flows, and accounting of commodity flows can reduce and increase the security of valuable information.

Blockchain technology is also beginning to be applied in industrial enterprises, proving its effectiveness. G. V. Afanasiev points out that blockchain is used in supply chain control to achieve greater efficiency in the activities of an industrial enterprise in such areas as: the movement of materials and raw materials; tracking of all processes - from the material to the actual release of products in finished form; warehouse accounting operations and internal inventory; introduction of smart contracts, organization of the supply chain based on transparency, etc.[7]. There is also a financial benefit from the implementation of blockchain technology in an industrial enterprise by reducing costs, due to the exclusion of intermediaries, whose role becomes unimportant. Intermediaries include not only trading agents, but even banks and notaries.

G. V. Afanasiev gives an example of optimizing the work of an industrial enterprise using blockchain: the buyer, interacting with the enterprise during the transaction, can use blockchain technology (where information is stored) to track the goods throughout the transaction without worrying about the data safety. The data is securely recorded by the blockchain. On the other hand, when working with suppliers, the company itself can track the goods and control transportation. In other words, blockchain makes all processes more transparent, strengthening trust between the enterprise and its partners [7]. G. V. Afanasiev sees the difficulties of implementing the new technology in information threats - the main risk called "Attack 51%." Such a threat can arise with a small participant of the system elements, a small number of network participants, when the probability increases that 51% of firms (elements) can, having united, change the data in the already existing blocks in the distributed registry of the system. In order to reduce the risk of "Attack 51%" occurrence, data access should be given only to verified participants who will not provoke this "Attack 51%" in a malicious impulse [7].

D. Danbala writes that blockchain technologies in intra-company processes such as accounting and financial transactions can lead to significant benefits

such as increased security and transparency of transaction, reduced transaction turnaround time, improved database scalability and increased efficiency of companies. In addition, blockchain technologies can help fight fraud and reduce costs for intermediaries in the financial industry. Moreover, blockchain technologies can change the structure and organization of financial markets, creating new opportunities for investment and trading businesses. However, despite all its advantages, blockchain technologies still have limitations and cause certain problems such as: low bandwidth and complexity of execution. In addition, there are security and data privacy risks that can be violated when using blockchain technologies [8]. N. A. Vasin gives such an example: in 2016, The Dao crowdfunding platform, which functioned on the basis of smart contracts, suffered losses of over 50 million dollars due to the vulnerability of the project code, which was exploited by attackers [9].

G. M. Makhamova points out such difficulties of blockchain technology implementation in traditional business structures as:

- critical lag in the regulatory framework for business, which leads either to the prohibition of part of blockchain technologies or to an increase in the risks of their use;
- uneven infrastructure development in relation to the availability of Internet and mobile communications in weak, developing countries;
- age limitation: blockchain technologies are developed and used mainly by people under forty years of age, with a high level of education (it is necessary to raise public awareness of the importance and effectiveness of blockchain technologies);
- existing threat to data security for blockchain technologies including [10].

Conclusions

Blockchain technologies in traditional business models are now going through a stage of implementation and adaptation. Their main advantage, given the rapid development of Internet technologies, is flexibility. The ubiquitous digitalization of business is pushing the usual boundaries, making it increasingly cross-border.

Blockchain technology is relatively stable, due to the distributed ledger system, it helps businesses reduce the cost of maintaining processes, systems, as well as the immediate sending of information about the delivery and shipment of goods (services) - from the moment of the transaction to the end user of the product. Blockchain technologies solve the problem of trust between all participants of the chain, significantly reducing the time of information processing. For these reasons, the introduction of blockchain technologies into traditional business structures is the task of the moment, as well as in the near future.

At the same time, there are difficulties in testing the new blockchain technology, which are related to various aspects: from the need to change legislation to technological errors, failures and cyber-attacks. Nevertheless, digitalization is happening everywhere, and there is no stopping it, so blockchain technology,

for all its challenges, will be implemented wherever it can bring economic benefits.

REFERENCES

1. O nacional'nyh celyah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda: Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 7 maya 2018 g. № 204. Moskva; 2018. URL: [\(https://base.garant.ru/71937200/#\(date of application: 15.05.2024\)](https://base.garant.ru/71937200/#(date%20of%20application%3A%2015.05.2024)) (In Russ.).
2. Azieva R. H. Blokchejn-tehnologiya kak klyuchevoj element razvitiya neftegazovoj industrii. Othody i resursy= Waste and resources.2020;2:6-9 (In Russ.).
3. Loginov N. A. Vliyanie blokchejn-tehnologii na kompanii, vnedrivshie dannuyu tekhnologiyu. XII Kongress molodyh uchenyh. Sbornik nauchnyh trudov= XII Congress of Young Scientists. Collection of scientific papers. Sankt-Peterburg; 2023: 218-222 (In Russ.).
4. Nazarova D. Cifrovye tekhnologii v transformacii ekonomiki: vozmozhnosti, vyzovy i perspektivy adaptacii blokchejn-tehnologij. Simvol nauki: mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal=Symbol of Science: International Scientific Journal. 2023;11:92-94 (In Russ.).
5. Mesnik D. N. Primenenie informacionnyh tekhnologij transportnymi predpriyatiami: mekhanizm majninga kriptovalyuty na osnove tekhnologii blokchejn. Nauka i tekhnika= Science and technology. 2020; 2:168-176 (In Russ.).
6. Anbiev E. ZH. Blokchejn tekhnologiyasy kòliktilik logistika zhyjesin zhetildiru kuraly retinde. Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. T. Tynyshpaeva= Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after. T. Tynyshpaeva. 2022; 2:212-218 (In Kazakh.).
7. Afanas'ev G. V. Model' uluchsheniya mekhanizmov struktury promyshlennogo predpriyatiya na osnove tekhnologii blokchejn v period razvitiya cifrovyyh tekhnologij. Ekonomika i predprinimatel'stvo v sovremennom cifrovom prostranstve. Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii= Economics and entrepreneurship in the modern digital space. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Penza; 2021:100-102 (In Russ.).
8. Danbala D. Innovations in accounting: the use of blockchain technologies to increase transparency and security of financial transactions. Vestnik Torajgyrov universiteta. Ekonomicheskaya seriya =Bulletin of the Toraihyrov University. Economic Series.2023; 4:57-66 (In Eng.).
9. Vasin N. A. Tekhnologii blokchejn v upravlenii kachestvom. StudNet. 2021;5:45-48 (In Russ.).
10. Makkhamova G. M. Innovacionnye finansovye tekhnologii kak faktor razvitiya predprinimatel'skoj deyatel'nosti. Tadjikistan i sovremennyy mir= Tajikistan and the modern world.. 2020;4:186-199 (In Russ.).

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛИНОЙ СЕМЬИ

*Саидзода Исроил Махмад**кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой информатики
Таджикского национального университета**Комилиён Файзали Саъдулло**доктор физико-математических наук,
профессор кафедры информатики
Таджикского национального университета**Saidzoda Isroil Mahmad**Candidate of Technical Sciences, docent,
Head of the Informatics Department of the Tajik National University**Komiliyon Fayzali Sa'dullo**Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor of the Informatics Department of the Tajik National University**DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2025***АННОТАЦИЯ**

В статье с помощью метода компьютерного моделирования исследуется влияния внешней температуры и влажности воздуха на процессах роста и развития особей медоносной пчелиной семьи. Понимание сути влияния этих климатических факторов на этих процессов поможет предоставить пчелам подходящие условия обитания, предотвратить различные заболевания и повысить уровень продуктивности пчел.

В разработанной модели для рассматриваемых климатических факторов построены соответствующие математические функции. Численные результаты, полученные с помощью модели необходимы для понимания и прогнозирования поведения пчел в различных климатических условиях, и предсказания влияния изменения климата на жизненный цикл, размножения и продуктивности медоносных пчел.

ANNOTATION

The article, using the computer modeling method, examines the influence of external temperature and air humidity on the processes of growth and development of individuals of the honey bee colony. Understanding the essence of the influence of these climatic factors on these processes will help provide bees with suitable living conditions, prevent various diseases and increase the level of bee productivity.

In the developed model, the corresponding mathematical functions are constructed for the climatic factors under consideration. Numerical results obtained using the model are necessary for understanding and predicting the behavior of bees in different climatic conditions, and predicting the impact of climate change on the life cycle, reproduction and productivity of honey bees.

Ключевые слова: температура, влажность воздуха, сравнение, программа, модель, функция, график, среда, пчела.

Keywords: temperature, air humidity, comparison, program, model, function, graph, environment, bee.

Введение

Учет влияния климатических факторов при моделировании деятельности медоносной пчелиной семьи является важной задачей для понимания и прогнозирования поведения пчел в различных климатических условиях. При компьютерном моделировании можно учитывать такие параметры, как температура, влажность воздуха, осадки, продолжительность светового дня и другие факторы, которые могут влиять на активность и поведение пчел. Это позволяет более точно предсказывать, как изменения климата могут повлиять на жизненный цикл, размножение и продуктивность медоносных пчел. Такие модели помогают разрабатывать стратегии защиты пчел от неблагоприятных климатических условий и принимать меры для поддержания их популяции [14].

Среди всех внешних факторов температура и влажность воздуха играют критическую роль в деятельности пчелиной семьи. Пчелы очень тщательно контролируют температуру и влажность в улье, чтобы обеспечить оптимальные условия для развития и выживания своей семьи.

Для пчеловодов важно понимать влияние температуры и влажности на пчелиную семью, чтобы предоставить им подходящие условия обитания. Это также поможет предотвратить различные заболевания и повысить уровень продуктивности пчел. По этим соображениям при моделировании мы на этих двух факторах обратили особое внимание.

Пчелы поддерживают определенную температуру внутри улья, которая необходима для развития личинок и сохранения зрелых пчел. Они используют свои мышцы для создания тепла и регулируют циркуляцию воздуха в улье, чтобы

поддерживать оптимальную температуру. Избыточная жара или холод могут негативно повлиять на развитие пчелиной семьи [8].

Влияние температуры на пчел зависит от нескольких аспектов и может быть как положительным, так и отрицательным.

1. *Развитие пчелиной семьи:* Температура влияет на развитие пчелиной семьи. Например, оптимальная температура для развития пчелиной личинки составляет около 34°C. При этой температуре личинка развивается наиболее эффективно. Если температура слишком высокая или низкая, это может замедлить или нарушить развитие пчелиной семьи.

2. *Сбор нектара и пыльцы:* Температура также влияет на активность пчел при сборе нектара и пыльцы. При холодной погоде пчелы могут быть менее активными и меньше вылетать на поиск цветущих растений.

3. *Регулирование температуры в улье:* Пчелы также активно регулируют температуру внутри улья. Они могут собираться вокруг матки, чтобы нагреть ее, или же вентилировать улей, чтобы охладить его в жаркую погоду.

Моделирование влияния температуры помогает разрабатывать стратегии для поддержания популяции медоносных пчел в условиях изменяющегося климата.

Влажность воздуха также играет важную роль в деятельности медоносных пчел.

1. *Разведение пчелиной семьи:* Высокая влажность может привести к образованию конденсата в улье, что может негативно сказаться на развитии пчелиной семьи. Также, высокая влажность может способствовать развитию

грибковых заболеваний, что может быть опасно для пчел. Низкая влажность также может быть проблемой, поскольку сухой воздух может привести к обезвоживанию пчел и их личинок.

2. *Сбор нектара и пыльцы:* Высокая влажность может затруднить сбор нектара и пыльцы, так как она может привести к образованию росы на цветках. Это может затруднить доступ к нектару и пыльце для пчел.

3. *Регулирование температуры в улье:* Высокая влажность может усложнить процесс испарения влаги из улья, что может повлиять на способность пчел регулировать температуру внутри улья.

4. *Здоровье пчел:* Высокая влажность может быть связана с развитием патогенных организмов, которые могут быть опасны для здоровья пчел.

Моделирование влияния влажности на деятельность медоносных пчел помогает лучше понять, какие условия благоприятны для их жизнедеятельности. Это также, как в первом случае, помогает разработать стратегии для поддержания здоровья и популяции пчел в условиях изменяющейся окружающей среды.

Исследованием влияния температуры и влажности на биологических систем методами математического и компьютерного моделирования занимались многие ученые, такие как С.Я. Болдыров [1], Ю. Карпов [2], Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзод [3-6, 8-14], А.Ф. Рыбочкин [7] и другие.

Влияние температуры на роста и развитии, а также на деятельности медоносной пчелиной семьи в компьютерной модели учитывается с помощью функции следующего вида [9;14]:

$$f(T) = \begin{cases} -1.4286T^2 + 82.857T - 815.71, & \text{если } 20 \leq T < 27 \\ -21T^2 + 1366T - 21318, & \text{если } 27 \leq T < 32 \\ -67.5T^2 + 4607.5T - 77675, & \text{если } 32 \leq T < 37 \\ -7.25T^2 + 559.5T - 10410, & \text{если } 37 \leq T \leq 42, \end{cases} \quad (1)$$

где $f(T)$ – температурная функция роста и развития особей пчелы начиная от стадии откладки яиц пчелиной маткой и заканчивая стадией

превращения яиц во взрослых пчел, $T = T(t)$ – среднесуточная температура ($t \in [t_0; t_k], k \in N$).

Точно таким же образом в модели учтено влияние влажности воздуха на роста, развитии и деятельности пчелиной семьи [3-6]:

$$g(v) = \begin{cases} -0.3889v^2 + 41.889v - 747.5, & \text{если } 30 \leq v < 55 \\ -0.4467v^2 + 83.947v - 2978.5, & \text{если } 55 \leq v \leq 87 \\ 1.0998v^2 - 270.17v + 16338, & \text{если } 87 < v < 100, \end{cases} \quad (2)$$

где $g(v)$ – функция влажности для процессов роста и развития особей пчелы начиная от стадии откладки яиц пчелиной маткой и заканчивая стадией превращения яиц во взрослых пчел, $v = v(t)$ – среднесуточная влажность воздуха ($t \in [t_0; t_k], k \in N$).

По данным исследования [13], при оптимальной температуре 34°C и влажности воздуха 85-90% из 1000 яиц, отложенных маткой,

до достижения стадии взрослой пчелы остается 950 особей. Этот показатель считается лучшим показателем развития особей пчелиной семьи.

Компьютерная модель реализована на объектно-ориентированном языке программирования C++ Builder XE7, согласно блок-схемы, показанной на рисунке 1.

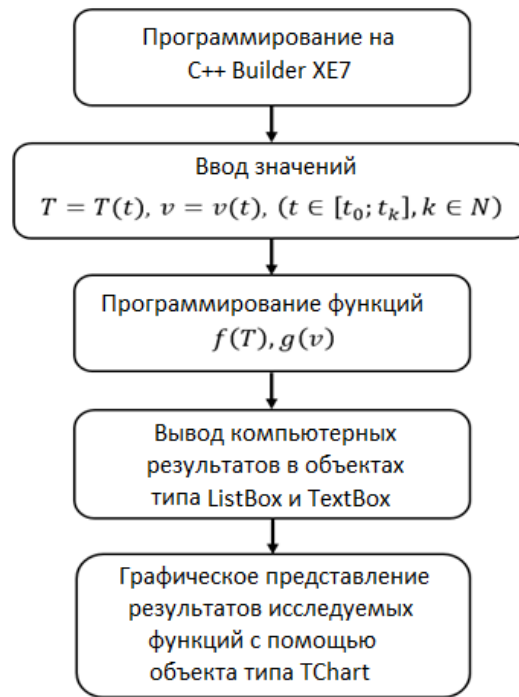


Рисунок 1 – Схема реализации компьютерной модели

Программная реализация температурной функции (1) в компьютерной модели имеет следующий вид:

```

void __fastcall TForm5::Button2Click(TObject *Sender)
{
    double
    T[20]={ 20,21,22,23,24,25,26,28,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42};
    int FT[20];
    for (int i=0; i < 18; i++) {
        ListBox1->Items->Add((T[i]));
        if (T[i]>=20 && T[i]<27 ) {
            FT[i]=-1.4286*pow(T[i],2)+82.857*T[i]-815.71;
        }
        if (T[i]>=27 && T[i]<32 ) {
            FT[i]=-21*pow(T[i],2)+1366*T[i]-21318;
        }
        if (T[i]>=32 && T[i]<37 ) {
            FT[i]=-67.5*pow(T[i],2)+4607.5*T[i]-77675; }
        if (T[i]>=37 && T[i]<=42 ) {
            FT[i]=-7.25*pow(T[i],2)+559.5*T[i]-10410;
        }
        ListBox2->Items->Add(IntToStr(FT[i]));
        Series1->Add(FT[i]);
    }
}
  
```

Программная реализация функции влажности (2) в компьютерной модели имеет следующий вид:

```

void __fastcall TForm5::Button2Click(TObject *Sender)
{
    double
    V[20]={ 37,45,48,50,53,58,60,65,70,75,78,82,86,87,90,92,93,95};
    int GV[20];
    for (int j=0; j < 18; j++) {
        ListBox3->Items->Add((V[j]));
        if (V[j]>=30 && V[j]<55 ) {
            GV[j]=-0.3889*pow(V[j],2)+41.889*V[j]-747.5;
        }
        if (V[j]>=55 && V[j]<=87 ) {
            GV[j]=-0.4467*pow(V[j],2)+83.947*V[j]-2978.5;
        }
        if (V[j]>87 && V[j]<100 ) {
            GV[j]=1.0998*pow(V[j],2)-270.17*V[j]+16338;
        }
        ListBox4->Items->Add(IntToStr(GV[j]));
        Series2->Add(GV[j]);
    }
}
  
```

Компьютерные численные результаты вычисления значений температурной функции и функции влажности воздуха, а также графические их представления отображены на рисунке 2.

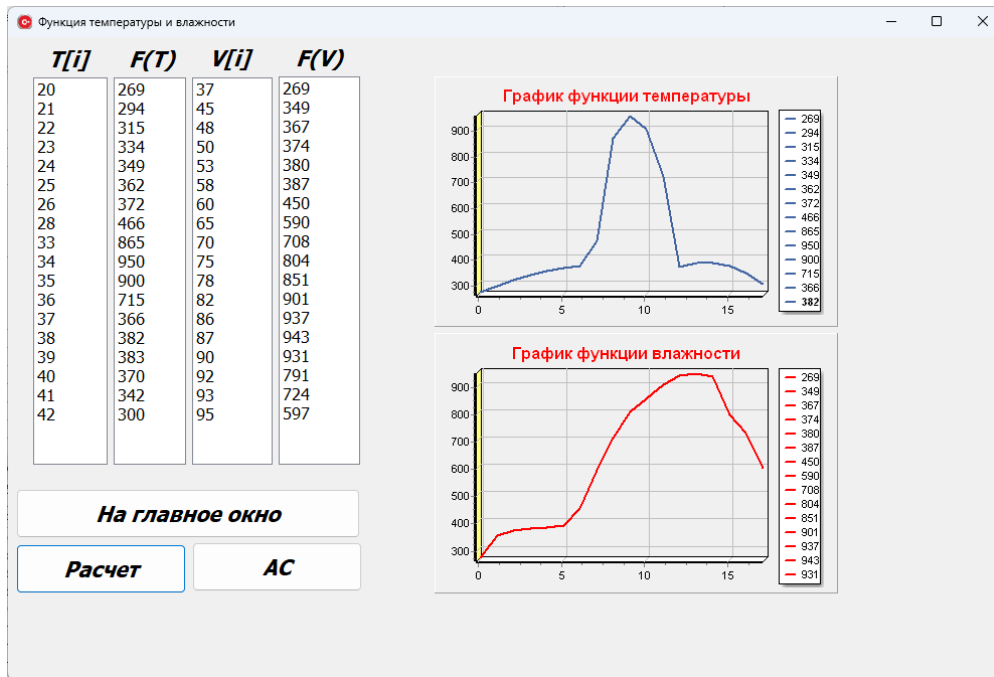


Рисунок 2 – Результаты вычисления значений температурной функции и функции влажности воздуха, и графические их представления

Одной из целей разработки компьютерной программы являлась проверка адекватности построенных функций путем сравнения значений фактически вычисленных результатов температурной функции (1) и функции влажности воздуха (2) с реальными эмпирическими данными. Для этого был использован математический возможности библиотеки построения функций электронной таблицы MS Excel 2016. При проведении программных расчетах требовалось чтобы значения входных данных не выходили за заданные условные пределы [8].

Сравнение полученного графика температурой функции с графиком реальных данных по температуре представлено на рисунке 3, а

процедура такого же сравнения для функции влажности воздуха – на рисунке 4. По графикам этих функций можно четко предствить себе влияния температуры и влажности воздуха на процессов роста и развития особей медоносной пчелиной семьи.

Точнее, из графических результатов компьютерной модели видно, что при оптимальной температуре (34⁰C) наибольшее значение количества пчелиных особей равно 950. Это означает, что из 1000 яиц, отложенных пчелиной маткой, до достижения стадии взрослой пчелы остается 950 особей. Этот показатель является оптимальным для развития особей пчелиной семьи.

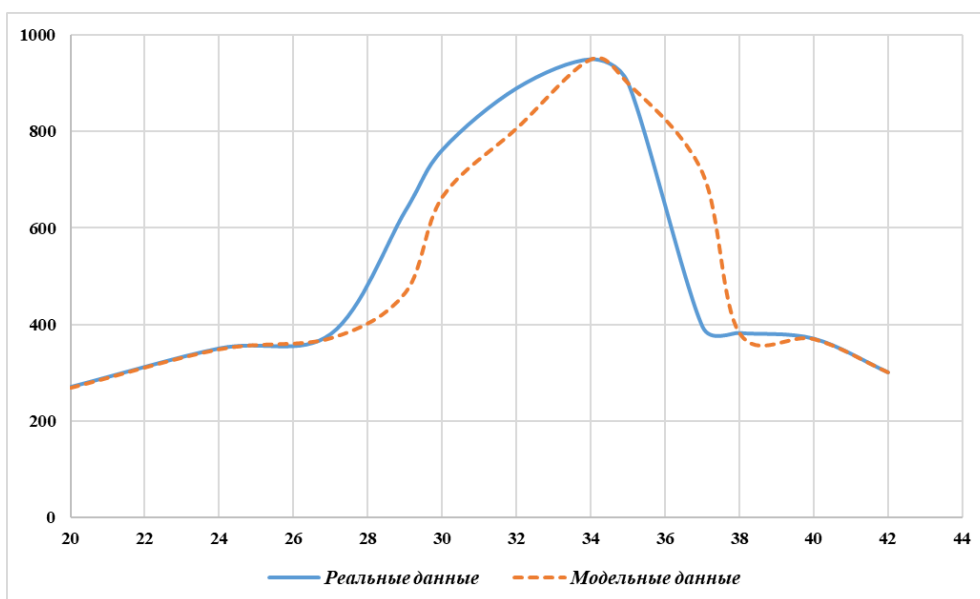


Рисунок 3 – График температурной функции, построенный на MS Excel 2016 и его сравнение с графиком реальных температурных данных

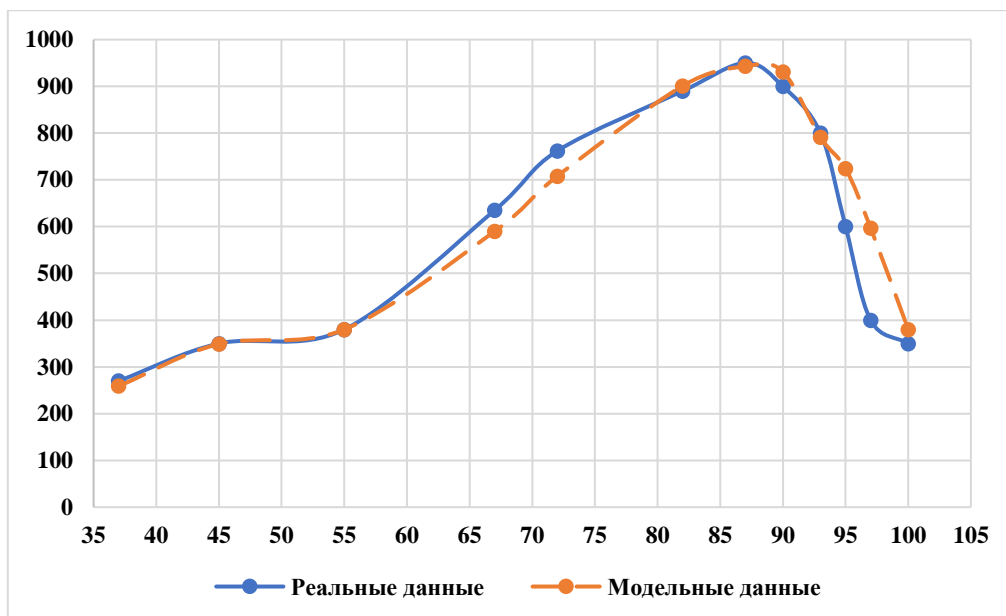


Рисунок 4 – График функции влажности, построенный на MS Excel 2016 и его сравнение с графиком реальных данных о влажности воздуха

Заключение

Таким образом, подытоживая можно заключить, что внешняя температура и влажность воздуха играют огромную роль на процессах роста и развития особей медоносной пчелиной семьи. Понимание сути влияния этих климатических факторов на этих процессов поможет предоставить пчелам подходящие условия обитания, предотвратить различные заболевания и повысить уровень продуктивности пчел [8].

В разработанной компьютерной модели учтены влияния температуры и влажности воздуха на деятельность медоносной пчелиной семьи. Для этих факторов построены соответствующие математические функции.

Численные результаты, полученные с помощью модели необходимы для понимания и прогнозирования поведения пчел в различных климатических условиях, и предсказания влияния изменения климата на жизненный цикл, размножения и продуктивности медоносных пчел.

Список литературы

1. Болдыров, С. Я. Регулирование температуры и влажности воздуха в зимовниках [Текст] / С.Я. Болдырев // Вопросы промышленной технологии производства продуктов пчеловодства. – Рязан, 1978. – С. 173-190.
2. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю. Карпов // СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
3. Комилиён, Ф. С. Амсиласозии математикии мархилаҳои ҳаёти популятсияи оилаи занбӯри асал [Матн] / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. – 2022. – № 2-1 (96). – С. 5-14. – EDN: ILDIZS.
4. Комилиён, Ф. С. Амсиласозии математикии таъсири бемориҳои сирояткунанда ва организмҳои

зараррасон ба рушди индивидҳои оилаи занбӯри асал [Матн] / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. – 2022. – № 2. – С. 28-42.

5. Комилиён, Ф. С. Таҳлили математикии амсилаи мархилаҳои ҳаёти оилаи занбӯри асал аз рӯи хусусиятҳои ҷинсӣ [Матн] / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2022. – № 3. – С. 20-35.

6. Комилиён, Ф. С. Усулҳои баҳисобирии таъсири омилҳои табиӣ ва антропогенӣ дар амсилаи математикии ташаккул ва рушди мархилаҳои ҳаёти оилаи занбӯри асал [Матн] / Ф.С. Комилиён, И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2023. – № 2. – С. 40-52.

7. Рыбочкин, А. Ф. Контроль и управление жизнедеятельностью пчелиных семей: дисс ... док. наук [Текст] / А.Ф. Рыбочкин. – Москва, 2004. – 644 с.

8. Саидзода, И. М. Амсиласозии математикии популятсияи оилаи занбӯри асал [Матн] / И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон. – 2022. – № 2 (41). – С. 215-220.

9. Саидзода, И. М. Барномасозии компютериӣ фаъолияти занбӯри асал вобаста ба таъсири бемориҳо ва зараррасонҳо [Матн] / И.М. Саидзода, Ф.С. Комилиён // Паёми донишгоҳи давлатии Хоруғ. – 2023. – № 1. – С. 45-56.

10. Саидзода, И. М. Компютерное моделирование популяции медоносной пчелиной семьи методом Рунге-Кутта [Текст] / И.М. Саидзода, Ф.С. Комилиён // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2022. – № 2. – С. 26-42.

11. Саидзода, И. М. Нақши ҳарорат дар рушди оилаи занбӯри асал [Матн] / И.М. Саидзода // Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. – 2023. – № 2. – С. 27-38.

12. Саидов, И. М. Асосҳои амсиласозии риёзӣ [Матн] / И.М. Саидов. – Душанбе: Мехроҷ-граф, 2020. – 152 с.

13. Саидзода, И. М. О математической модели пчелиной семьи в стационарном случае / И. М. Саидзода // Актуальные проблемы экологии : СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, Гродно, 04–05 октября 2023 года. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2023. – С. 130-133.

14. Saidzoda, I. M. Mathematical model of a bee colony by gender in a stationary case / I. M. Saidzoda

// Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : Proceedings of the International Conference, Beijing, 14 октября 2023 года. Vol. Part 1. – Beijing: Инфинити, 2023. – P. 143-148. – DOI 10.34660/INF.2023.24.14.431.

15. Чурабоева, Ҳ.Н. Таъсири омилҳои экологиро ба биологӣ ба тухмгузори модарзанбӯр ва маҳсулнокии оилаҳои занбӯрони асал дар шароити ноҳияи Кӯшонӣни вилояти Хатлон: дисс... номз. илмҳои кишов. [Матн] / Ҳ.Н. Чурабоева. – Душанбе, 2021. – 134 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИЗУЧЕНИЕ НОВЫХ ВИДОВ ОДНОСЛОЙНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИИ

Алланиязов Гулам Шерниязович

*к.т.н. доцент кафедры «Технология промышленности»,
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха,
Республика Узбекистан, г. Нукус*

Торениязова Лизахан Акимниязовна

*Ассистент кафедры «Технология промышленности»,
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха,
Республика Узбекистан, г. Нукус*

Мусиров Шухрат Зиватдинович

*Ассистент кафедры «Технология промышленности»,
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха,
Республика Узбекистан, г. Нукус*

Ержанова Диларам Жалгасбаевна

*Стажёр преподаватель кафедры «Технология промышленности»,
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха,
Республика Узбекистан, г. Нукус*

Каримбаев Нурсултан Маратович

*Стажёр преподаватель кафедры «Технология промышленности»,
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха,
Республика Узбекистан, г. Нукус*

Салаева Нозима Саттаровна

*Ассистент факультет химической технологии
Ургенчский государственный университет
Республика Узбекистан, г. Ургенч*

THE STUDY OF NEW TYPES OF SINGLE-LAYER KNITTED INTERLACING

Allaniyazov Gulam

*Ph.D. docent of the Department of Industrial Technology,
Karakalpak State University named after Berdakh, Republic of Uzbekistan, Nukus*

Toreniyazova Lizakhan

*Assistant of the Department of Industrial Technology,
Karakalpak State University named after Berdakh, Republic of Uzbekistan, Nukus*

Musirov Shukhrat

*Assistant of the Department of Industrial Technology,
Karakalpak State University named after Berdakh, Republic of Uzbekistan, Nukus*

Yerjanova Dilaram

*Trainee teacher of the Department of Industrial Technology,
Karakalpak State University named after Berdakh, Republic of Uzbekistan, Nukus*

Karimbayev Nursultan

*Trainee teacher of the Department of Industrial Technology,
Karakalpak State University named after Berdakh, Republic of Uzbekistan, Nukus*

Nozima Salaeva

*Assistant faculty of Chemical Technology
Urgench State University, Republic of Uzbekistan, Urgench*

[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2026](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2026)

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются новые виды трикотажные переплетение созданными авторами, способы выработки, требование качеств на трикотажных изделия, анализ технологических показателей и физико-механических свойств. А также в статье объясняется структуры новых видов однослойных трикотажных переплетении.

ABSTRACT

The article discusses new types of knitted weave created by the authors, methods of production, the requirement of qualities on the knitted product, the analysis of technological indicators and physical and mechanical properties. The article also explains the structure of new types of single-layer knitted weaves.

Ключевые слова: Трикотаж, петля, протяжка, однослойный, ластик, параметр, свойства.

Key words: Knitwear, loop, broach, single-layer, eraser, parameter, properties.

Трикотаж богат разнообразными переплетениями, анализировать которые без знания теории петлеобразования во многих случаях совершенно невозможно. Только зная теоретически признаки различных, видов переплетений и проверяя наличие их в том или ином виде трикотажа, можно окончательно определить вид анализируемого переплетения.

Качество материалов проявляется через их свойства. Поэтому для повышения качества трикотажных изделий необходимо целенаправленное изучение свойств трикотажа. Понятие “качество” подчеркивает необходимость установить такую совокупность свойств, которая отражала бы пригодность материала к использованию по назначению. Но даже когда найдена совокупность свойств материала, достаточно точно отражающая его пригодность, не всегда можно утверждать, что любой материал, обладающий свойствами в данной совокупности, должен быть оценен одинаково. Дело в том, что к одним и тем же материалам иногда предъявляют различные требования по уровню отдельных свойств или их совокупности. Некоторые материалы, не подходящие для одних условий эксплуатации, могут быть с успехом использованы в других условиях [1; с. 3].

В работе [2; с.174-181] описаны требования к верхнему трикотажу: эстетические, износостойкость, гигиенические, технологические, экономические. Однако эти требования обобщены, и они не дают четкого определения ни строения, ни свойств трикотажа для верхних изделий.

Показателями, характеризующими физико-механические свойства, являются разрывная

нагрузка и удлинение при разрыве, растяжимость при нагрузках меньше разрывных, устойчивость к однократному и многократному растяжению, устойчивость к смятию и истиранию, усадка после мокрой обработки и др. Для характеристики формоустойчивости полотна важным является растяжимость при нагрузках меньше разрывных, а также определение составных частей деформации, т.е. одноцикловые характеристики.

Из показателей, характеризующих физические свойства трикотажных полотен, чаще всего используются воздухопроницаемость, водопоглощение, гигроскопичность, суммарное тепловое сопротивление, определяющие теплозащитные свойства полотна, электризуемость и др. Для трикотажа, предназначенного для теплозащитных верхних изделий, наиболее важным является воздухопроницаемость.

В работе Зиновьевой В.А. и Павловой И.В. [3; с.1-3] разработан новый вид однослойного трикотажа, относящийся к группе производных ластичных переплетений с малой растяжимостью по ширине.

В трикотаже переплетения однослойный производный ластик чередуются столбики лицевых и изнаночных петель, ряды являются производными, при этом соединительные элементы - протяжки лицевых петель проходят перед изнаночными петлями, а протяжки изнаночных петель – за лицевыми петлями.

На рис.1. изображено переплетение нитей в предлагаемом трикотаже. На рис.1. видно, что все лицевые 1 и изнаночные 2 петли расположены по отдельным столбикам.

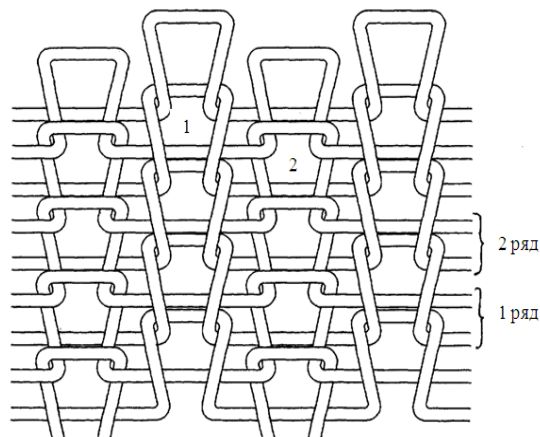


Рис.1. Структура однослойного производного ластика

На рис.2. изображен поперечный разрез предлагаемого трикотажа. Из рис.2. видно, что каждый ряд является производным, а лицевые 1 и изнаночные 2 петли располагаются в одном слое, причем все протяжки выходят на одну сторону.

Видимые на рис.2. удлиненные протяжки 3 уменьшают растяжимость данного трикотажа по ширине, повышается формоустойчивость и теплозащитные свойства.

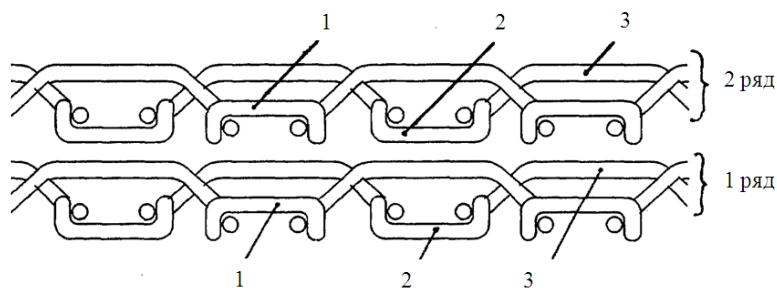


Рис.2. Поперечный разрез однослойного производного ластика

Предлагаемый трикотаж можно использовать для верхних изделий и детского ассортимента.

На базе данного переплетения могут быть выработаны все рисунчатые и различные комбинированные переплетения.

Теряева О.Г., Бронз Г.А. в работе [4; с.1-3] с целью создания способа вязания одинарного кулирного рисунчатого платированного трикотажа, обеспечивающего получение технического результата, состоящего в расширении ассортимента одинарного кулирного рисунчатого платированного трикотажа за счет разработки процесса вязания, позволяющего получить структуру трикотажа, содержащую выборочно по

узору петли из платировочной и грунтовой нитей и петли из грунтовой нити и протяжки из платировочной нити, располагаемой на лицевой стороне трикотажа.

На рис.3. представлена структура трикотажа на базе кулирной глади, вырабатываемого по заявленному способу, в которой в ряду I петли узора вырабатываются в столбиках 2, 3 и содержат петли из грунтовой нити (H_r) и расположенную с лицевой стороны протяжку из платировочной нити (Π), и петли фона в столбиках 1, 4, состоящие из платированных петель из двух нитей платировочной (H_n) и грунтовой (H_r), в ряду II петли узора вырабатываются во втором столбике.

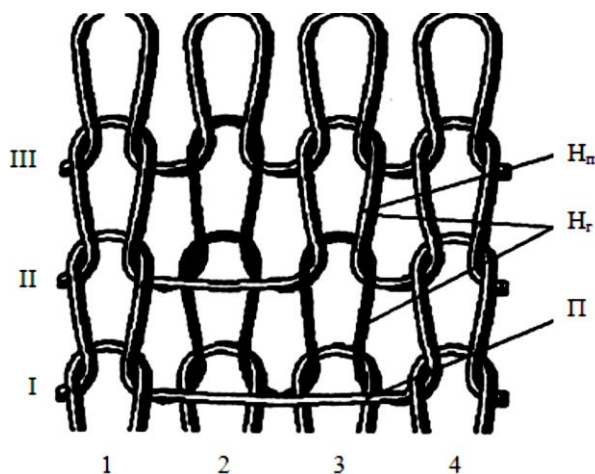


Рис.3. Структура одинарного кулирного рисунчатого платированного трикотажа

Таким образом, способ вязания согласно изобретению позволяет получить в одной петлеобразующей системе выборочно на одних иглах петли из платировочной и грунтовой нитей, а на других иглах – петли из грунтовой нити и протяжки из платировочной нити.

На основе проведенного анализа технологических параметров следует сделать вывод, что объемная плотность выработанных образцов значительно уменьшается, а толщина трикотажа увеличивается по сравнению с базовым переплетением. Это означает, что имеется возможность уменьшить расход сырья при выработке трикотажа.

Вывод: Проведенное исследование существующих структур трикотажа кулирных переплетений на основании изученных литературных и патентных источников показывает, что по систематизации результатов исследований и

созданию теории трикотажных переплетений в настоящий момент наибольший интерес представляют комбинированные структура которых состоит из элементов гладкого и рисунчатого переплетений, что позволяет разрабатывать огромное количество структур и способов выработки новых видов трикотажных переплетений с определенными свойствами.

Использованные литературы:

1. Соловьев А.Н., Кирюхин СМ. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. - М, Легкая промышленность, 1984. - 3 с.
2. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение. - М., Легпромышлениздат, 1992. -с.174-181.

3. Пат. RU №2150536. / Однослойный производный ластик. / Зиновьева В.А., Павлова И.В. / Оpubл. 10.06.2000 г. –с.1-3.

4. Пат. RU №2363784. / Способ вязания одинарного кулирного рисунчатого платированного трикотажа. / Теряева О.Г., Бронз Г.А. / Оpubл. 10.08.2009 г. –с. 1-3.

5. ГШ Алланиязов, ММ Мукимов, СЭ Мардонов, ДЖ Ержанова, Исследование технологических параметров производной глади

новых структур. Витебский государственный технологический университет. 2023

6. Г.Ш Алланиязов, Р.И Оразбаева, Л.А Торениязова, Н.М Каримбаев, Исследование деформации нового вида производного глада. Universum: технические науки, 2023 г. –с.36-39.

7. Мукимов М.М, ГШ Алланиязов, ГХ Гуляева, Мусаев НМ, Способ снижения материалоемкости двухслойного трикотажа. Узбекистан тукумачилик журналы, 2021 г. – с. 89-100.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Сериккулы Жандос

PhD, доцент

*кафедры «Технологические машины и оборудование»,
Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова*

Казахстан, г. Шымкент

Муталов Нуржигит

докторант

*кафедры «Технологические машины и оборудование»
Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова*

Казахстан, г. Шымкент

Рысалы Куаныш

докторант

*кафедры «Технологические машины и оборудование»
Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова*

Казахстан, г. Шымкент

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF VIBRATIONAL MOTION OF CONVERTERS

Serikuly Zhandos

PhD, Associate Professor

*Department of Technological Machines and Equipment
M. Auezov South Kazakhstan University*

Kazakhstan, Shymkent

Mutalov Nurzhigit

doctoral student

*Department of Technological Machines and Equipment,
M. Auezov South Kazakhstan University*

Kazakhstan, Shymkent

Rysaly Kuanysh

doctoral student

*Department of Technological Machines and Equipment,
M. Auezov South Kazakhstan University*

Kazakhstan, Shymkent

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2020

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается математическое описание вибрационного движения преобразователей, использующих механическую энергию вибраций окружающей среды для производства электрической энергии. Анализируются решения этих уравнений для различных условий воздействия. Подчеркивается важность понимания этих процессов для оптимизации конструкции и повышения эффективности вибрационных преобразователей. Рассмотрены основные типы таких устройств, включая пьезоэлектрические системы. Статья предлагает подходы к улучшению параметров преобразователей на основе теоретических расчетов и математического моделирования.

ABSTRACT

The article discusses the mathematical description of the vibrational motion of converters that use the mechanical energy of environmental vibrations to produce electrical energy. Solutions of these equations are analyzed for various exposure conditions. The importance of understanding these processes to optimize the design and improve the efficiency of vibration transducers is emphasized. The main types of such devices, including piezoelectric systems, are considered. The article proposes approaches to improving the parameters of converters based on theoretical calculations and mathematical modeling.

Ключевые слова: математическое описание, регулярная структура, преобразователи, энергия вибрации.

Keywords: mathematical description, regular structure, converters, vibration energy.

В современном мире, где устойчивое развитие и эффективное использование ресурсов становятся все более актуальными, внимание к вибрационным преобразователям энергии значительно возросло. Эти устройства, способные преобразовывать механическую энергию вибраций, возникающих в результате промышленной деятельности, ветряной энергии, в электрическую энергию, представляют собой обещающее направление в области альтернативной энергетики. Использование таких технологий может сыграть ключевую роль в разработке новых устройств для сбора энергии, что особенно важно для удаленных или портативных приложений, где традиционные источники питания неприемлемы или недоступны.

Основой для проектирования и оптимизации вибрационных преобразователей служит глубокое понимание математических моделей, описывающих их работу. Математическое описание вибрационных движений позволяет не только улучшить конструктивные характеристики устройств, но и значительно повысить их энергоэффективность. В данной статье будет представлено комплексное изложение принципов моделирования вибрационных преобразователей, начиная от базовых уравнений движения и заканчивая анализом сложных взаимодействий в различных условиях эксплуатации.

Мы рассмотрим преобразователи регулярной структуры [1], такие как пьезоэлектрические и проанализируем особенности с точки зрения их математического описания. Целью нашего исследования является не только теоретическое обоснование работы данных устройств, но и практическое применение полученных моделей для создания новых или улучшения существующих систем сбора энергии.

Для указанной конструкции дано математическое описание вибрационного движения преобразователей.

Для определения амплитуды A колебаний свободных концов преобразователей применим дифференциальное уравнение тонкой гибкой ленты [6]:

$$\frac{M_{изг}}{E \cdot J_x} = \frac{y''}{[1+(y')^2]^{3/2}} \quad (1)$$

с граничными условиями:

$$\text{при } z=0; y=0; y' = 0, \quad (2)$$

Для решения уравнения (1) произведем замену:

$$[1+(y')^2]^{3/2} \approx b + ay' \quad (3)$$

Определим коэффициенты a и b и проведем

оценку этой замены. При $y' = 0,5$ численное значение левой части уравнения (3) составит 1,4, а при $y' = 1$ равно 2,828.

$$\text{Тогда: } \begin{cases} b + a \cdot 0,5 = 1,4 \\ b + a \cdot 1 = 2,828 \end{cases} \quad (4)$$

Откуда $a=2,856$ и $b=-0,028$. Анализ уравнения (4) с найденными коэффициентами a и b показывает, что например, при $y' = 0,7$ ошибка (Δ) замены составляет всего 8%, а при $y' = 0,5$ и $y' = 1$ $\Delta \approx 0$.

Обозначим $\frac{M_{изг}}{E \cdot J_x}$ в уравнении (1) через K , тогда это уравнение с учетом формулы (3) примет вид:

$$K \cdot b + K \cdot a \cdot y' = y'' \quad (5)$$

В уравнении (5) обозначим $K \cdot b = m$ и $K \cdot a = n$, тогда:

$$y'' - ny' - m = 0 \quad (6)$$

Проводя дальнейшие преобразования, обозначим:

$$\frac{dy}{dz} = t \quad (7)$$

С учетом этого выражение (6) может быть упрощено:

$$\frac{dt}{dz} - nt - m = 0 \quad (8)$$

Преобразуем и проинтегрируем выражение (2):

$$\int \frac{dt}{nt + m} = \int dz \quad (9)$$

Осуществим подстановку:

$$nt + m = U \quad (10)$$

$$n dt = dU \quad (11)$$

Тогда:

$$\int \frac{dU}{nU} = \int dz \quad (12)$$

После интегрирования выражение (12) примет вид:

$$\frac{1}{n} \ln|U| = z + C_1 \quad (13)$$

Преобразовывая уравнение (13) с учетом (10) и (11), получим:

$$nt + m = e^{n(z+C_1)} \quad (14)$$

Откуда:

$$t = \left[e^{n(z+C_1)} - m \right] / n \quad (15)$$

Подставляя выражение (15) в уравнение (7), имеем:

$$\frac{dy}{dz} = \frac{e^{n(z+C_1)} - m}{n} \quad (16)$$

Преобразовываем уравнение (16) к виду:

$$n \int dy = \int e^{n(z+C_1)} dz - m \int dz \quad (17)$$

После интегрирования выражения (17), получим:

$$y = \frac{1}{n^2} e^{n(z+C_1)} - \frac{m}{n} z + \frac{C_2}{n} \quad (18)$$

Из первой части граничных условий (2) при $z=0, y=0$, находим:

$$C_2 = -\frac{1}{n} e^{nC_1} \quad (19)$$

Из второй части граничных условий (2) при $z=0, y'=0$, находим:

$$C_1 = \frac{\ln m}{n} \quad (20)$$

С учетом этого выражения (19) примет вид:

$$C_2 = -\frac{m}{n} \quad (21)$$

Подставляя значения C_1 и C_2 в уравнение (18), получим:

$$y = \frac{m}{n^2} \cdot e^{nZ} - \frac{m}{n} Z - \frac{m}{n^2}, \quad (22)$$

а после подстановки значений m и n имеем:

$$y = \frac{b}{K \cdot a^2} \left(e^{K \cdot aZ} - 1 \right) - \frac{b}{a} Z \quad (23)$$

Уравнение (23) описывает величину прогиба гибкой тонкой ленты в зависимости от геометрических и прочностных характеристик. Для получения зависимости величины прогиба пластины от частоты воздействия внешних факторов, воспользуемся выражением, определяющим основную частоту колебаний однородной консольной балки [6]:

$$\omega_{вб} = \frac{3,52}{\ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot J_x}{\rho_M \cdot F'}} \quad (24)$$

С учетом принятого обозначения $\frac{M_{изг}}{E \cdot J_x} = K$, выражение (24) может быть преобразовано к виду:

$$\omega_{вб} = \frac{3,52}{\ell^2} \sqrt{\frac{M_{изг}}{K \cdot \rho_M \cdot F}} \quad (25)$$

Преобразование уравнения (25) относительно K позволяет получить:

$$K = \frac{12,39 \cdot M_{изг}}{\ell^4 \cdot \omega_{вб}^2 \cdot \rho_M \cdot F} \quad (26)$$

Величина изгибающего момента $M_{изг}$ для преобразователя может быть определена по формуле:

$$M_{изг} = \ell \left[P + \psi_1 q - \psi_2 \frac{\rho_r W_r^2}{2} \cdot S_{пл} + \psi_3 \frac{\rho_{ж} W_{ж}^2}{2} \cdot S_{пл} \right] \quad (27)$$

обработкой экспериментальных данных получено: $\psi_1 = 2,5 \cdot 10^{-4}$; $\psi_2 = 2,27 \theta_b \cdot \theta_p$; $\psi_3 = 90 \theta_b \cdot \theta_p$.

Решение уравнений (25) и (26) осуществлялось с учетом экспериментальных данных частоты вибраций $\omega_{вб}$.

Выводы

В рамках проведенного исследования было выполнено математическое описание вибрационного движения преобразователей, что позволило выделить несколько ключевых аспектов, имеющих важное значение для понимания и оптимизации работы этих устройств: Моделирование вибрационных движений: Математическое моделирование показало, что

правильное понимание динамических процессов в вибрационных преобразователях является критически важным для улучшения их конструктивных характеристик и эффективности. Модели, основанные на уравнениях движения и граничных условиях, обеспечивают инструменты для анализа и предсказания поведения преобразователей под различными воздействиями. Анализ влияния параметров на эффективность: Исследование показало, что изменение ключевых параметров преобразователей, таких как жесткость, масса и демпфирование, может значительно влиять на их частотные характеристики и эффективность преобразования энергии. Это подчеркивает важность тщательного подбора материалов и геометрических параметров при проектировании новых устройств. Полученные математические модели и аналитические выражения могут быть использованы для проектирования преобразователей с оптимальными характеристиками для конкретных приложений, включая портативные устройства и системы автономного питания в удаленных локациях. Результаты исследования указывают на необходимость дальнейшей работы по изучению нелинейных эффектов и взаимодействий в составных структурах преобразователей, а также разработке улучшенных методов для управления вибрационными процессами в реальном времени.

На основе проведенных анализов можно сделать вывод, что математическое описание вибрационных движений открывает новые возможности для оптимизации и разработки эффективных вибрационных преобразователей, способствующих устойчивому развитию и инновациям в области возобновляемых источников энергии.

Благодарность

Работа выполнена в НАО «Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова» в рамках программы грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас галым» на 2022–2024 годы, реализуемой Комитетом науки Министерства Наука и высшее образование Республики Казахстан по программе АР-14972723.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1 Сериккулы Ж., Кумисбеков С.А., Муталов Н., Сериков А.С., Влияние конструктивных параметров на процесс вихреобразования // Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки 2023. №9 (112)/2023 Том 1 С.43-47

2 Serikuly Zh., Mutalov N. Analysis of design, materials and technologies used to convert the kinetic energy of the air flow into electric energy // Eurasian Education, Science and Innovation Journal 2022. Vol 12, P.24-39

3 Serikuly Zh., Zaurbekov M. Study of the passage of air flow through obstacles of different shapes // Eurasian Education, Science and Innovation Journal 2023. Vol 14, P.96-100

4 Serikuly Zh., Mutalov N., Zaurbekov M. Study of the arrangement of connected elements in the vertical direction within the installation // Eurasian Education, Science and Innovation Journal 2023. Vol 15, P.6-10

5 Serikuly Zh., Mutalov N., Zaurbekov M. Study of the location of transducers in the radial direction inside the installation // Eurasian Education, Science and Innovation Journal 2023. Vol 16, P.26-30

6 Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: МГТУ им. М. Баумана, 1999. – 592 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
И РАЗМЕРОВ УСТАНОВКИ**

Серикулы Жандос

PhD, доцент

*кафедры «Технологические машины и оборудование»,
Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова
Казахстан, г. Шымкент*

Муталов Нуржигит

докторант

*кафедры «Технологические машины и оборудование»
Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова
Казахстан, г. Шымкент*

Рысалы Куаныш

докторант

*кафедры «Технологические машины и оборудование»
Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова
Казахстан, г. Шымкент*

**DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS FOR THE LOCATION OF CONVERTERS AND
INSTALLATION DIMENSIONS**

Serikuly Zhandos

PhD, Associate Professor

*Department of Technological Machines and Equipment
M. Auezov South Kazakhstan University
Kazakhstan, Shymkent*

Mutalov Nurzhigit

doctoral student

*Department of Technological Machines and Equipment,
M. Auezov South Kazakhstan University
Kazakhstan, Shymkent*

Rysaly Kuanysh

doctoral student

*Department of Technological Machines and Equipment,
M. Auezov South Kazakhstan University
Kazakhstan, Shymkent*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2021

АННОТАЦИЯ

В статье приведены рекомендации по проектированию экспериментальной установки для выработки электроэнергии из ветровой энергии с использованием пьезоэлектрических преобразователей. Установка включает в себя три экспериментальных блока различных размеров, разработанных для максимизации эффективности преобразования энергии за счет образования вихрей. Основное внимание уделено расположению преобразователей и размерам конструкции для оптимизации генерации вихрей и производства энергии.

ABSTRACT

The article provides recommendations for the design of an experimental installation for generating electricity from wind energy using piezoelectric converters. The setup includes three experimental units of varying sizes designed to maximize energy conversion efficiency through vortex generation. The focus is on converter placement and design dimensions to optimize vortex generation and power production.

Ключевые слова: регулярная структура, преобразователи, параметров расположения энергии вибрации.

Keywords: regular structure, converters, location parameters vibration energy.

В современном мире устойчивое развитие и экологически чистые технологии становятся всё более приоритетными направлениями научных исследований и промышленных инноваций. Важной задачей является поиск эффективных способов генерации энергии, которые бы минимизировали воздействие на окружающую среду и обеспечивали бы необходимую масштабируемость и доступность. Одним из

перспективных направлений в этом контексте является использование ветровой энергии, особенно в регионах с высокой интенсивностью ветровых потоков.

В рамках данной работы представлена разработка и исследование экспериментальной установки для генерации электроэнергии на основе пьезоэлектрических преобразователей. Исследование проводилось в лабораторных

Особенностью разработанной установки является её способность эффективно преобразовывать энергию ветра в электричество за счет уникальной конструкции, создающей вихри и использующей пьезоэлектрические элементы для непосредственного преобразования механических колебаний в электрический ток.

Целью данной работы является анализ конструктивных особенностей и параметров установки, а также оценка её эффективности в различных условиях эксплуатации. Результаты исследований показывают возможности модификации и масштабирования установки, что открывает дорогу к разработке более мощных и эффективных систем для коммерческого и частного использования.

Исследования проводились в лабораториях Института General Mechanics RWTH Aachen University и Южно-Казахстанского университет имени М. Ауэзова. Схема установки показана на

рисунке 1 [1]. Опубликованы первые результаты работы [1,2].

Описание установки. Для проведения экспериментальных работ были сконструированы три установки размеров: первая 600х600х1000 мм, вторая 400х400х600 мм и третья 240х150х400 мм, которые были собраны и использованы. Схема опытной установки представлена на рисунке 1.

Установка состоит из 1 металлической кровли и 2 органических. На высоту первой установки установлена металлическая труба диаметром 10 мм 3, на двух других установках установлены металлические отрезки шириной 20 мм и толщиной 5 мм. Они прикреплены вверх и вниз во всех трех установках. Также можно использовать для прокладки электропроводки внутри трубы. На трубах и отрезках металла в вертикальном направлении с определенным шагом установлены 4 преобразователя размером 70х50 мм.

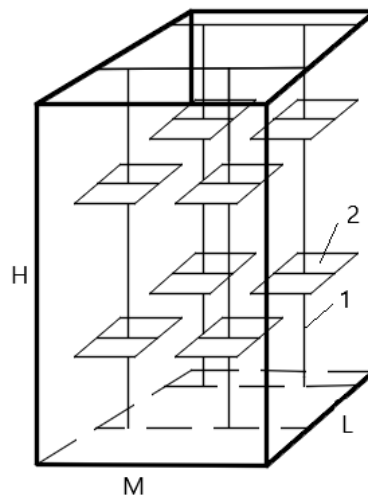


Рисунок 1-схема опытной установки

Принцип работы агрегата следующий. Вихри возникают из-за потока воздуха, проходящего через преобразователь из нижней части блока, и вихрь можно комбинировать с правильным расположением преобразователей. Процесс слияния вихрей описан [1].

Преобразователи изгибаются под действием воздушного потока. Производство электроэнергии достигается за счет деформации и вибрации пьезоэлектрических элементов, установленных над каждым преобразователем.

Главное достоинство агрегата-простота его конструкции. Установка может быть изготовлена из различных материалов, металла, пластика и т. д. В собранном в лаборатории рабочем образце использовались алюминиевые уголки размером 20х20 мм, которые использовались в качестве кровли для установки. К этим углам крепились стены из органического стекла. Органическое стекло было выбрано для визуального управления процессами, происходящими на установке. Стены

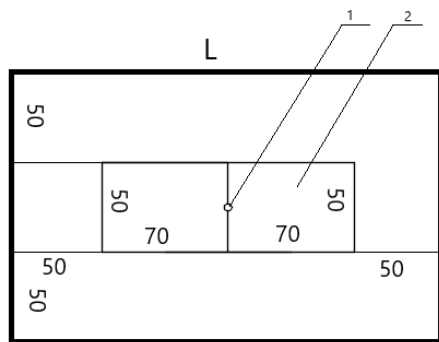
агрегата могут быть изготовлены из любого материала, например, металла, пластика и т. д.

Конструкция установки учитывает образование вихрей, что повышает эффективность установки [1, 2].

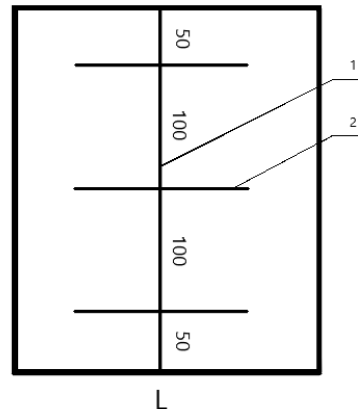
Наименьший рабочий размер (L) в длине блока составляет 2а рисунок это два ряда преобразователей, Соединенных в одно изображение (2), а интервалы между преобразователями равны ширине двух преобразователей (2b), площадь, необходимая для образования вихря, которая в мм равна 100 мм. Это измерение предполагает, что расстояние между двумя противоположными преобразователями равно 2b, а расстояние между стеной и преобразователем равно «b», что означает 50 мм. Размер 240 мм, включая два расстояния от стен установки и два противоположных преобразователя. Этот размер является минимальным рабочим размером, что означает, что установка может работать с длиной L = 240 мм.

Чтобы увеличить длину установки, вам нужно добавить 240 мм к каждой. Конечно, теоретически вы можете добавить один преобразователь к длине блока, что приведет к уменьшению расстояния $L/2 = 120$ мм.

Минимальный рабочий размер (М) на ширине установки составляет 3,6 а. преобразователь изображения и расстояние с обеих сторон от стены установки. Ширина преобразователя $b = 50$ мм. Расстояние от стены до преобразователя равно «b». С учетом этих размеров $M = 150$ мм. Для подключения дополнительных преобразователей к ширине агрегата необходимо добавить 150 мм.



a)



b)

*L-длина установки, M-ширина установки, H-высота установки
1-Изображение, фиксирующее преобразователи, 2-преобразователь
Рисунок 3.6-Установка*

Установка для выработки электроэнергии из ветровой энергии отличается простотой конструкции, доступностью материалов, мобильностью и возможностью использования для получения электроэнергии из отработанных газов в производствах. Эффективность установки повышается за счет формирования вихря и слияния вихря.

Минимальные размеры агрегата следующие: длина 240 мм, ширина 150 мм, высота 300 мм. Однако при необходимости вы можете добавить его, умножив желаемый параметр на 2 в любом направлении, например, если вам нужно увеличить количество преобразователей, добавьте один ряд из двух преобразователей по длине, а затем добавьте дополнительные 240 мм шириной 150 мм и высотой 100 мм соответственно к размеру конструкции.

Выводы

Разработанная установка демонстрирует высокую эффективность в преобразовании энергии воздушных потоков в электричество. Использование пьезоэлектрических элементов позволяет не только улавливать кинетическую энергию ветра, но и эффективно преобразовывать её за счет механических колебаний. Простота конструкции установки обеспечивает её доступность и легкость в сборке и эксплуатации. Модульность системы позволяет адаптировать её к различным условиям эксплуатации и масштабировать для увеличения выходной

Ширина на высоте агрегата Нижний рабочий размер (Н) рис.2 b - он должен состоять как минимум из 3 рядов преобразователей, так как для достижения режима одновременного включения вихрей и получения положительного результата от подключенных вихрей [1] расстояние между преобразователями на высоте равно $2b$. Теперь, включая расстояние между тремя рядами преобразователей, $H = 300$ мм. Чтобы увеличить высоту или добавить еще один ряд преобразователей, необходимо добавить 100 мм к конструкции установки.

мощности без значительных изменений в базовой конструкции. Представленные данные подтверждают потенциал установки для дальнейших исследований и разработки, включая интеграцию в различные инфраструктурные и коммерческие проекты. Возможность использования различных материалов и компонентов делает установку адаптивной к разным производственным условиям и экономическим требованиям. Установка способствует повышению экологической устойчивости за счет использования возобновляемых источников энергии и снижения зависимости от ископаемого топлива. Применение пьезоэлектрических элементов, которые не требуют экологически вредных процессов для своей работы, дополнительно уменьшает экологический ущерб. Исследование подчеркивает значимость инновационных подходов в области энергетики, направленных на улучшение технологий сбора и использования возобновляемых источников энергии. Разработка подобных технологий способствует ускорению технологического прогресса и открывает новые возможности для устойчивого развития.

Благодарность

Работа выполнена в НАО «Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова» в рамках программы грантового финансирования

молодых ученых по проекту «Жас галым» на 2022–2024 годы, реализуемой Комитетом науки Министерства Наука и высшее образование Республики Казахстан по программе AP-14972723.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1 Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. Optimum Values Regular Structure Converters for

Converting the Vibration into Electric Energy // International Review of Mechanical Engineering (IREME), Praise Worthy Prize, - 2020, Vol. 14, n. 6. P.388-394,

2 Serikuly Zh., Marker B., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. Wind energy, a new direction of the Balabekov school on the Karman vortex street // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2021 Vol 714. P1-6.

Сериккулы Жандос

PhD, доцент

кафедры «Технологические машины и оборудование», Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова

Казахстан, г. Шымкент

Муталов Нуржигит

докторант

кафедры «Технологические машины и оборудование» Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова

Казахстан, г. Шымкент

Рысалы Куаныш

докторант

кафедры «Технологические машины и оборудование» Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова

Казахстан, г. Шымкент

Заурбеков Мусабек

докторант

кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова

Казахстан, г. Шымкент

THE INFLUENCE OF IRREGULARITIES ON THE OPERATION OF DEVICES WITH A REGULAR STRUCTURE

Serikuly Zhandos

PhD, Associate Professor

Department of Technological Machines and Equipment

M. Auezov South Kazakhstan University

Kazakhstan, Shymkent

Mutalov Nurzhigit

doctoral student

Department of Technological Machines and Equipment,

M. Auezov South Kazakhstan University

Kazakhstan, Shymkent

Rysaly Kuanysh

doctoral student

Department of Technological Machines and Equipment,

M. Auezov South Kazakhstan University

Kazakhstan, Shymkent

Zaurbekov Musabek

doctoral student

Department of Life Safety and Environmental Protection

M. Auezov South Kazakhstan University

Kazakhstan, Shymkent

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2022

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается влияние неравномерностей распределения газа на работу аппаратов с регулярной структурой. Особое внимание уделяется равномерности распределения газового потока на входе в аппарат, которая в значительной мере зависит от конструкции узла ввода. Исследования проводились для бокового ввода газового потока. Результаты показали поперечную неравномерность распределения газа при различных скоростях потока. Для выравнивания газового потока был разработан

распределитель. Таким образом, использование распределителя газа обеспечивает высокую эффективность работы насадочной зоны аппарата.

ABSTRACT

This article examines the influence of uneven gas distribution on the operation of devices with a regular structure. Particular attention is paid to the uniform distribution of the gas flow at the entrance to the apparatus, which largely depends on the design of the input unit. The studies were carried out for the lateral input of the gas flow. The results showed transverse unevenness of gas distribution at different flow rates. A distributor was developed to equalize the gas flow. Thus, the use of a gas distributor ensures high operating efficiency of the packed zone of the apparatus.

Ключевые слова: регулярная структура, неравномерности, гидродинамическое моделирование, распределение газового потока.

Keywords: regular structure, irregularities, hydrodynamic modeling, gas flow distribution.

Uneven distribution of gas at the entrance to the apparatus. A design feature of devices with a regular structure is the regular and uniform placement of transducers in the volume of the contact zone. The uniformity of distribution of the gas flow as it enters the apparatus largely depends on the design of the input unit. The most common design is a side gas flow inlet. Therefore, we carried out studies of the uniformity of gas flow distribution across the cross section of the apparatus during lateral supply.

During the research, signal tapes were used, evenly distributed over the cross section of the column using a wire grid. A qualitative picture of the uniformity of gas distribution was recorded using photography, and a quantitative assessment was obtained by measuring with a pitot tube complete with a micromanometer. The range of changes in gas flow velocity was from 1 to 5 m/s.

Transverse unevenness is observed in almost the entire range of gas flow velocities. The gas flow has the highest speeds at the wall of the apparatus, opposite the point of gas entry into the apparatus.

This is confirmed by the results of measurements of the velocity field in various sections of the apparatus. At low and high velocities of the gas flow, its main volume passes in sections 3-5 and at the wall of the apparatus opposite the entry point.

To align the gas flow across the cross-section of the apparatus, we have developed a distribution device consisting of vertical plates, the lower edges of which form an arc, concavely located towards the gas flow. The height of the vertical plates increases in the direction opposite to the gas inlet fitting, and their length is equal to the length of the horizontal row of packing elements of the corresponding section plane [1-4].

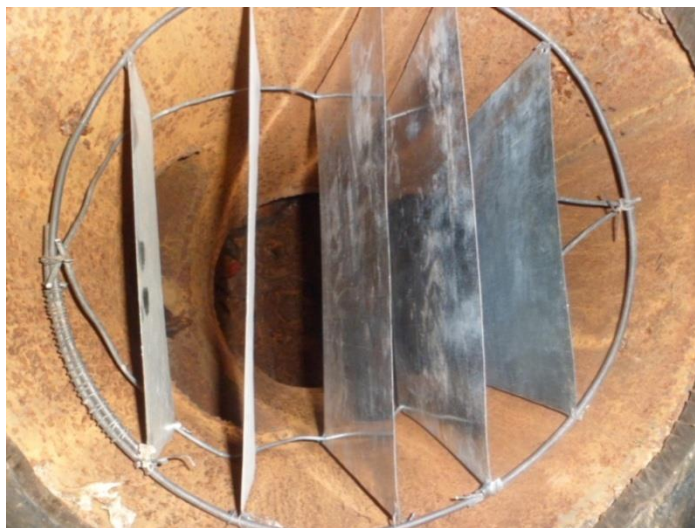


Figure 1 – Gas flow distributor

Figure 1 shows a gas flow distributor. When installing vertical plates, the gas flow on each plate is divided into two parts, one of which enters the gap between the vertical plates, and the second part is deflected down and moves to the next gap between the vertical plates. By arranging the vertical plates in such

a way that their lower edges form a concavity located towards the movement of the gas flow, it is possible to achieve uniform division of the gas flow across the cross section of the apparatus, especially of large diameter, and thereby ensure high efficiency of the packed zone of the apparatus.

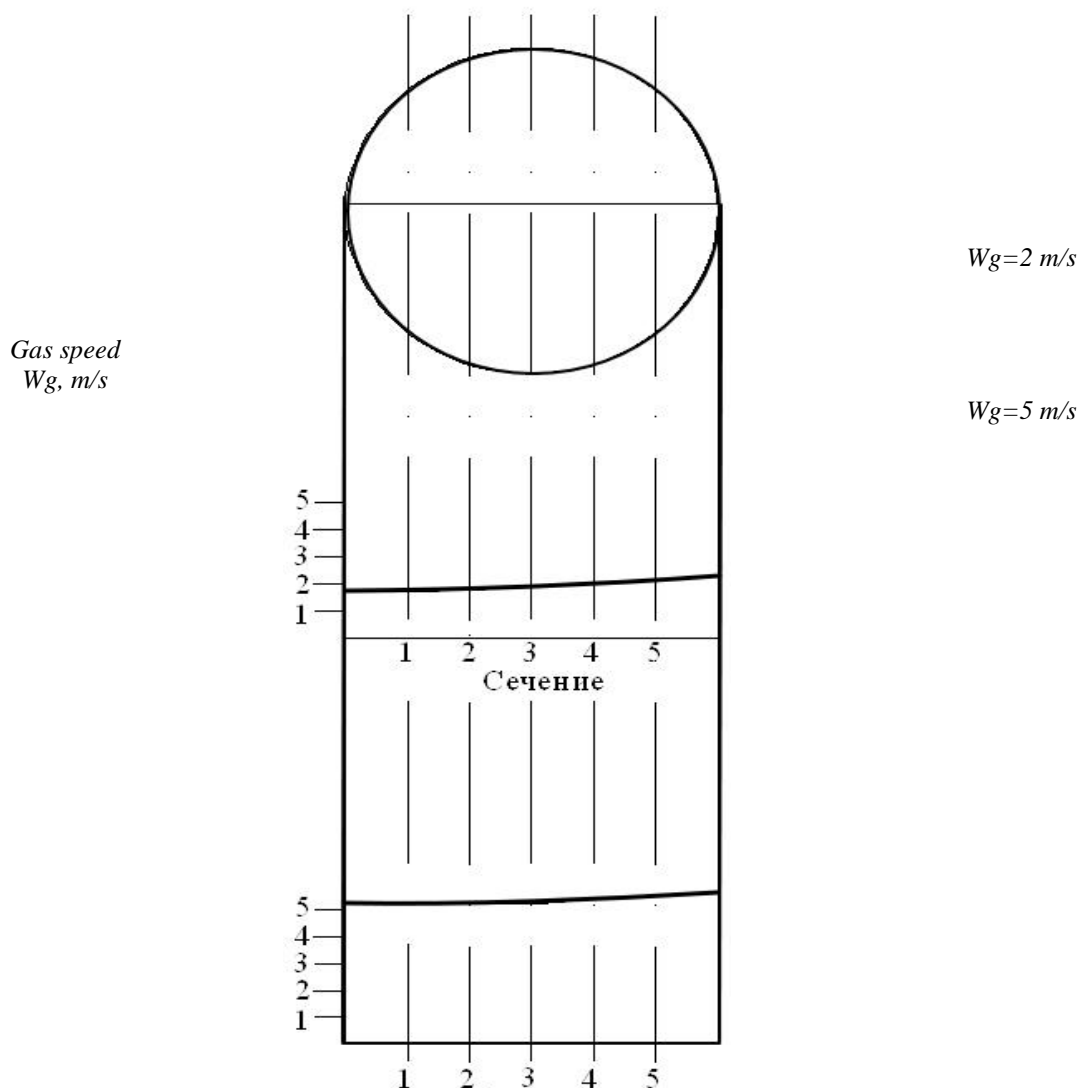


Figure 2 - Field of gas flow velocities across the cross section of the apparatus with distributor

Installation of vertical plates with a height increasing in the direction opposite to the gas inlet fitting ensures uniform division of the cylindrical gas flow with a nominal diameter corresponding to the diameter of the inlet pipe. The length of the vertical plates must be equal to the length of the horizontal row of packing elements of the corresponding section plane. This allows the divided gas flow to be evenly distributed in the gap between the vertical plates.

The research results confirmed the effectiveness of using a gas flow distributor. When installing a gas flow distributor in the gas velocity range under study. As a result, the installation of the distributor helped to equalize the gas flow across the cross section of the apparatus, even at low speeds. Measurements of the velocity field (Figure 2) showed that the average gas velocities across the cross section of the apparatus leveled off.

Conclusions

Studies have shown that when the gas flow is introduced sideways, there is a transverse uneven distribution of gas across the cross section of the apparatus. The highest gas velocities were recorded at the wall of the apparatus opposite the gas injection

point. The uniformity of gas flow distribution significantly depends on the design of the input unit. Proper design of this unit can significantly improve the performance of an apparatus with a regular structure. The created distributor, consisting of vertical plates with concave lower edges directed towards the gas flow, has shown high efficiency in leveling gas distribution. When installing a gas flow distributor, a uniform distribution of gas velocity across the cross section of the apparatus was achieved, even at low speeds. The use of the developed distributor can significantly increase the efficiency of the packed zone of the apparatus, ensuring uniform distribution of gas. This helps to improve the technological processes occurring in the device and increases the overall performance of the system. To further improve the operation of devices with a regular structure, it is recommended to continue research in the field of optimizing the design of distribution devices, as well as studying the influence of various factors on the uniformity of gas flow distribution.

ACKNOWLEDGEMENT

The work was carried out at NJSC «South-

Kazakhstan university name after M. Auezov» under the program of grant financing for young scientists under the project "Zhas galym" for 2022–2024, implemented by the Committee of Science of the Ministry of the Science and Higher Education of Kazakhstan Republic, under the program AP-14972723.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1 Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kenig E.Ya. Hydrodynamics of Apparatuses with Preformed Packing Bodies // The 7th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2013) - Tirgu Mures, Romania, 2013

2 Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. Mass transfer in the apparatuses with preformed packing bodies // International Review of Mechanical Engineering (IREME), Praise Worthy Prize, 2014. Vol. 8, n. 4. P.779-784

3 Serikuly Zh., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. Optimum Values Regular Structure Converters for Converting the Vibration into Electric Energy // International Review of Mechanical Engineering (IREME), Praise Worthy Prize, - 2020, Vol. 14, n. 6. P.388-394,

4 Serikuly Zh., Marker B., Volnenko A.A., Kumisbekov S.A. Wind energy, a new direction of the Balabekov school on the Karman vortex street // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2021 Vol 714. P1-6.

УДК 66

EXPLORING OPPORTUNITIES FOR OPTIMISING WATER USE IN THE REFINING INDUSTRY

Sukhoterin E.V.

Toraigyrov University

Kazakhstan, Pavlodar, 64 Lomovo str.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.119.2027

ABSTRACT

The refining industry is a major consumer of water as it uses large volumes of water in various processes such as cooling, steam generation and product separation. Water scarcity and growing concerns about environmental sustainability have increased the need to optimise water use in the industry.

One way to optimise water consumption is to use modern water treatment technologies. These technologies allow refineries to treat and reuse wastewater, reducing freshwater demand and emissions. Membrane filtration, reverse osmosis and biological treatment are some of the innovative solutions available to treat wastewater for reuse in refineries. Data-driven technologies, including modelling and simulation techniques, play a key role in optimising water use in refineries. Using process data and computational tools, refiners can assess the impact of different optimisation strategies, simulate water use scenarios and identify the most cost-effective solutions. In addition, real-time monitoring and control systems allow refineries to continuously optimise water consumption in response to changing operating conditions and environmental factors.

The benefits of optimizing water use in the refining industry extend beyond environmental protection to include economic and environmental benefits. By reducing freshwater withdrawals, minimizing wastewater discharges and improving overall water efficiency, refineries can reduce operating costs, increase resource conservation and reduce environmental risks associated with water pollution and depletion.

Introduction

Justification of the topic of master's thesis

Relevance of the topic: Oil refining industry is one of the largest consumers of water. In addition, oil refining processes lead to pollution of water resources and the environment. Therefore, it is important to investigate ways to optimize water use in the oil refining industry in order to reduce the negative impact on the environment and lower water costs.

One way to optimize water use in the refining industry is to use water reuse and purification technologies. This can reduce fresh water consumption and reduce environmental pollution.

In addition, optimizing water use can lead to economic benefits for companies because reducing water consumption also reduces water treatment costs.

Thus, the topic of "exploring opportunities for optimizing water use in the refining industry" is relevant and important in light of environmental, economic and social issues related to water use in industry.

Purpose of the study: to identify the potential for reducing fresh water consumption in the oil refining industry by investigating possible ways to optimize water use and implement appropriate water reuse and treatment technologies.

Objectives of the study:

- analysis of scientific articles and publications on water use in the oil refining industry;
 - study of technical documentation and reports of oil refining industry enterprises;
 - study of existing technologies of water reuse and purification in the oil refining industry;
 - evaluation of the effectiveness of implementation of the proposed recommendations and economic benefits from the use of technologies of water reuse and treatment in the oil refining industry.
- practical significance of the work:
- optimization of water use in the oil refining industry will save resources and reduce the negative impact on the environment;

- the study of water reuse and purification technology will significantly reduce the consumption of fresh water and the cost of water treatment.

Water consumption in the oil refining industry

Specific norm of water consumption at the enterprises of Pavlodar Oil Chemistry Refinery "POCR LLP" - 25,656 m³/tonne, including water consumption of fresh technical water for technological needs - 0.134 m³/ton. Water consumption for process needs 23.841 m³/tonne. Water consumption for re-used water for technological needs - 0.966 m³/tonne. Specific norm of water consumption for household and drinking needs - 0.037 m³/tonne.

The main technological processes that use process water for their optimal process.

A modern oil refinery uses hundreds of cubic meters of water per year in recycled water systems for production processes. In addition to recycled water, the refinery uses technical fresh water for production purposes. Water consumption for fire-fighting needs and for household and drinking water consumption by the refinery and its residential complex is envisaged.

Electric Desalting Unit. Oil coming to the refinery may contain up to 2% of water and up to 0.5% of dissolved salts. In order to ensure high performance of oil refining process units it is necessary to supply oil with salt content not more than 2 - 5 mg/l and 0.2% of water. That is why at refineries the oil coming from the fields is subjected to desalting and dehydration in electrodistillers at electric desalting unit, where under the action of electric current of high voltage there is a destruction of persistent water-oil emulsions. Electric dehydrators work in two stages.

The process is carried out in the presence of demulsifiers. Water required for oil desalting is supplied to the second stage of electrodehydrators. The water separated from the oil, as well as the water used in the desalting process, is discharged into the sewage system. It is contaminated with salts, oil products, mechanical impurities, demulsifiers.

Primary oil refining unit. Water at oil distillation units is used to cool oil products. At ATS unit's condensation of oil product vapors and gases is carried out by direct mixing of vapors with cold water in barometric condensates. Cooling water contaminated with oil products and hydrogen sulfide (when processing sulfuric oil) is discharged into the sewerage system. Barometric condensers are a significant source of contaminated wastewater generation. At modern refineries barometric mixing condensers are replaced

by surface type condensers (where there is no direct contact of water with oil products) with utilization of waste gases. When crude oil is distilled, the sulfur compounds it contains are converted to petroleum products. The presence of sulfur compounds in oil products is inadmissible, as they cause corrosion of equipment. Cleaning of oil products from sulfur compounds is carried out with 10 - 15% alkali solution (NaOH), which after repeated use is discharged into the sulfur-alkali sewage system. Concentration of spent alkaline solution is 1 - 2% contaminated with sodium sulfides, mercaptans, other sulfur compounds and phenols.

Thermal and catalytic cracking unit. At these units, products obtained during direct distillation of crude oil at ABT are subjected to thermal and catalytic cracking in order to increase the selection of light oil products. cooling and condensation of finished products is carried out with water from the recycling water supply system. Water is heated up to 45°C, and in coolers up to 70 - 80°C. In case of equipment malfunction the water becomes contaminated with oil products. When the recycling water supply system is purged, the contaminated water is discharged into the sewage system.

In addition, water is discharged from the water separator, where it is formed as a result of condensation of water vapor. Due to direct contact with oil products this water is significantly contaminated with hydrocarbons. At processing of sulfurous and highly sulfurous oils water process condensates contain a significant amount of ammonium sulfides and phenols.

Wastewater composition Wastewater pollution of oil refineries depends on the composition of the processed oil, the profile of the plant, the state of the process equipment, the correctness of connection of installations to sewerage systems. The quality of certain types of wastewater according to the main sources of their formation can be characterized as follows. The composition of process condensates obtained as a result of water vapor condensation in process units depends on the process, type of reagents and inhibitors used, oil quality.

The table shows the characteristics of process condensates formed during deep processing of sulfurous and high-sulfur crude oils. Plants refining sulfur and high-sulfur oils produce concentrated sulfur-alkali wastewater, which may have the following composition (at 10% concentration):

Table - 1.

Sulfur-alkaline wastewater.	
Sulfides	26000 mg/l
Sulfur	35000 mg/l
Volatile phenols	5000 mg/l
Alkalinity (NaOH)	100000 mg/l
Petroleum products	3000 mg/l
pH	14

Table – 2.

Calculation of water consumption and water discharge for technological needs of Pavlodar Oil Chemistry Refinery “POCR LLP” for 2020-2024

Days in a year	Water consumption m ³ /year				Losses m ³ /year	Reverse	Wastewater disposal	
	Overall:	Fresh industrial water	Recyclable	Reversible			I system	II system
Primary oil treatment facility								
365	47166,1	516,5	864,8	45784,8	1,6	45784,8	954,3	424,9
Deep Refining Production								
KT-1								
365	26329,1	29	405,4	25894,7	40,2	25894,7	0	394,2
Heavy Oil Residue Refining Production								
365	21987,6	0	2690,9	19269,7	1,6	19269,7	2084,1	605,2
Sulphur production and general plant facilities								
365	102267,2	549,9	3961,1	97756,2	47,8	97756,2	3038,9	1424,3

Industrial wastewater is generated when water is used in various technical processes. The quantity, composition and concentration of pollutants are determined by the following factors: type of industrial production and type of technological process, composition of raw materials and manufactured products, composition of fresh water and its intended purpose characteristics of the technological process. Concentrations of pollutants in wastewater of different enterprises are not uniform, fluctuate within wide limits over time in individual shops or in the enterprise as a whole. Uneven flow and concentration of wastewater can affect the performance of wastewater treatment plants and hinder their operation.

The performance of wastewater treatment plants is an impairment and hindrance to their operation.

Depending on the degree of pollution, industrial wastewater can be divided into three main categories:

- conditionally clean, causing no change in the physical or chemical composition of water in a body of water. It does not require treatment. Such water usually comes from heat-exchange equipment and is also generated during cooling of equipment and production;

- standardly treated water - water that has been treated to the maximum permissible concentration of pollutants and the discharge does not change the quality of the water body;

- polluted water - water discharged without treatment or with insufficient treatment, in which the concentration of pollutants exceeds the maximum permissible concentration.

Water discharged without treatment or with insufficient treatment in which the concentration of a pollutant exceeds the maximum permissible concentration in terms of dilution and self-purification in a water body.

Water bodies. Polluted wastewater is usually divided into three groups: polluted mainly by organic impurities, polluted mainly by mineral impurities and polluted by a mixture of these impurities. At most enterprises, both mineral and organic impurities are present in wastewater in some proportion.

Industrial wastewater poses the greatest threat to water bodies. They are much more difficult to treat than

municipal wastewater and require complex and expensive treatment facilities. The diversity of the composition and nature of pollutants contained in industrial wastewater requires the use of various physical, chemical, chemical and biological methods of treatment. Industrial wastewater is accepted into municipal sewerage systems with restrictions.

In the conditions of modern development, wastewater from chemical and petrochemical industries is one of the most serious sources of surface water pollution. Typical pollutants of wastewater are heavy metal ions and various organic substances contained in oil and petroleum products. Adsorption treatment is often used to reduce the concentration of pollutants in water to the level of maximum permissible concentrations.

Adsorption treatment method allows to remove dissolved and emulsified effluents, as well as unmixed hydrocarbons from wastewater with residual oil content up to 0.05 mg/ m³. Modern technologies do not provide sufficiently effective treatment of wastewater from heavy metal ions. After treatment with reagents, the residual content of metals is 1-5 mg/ m³, while the residual content of heavy metals for most metals is 0.1-0.001 mg/ m³. Absorption methods are also used for further treatment of low-concentration waters. These methods allow to extract substances from solutions of any concentration, including very low concentrations, at which other methods are ineffective.

Conclusion

In conclusion, we would like to note that the study of water consumption in the oil refining industry can lead to a significant improvement in the quality of treated wastewater and in the secondary use for make-up of recycling systems instead of fresh process water.

For realization of the given purpose, the analysis of scientific articles and publications, study of technical documentation and report of the enterprise of oil refining industry was made.

Optimization of water consumption at oil refineries can be achieved through a number of measures, including the use of modern technology and equipment, improving the efficiency of water use, recycling and reuse of wastewater.

In general, optimization of water consumption in the oil refining industry is an important and promising area that can lead to an increase in production efficiency and reduce the negative impact on the environment.

List of used sources

1. Чаудури У.Р. Нефтехимия и нефтепереработка. Процессы, технологии, интеграция. Пер. с англ. (2010 г., *Fundamentals of Petroleum and Petrochemical Engineering*) под ред. О.Ф. Глаголевой, И.А. Голубевой 2014 г.
2. Р. Мейерс. Основные процессы нефтехимии. Перевод с англ. (2004, *Handbook of Petrochemicals Production Processes*) под ред. Голубевой И.А.
3. Расчеты и установление удельных норм водопотребления и водоотведения для ТОО «ПАВЛОДАРСКИЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД» на 2020 – 2024 гг.
4. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдоожиженном слое катализатора. Перевод с англ. 3-го изд. (2012 г., *Fluid Catalytic Cracking Handbook, Third Edition: An Expert Guide to the Practical Operation, Design, and Optimization of FCC Units*)
5. Агибалова Н.Н. Технология и установки переработки нефти и газа. 2020 г. 308 стр.
6. BP. 2013. 'BP Statistical Review of World Energy. June 2013'. (<https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energyeconomics/statistical-review/bp-stats-review-2013-full-report.pdf>)
7. 2022. 'BP Statistical Review of World Energy 2022. 71st edition'. (<https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energyeconomics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>)

Евразийский Союз Ученых.

Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал

№ 04 (119)/2024 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Штерензон Вера Анатольевна

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

Синьковский Антон Владимирович

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

Штерензон Владимир Александрович

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

Зыков Сергей Арленович

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

Дронсейко Виталий Витальевич

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.