

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)

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

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

East European Scientific Journal

(Warsaw, Poland)

The journal is registered and published in Poland.

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

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

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)

Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)

Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)

Kehan Schreiner(Hebrew University)

Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Anthony Maverick(Bar-Ilan University)

Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)

Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)

Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)

Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska

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

SPIS TREŚCI

FARMACJA | ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Polyauk O. B., Korobko D. B., Logoyda L. S., Zarivna N. O. DEVELOPMENT AND VALIDATION OF METHODS OF ASSAY OF LORATADINE IN TABLET	5
Бихе К. Ф., Офицерова Ю. А., Дианова Д. Г. ИНФОРМИРОВАННОСТЬ ПАЦИЕНТОВ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ СИМПТОМАТИЧЕСКОЙ ФАРМАКОТЕРАПИИ ОСТРЫХ РЕСПИРАТОРНЫХ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ	10

NAUKI INŻYNIERYJNE I TECHNICZNE | ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Никулишин І., Піх З. ОДЕРЖАННЯ КООЛІГОМЕРІВ НА ОСНОВІ ВАЖКОЇ СМОЛИ ПІРОЛІЗУ	13
Никоненко В. А., Кропачев Д. Ю., Иванов В. А., Большев К. Н., Андреев А. С., Алексеев Р. З. РАЗРАБОТКА И ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ХЛАДОТРАВМ	19
Баштовой В. М. ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВИБРАЦИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГРУЗОВ ПО ДОРОГЕ С АСФАЛЬТНЫМ ПОКРЫТИЕМ	22
Чигринова Н. М., Воробьёва Е. И. ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ	27
Гатауллин Р. Н., Галимзянова А. Р. СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЯНЫХ И БИТУМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	33
Чернухин А. Ю., Князев В. В. СТРИМЕРНАЯ КОРОНА СО СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ	39
Кравченко Ю. В., Лещенко О. О., Микусъ С. А. ФУНКЦІОНАЛЬНА СТІЙКІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ	47
Кустов М. В., Калугин В. Д. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ	52
Кухаренко А. С. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ МЕТАПО-ВЕРХНОСТЕЙ	59
Кучеренко Д. Е. АНАЛИЗ СПОСОБОВ, ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ УВЛАЖНЕНИЯ И СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	67
Кучеренко Д. Е., Гранкина Н. А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОФИЗИОТЕРАПИИ	70
Левченко Е. А., Кузнецов И. Н., Илюшин В. В., Самохин А. В. ПЕРЕСТАНОВКА ШИН ПО ПОЗИЦИЯМ КАК ОДИН ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ФАКТОРОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ	75
Левченко Е. А., Кузнецов И. Н., Илюшин В. В., Самохин А. В. ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ РОССИИ, ПУТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	77
Мельник В. М., Карачун В. В. ДИСТАНЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНОМ В КУЛЬТУРАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	78
Ольга А. М. ПОРИЗАЦИЯ БЕСЦЕМЕНТНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ МАСС	82

Оразбекова М. Б., Молжанов Ш. А., Наурызбаев Е. Н., Даулетбаева Д. М., Тлеген М. Н., Нурумбетов Н. А. ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕТОДА ТОЧНЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ УСЛОВИЙ.....	86
Nikul S. O. METHOD OF SELECTION OPTIONS FOR COMPLEX TECHNICAL SYSTEM	97
Ткаченко Н. А., Скрипніченко Д. М. ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА М'ЯКИХ СИРІВ З ПРОБІОТИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	99
Канюк Г. И., Мезеря А. Ю., Фурсова Т. Н. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЭС ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ	108
Височиненко М., Харлай Л., Федюнин С. МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ЗАПРОСАМИ К УЗЛАМ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОЛЛИНГА	112
Кошевой Н. Д., Чистикова З. Э., Бельмега А. В. ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИМИТАЦИИ ОТЖИГА И БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА.....	115

BIOLOGIA | БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Березенко К. С. ФОРМУВАННЯ ТА РОЗИТОК СУЦВІТЬ У РОСЛИН РОДИНИ BRASSICACEAE НА ПРИКЛАДІ MATTHIOLA LONGIPETALA (VENT.) DC.....	119
Доброносое В., Комаров Ю. ПЯДЕНИЦЫ (LEPIDOPTERA, GEOMETRIDAE) РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ.....	125
Епимахое В. Г., Козьмин Г. В. УСТАНОВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИСХОДА ОСТРОГО ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ ОВЕЦ 144	
Власое В. В., Конуп Л. О. БАКТЕРІАЛЬНИЙ РАК ВИНОГРАДУ І БІОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ЗАХИСТУ ВІД НЬОГО.....	149
Лискина И. В., Мельник О. А. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕГОЧНОЙ ТКАНИ С ТУБЕРКУЛЕМОЙ В ФАЗЕ ПРОГРЕССИРОВАНИЯ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ВОСПАЛЕНИЯ	513
Рахимова Е. В., Нам Г. А., Ермекова Б. Д., Джетиенова У. К., Сакауова Г. Б. ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ КАРАТАУСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЫРДАРЬИНСКОГО КАРАТАУ	161
Сейлова Л. Б., Иманкулова С. К., Джексембиев Р. К. АСПЕКТЫ ЭМБРИОЛОГИИ АПОМИКСИСА У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ВЕТА.....	173

FARMACJA | ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF METHODS OF ASSAY OF LORATADINE IN TABLET

O.B. Polyauk

*PhD, Head of Pharmaceutical Chemistry Department
Ternopil State Medical University named after I. Ya. Horbachevsky (Ternopil, Ukraine)*

D.B. Korobko

*PhD, Dean of Pharmaceutical faculty, associate professor of Pharmaceutical Chemistry Department
Ternopil State Medical University named after I. Ya. Horbachevsky (Ternopil, Ukraine)*

L.S Logoyda

*PhD, Vice Dean of Pharmaceutical faculty, associate professor of Pharmaceutical Chemistry Department
Ternopil State Medical University named after I. Ya. Horbachevsky (Ternopil, Ukraine)*

N.O.Zarivna

*PhD, associate professor of Pharmaceutical Chemistry Department
Ternopil State Medical University named after I. Ya. Horbachevsky (Ternopil, Ukraine)*

ABSTRACT

The current pharmaceutical analysis has got more emphasis to satisfy our query for better understanding of physico-chemical properties of pharmaceutical compounds, by the use of advanced instrumental methods. The pharmaceutical industry is under increased scrutiny to constrain costs and yet consistently deliver to market safe, efficacious products that fulfill medical needs. As a part of this, drug analysis also plays an important role. Standard analytical procedure for newer drugs or formation may not be available in Pharmacopoeia; it is essential to develop new analytical methods which are accurate, precise, specific, linear, simple and rapid. Development and testing of new analytical methods represents our primary aim. Method of assay of loratadine in tablets by absorption spectrophotometry has been developed and validated. The basic validation parameters were specificity, linearity, range, accuracy (convergence), accuracy and robustness. Since fulfilled the eligibility criteria in respect of performance validation in accordance with the requirements of SPU, the method can be used for the determination of loratadine in tablets and can be included in the quality control methods for loratadine in tablets.

Keywords: loratadine, active pharmaceutical ingredient (API), tablets, spectrophotometry, validation.

Loratadine – one of the few medicines that can solve the problem of allergies complex. Worldwide, it has established itself as the most effective and safest antihistamine agent. Together with the H1-blocking effect it has many additional anti-allergic properties that are important in clinical practice because it has a wider range of therapeutic possibilities in the treatment of various allergic diseases, to avoid the appointment of a large number of other drugs. It's used to quickly achieve remission and relapse prevention spending allergic diseases, especially in children [1] and in treatment of complex allergic diseases such as asthma and allergic rhinitis, allergic conjunctivitis, atopic dermatitis and others.

In the pharmaceutical market of Ukraine presented as mono-drugs or some combination medicines containing loratadine.

Substance loratadine is among SPU monographs. According to SPU identification is carried out by absorption spectrophotometry in the infrared region of the spectrum [2]. Quantitative determination of loratadine in substance carried out by potentiometric titration. Due to the use of large quantities of organic solvents for the test, complexity and sustainability sample preparation and methods in general, the high cost of reagents and instruments - will increase the costs of analysis and create difficulties in the analysis, as the SFS contains

besides API, various excipients differently will influence the analysis. Also analyzed the literature data, quantification of loratadine in medicines by spectrophotometric methods is almost not described. Therefore, the above mentioned methods we have chosen to further study the quantitative determination of loratadine in tablets. The problem of the development of new methods for the quantitative determination of active pharmaceutical ingredients in medicines was and is still a problem today. Therefore, the development of new, more advanced and simple in execution methods of analysis of medicines remains a problem of modern pharmacy.

The purpose of the work was development and validation of spectrophotometric method of quantitative determination of loratadine in tablets.

Experimental

Materials and methods

The study was conducted on five samples of domestic producers loratadine tablets: «Zdorovja» (series 31012), «Lekchim» (series 100512), «Farmak» (series 330912), «Arterium» (series 40612), «Darnitsa» (series 200712). This used analytical equipment: spectrophotometer Carry 50, electronic scales AVT-120-5DM; measuring vessel class, appropriate reagents that meet the requirements of SPU and pharmacopoeia standard sample (CRS) of loratadine

(certificate number 11 / 1-243 of 02.12.13), acquired in the State Enterprise «Ukrainian Scientific Center pharmacopoeia quality of medicines».

Results and Discussion

Preliminary tests we have received ethanol and hydrochloric extracts of the research object that spectrophotometric and got absorption maxima. UV spectrum of ethanol extract of loratadine tablets has expressed intense absorption band at 248 ± 2 nm and hydrochloric removal of loratadine tablets - $248 \text{ nm} \pm 2$ and 274 ± 2 nm, respectively [1]. As a result of the experiment, we selected the proper conditions of sample preparation for quantitative determination of loratadine in tablets that let you choose the optimum ethanol as extragents because through him we got a pronounced absorption maximum in comparison with hydrochloric withdrawal.

Methods of quantitative determination of loratadine tablets.

Tested solution. The exact weight powdered tablets, equivalent to 0.0125 g of loratadine, placed in a volumetric flask 50.0 ml, add 20 ml of 96% alcohol R, dissolved within 5-10 minutes when heated in a water bath at 50°C , cooled and adjusted volume solution of 96% alcohol R to tags, stirred and filtered. 1.0 ml of this solution proves 96% alcohol R to 25.0 ml.

Reference solution. 12.5 mg loratadine CRS dissolved in 50.0 ml of 96% alcohol R. 1.0 ml of the solution adjusted 96%

alcohol R to 25.0 ml.

Compensation solution. 96% alcohol R.

Absorbance of the test solution and reference solution is measured at a wavelength of 248 nm regarding compensation solution.

Calculate the content of loratadine in one tablet, in g, based on the average tablet weight, based on the content specified in CRS loratadine.

Content loratadine tablets, g, calculated using the formula:

$$X = \frac{A_x \cdot m_o \cdot m_{avr}}{A_o \cdot m_{tot}}$$

where

A_o - optical density of the reference solution;

A_x - optical density of the tested solution;

m_o - weight of CRS loratadine sample, g;

m_{tot} - weight of powder sample pounded tablets, g;

m_{avr} - average weight tablets, g.

Content of loratadine should be 0,009 - 0,011 g in terms of the average weight of one tablet [3]. The results of the determination the content of loratadine in tablets «Loratadine» («Arterium») are shown in table 1.

Table 1

The results of the determination the content of loratadine in tablets «Loratadine» («Arterium»)

Mass of sample, g	The optical density A_i	Loratadine concentration in solution, mg / cm ³	Found loratadine in one tablet, mg	Metrological characteristics (P = 0.95 n = 5)
0,125	0,576	0,100	9,989	$\bar{m} = 9,983\text{mg}$ $S=0,048$ $t=2.78$ $\Delta m=0.6\text{mg}$ $m=9.983\pm 0.06\text{mg}$ $\epsilon=0.6\%$
0,125	0,575	0,100	10,000	
0,126	0,577	0,101	9,937	
0,125	0,576	0,100	9,937	
0,124	0,575	0,099	10,052	

The results of the trial indicate that none of the results of the largest error has not gone declared content of 0,009 - 0,011 g (table 1).

We also analyzed loratadine in tablets and other domestic manufacturers such as «Zdorovja», «Lekchim», «Farmak», «Darnitsa». The results of the tests are presented in table 2-5.

Table 2

The results of the determination the content of loratadine in tablets «Loratadine» («Zdorovja»)

Mass of sample, g	The optical density A_i	Loratadine concentration in solution, mg / cm ³	Found loratadine in one tablet, mg	Metrological characteristics (P = 0.95 n = 5)
0,150	0,518	0,120	8,993	$\bar{m} = 9,19\text{mg}$ $S=0,399$ $t=2.78$ $\Delta m=0,49$ mg $m=9,19\pm 0,49\text{mg}$ $\epsilon=5.33\%$
0,151	0,519	0,121	8,950	
0,150	0,519	0,120	9,901	
0,149	0,518	0,119	9,053	
0,149	0,518	0,119	9,053	

Table 3

The results of the determination the content of loratadine in tablets «Loratadine» («Farmak»)

Mass of sample, g	The optical density Ai	Loratadine concentration in solution, mg / cm ³	Found loratadine in one tablet, mg	Metrological characteristics (P = 0.95 n = 5)
0,240	0,557	0,192	9,670	$\bar{m} = 9,673 \text{ mg}$ $S=0,041 \text{ t}=2.78$ $\Delta m=0,052 \text{ mg}$ $m=9,673 \pm 0,052 \text{ mg}$ $\varepsilon=0.54\%$
0,241	0,558	0,193	9,647	
0,238	0,556	0,191	9,734	
0,240	0,558	0,192	9,687	
0,242	0,559	0,194	9,625	

Table 4

The results of the determination the content of loratadine in tablets «Loratadine» («Lekchim»)

Mass of sample, g	The optical density Ai	Loratadine concentration in solution, mg / cm ³	Found loratadine in one tablet, mg	Metrological characteristics (P = 0.95 n = 5)
0,170	0,530	0,136	9,201	$\bar{m} = 9,215 \text{ mg}$ $S=0,047 \text{ t}=2.78$ $\Delta m=0,059 \text{ mg}$ $m=9,215 \pm 0,059 \text{ mg}$ $\varepsilon=0.64\%$
0,171	0,531	0,137	9,165	
0,171	0,532	0,137	9,182	
0,168	0,528	0,134	9,276	
0,169	0,530	0,135	9,255	

Table 5

The results of the determination the content of loratadine in tablets «Loratadine» («Darnitsa»)

Mass of sample, g	The optical density Ai	Loratadine concentration in solution, mg / cm ³	Found loratadine in one tablet, mg	Metrological characteristics (P = 0.95 n = 5)
0,150	0,535	0,120	9,288	$\bar{m} = 9,317 \text{ mg}$ $S=0,058 \text{ t}=2.78$ $\Delta m=0,073 \text{ mg}$ $m=9,317 \pm 0,058 \text{ mg}$ $\varepsilon=0.62\%$
0,150	0,536	0,120	9,305	
0,148	0,534	0,118	9,396	
0,149	0,535	0,119	9,351	
0,151	0,536	0,121	9,244	

Every developed method of quantitative determination must be validated in accordance with the requirements of SPU. We conducted validation of methods of quantitative determination of loratadine in tablets.

Validation of analytical methods - is experimental evidence that the method is suitable for the task [3]. The validation was performed on the main validation parameters: specificity, linearity, precision, accuracy, robustness, range of application.

Linearity, convergence, accuracy and range of application methods have been studied in model solutions loratadine [3-6].

Research of the specificity

When photometric solution obtained with ethanol extraction model tablet mixture containing adjuvants and

prepared similar test solution, absorption was observed at wavelength (248 ± 2 nm), i.e placebo tablets analyzed in terms of quantitative determination prevents absorption bands, and thus does not affect the optical density in the quantitative determination.

Research linearity methods

Linearity studied within 50-150% of nominal concentrations of loratadine. Solutions with exactly known concentration obtained by diluting the appropriate standard solution and perform general procedure for the determination. Based on the data, building plot of optical density on the concentration of loratadine in normalized coordinates and calculated linear parameters (table 6).

Table 6

The results of the studying of linearity of quantification of loratadine in tablets

№	Ci, mg / ml	Cnorm, %	A	Anorm	Requirements and eligibility criterion
1	3,75	50	0,228	49,9	equation of the line: Anorm = 0,078•Cnorm – 0,156 Slope: b = 0,078 The point of intersection with the axis of ordinates: a = - 0,156 The correlation coefficient: r = 0,9999
2	4,50	60	0,275	60,2	
3	5,63	75	0,340	74,4	
4	6,75	90	0,411	89,9	
5	7,50	100	0,457	100,0	
6	8,63	115	0,526	115,1	
7	9,38	125	0,572	125,2	
8	10,50	140	0,637	139,4	
9	11,25	150	0,687	150,3	
The correlation coefficient: r = 0,9999				r ≤ 0,99974	performed
The residual variance = 0,1329 Residual standard deviation = 0,3903				S0/b ≤ 1,267	performed
The confidence interval constant a: Δa = 0,9229 a = - 0,1773				Δa ≤ 1,536	performed statistical criteria and practical significance

Calculation of the linear relationship (according to the table 6) to loratadine was conducted by the least squares method, according to the requirements of SPU [4]. As a result of studies, we found that the method characterized strict linearity, correlation coefficient greater than 0.99974 (criterion value), a small residual standard deviation over a wide range (from 50 to 150% in normalized coordinates). Graph of the optical density of the solution concentration is almost through the origin (the point of intersection with the axis of ordinates - 0.156), indicating no effect of background or excipients for optical density test solution in these conditions, and calculated confidence interval constant Δa confirms statistical and practical constant and insignificance.

Research precision

Precision expresses the degree of proximity or degree

of spread of results for a series of measurements made by this method in different samples of the same homogeneous sample. Table 7 shows the results of the research accuracy and convergence techniques. The results point to a convergence of methodology, its reasonable accuracy, because none of the results has an error more than 4.8% (complete uncertainty analysis result ΔAs = 4,8 with deviations content in compliance with SPU).

Research correctness

The tests were performed on standard solutions loratadine by «input-output». The test results are shown in table 7. As follows from the resulted results performed insignificance criterion practical bias, indicating that the latter is insignificant in comparison with a maximum uncertainty analysis.

Table 7

Results of testing methods for the quantitative determination of loratadine accuracy and convergence

№	Ci input, %	Ci output, %	Z=Ci output •100 / Ci input, %
1	50	49,9	99,8
2	60	60,2	100,3
3	75	74,4	99,2
4	90	89,9	99,9
5	100	100,0	100,0
6	115	115,1	100,1
7	125	125,2	100,2
8	140	139,4	99,6
9	150	150,3	100,2
Arithmetic mean, \bar{Z}			99,9
The relative standard deviation, Sz%			0,35

Continue

The relative confidence interval, Δz%		0,65
Critical values for convergence of results Δz% ≤ 4,8	≤ 4,8	Performed
Criterion statistical insignificance bias δ, % = $ \bar{Z} - 100 \leq \Delta z / \sqrt{n}$	≤ 0,265	Performed
Criterion practical significance of bias δ, % = $ \bar{Z} - 100 \leq 0,32 \cdot \Delta As$	≤ 1,536	Performed
The overall conclusion about the method		Correct

Research robustness

To study this index was chosen such parameter as the stability of the sample solution in time (prepared by the methodology). As HFCs are not regulated through the period

of time necessary measure after preparation of the solution, so we chose a range of time - 2 hours. The results are shown in table 8, Δt ≤ maxδ = 1,02%, so the solution is stable for 2 hours (table 8).

Table 8

Study of the stability of the test solution and reference solution

№	t, min							Average	RSDt, %	Δt, %	maxδ, %
	0	20	40	60	80	100	120				
1	0,572	0,569	0,568	0,568	0,568	0,569	0,569	0,569	0,224	0,31	1,02
2	0,569	0,569	0,569	0,569	0,569	0,569	0,569	0,569	0,044	0,06	

Examining linearity, precision and accuracy of methods ranging from 50 to 150% of the nominal content loratadine, one could argue that the technique can withstand the requirements of HFCs, on a range of applications - for the quantitative determination of substances of medicines or dosage forms of 80 to 120% of the nominal content. So we developed a spectrophotometric method of quantitative determination of loratadine in tablets, conducted its validation. The basic validation parameters were specificity, linearity, range, accuracy (convergence), accuracy and robustness. Since fulfilled the eligibility criteria in respect of performance validation in accordance with the requirements of SPU, the method can be used for the determination of loratadine in tablets and can be included in the quality control methods for loratadine in tablets.

Conclusions:

1. developed spectrophotometric method of assay of loratadine in tablets. Validation of methods of quantitative determination of loratadine in tablets was conducted.
2. the validation parameters investigated methods of quantitative determination were specificity, linearity, range, accuracy (convergence), correctness, robustness.
3. since fulfilled the eligibility criteria in respect of performance validation in accordance with the requirements of HFCs, then this technique can be recommended to determine

the quantitative content APIs in tablets and included in the quality control methods for loratadine in tablets.

References

- 1) Korobko D.B., Polyauk O.B., Logoyda L.S et al. Development and validation of methods for identification of loratadine tablets. Actual questions of pharmaceutical and medical science and practice. (2014) 1:55-58.
- 2) State Pharmacopoeia of Ukraine: in 3 vol. / State Enterprise «Ukrainian Scientific Center pharmacopoeia quality medicines». - 2nd ed. - Kharkiv: State Enterprise «Ukrainian Scientific Center of Quality pharmacopoeia of medicines» (2014) 2:724.
- 3) State Pharmacopoeia of Ukraine / State Enterprise «Scientific and Expert Centre pharmacopoeia». - 1st ed. - Appendix 2 - Kharkiv: State Enterprise «Ukrainian Scientific Center of Quality pharmacopoeia of medicines» (2008):620.
- 4) Grizodub A.I. Reproducibility of pharmacopoeial methods of spectrophotometric quantitation of medicines in different laboratories. Farmakom. (2004) 2:20-34.
- 5) Grizodub A.I. Standard procedures validation techniques drug of quality control. Farmakom. (2006) 1-2:35-44.
- 6) Guidelines for the validation of methods of analysis of medicines / Under. Ed. N.V Yurgel, A.L Mladentsev. - Moscow (2007):57.

ИНФОРМИРОВАННОСТЬ ПАЦИЕНТОВ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ СИМПТОМАТИЧЕСКОЙ ФАРМАКОТЕРАПИИ ОСТРЫХ РЕСПИРАТОРНЫХ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Бихе К.Ф.

студентка, Пермская фармацевтическая академия

Офицерова Ю.А.

студентка, Пермская фармацевтическая академия

Дианова Д.Г.

кандидат медицинских наук, Пермская фармацевтическая академия

INFORMING PATIENTS ABOUT THE USE OF MEDICINAL PREPARATIONS FOR PRE- SYMPTOMATIC PHARMACOTHERAPY OF ACUTE RESPIRATORY VIRAL INFECTIONS

Bihe K. F., student, Perm Pharmaceutical Academy

Oficerova Y.A., student, Perm Pharmaceutical Academy

Dianova D.G., candidate of Medical Sciences, Perm Pharmaceutical Academy

АННОТАЦИЯ

В статье изучен выбор симптоматической терапии острых респираторных вирусных инфекции на основе анкетирования пациентов в аптечном пункте. Целью исследования явилось изучить информированность пациентов об использовании комбинированных лекарственных препаратов для симптоматической фармакотерапии острых респираторных вирусных инфекций. В ходе настоящего исследования установлено, что пациенты недостаточно и поверхностно информированы об основных характеристиках лекарственных препаратов, которые они выбирают для симптоматической фармакотерапии заболеваний дыхательного тракта. Очевидно, аптечные работники должны прилагать все усилия по информированию и консультированию пациентов.

ABSTRACT

In article the choice of symptomatic therapy sharp respiratory virus infections on the basis of questioning of patients in pharmaceutical point is studied. A research objective was to study knowledge of patients of use of the combined medicines for symptomatic pharmacotherapy of sharp respiratory viral infections. During the real research it is established that patients it is insufficiently and are superficially informed on the main characteristics of medicines which they choose for symptomatic pharmacotherapy of diseases of a respiratory path. Obviously, pharmaceutical workers have to make all efforts on informing and consultation of patients.

Ключевые слова: острые респираторные вирусные инфекции, симптоматическая фармакотерапия, комбинированные препараты для лечения ОРВИ.

Keywords: sharp respiratory viral infections, symptomatic pharmacotherapy, the combined preparations for treatment of a SARS.

В настоящее время медицинская статистика показывает, что на протяжении 60 лет своей жизни около семи лет человек болеет различными простудными заболеваниями [1, с. 4]. Эпидемиологические данные говорят о том, что заболеваемость острых респираторных вирусных инфекций (ОРВИ) среди взрослых и детей составляет 2-3 и 6-8 эпизодов в год соответственно [2, с. 651; 3, с. 80].

ОРВИ включает в себя целый ряд острых инфекций вирусной этиологии, поражающих преимущественно верхние отделы дыхательных путей и характеризующихся, как правило, легким и непродолжительным течением и общностью клинических симптомов (гипертермия, ринорея, кашель, общее недомогание). Сезонный подъем заболеваемости ОРВИ длится в России с сентября-октября по март-апрель.

ОРВИ до настоящего времени являются одной из наиболее актуальных проблем практического здравоохранения ввиду чрезвычайно высокого уровня заболеваемости, обычно носящего характер сезонных эпидемий. Основной экономический ущерб от инфекционных заболеваний во всем мире приходится на долю ОРВИ, временная нетрудоспособность от которых составляет 25-30% случаев от всех заболеваний, травм и ухода за больными [4, с. 14]. За период с 25 по 31 января 2016 г. в Пермском крае зарегистрировано 40,4 тыс. случаев гриппа и ОРВИ, показатель заболеваемости составил 154,4 на 10 тыс. населения, что выше недельного эпидемического порога на 100% [5].

Существующая актуальная проблема фармакотерапии ОРВИ, в том числе и симптоматической фармакотерапии, обусловлена разнообразием клинических проявлений, требующих одновременного назначения нескольких лекарственных средств из разных фармакологических групп [6, с. 200].

В настоящее время наибольшую популярность среди безрецептурных препаратов для симптоматического лечения ОРВИ получили комбинированные лекарственные препараты. Объем рынка данных препаратов характеризуется неуклонным ростом, занимая до 90% объема сегмента средств для симптоматической терапии ОРВИ [7, с. 48]. В настоящее время в Российской Федерации зарегистрированы более чем 50 различных комбинированных препаратов, поэтому проблема выбора лекарственного средства для ответственного самолечения ОРВИ представляется нелегкой задачей [7, с. 50].

Очевидно, на сегодняшний день является актуальным изучить информированность пациентов об использовании комбинированных лекарственных препаратов для симптоматической фармакотерапии ОРВИ [8, с. 61].

Анкетирование проводилось на анонимной и добровольной основе среди пациентов аптечного пункта. Было роздано, возвращено и включено в обработку 100 анкет. Среди опрошенных - 56 мужчин (56%) и 44 женщины (44%). Из общего числа респондентов 22 человека в возрасте до 20 лет (22%), 41 человек (41%) - от 20 до 30 лет, от 30 до 40 лет - 25 человек (25%), в возрасте 40-50 лет - 10 человек (10%) и два человека старше 50 лет (2%). Большая часть респондентов болеет 1 раз в год - 41 человек (41%), 31 человек (31%) болеет раз в полгода, болеют редко (не более одного раза в два года) - 24 человека (24%) и 4 человека (4%) болеют один раз в месяц.

В ходе анкетирования проанализирована степень информированности респондентов о возможности использования комбинированных препаратов для фармакотерапии ОРВИ.

По результатам настоящего исследования установлено, что для симптоматического лечения ОРВИ 28 человек (28%) выбирают терафлю, 18 человек (18%) колдрекс, 5 человек (5%) максиколд, анвимакс выбирают 13 человек (13%) и фервекс 17 человек (17%). Однако, 19 человек (19%) не принимают комбинированные препараты для

симптоматического лечения, так как предпочитают только этиотропную терапию (рис 1).

По результатам опроса выявлено, что большинство респондентов впервые о препарате, который они выбирают для симптоматической фармакотерапии ОРВИ, узнали в аптечном пункте, что составляет 49 человек (49%), 15 человек (15%) приобретали препарат по рекомендациям знакомых. Однако 15 человек (15%) отметили, что впервые о препарате узнали из рекламы, а 14 человек (14%) из сети интернет. Всего 6 человек (6%), опрошенных в ходе анкетирования, получили информацию о приобретаемом препарате на конференциях/лекциях и 3 человека (3%) узнали о препарате на приеме у врача. Пациенты, участвующие в анкетировании, не интересуются о возможных побочных эффектах препарата, который они приобретают самостоятельно, особенно, если источником является реклама. Пациенту необходимо разъяснить о безопасности применения определенных лекарственных средств без назначений врача.

Анкетирование показало, что консультацию у провизора по приобретенному препарату для снятия симптомов ОРВИ получили всего 49 человек (49%).

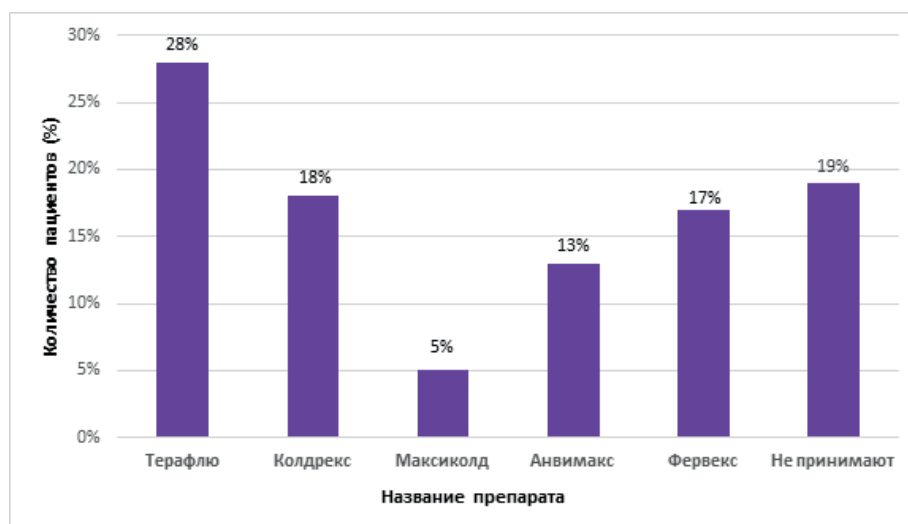


Рисунок 1. Информированность респондентов о возможности использования комбинированных препаратов для фармакотерапии ОРВИ.

Таким образом, в ходе настоящего исследования установлено, что пациенты недостаточно и поверхностно информированы об основных характеристиках лекарственных препаратов, которые они выбирают для симптоматической фармакотерапии ОРВИ. Пациент имеет право на получение информации о назначенном ему препарате, его основных воздействиях на организм, возможных побочных эффектах, но эту информацию он должен получать от врача или провизора, в рамках их квалификации. Именно специалисты способны преподнести объективную лекарственную информацию в доступной форме. Отсутствие достаточных знаний о пользе и риске использования лекарственных препаратов, может привести к тому, что пациент не только не получит ожидаемого лечебного эффекта, но и пострадает от нежелательных побочных эффектов. Очевидно, аптечные работники при контакте с пациентами выполняют важные функции - это информирование и консультирование по рекомендуемому препарату.

Список литературы:

1. Колесник М. Клиническая фармация: наука и практика / М. Колесник // Провизор. - 2007. - №23. - С. 4.
2. Gwalthey J. The common gold / G.L. Mandell, J.F. Bennet, R. Dolin // Principles and practice of infectious diseases, 5th edn. Philadelphia: Churchill Livingstone. - 2000. - P. 651-665.
3. Allen P. Management of common cold symptoms with over-the-counter medications: clearing the confusion / P. Allen, S. Simenson // Postgrad. Med. - 2013. - №125 (1). - P. 73-81.
4. Шаханина И.Л. «Стандартные» величины экономического ущерба, наносимого инфекционными болезнями / И.Л. Шаханина, Л.А. Осипова // Эпидемиология и инфекционные болезни. - 1999. - № 5. - С. 14.
5. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://59.rosпотребнадzor.ru>. - В Пермском крае

продолжается эпидемия гриппа и ОРВИ. – (Дата обращения: 08.02.2016).

6. Зайцева Д. Оценка источников информации лекарственных препаратах специалистами фармацевтического профиля / Д.А. Зайцева, Д.Г. Дианова // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества: материалы международной научно-практической конференции (Москва, 30 июня. 2015 год).

– Москва, 2015. – С. 198-200.

7. Зайцев А. Медицина и здравоохранение / А.А. Зайцев // Архивъ внутренней медицины. – 2012. – №4. – С.48-50.

8. Anisimova A.N. Knowledge of pharmacists of possibility of use of immunomodulators of a bacterial origin in pediatrics / Anisimova A.N., Dianova D.G. // International research journal. – 2015. – №11 (42). – I. 5. – № С. 57-61.

NAUKI INŻYNIERYJNE I TECHNICZNE | ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ОДЕРЖАННЯ КООЛІГОМЕРІВ НА ОСНОВІ ВАЖКОЇ СМОЛИ ПІРОЛІЗУ

Ірена Никулишин

Доктор технічних наук,
доцент кафедри технології органічних продуктів,
Національний університет "Львівська політехніка"

Зорян Піх

Доктор хімічних наук,
професор, завідувач кафедри технології органічних продуктів,
Національний університет "Львівська політехніка"

COOLIGOMERS PRODUCTION ON THE BASE OF HEAVY PYROLYSIS TAR

Irena Nykulyshyn, Doctor of Engineering Science, docent, Lviv Polytechnic National University

Zorian Pikh, Doctor of Chemical Science, professor, Lviv Polytechnic National University

АНОТАЦІЯ

Термічний піроліз вуглеводневої сировини у трубчатих печах надалі є стратегічним процесом виробництва етилену та пропілену. На сьогодні увага науковців зосереджена на можливості інтенсифікування процесу піролізу з метою досягнення максимального виходу цільового продукту. Проте, сумісно з олефінами (цільовими продуктами), процес піролізу є джерелом одержання важкої смоли піролізу. Потужний розвиток нафтохімічної промисловості вимагає створення нових способів використання побічних продуктів піролізу. Актуальне екологічне навантаження на довкілля істотно погіршується внаслідок істотного зростання темпів нарощування виробництва етилену. Показано можливість використання промислових відпадків – важкої смоли піролізу – як сировини для виробництва нафтополімерних смол. Це сприятиме збільшенню ефективності підприємств нафтохімії та зменшенню негативного впливу на довкілля.

ABSTRACT

Thermal gas-phase pyrolysis of hydrocarbon raw materials in pipe furnaces remains to be the main strategic process of ethylene and propylene production. Nowadays, the possibility of the pyrolysis process intensification to increase the target product yield draws attention of scientists. But besides the olefins (target products) the pyrolysis process is the source of heavy pyrolysis pitch. Considerable development of petrochemical industry requires finding new applications of the by-products from pyrolysis gas and liquid pyrolysis products. Nowadays, environmental safety considerably deteriorates because of great volume and high increasing rate of ethylene production. Reasonability of the industrial wastes – heavy pitch of pyrolysis – using as a component of the feedstock in synthetic petroleum resins production is asserted. This improves production efficiency of petrochemical plants and decreases environmental effects.

Ciepła parowa piroliza węglowodorowych surowców w piecach rurowych nadal zostaje strategicznym procesem produkcji etylenu i propylenu. Na obecnym etapie przyciągnęły uwagę naukowców możliwości wariantów intensyfikacji procesu pirolizy aby zmaksymalizować wydajność docelowego produktu. Jednak wraz z olefinami (produktami docelowymi) proces pirolizy jest źródłem uzyskania ciężkiej żywicy pirolizy. Potężny rozwój przemysłu petrochemicznego wymaga znalezienia nowych sposobów wykorzystania produktów ubocznych z gazu pirolitycznego i ciekłych produktów pirolizy. Aktualnie środowiskowe bezpieczeństwo istotnie pogarsza się przez dużą skalę i tempo wzrostu produkcji etylenu. Wykazano celowość wykorzystania odpadów przemysłowych - ciężkiej żywicy pirolizy - jako składnika do produkowania syntetycznych żywic ropopochodnych. Zwiększa to efektywność zakładów petrochemicznych oraz prowadzi do zmniejszenia presji wywieranych na środowisko.

Ключевые слова: важка смола піролізу, каталітичний комплекс, коолігомеризація, темні нафтополімерні смоли.

Keywords: heavy pyrolysis tar, catalytic complex, cooligomerization, dark hydrocarbon resins.

Загальне формулювання проблеми. Піроліз вуглеводневої сировини на сьогодні й надалі залишається основним стратегічним процесом виробництва етилену та пропілену. Увага дослідників прикута до пошуку варіантів інтенсифікації процесу піролізу з метою досягнення максимального виходу цільових продуктів. Проте, поряд з нижчими олефінами (цільовими продуктами), процес піролізу є джерелом отримання важких смол піролізу (ВСП). Розвиток нафтохімічної промисловості і введення в експлуатацію великотонажних етиленових установок ви-

магає пошуку нових шляхів використання побічних продуктів, що утворюються при піролізі рідкої і газоподібної нафтової сировини. Актуальність питань підвищення екологічної безпеки процесу піролізу посилюється великими масштабами і темпами нарощування потужностей етиленового виробництва у світі і тенденцією до використання важкої піролізної сировини. Вихід важкої смоли в основному залежить від фракційного складу вихідної сировини і умов піролізу та змінюється в достатньо широких межах – від 3-4 до 40 % мас. [1, 2].

Відомо, що основним промисловим процесом виробництва ненасичених вуглеводнів C_2 - C_4 є термічний піроліз вуглеводневої сировини в трубчатих печах [1]. Поряд з газоподібними олефінами при піролізі утворюється значна кількість рідких вуглеводнів C_5 і вище, вихід яких залежить від вихідної сировини і умов піролізу. Рідкі продукти піролізу розділяють на піроконденсат (піробензин або легка смола піролізу) і важку смолу піролізу.

У фракціях C_8 - C_9 , що википають при 393-473 К, сконцентровані алкенилароматичні вуглеводні і дициклопентадієни. Важка смола піролізу виділяється при ступінчатій конденсації парогазової суміші продуктів піролізу, що виходять з печі. Переважна частина вуглеводнів важкої смоли википає при температурі вище 473 К [1-3]. Важкі смоли піролізу, одержані з різної сировини, мають близькі за значеннями характеристики: густину 1003-1140 кг/м³, молекулярну масу 274-334 та подібний елементарний і груповий склад, що визначає їхнє подальше використання при переробленні у цінні продукти.

Низький вміст сірки зумовлює можливість одержання зі смол піролізу малосірчистих вуглецьвмісних композиційних матеріалів, що є суттєвим з екологічної точки зору. ВСП практично не містить гетероциклічних сполук, що вигідно відрізняє її від смоли коксування кам'яного вугілля. Тому її перероблення не вимагає складних технічних рішень і вартісних технологічних операцій, пов'язаних з очищенням смоли від сірко-, азот- та кисеньвмісних сполук.

В даний час практичну реалізацію в промисловому масштабі знайшли наступні напрями використання важкої смоли піролізу як: сировини для виробництва технічного вуглецю, для процесу коксування, отримання нафталіну; компоненту котельного палива для установок різного призначення; компоненту мазуту; у асфальто-бітумних композиціях; суперпластифікатору бетону; у виробництві піропласту (аналог стирольно-інденових смол). Основними загрозливими напрямками шкідливої дії смоли піролізу на довкілля є забруднення атмосфери, водою та ґрунту внаслідок викидів, витоку, порушення правил зберігання, аварійних ситуацій. Одним із напрямів негативної дії ВСП на довкілля є їх заховорення та спалювання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведені дослідження щодо можливості використання ВСП як сировини для одержання вуглець-графітових матеріалів [4]. Розглянута також можливість використання ВСП у виробництві «сухої» анодної маси для кольорової металургії [5].

Вуглецеві волокна займають особливе місце посеред конструкційних матеріалів завдяки унікальним властивостям – невелика питома вага, хімічна стійкість в агресивних середовищах, міцність при високих температурах та ін. Дешевою, доступною та перспективною сировиною для одержання високомодульних вуглецевих волокон є анізотропні пеки з високоароматичних залишків нафтопереробки. Як сировина для одержання мезофазних пеків обрана важка смола піролізу з установки виробництва етилену ОАО «Газпромнефтехим Салават». Високий вміст

вуглецю, оптимальний груповий склад ВСП (відсутність карбонідів, високий вміст асфальтенів, смолянистих і ароматичних компонентів) є передумовою формування високоанізотропної вуглецевої мезофази [6, 7].

Внаслідок високого вмісту у важкій смолі піролізу смол та асфальтеноподібних компонентів, що володіють депресорною активністю, ВСП може бути використана як сировина для одержання депресорних присадок до нафти. Проте використання власне важкої смоли піролізу є затрудненим через нестабільність властивостей і необхідність введення високих концентрацій. Запропонований спосіб одержання депресорних присадок на основі темних нафтополімерних смол, одержаних в результаті окиснення ВСП киснем повітря в інтервалі температур 413-493 К у присутності солей жирних кислот металів змінної валентності [8].

Як один із варіантів використання ВСП запропонований процес її окислювальної полімеризації шляхом барботування повітря (20-40 год-1) в інтервалі температур 433-493 К у присутності солей Co_3^{+} та Mn_3^{+} з одержанням темних нафтополімерних смол (ТНПС). Синтезовані ТНПС характеризуються температурою розм'якшення 333 – 343 К, виходом 50,8 – 59,7 % мас. До недоліків технології належать високі температура (473-483 К) та тривалість процесу (8-9 год.) [9]. Особливі фізико-хімічні властивості та склад смоли піролізу дозволяють використовувати її також як гідрофобізатор та активатор сипких мінеральних відпадків енергетичних підприємств (золи теплоелектростанцій). Вказаний продукт після обробки важкою смолою піролізу може бути використаний у виробництві асфальтобетону. Композиція для попередження асфальтосмолопарафінових відкладень на основі рідких продуктів піролізу, використана у кількості 0,03-0,05% від маси нафти, містить темну нафтополімерну смолу, одержану окислювальною полімеризацією ВСП (барботування повітря з витратою 17-23 год-1, за температури 418-428 К у присутності солей кобальту впродовж 2-2,5 годин) [10-12].

Мета досліджень. Відтак, масштаби виробництва ВСП перетворюють її з відпадку на один з цільових продуктів, від доцільного використання якого істотно залежить економічна ефективність етиленової установки загалом. Вирішенню проблеми раціонального використання важких фракцій піролізу дотихчас не вистарчає ширшого діапазону рішень. На більшості вітчизняних заводів, що мають відповідні установки, переробка цих фракцій не була передбачена проектом. Проте, важкі фракції рідких продуктів піролізу є продуктами, що мають значний потенціал для подальшого застосування. На жаль, найчастіше ресурси важкої смоли піролізу використовуються як компонент котельного палива. Такий спосіб утилізації є економічно недоцільним та екологічно небезпечним. Тому важливо родробити технологію, яка б дозволила раціонально переробляти ВСП у цінні продукти. Основні фізико-хімічні показники досліджуваної важкої смоли піролізу подано у таблиці 1, а вуглеводневий склад - на рисунку 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники важкої смоли піролізу

Показник якості		Значення показника	Результати аналізу
1		2	3
1.	Густина при 15,5°C, г/см ³	1,06 – 1,095	1,085
2.	Температура застигання, °C, не вище	27	+5
3.	Температура спалаху, °C, (у відкритому тиглі), не нижче	72	89
4.	В'язкість при 99 °C, не більше	120	97
5.	Коксівність (коксове число), % не більше	18,5	15,1
6.	Масова частка сірки, % не більше	0,6	0,04
7.	Масова частка води, % не більше	0,5	0,12
8.	Зольність, % не більше	0,03	0,01
9.	Масова частка іонів натрію, % не більше	0,003	0,0003
10.	Масова частка іонів калію, % не більше	0,0003	0,00005



Важка смола піролізу містить конденсовані ароматичні вуглеводні з алкільними замісниками (20,24 % мас.), олігомери алкенилароматичних вуглеводнів, асфальтени та ін. (рис.1). Значний вміст ароматичних вуглеводнів і високе значення бромного числа (64,4 гBr₂/100г) свідчать про схильність важких смол піролізу до реакцій ущільнення (конденсації, полімеризації, коолігомеризації) [10]. Тому завданням досліджень є визначення оптимальних технологічних параметрів процесу гомогенно-каталітичної коолігомеризації компонентів важкої смоли піролізу з одержанням коолігомерних продуктів - так званих нафтополімерних смол [11].

Результати та обговорення. Найважливішими чинниками процесу одержання нафтополімерних смол каталітичним методом є: склад фракції, загальна концентрація мономерів, їх співвідношення у реакційній суміші, природа та концентрація каталізатора, температура та тривалість процесу. Використання кислот Льюїса ("кла-

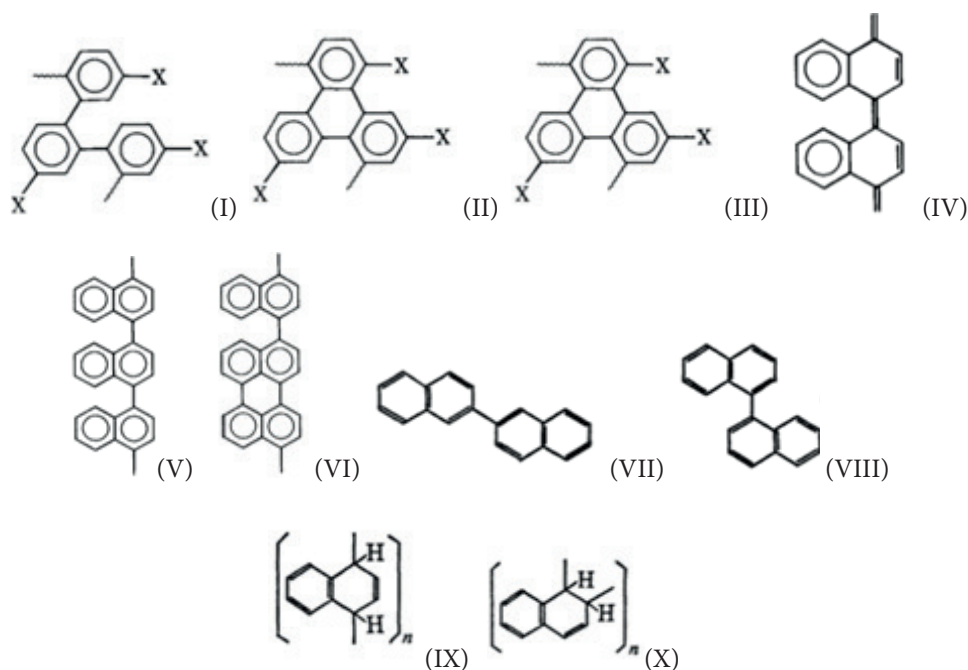
сичних" каталізаторів Фріделя-Крафтса) з метою одержання НПС пов'язане з труднощами технологічного характеру: чутливість каталізатора до вмісту вологи, висока корозійна агресивність, складність дозування сипких та газоподібних сполук. Застосування гомогенних каталітичних комплексів на основі кислот Льюїса має ряд переваг: доступність, легкість та точність дозування у промислових умовах, рівномірність розподілу в реакційному середовищі, тривале збереження каталітичної активності, забезпечення високого виходу НПС, можливість ведення коолігомеризації у гомогенному середовищі та варіювання в достатньо широких межах параметрів процесу і, відповідно, властивостей отриманих смол. Враховуючи вищезазначене, досліджено закономірності одержання на основі важкої смоли піролізу темних нафтополімерних смол (ТНПС) в присутності гомогенних каталізаторів – тетрахлориду титану (TiCl₄) та каталітичного комплексу алюміній хлориду (AlCl₃) з етилацетатом (EA) у середо-

вищі ксилену (КС). Попередньо встановлено оптимальне мольне співвідношення компонентів каталітичної системи: $AlCl_3 : EA : KC = 1,0 : 0,5 : 2,0$. Використання гомогенних каталітичних комплексів у процесах коолігомеризації побічних продуктів піролізу вуглеводнів відображено у працях [12-16].

Результати досліджень щодо залежності виходу та фізико-хімічних показників ТНПС від чинників процесу наведено у таблиці 2. З'ясовано, що вплив температури процесу коолігомеризації та концентрації каталізатора з використанням гомогенних каталізаторів має подібний характер. Підвищення концентрації каталізатора до 2,5 % мас. призводить до зменшення молекулярної маси одержаних смол в усьому досліджуваному діапазоні температур (табл.2).

У працях [10, 17] висвітлено, що у присутності високої концентрації каталітичних центрів на основі алюміній хлориду у коолігомері можуть бути реалізовані полінуклеарні структури (I), (II) та (III). Бромне число синтезованих темних нафтополімерних смол є достатньо високим (44,9

...53,1 гBr₂/100г, табл.2). Очевидно, як запропоновано авторами [17], альтернативно, полінуклеарні структури можуть утворюватися також із ненасиченими зв'язками на кінцях полімерного ланцюга (IV). У присутності тетрахлориду титану коолігомеризація відбувається за механізмом послідовних реакцій [10, 18]. У початковому періоді реакції спостерігається коолігомеризація найактивніших ненасичених сполук (вихід ТНПС – 59,4%мас., табл.2). Надалі відзначено індукційний період і коолігомеризацію менш активних сполук, при цьому вихід зростає лише на 0,3 % мас. впродовж наступних 2,5 год. процесу. Показник кольору синтезованих продуктів - надзвичайно високий (понад 2600 мг I₂/100 см³), що є характерним для даної сировини. Ймовірно, можуть формуватися вищевказані структури (V,VI), які погіршують колір смоли. З літературних джерел [17] відомо, що у присутності кислот Льюїса в системі можуть відбуватися процеси конденсації ароматичних сполук. ВСП містить значну кількість нафталіну та його похідних (рис.1), продуктами конденсації яких, зокрема, є структури (VII – X).



На основі отриманих залежностей як оптимальні приймаємо концентрацію каталізатора 1,0 % мас. та температуру коолігомеризації 373 К. Оцінюючи вплив тривалості реакції на перебіг процесу встановлено, що проводити коолігомеризацію понад 2 год. недоцільно. За вказаних умов вихід ТНПС – високий (59,6 % мас. – для $TiCl_4$ та

59,4% мас.-для КК). Для порівняння, коолігомеризацію ВСП провели за аналогічних умов термічним способом ($T = 373 K$) без використання каталізатора. Одержано НПС зі значно нижчим виходом (44,2 % мас., порівнюючи з катіонним процесом) і характеристиками: бромне число - 47,3 гBr₂/100 г, молекулярна маса - 425, температура розм'якшення – 354 К.

Залежність виходу та фізико-хімічних показників ТНПС від чинників процесу

Умови коолігомери- зації/Чинники	Вихід ТНПС, % мас.	Бромне число ТНПС, гBr ₂ /100 г	ММ ТНПС	T _{розм'якшення} ТНПС, К
Тривалість коолігомеризації – 1 год., Скат. – 1,0 % мас.				
Каталізатор - TiCl ₄				
T=333 К	56,0	42,3	720	370
T=353 К	57,1	44,7	680	360
T=373 К	59,4	45,9	650	359
T=393 К	56,0	49,5	640	356
Каталізатор - AlCl ₃ : EA : KC				
T=333 К	53,2	48,9	610	364
T=353 К	55,1	48,5	570	355
T= 373 К	57,0	47,0	560	350
T=393 К	59,8	47,9	520	346
Температура коолігомеризації – 373 К, Скат. – 1,0 % мас.				
Каталізатор - TiCl ₄				
τ = 1 год.	59,4	45,9	650	359
τ =2 год.	59,6	44,6	640	358
τ =3,5 год.	59,7	45,9	650	359
Каталізатор - AlCl ₃ : EA : KC				
τ = 1 год.	57,0	47,0	560	350
τ = 2 год.	59,4	45,3	510	353
τ = 3,5 год.	58,7	46,4	490	352
Температура коолігомеризації – 373 К, τ =3,5 год.				
Каталізатор - TiCl ₄				
Скат. – 0,5 % мас.	53,1	47,6	700	363
Скат. – 1,0 % мас.	59,7	45,9	650	359
Скат. – 2,5 % мас.	58,6	43,8	460	357
Каталізатор - AlCl ₃ : EA : KC				
Скат. – 0,5 % мас.	48,2	53,1	760	352
Скат. – 1,0 % мас.	58,7	46,4	490	352
Скат. – 2,5 % мас.	58,5	44,9	600	351

Висновки. Особливості хімічної природи важкої смоли піролізу визначають її роль як одного з продуктів етиленового виробництва, від раціонального використання якого залежить екологічна та економічна ефективність установки піролізу. ВСП є найдешевшою із фракцій рідких продуктів піролізу, тому новий перспективний метод її використання у складі сировини для синтезу нафтополімерних смол дозволить здешевити вартість останніх, а також розширити асортимент НПС.

Список літератури:

1.Думский Ю.В. Химия и технология нефтеполимерных смол / Ю.В.Думский, Б.И.Но, Г.М.Бутов. – М.: Химия, 1999. – 312 с.

2.Беренц А.Д. Переработка жидких продуктов пиролиза / А.Д.Беренц, А.Б.Воль-Эпштейн, Т.М.Мухина, Г.Л.Аверх. – М.: Химия, 1987. – 240 с.

3.Мухина Т.Н. Пиролиз углеводородного сырья / Т.Н.Мухина, Н.Л.Барабанов, С.Е.Бабаш [и др.]. – М.: Химия, 1987. – 240 с.

4.Лебедева И.П. К вопросу использования тяжелой смолы пиролиза для получения углеграфитовых материалов / М.И.Лубинский, О.И.Дошлов // Тезисы докладов V респ. научно-тех. конф. молодых ученых и специалистов алюминиевой и электродной промышленности. - Иркутск. - 2007. - С. 77 - 78.

5.Лебедева И.П. Перспективные технологии переработки тяжелой смолы пролиза / И. П. Лебедева, Д. Г. Лазарев, О. И. Дошлов, М. И. Лубинский, Н. П. Лебедева. // В мире научных открытий. - 2009.- №5- С. 25 -2 9.

6.Капустин В.М. Проблемы и тенденции развития современного нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса / В.М.Капустин, Е.А.Чернышева. // Материа-

лы Международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка - 2010», Уфа: ГУП «ИНХП РБ». - 2010. - С. 18 - 19.

7. Мухамедзянова А.А. Кинетика образования мезофазы при термополиконденсации высокоароматизированных нефтяных остатков / М.И.Абдуллин, А.Т.Мухамедзянов, Р.Н.Гимаев. // Вестник Башкирского университета. - 2012. - Т.17. - № 4.

8. Копытов М.А. Получение темных нефтеполимерных смол и их использование в качестве депрессорных присадок для нефти: автореф. дис. ... канд. хим. наук; Томский политехнический университет. - Томск., 2006. - 24 с.

9. Копытов М.А. Присадки комплексного действия на основе нефтеполимерных смол / М.А.Копытов, В.Г.Бондалетов, И.В.Прозорова, Ю.В.Лоскутова, Н.В.Юдина // Материалы III Всероссийской науч.-практ. конф. «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа». - Томск, 2004. - С. 83 -86.

10. K.S.Yang, K.H.An, K.W.Yang, H.B.Lee, T.W.Son, W.E.Lee and Y.H.Kook. Formation of Mesophase Pitches from Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Naphtalene and Anthracene. TANSO, 1992. - № 155, p. 386 - 392.

11. Mildenberg R. Hydrocarbon Resins / R. Mildenberg, M.Zander, G.Collin. Weinheim; NewYork; Cambridge, 1997. - 189 p.

12. Рипка Г.М. Каталітичні комплекси – каталізатори синтезу нафтополімерних смол / Г.М.Рипка, І.Є.Никулишин // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2000. - № 414. – С.104 -106.

13. Ныкулышин И.Е. Использование координационных комплексов кислот Льюиса с нуклеофильными веществами как катализаторов процесса синтеза нефтеполимерных смол / И.Е.Ныкулышин, Е.Н.Мокрый, А.М.Рыпка // IV Междунар. конф. по химии нефти и газа: Тези доп. – Томск, РФ, 2000. – С.543 – 546.

14. Ныкулышин И.Е. Каталитические комплексы – катализаторы процесса синтеза алифатических нефтеполимерных смол / И.Е.Ныкулышин, А.М.Рыпка, Е.Ю.Никитишин, З.Г.Пих // III междунар. Санкт-Петербургская конф. молодых ученых “Современные проблемы науки о полимерах”, 17-19 апреля 2007 г.: Тези доп. – Санкт-Петербург, РФ, 2007. – С.55.

15. Nykulyshyn I. Catalytic Complexes In The Petroleum Resins Synthesis Processes. Using. Properties / I. Nykulyshyn // V наук.-техн.конф. „Поступ у нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості”, 9-12 червня 2009 р.: Тези доп. – Львів, 2009. - С. 68-69.

16. Urbaniak W. Homogeneous Catalytic Complexes in the Petroleum Resins Synthesis Processes / W.Urbaniak, I.Nykulyszyn, Z.Pich, A.Rypka, T.Woronchak // 17th International Symposium on Homogeneous Catalysis, July 4-9, 2010. - Poznań, Poland, 2010. – P. 321.

17. Chin-Fen Hsing, Martin B. Jones and Peter Kovacic. Studies on Polymers and Oligomers from Reaction of Benzenoid and Naphtalene Monomers with Lewis Acid Catalysts. Polymerization of Aromatic Nuclei. XXVII. ESR. Journal of Polymer Science: Polymer Chemical Edition, Vol.19, 1981, 973 - 984.

РАЗРАБОТКА И ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ХЛАДОТРАВМ

Никоненко Владимир Афанасьевич

кандидат технических наук, генеральный директор АО НПП «Эталон»

Кропачев Денис Юрьевич

начальник СКПБ АО НПП «Эталон»

Иванов Василий Алексеевич

доктор технических наук, старший научный сотрудник

ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера СО РАН

имени В.П. Ларионова, Якутск

Большев Константин Николаевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера СО РАН

имени В.П. Ларионова, Якутск

Андреев Александр Семенович

аспирант, ведущий инженер.

ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера СО РАН

имени В.П. Ларионова, Якутск

Алексеев Рево Захарович

доктор медицинских наук, профессор.

Медицинский институт ФГАОУ ВПО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск

DEVELOPMENT AND PILOT OPERATION OF A DEVICE FOR TEMPERATURE CONTROL LIMB MAN FOR TREATMENT OF BURN INJURIES FROM THE COLD

Nikonenko Vladimir Afanasyevich, Candidate of Technical Sciences, General director of JSC NPP Etalon

Kropachev Denis Yuryevich, chief of SKPB JSC NPP Etalon

Ivanov Vasily Alekseevich, Doctor of Engineering, senior research associate FGBUN Institute of physics and technology problems of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science of V.P. Larionov, Yakutsk

Bolshev Konstantin Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, senior research associate, FGBUN Institute of physics and technology problems of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science of V.P. Larionov, Yakutsk

Andreyev Alexander Semenovich, graduate student, leading engineer. FGBUN Institute of physics and technology problems of the North of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science of V.P. Larionov, Yakutsk

Alekseev Revo Zakharovich, doctor of medical sciences, professor. Medical institute FGAOU VPO North-Eastern federal university of M. K. Ammosov, Yakutsk

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе авторами исследованы теоретические и практические аспекты разработки и контроля температуры конечностей человека при лечении хладотравм. В работе используется цифровой датчик температуры DS18B20, согласованный с портативным контроллером цифровых датчиков.

ABSTRACT

In this paper the theoretical and practical aspects of the development and control of the temperature in the treatment of human limbs hladotravm. We use digital temperature sensor DS18B20, agreed with the portable controller of digital sensors.

Ключевые слова: цифровой датчик температуры, портативный контроллер, измерение низких температур, ожоговая травма.

Keywords: digital temperature sensor, portable controller, measurement of low temperatures, burn injury.

Проблемы, связанные с лечением хладотравм человека в суровых климатических условиях Республики Саха (Якутия), когда температура зимой падает до -60°C , имеют неоспоримую актуальность.

В год в ожоговое отделение г. Якутска поступают около 200 пострадавших с хладотравмами, из них сразу с улицы в больницу привозят около 5 - 7 человек. В остальных случаях человека сначала заносит домой, тормошат, растирают руки, повреждая сосуды, и только потом обращаются к врачам [1]. При серьезном обморожении конечностей для максимально возможного восстановления необходимо соблюдать условие медленного и постепенного отогревания отмороженных тканей за счет естественного теплообмена кровообращением. Для этого травмированную

конечность максимально теплоизолируют и применяют различные средства для ускорения кровообращения. При этом важное значение, имеет постоянный контроль температуры объекта, а именно крайних точек конечности. Такой контроль подразумевает использование надежного и точного измерительного оборудования. Также измерение температуры травмированных тканей важно для постановки точного диагноза и определения степени обморожения, в зависимости от которого выбирается способ оказания первой медицинской и врачебной помощи, который является решающим в лечении и определяющим исход лечения.

Термография является ценным методом определения эффективности того или иного метода лечения. Привле-

кательной стороной этого метода обследования больных является его абсолютная безвредность, возможность многократных, повторных, динамических исследований и относительная простота в интерпретации полученных результатов. В частности, детальное изучение температурных изменений в тканях охлажденного сегмента, дает возможность диагностировать наличия оледенений тканей. Для того, чтобы доказать наличия оледенения тканей, необходимо определить наличия минусовой температуры в тканях [2].

В частности, детальное изучение температурных изменений в тканях охлажденного сегмента, дает возможность диагностировать наличия оледенений тканей.

Споры на эту тему начались с 1966 г, когда появилась статья Г.А. Бежаева «О хрупкости отмороженных тканей». Для того, чтобы доказать наличия оледенения тканей, необходимо определить наличия минусовой температуры в тканях. Для решения этой задачи необходимо:

- измерительный прибор с возможность измерения температуры от -50 до +100 градусов;
- термодатчики.

– больные в дореактивном периоде.

В 1972 году изготовлен термометр с датчиком на конце инъекционной иглы. В последнее время имеем возможность определить температуры в тканях и проводить мониторинг повышения температуры.

С этой целью, всем больным, поступившим в дореактивном периоде проводилось измерение поверхностной температуры на ногтевых фалангах всех пальцев отмороженных конечностей.

Целью нашей разработки является, непрерывная периодическая регистрация температуры кончиков пальцев человека в течение определенного промежутка времени, которая позволит медикам оценить эффективность тех или иных методик, применяемых при лечении подобных травм. Так как больной при этом должен иметь возможность передвигаться, то прибор должен быть автономен и небольших размеров.

В качестве чувствительных элементов были выбраны цифровые датчики температуры DS18B20 (рис.1), а также ПКЦД-1/100 (рис.2).

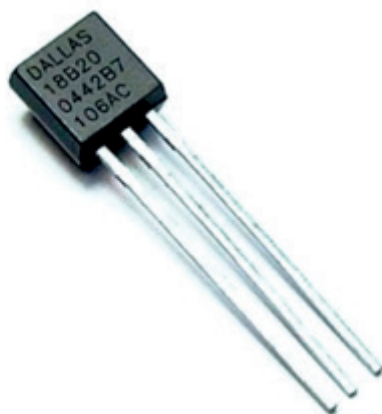


Рис. 1. Цифровой датчик температуры DS18B20
Основные характеристики DS18B20

Диапазон измерений от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Точность измерений 0.5°C . Каждый DS18B20 имеет уникальный 64-битный последовательный код, который позволяет, общаться с множеством датчиков DS18B20 установленных на одной шине. Такой принцип позволяет использовать один микропроцессор, чтобы контролировать множество датчиков DS18B20, распределенных по большому участку. Программируемое разрешение от 9 до 12-бит, которое может сохраняться в EEPROM памяти прибора. В дополнение, DS18B20 может питаться напряжением линии данных ("parasite power"), при отсутствии внешнего источника напряжения [3].

В качестве логгера, записывающего показания чувствительных элементов нами используется портативный контроллер цифровых датчиков ПКЦД-1/100 (далее контроллер) предназначен для считывания результатов измерения с цифровых датчиков температуры. По функциям, назначению и области применения прибор аналогичен ПКЦД-1/16, но имеет ряд преимуществ и усовершенствований. Встроенные алгоритмы измерения емкости

линии связи позволяют устойчиво считывать измерения с датчиков на расстоянии 100 и более метров, при емкости линии до 15000пФ. - Контроллер поддерживает до 100 датчиков в сети, с интервалом опроса от 10 секунд до 1 часа. Связь с ПК осуществляется через порт USB, при подключении к USB контроллер может работать без элемента питания. Емкость энергонезависимой памяти - 64кБ. ПКЦД-1/100 может работать в режиме логгера, т.е. автоматически сохранять данные в энергонезависимой памяти с заданной периодичностью, ресурс автономной работы в режиме логгера составляет около 20 суток (изменяется в зависимости от емкости аккумулятора и окружающей температуры) [4].

Опытный образец прибора был создан совместно с ОАО НПП «Эталон» и с его применением была выполнена опытная эксплуатация в ходе, которой получены первые результаты. В качестве объекта выступал пациент ожоговой терапии Республиканской больницы №2 с обморожением конечностей, уже получивший первую помощь. Датчики устанавливались на кончиках пальцев правой руки

человека, затем на пальцах левой руки. Интервал опроса датчиков был установлен на 60 секунд. Дата испытания - 2

декабря 2015 года с 11:00 до 14:00. Схема установки представлена на (рис. 2).



Рис.2 Схема установки датчиков на руке обмороженного человека.

Данные, полученные в ходе опытной эксплуатации от 02.12.2015 (данные пациента уже получившего лечение в

ожоговом отделении)

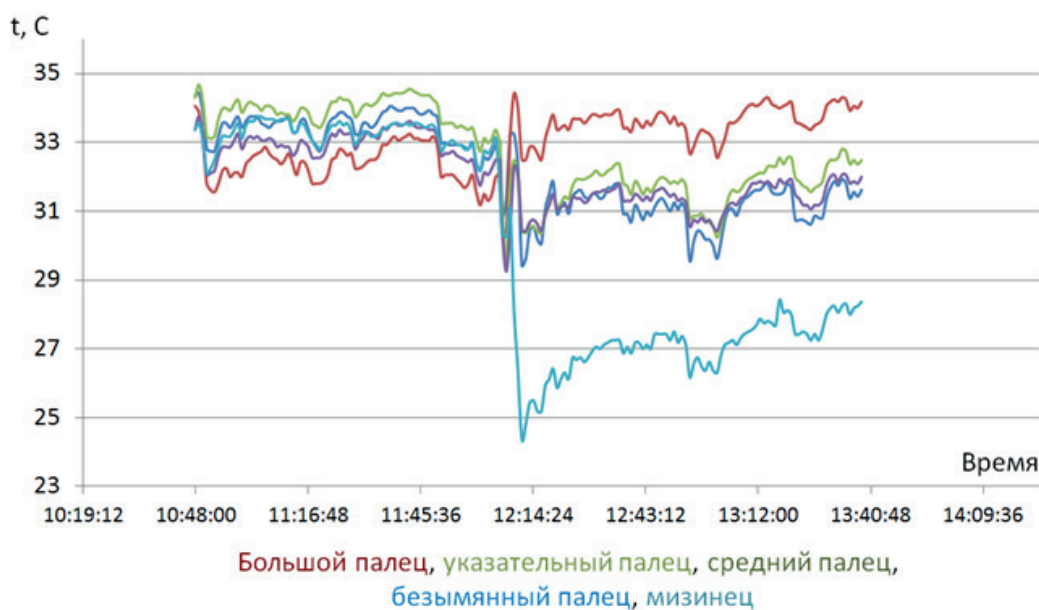


Рис. 3. Данные, полученные в ходе опытной эксплуатации.

Выводы

1. Созданный совместно с ОАО НПП «Эталон» прибор для контроля температуры человека, важен для диагностирования и установления степени обморожения. Также данный прибор позволяет контролировать действие различных препаратов, примененных к пациенту.

2. Температурный контроль позволяет диагностировать не только обморожения, но и такие заболевания, как сахарный диабет, мастопатия, аденома.

3. В перспективе, на основе доработанной и модифицированной версии данного прибора необходимо разработать единую методику для диагностирования хладотравм, которая будет применяться повсеместно.

Список литературы:

1. Алексеев Р.З. Замерзших нужно везти не в морг, а в больницу// <http://nvpress.ru/society/8484>
2. Алексеев Р.З. Алексеев Ю.Р. Семенова С.В. Отморожение с оледенением тканей// <https://interactive-plus.ru/e-articles/131/Action131-8123.pdf>
3. DS18B20 русское описание работы с датчиком температуры// http://labkit.ru/userfiles/file/documentation/Sensor/DS18B20_RU.pdf
4. ОАО НПП «ЭТАЛОН» - разработчик и изготовитель.- Портативные контроллеры цифровых датчиков ПКЦД-1/100// http://www.omsketalon.ru/0922_podv/1-100.pdf

ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВИБРАЦИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГРУЗОВ ПО ДОРОГЕ С АСФАЛЬТНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Баштовой В.М.
заместитель начальника логистики,
Национальная гвардия Украины

ROAD TESTS OF THE VIBRATIONS OF A SPECIALIZED VEHICLE FOR THE TRANSPORTATION OF HAZARDOUS GOODS ON THE ROADS WITH ASPHALT PAVEMENT

Bashtovoy V.M., deputy chief of logistics, Ukraine National Guard

АННОТАЦИЯ

В работе проведены дорожные испытания плавности хода по асфальтному покрытию опытного образца специализированного транспортного средства для перевозки взрывоопасных грузов с дополнительной системой поддрессоривания, имеющей квази нулевую жесткость. Определены среднеквадратичные значения виброускорений в трех точках ТС, проведен сравнительный анализ полученных результатов для случая использования одноуровневой и двухуровневой систем поддрессоривания. Проведен анализ спектрального состава полученных значений вибраций.

ABSTRACT

The work carried out road tests on the roads with asphalt pavement of a specialized vehicle for transportation of hazardous goods with extra suspension system having a quasi-zero stiffness. RMS vibration acceleration determined in the three points of specialized vehicle, a comparative analysis of the results obtained in the case of using a one-tier and two-tier suspension systems. Analysis of the spectral composition of the obtained vibration values carried out.

Ключевые слова: специализированное транспортное средство, опасный груз, взрывоопасный груз, виброзащита, система поддрессоривания.

Keywords: specialized vehicle, hazardous goods, dangerously explosive goods, vibroprotection, suspension system.

Постановка проблемы. Взрывоопасные грузы, согласно [1], относятся к опасным грузам 1 класса, перевозка которых осуществляется в соответствии с «Оранжевой книгой ООН», Базельской конвенцией 1989 года, конвенцией о гражданской ответственности за ущерб, причиненный при перевозке опасных грузов автомобильным, железнодорожным и внутренним водным транспортом, договором «Про межгосударственные перевозки опасных грузов», Европейским договором про международные дорожные перевозки опасных грузов.

Основные требования к транспортированию соответствующих грузов приведены в работе [2]. Отдельно следует отметить, что важным фактором обеспечения безопасности соответствующих перевозок является эксплуатационные свойства транспортных средств (ТС), обеспечивающих данные перевозки. Среди прочего, важнейшим техническим требованием к таким ТС является требование к динамическим свойствам ТС: устойчивости и плавности хода. На эти характеристики наибольшее влияние оказывают конструкция и техническое состояние подвески, способ размещения и крепления взрывоопасного груза. Тем не менее, анализ конструкций существующих транспортных средств для перевозки взрывоопасных грузов [3] показал, что вопросам уменьшения динамических нагрузок на груз во время его транспортирования не уделено должное внимание.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблеме плавности хода и поддрессоривания автомобилей посвященные фундаментальные исследования [4-6], в которых разработана современная теория колебаний автомобиля.

Из теории колебаний механических систем [7] извест-

но, что уменьшение динамической реакции в колебательной системе может быть достигнуто путем уменьшения жесткости ее упругих элементов. Уменьшение жесткости обычных пружин с сохранением несущей способности требует существенного увеличения их размеров. Однако использование пружин (или специально сконструированных пружинных блоков) с нелинейной характеристикой позволяет обеспечить определенный промежуток ее работы с существенно малой жесткостью при сохранении компактных размеров и необходимой несущей способности. Теоретические основы динамического анализа нелинейных виброзащитных систем подробно изложены в работах [8-9].

В работах [10, 11] было предложено конструкцию специализированного транспортного средства, который имеет дополнительную степень поддрессоривания, реализующую виброизоляцию груза. Однако техническая реализация данной конструкции имеет несколько недостатков: ТС представляло собой одноосный прицеп, который не имел необходимой стойкости возможных наклонов угловых колебаний грузовой платформы; кроме этого грузоплатформа опиралась на мягкие пружины сжатия, которые для большей устойчивости двигались по направляющим. Таким образом, актуальным является проведение работ по совершенствованию системы второго уровня поддрессоривания и в целом конструкции специализированного транспортного средства для перевозки взрывоопасных грузов.

Постановка задачи и ее решение. Целью статьи является проведение экспериментального исследования плавности хода по асфальтному покрытию действующего опытного образца специализированного транспортного

средства для перевозки взрывоопасных грузов с дополнительной системой поддрессоривания, имеющей квазиузеловую жесткость.

Опытный образец специализированного ТС представляет собой двухосный самоходный прицеп, который

присоединяется к легковым автомобилям. Конструкция состоит из двух колесных осей, несущей рамы (кузова), грузовой платформы на которой располагается груз и двух уровней поддрессоривания (рис. 1).



Рис. 1. Фотография опытного образца специализированного транспортного средства для перевозки взрывоопасных грузов

Первый уровень поддрессоривания в конструкции имеет линейную характеристику, является традиционным для автомобилестроения (ТС, оснащенное только одним уровнем поддрессоривания, представляет собой классический прицеп легкового автомобиля).

Для реализации второго уровня поддрессоривания на раме прицепа устанавливается с помощью пружинного блока грузовая платформа, на которой закрепляется опасный груз. Пружинный блок имеет нелинейную характеристику с областью, реализующей состояние квазиузеловой жесткости.

В данной статье рассмотрены исследования вибрационного состояния при движении специализированного

транспортного средства по асфальтовому покрытию высокого качества. Измерения вибраций проводилось при скоростях движения ТС 10, 20 и 30 км/ч. При этом сравнивались результаты экспериментального исследования в случае использования двухуровневого нелинейного поддрессоривания (грузовая платформа вывешивалась на раме ТС с помощью нелинейных пружинных блоков) и одноуровневого линейного поддрессоривания (грузовая платформа жестко фиксировалась на раме ТС болтовыми соединениями). Точки измерения вибрации с помощью специального комплекса «Ультра-В-1», состоящего из измерительного сенсора, аналого-цифрового преобразователя и компьютера, приведены на рис. 2.

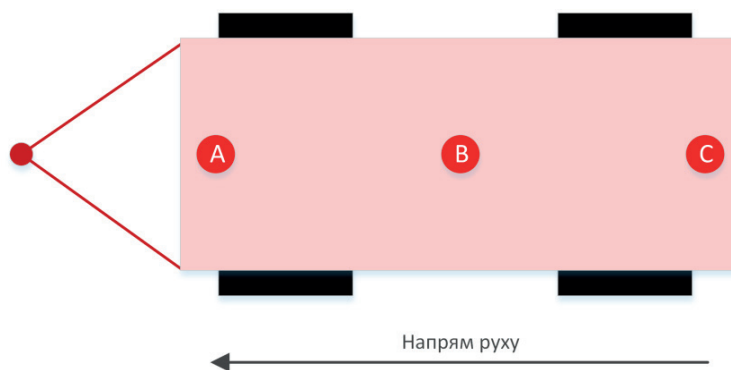


Рис. 2. Места установки датчиков виброускорения

Первыми испытания проводятся на конструкции, оснащена предложенной двухуровневой нелинейной системой поддресорення. На рис. 3 представлены зарегистрированные сигналы виброускорений в вертикальном направлении в точке «А» конструкции на различных фиксированных скоростях движения ТС и их спектральные плотности. Спектральные плотности приведены на рис. 4 в логарифмической шкале по оси частот.

На рис. 3, в показана зависимость СКЗ виброускорений СТС в точке «А» в зависимости от скорости его движения. Можно видеть, что полученная зависимость указывает на существенное повышение уровня вибраций с ростом скорости движения, которое имеет нелинейный параболический характер. Анализ спектрального состава указанных вибраций показывает, что в спектрах виброускорений преобладают низкие частоты в диапазоне до 4 Гц, с максимумом на 1,5 Гц и 2,5 Гц. Только в спектре виброускорений, которые наблюдаются при движении на скорости 30 км/ч проявляются высокие частоты около 100 Гц.

Похожее поведение наблюдается при вибрациях в точке «В» конструкции, которые были получены аналогичным

образом. Сравнение полученных значений по уровням вибраций указывает, что в точке «В» на всех скоростях движения СТС вибрации ниже по отношению к вибрациям в точке «А». На малых скоростях движения эти снижения незначительны в пределах 5%, но оно постоянно увеличивается. Сравнение СКЗ виброускорений в крайней точке «А» и в середине СТС (точка «В») показывает, что крайняя точка имеет более чем на 20% больше амплитуды колебаний. Неравномерность амплитуд колебаний для различных точек конструкции указывает на то, что грузовая платформа СТС, кроме вертикальных колебаний, воспроизводит еще и угловые наклоны относительно центра своей инерции.

Характеристики вибрации в точке «С» конструкции (противоположный край СТС) на качественном уровне повторяют характер вибраций в точке «А». Спектры вибраций локализованы на низких частотах (до 5 Гц), однако с ростом скорости движения начинают проявляться вибрации с гармониками на старших частотах в районе (100-110) Гц.

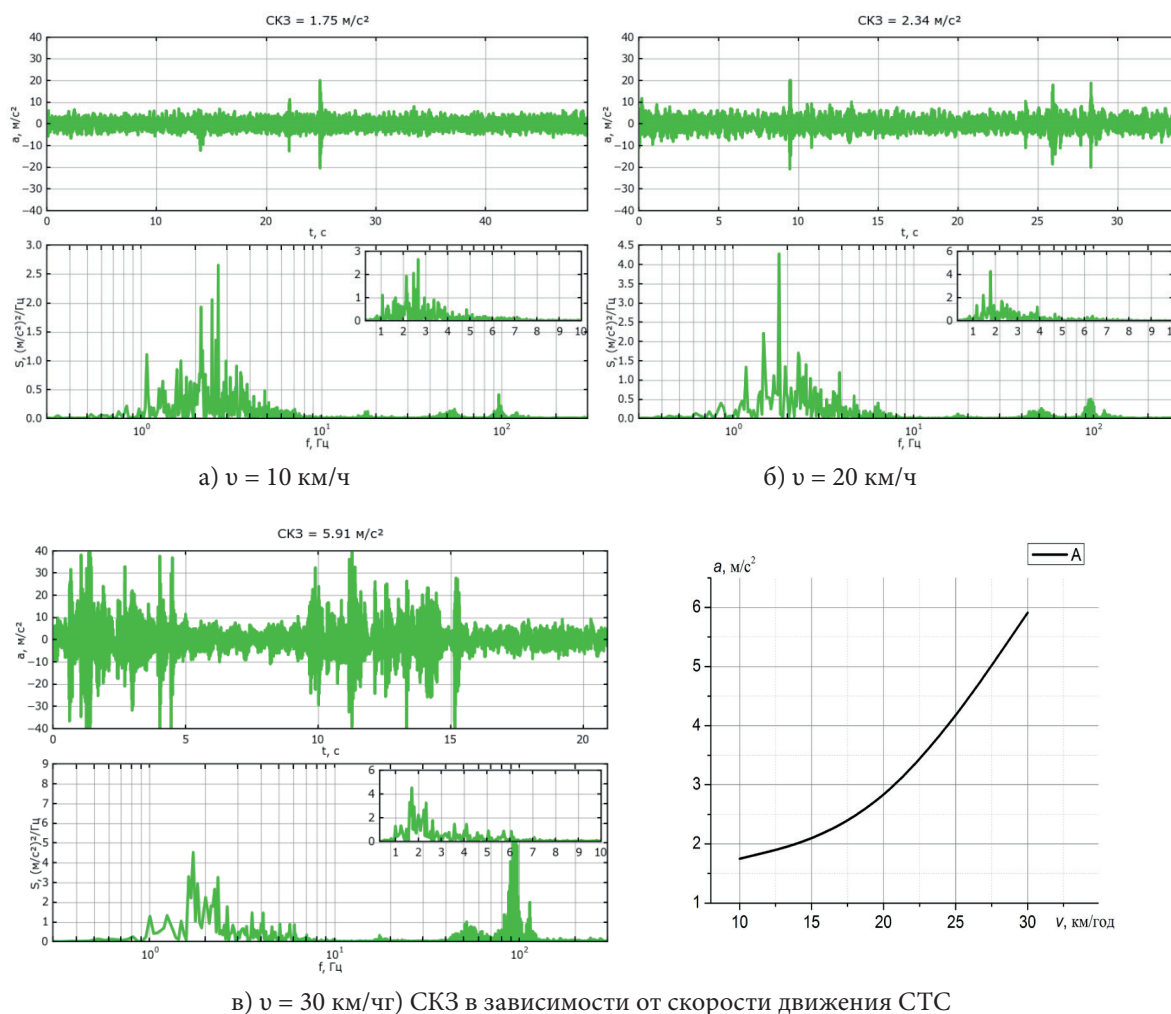


Рис. 3. Виброускорения в вертикальном направлении в точке «А» СТС с системой нелинейного поддресоривания при движении по асфальтовом покрытии и их спектральная плотность

Количественный анализ данных по СКЗ виброускорений указывает на то, что вибрации на этом краю больше, чем в центральной точке и меньше, чем уровень вибраций

в точке «А». Причем на скорости движения в 10 км/ч СКЗ виброускорений в точке «С» являются наименьшими по конструкции, но с увеличением скорости движения уро-

вень вибраций на этом краю СТС увеличиваются и преобладают по амплитудам вибрации в точке «В» (центр конструкции).

Следующим этапом дорожных испытаний было проведение измерений вибраций СТС, в котором отключено второй уровень поддрессоривания. Технически это было реализовано путем жесткого болтового соединения грузовой платформы к раме тележки. Измерение проводилось в тех же точках конструкции при движении на скоростях 10, 20 и 30 км/ч.

На рис. 4 представлены результаты измерений вертикальных колебаний СТС без второго уровня поддрессоривания в крайней точке конструкции (точка «А»). Сравнительный анализ частотного состава вибраций для СТС с и без второго уровня поддрессоривания указывает на то, что в системе без дополнительной амортизации увеличиваются частоты вибраций.

Таким образом, в низкочастотной области спектр ви-

броускорений сместился ближе к 10 Гц (в предыдущих испытаниях основные гармоники имели частоты до 5 Гц), что указывает на существенное ухудшение характеристик плавности хода СТС без второго уровня поддрессоривания. Количественный анализ изменения СКЗ виброускорений на разных скоростях движения СТС с выключенным вторым уровнем поддрессоривания представлено на рис. 4, г (пунктирной линией приведена зависимость SKU виброускорений в той же точке для СТС с двумя уровнями поддрессоривания). Из приведенных результатов можно видеть, что зависимость СКЗ виброускорений от скорости движения СТС является качественно одинаковой как для конструкций с так и без второго уровня поддрессоривания, но количественный анализ показывает, что уровни виброускорений в точке «А» конструкции в (1,75-1,8) раза меньше для СТС с наличием второго уровня нелинейного поддрессоривания, чем без него.

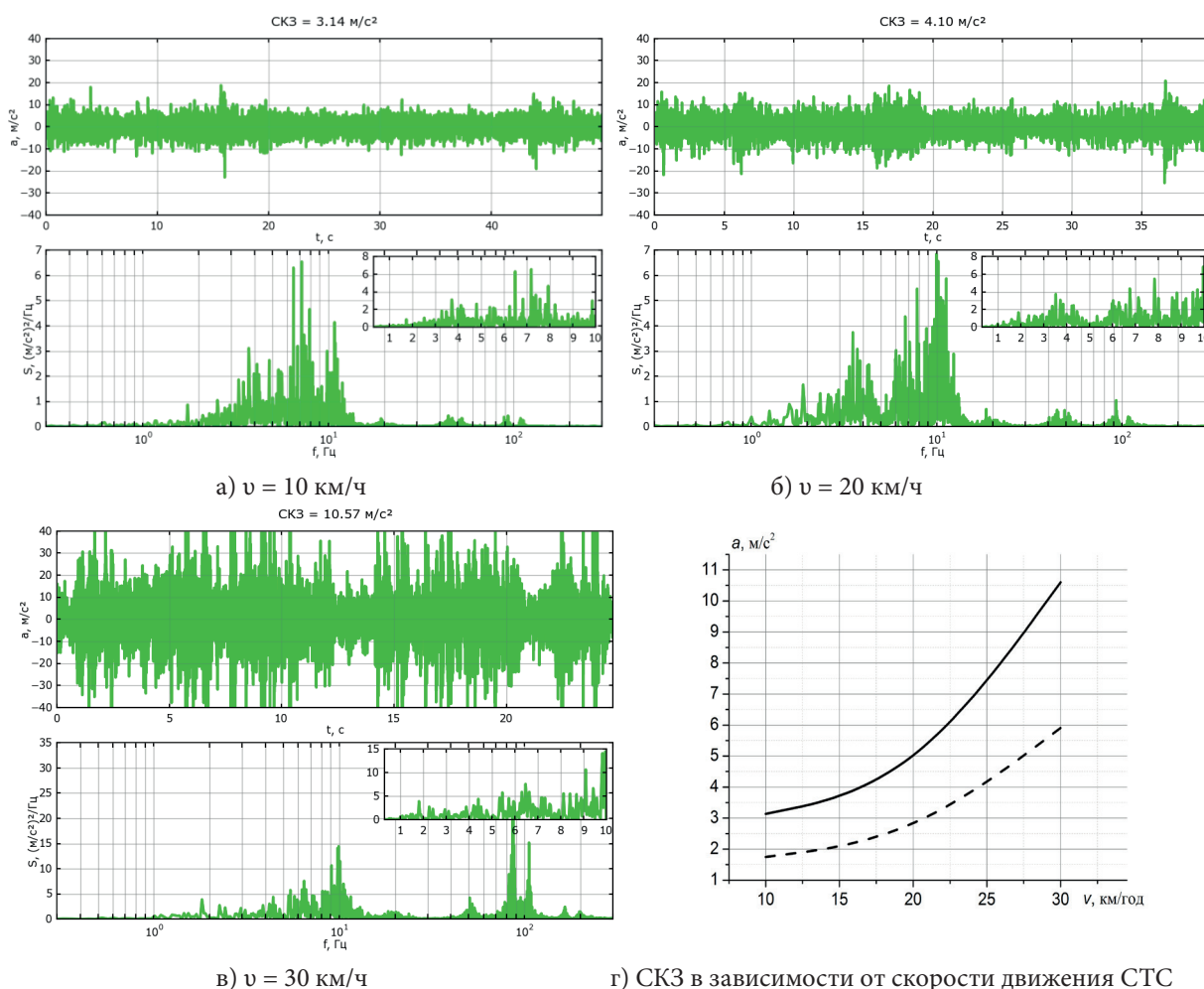


Рис. 4. Виброускорение в вертикальном направлении в точке «А» СТС классической линейной компоновки при движении по асфальтовом покрытии и их спектральная плотность

Аналогичные исследования были проведены и для точек «В» и «С». Во всех случаях наблюдались смещение низкочастотных составляющих с диапазона до 5 Гц в область от 5 до 10 Гц. Возникающие высокочастотные вибрации в точке «В» в районе 20 Гц и (50-100) Гц остались неизменными. То же качественно повторяется и в вибрациях в точке «С». Низкочастотная часть спектра смещается в сто-

рону увеличения частот, а высокие частоты 100 Гц и 110 Гц остаются неизменными. Очевидно, высокочастотные составляющие являются вибрациями, связанные с деформацией элементов рамы конструкции.

Вывод. Проведенные исследования дают возможность оценить фактическую эффективность использования двухуровневой системы нелинейного поддрессорива-

ния. Доказано, что применение предложенной системы дает существенное улучшение плавности хода специализированного транспортного средства для перевозки взрывоопасных грузов. При этом использование одноуровневой системы поддрессирования ведет к увеличению уровня вибраций во всех точках в 1,75-2,1 раза, по сравнению с использованием двухуровневой системы. В конструкции без второго уровня поддрессирования амплитуда гармоник виброускорений из низкочастотного диапазона спектра вибраций значительно больше по сравнению со случаем вибраций СТС с двумя уровнями поддрессирования.

Список литературы:

1. Грузы опасные. Классификация: ДСТУ 4500-3: 2006
2. Про перевезення небезпечних вантажів [Текст] : закон України // Відомості Верховної Ради України. – 2000. – № 28. – С. 222.
3. Соколовский С. А. Проблема транспортировки опасных грузов / А. Я. Калиновский, С. А. Соколовский // Об'єднання теорії та практики – залог підвищення постійної готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням : матеріали VIII Наук.-техн. конф., Харків, – Х.: НУЦЗУ, 2011. – С. 52-53.
4. Ротенберг, Р. В. Подвеска автомобиля [Текст] / Р. В. Ротенберг. – Изд. 3-е, переработ и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 392 с.
5. Проектирование полноприводных колесных машин

[Текст] : учеб. для вузов: в 2 т. / А. А. Полунгян, Б. А. Афанасьев, Н. Ф. Бочаров, и др. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999 – Т. 2. – 640 с.

6. Хачатуров, А. А. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель [Текст] / А. А. Хачатуров и др. – М. : Машиностроение, 1976. – 536 с.

7. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С. П. Тимошенко – М. : Наука, 1967. – 444 с.

8. Рагульскис, К. М. Виброзащитные системы с квазиуравновешенной жесткостью [Текст] / К. М. Рагульскис, П. М. Алабушев, А. А. Гритчин и др. – Л.: Машиностроение, 1986. – 96 с.

9. Коловский, М. З. Нелинейная теория виброзащитных систем [Текст] / М. З. Коловский. – М. : Наука, 1966. – 320 с.

10. Соколовський С. А. Моделювання коливань спеціалізованого транспортного засобу, що має віброзахисну систему із квазінульовою жорсткістю під час перевезення небезпечних вантажів / А. Я. Калиновський, О. О. Ларін, С. А. Соколовський // Вісник Севастопольського національного технічного університету. – Серія: «Машиноприладобудування та транспорт». – Севастополь : СевНТУ, 2012. – № 135. – С. 64-67.

11. Соколовський С. А. Проблема транспортировки опасных грузов / А. Я. Калиновский, С. А. Соколовский // Об'єднання теорії та практики – залог підвищення постійної готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням : матеріали VIII Наук.-техн. конф., Харків, – Х.: НУЦЗУ, 2011. – С. 52-53.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Чигринова Наталья Михайловна

доктор технических наук, профессор
Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск

Воробьёва Елена Игоревна

магистрант
Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск

INNOVATIVE WAYS OF EXPANSION SPECTRUM MAGNESIUM ALLOY

Natalia Chygrynova, Doctor of Technical Sciences, professor, Belarusian national technical University, Minsk, Republic of Belarus
Elena Vorobyova, postgraduate, Belarusian national technical University, Minsk, Republic of Belarus

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены закономерности и механизмы получения методом микродугового оксидирования износ- и коррозионно-стойких покрытий на поверхности изделий из магниевых сплавов и особенности влияния состава электролита на структуру и свойства формируемых покрытий. Отмечено, что среди технологических факторов, ответственных за структурообразование, а также влияющих на количество и размеры пор в МДО-покрытиях на магниевых сплавах, определяющая роль принадлежит составу электролита и продолжительности обработки.

ABSTRACT

The general trends and mechanisms of abrasion - and corrosion resistant coatings generation on magnesium and aluminum alloys items surface by microarc oxidation method and features of electrolytic solution composition influence on formed coatings structure and properties were considered. It was noted that among the processing factors responsible for structure formation, as well as affecting the number and size of pores in the MAO coatings on magnesium alloys, determining role belongs to the electrolyte composition and the duration of treatment.

Ключевые слова: инновационные методы; анодное микродуговое оксидирование; магниевые сплавы; состав электролита.

Keywords: innovative method; microarc oxidation; magnesium alloys; the composition of the electrolyte.

Магниевые сплавы, благодаря своим свойствам, находят все более широкое применение в различных отраслях современной промышленности. Однако некоторые из их свойств не позволяют эксплуатировать этот легкий и прочный металл там, где его применение могло бы позволить решить целый ряд насущных проблем.

Так, например, одной из перспективных областей использования магниевых сплавов является ортопедическая медицина. Мировой практикой подтверждено, что наиболее эффективным методом для лечения сложных внутрисуставных переломов различных локализаций является остеосинтез [1]. Большое значение для имплантата имеет не только выполнение им механических или физиологических функций, но и приспособляемость к нему окружающих тканей и жидкостей, их взаимное влияние, коррозионная стойкость имплантатов к действию агрессивной среды, к которой относится и среда организма человека. Поэтому биомедицинские сплавы на магниевой основе в линейке материалов для ортопедических эндопротезов и имплантатов занимают особое место: помимо перечисленных достоинств, магний нетоксичен, биологически и механически совместим с костными и мышечными тканями. Магний – четвертый по численности катион в человеческом организме, участвует во многих метаболических процессах. В качестве примера можно привести использование ортопедических и сосудистых имплантатов, хирургических имплантатов для внутренней фиксаци,

а также использование инвазивных устройств, содержащих требуемые фармацевтические препараты и обеспечивающих их адресную эмиссию в организме [1].

Вместе с тем главной отрицательной чертой, существенно ограничивающей применение сплавов на основе магния, является их высокая химическая активность и, как следствие, низкая сопротивляемость коррозионному разрушению. При этом проблема биомедицинских сплавов на основе магния состоит даже не столько в недостаточно высоком уровне их коррозионной стойкости вообще и в плазме человеческого тела – в частности, а в неконтролируемости процесса их растворения [2].

Еще одним весьма важным направлением в применении сплавов магния, благодаря таким их свойствам, как низкая плотность (1,35–1,85 г/см³), что в 1,5–2 раза меньше, чем у алюминиевых сплавов, в 4–5 раз меньше, чем у сталей, и не превышает плотности наиболее часто используемых сегодня высокопрочных конструкционных пластмасс, хорошие механические, конструкционные и служебные свойства в интервале температур от –273 до +350 °С, прежде всего высокие показатели удельной прочности и жесткости, высокая способность поглощать энергию удара и уменьшать вибрацию, высокие демпфирующие свойства (по данному показателю превосходство перед алюминиевыми сплавами в 100 раз), хорошее электромагнитное и противозумовое экранирование, высокие теплопроводность и теплоемкость, стабильность размеров при

длительных эксплуатации и хранения и технологических свойств при обработке резанием, литье (прежде всего, при литье под высоким давлением на машинах с холодной и горячей камерами прессования) и горячей обработке давлением, отсутствие эффекта «старения» (охрупчивания) в отличие от конструкционных пластмасс, которые магниевые сплавы могут адекватно заменить, обеспечив при этом ряд эксплуатационных и технологических преимуществ [3], является авиа-, судо- и машиностроение. В указанных производствах, помимо необходимости обеспечения комплектующих различных аппаратов перечисленными характеристиками, существует серьезная проблема защиты от износа и коррозии малонагруженных быстро движущихся деталей, изготовленных из вентильных металлов, испытывающих повышенные динамические нагрузки.

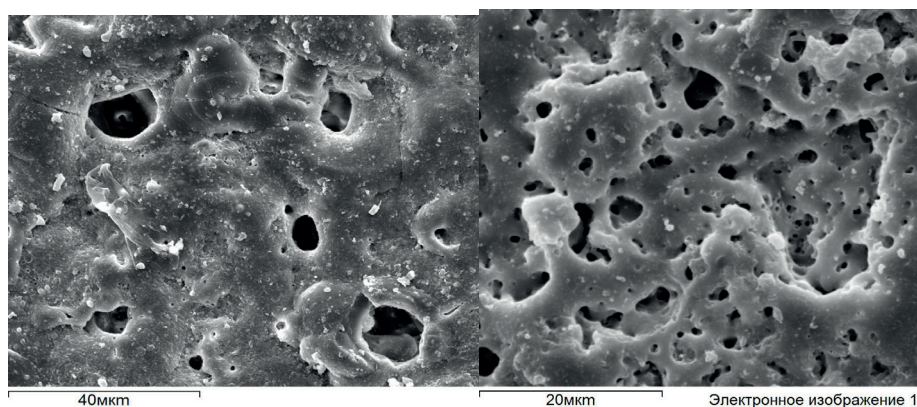
Инновационным путем в решении проблемы расширения спектра применения различных, особенно легких, металлических материалов с надежными в сложнагруженных условиях эксплуатационными параметрами является

модифицирование их поверхности с целью формирования износ- и коррозионностойких, термически стабильных, химически инертных покрытий.

Для этих целей перспективен для применения метод микродугового оксидирования (МДО), благодаря которому возможно осуществлять синтез на поверхности изделий из легких, в частности, магниевых сплавов керамикоподобных слоев, обладающих вышеперечисленными свойствами и высокой адгезией к металлической основе [4].

Однако при формировании покрытий любыми способами существует проблема коррозионной стойкости, т.к. всякое покрытие пористо.

МДО-слои также отличаются наличием разветвленной и неравномерной пористости. Характерным примером структурного состояния покрытия, полученного на поверхности алюминиевого и титанового сплавов, являются структуры, представленные на рисунке 1.



а)- алюминиевый сплав АД-Об) титановый сплав ВТ1-О
Рисунок 1. Характерная пористость на поверхности МДО-покрытий

Решение задачи снижения концентрации и уменьшения размеров пор в МДО-покрытиях с регулированием их распределения по поверхности, прежде всего, связано с особенностями структурообразования, обусловленными составом, концентрацией и температурой электролита, продолжительностью обработки, химическим составом оксидируемого металла, а также электрическими режимами процесса МДО [5–7].

В данной работе рассматриваются и анализируются результаты изучения влияния основных факторов процесса МДО – состава электролита, режимов оксидирования и его продолжительности на особенности структурообразования магниевых сплавов, определяющих в конечном итоге их рабочие характеристики.

В качестве основы для электролита при обработке магниевых сплавов обычно используется сочетание гидроксида калия и жидкого стекла. Известно, что изменяя концентрацию жидкого стекла и длительность процесса МДО, возможно регулировать пористость в формируемом покрытии [5]. В связи с этим в данной работе анализи-

ровались особенности структуро- и порообразования на поверхности покрытий на магниевых сплавах в электролитах с изменяющейся концентрацией жидкого стекла и различной продолжительностью процесса МДО.

Оксидирование образцов магниевого сплава МА2–1 осуществлялось в растворах с концентрацией жидкого стекла СЖС в пределах от 3 до 9 мл/л и гидроксида калия СКОН – от 2 до 8 г/л ЭЩ 1, с содержанием СЖС=3 мл/л и СКОН=2 г/л – ЭЩ 2 и в электролите с концентрацией указанных элементов СКОН=4 г/л и СЖС=9мл/л –ЭЩ 3.

При этом было установлено, что при равной продолжительности процесса наиболее качественное покрытие с минимальным содержанием пор было сформировано растворе ЭЩ 1, содержащем СКОН=2 г/л и СЖС=3 мл/л.

В электролитах с существенно большей концентрацией жидкого стекла (ЭЩ 3) ожидаемо получено покрытие с большим количеством дефектов в оксидном слое и крупными, неравномерно распределенными по поверхности порами (рисунок 2).

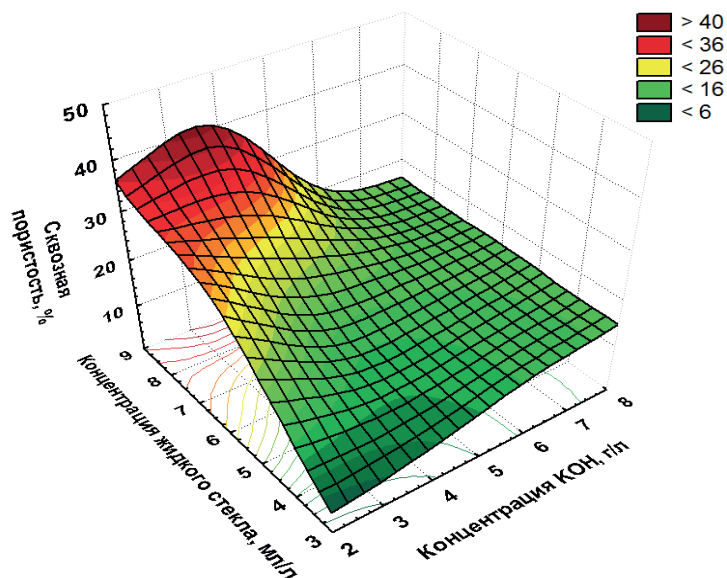


Рисунок 2. Влияние состава электролита на сквозную пористость сформированных МДО-покрытий [3]

Авторами [3] была предпринята попытка оптимизировать продолжительность оксидирования, обеспечивающего получение практически бездефектной с относительно равномерно распределенной пористостью структуры покрытия при проведении процесса в изучаемых растворах.

В результате было установлено, что наиболее каче-

ственное покрытие было сформировано при продолжительности оксидирования 54 мин в растворе, содержащем СКОН=2 г/л и СЖС=3 мл/л, а в электролите с концентрацией указанных элементов СКОН=4 г/л и СЖС=9мл/л дефекты в оксидном слое, а также крупные и неравномерно распределенные по поверхности поры появлялись уже на 6 мин обработки (рисунок 3).

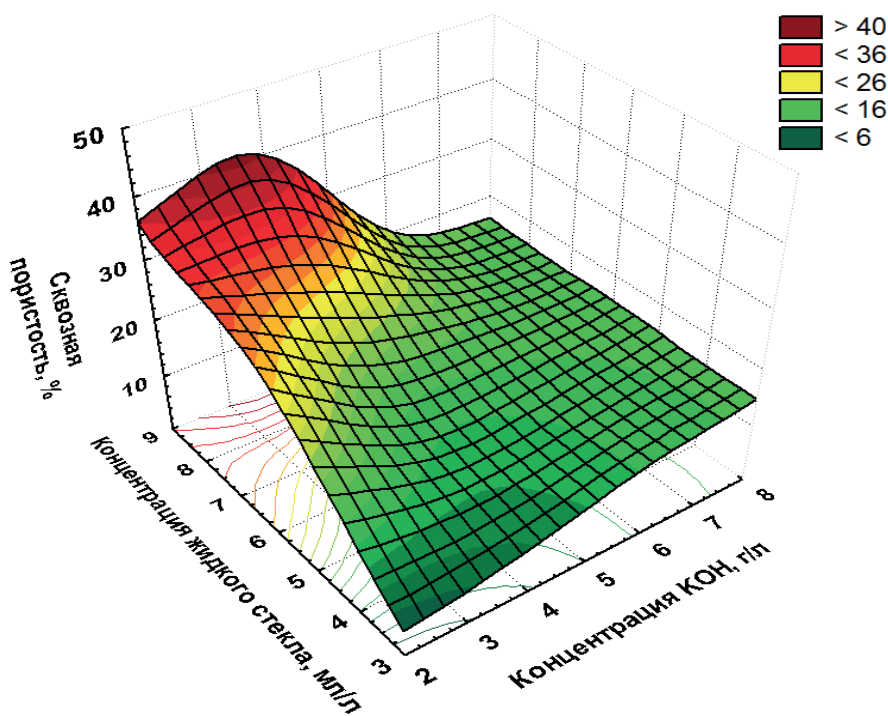


Рисунок 3. Влияние состава электролита на максимальную продолжительность «бездефектной» МДО – обработки сплава МА2-1 [3]

Самые тонкие оксидные слои (10...27 мкм) формировались в электролите, содержащем 2 г/л КОН. Интересным фактом является весьма небольшая (27 мкм) толщина оксидного слоя, полученного при СКОН=2 г/л и СЖС=3 мл/л, т. е. там, где наблюдалась максимальная продолжи-

тельность «бездефектной» МДО-обработки (рисунок 4).

Причиной уменьшения толщины покрытия при более длительной обработке является, скорее всего, низкое содержание в электролите компонентов, обычно интенсифицирующих скорость ее нарастания: силиката, кото-

рый обычно инкорпорируется в оксидный слой, например в виде кварца SiO_2 и/или форстерита Mg_2SiO_4 . При $\text{СКОН}=4$ г/л и $\text{СЖС}=6$ мл/л наблюдался максимум значения толщины МДО-покрытий (54 мкм).

С увеличением концентрации компонентов электролита, особенно жидкого стекла, величина пористости ожидаемо возрастала с 3,4 % ($\text{СКОН}=2$ г/л, $\text{СЖС}=3$ мл/л) до 52,1 % ($\text{СКОН}=4$ г/л, $\text{СЖС}=9$ мл/л) (рисунок 4).

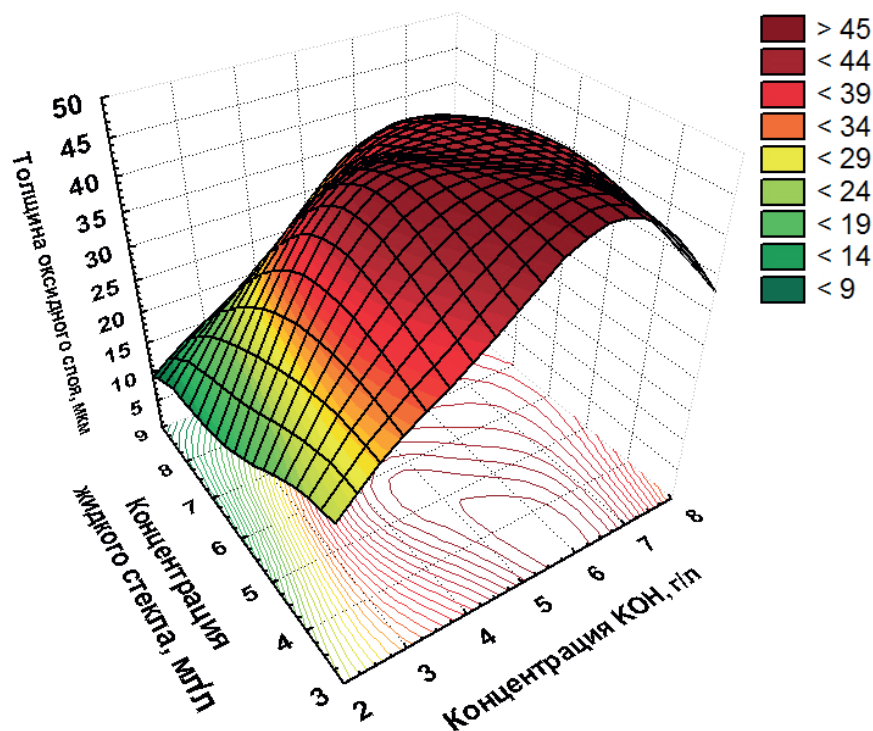


Рисунок 4. Влияние состава электролита на толщину сформированных МДО-покрытий [3]

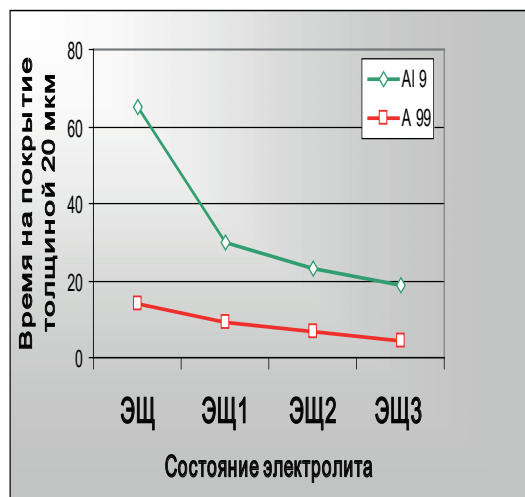
Некоторые исследователи для формирования на поверхности магниевых сплавов МДО-покрытий с высокими функциональными свойствами: твердостью, износостойкостью, смачиваемостью и высокой адгезией к металлической основе, использовали электролит с содержанием 2 г/л NaOH и 110 г/л технического жидкого стекла (модуль 2,9; плотность 1,45 г/см²) [6, 7].

Автором [8] рассмотрена возможность получения более толстых, менее пористых и более износостойких покрытий на поверхности магниевых сплавов за счет изменения электрических характеристик МДО-установок. Так, ему удалось зафиксировать различия в толщине и микротвердости покрытий, полученных при эксплуатации МДО-оборудования с различной емкостью конденсатора, определяющей плотность тока.

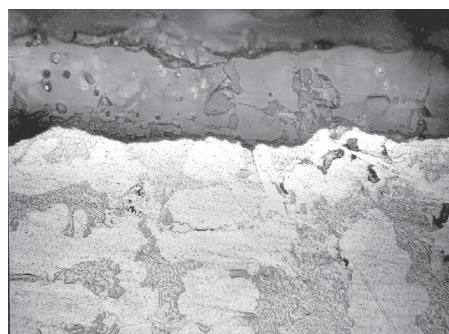
На основе полученной автором эмпирической зависимости влияния концентраций компонентов электролита и электрических режимов на толщину и микротвердость покрытия, по уровню которой можно косвенно судить о возможной износостойкости поверхности, было установлено,

что наибольшей микротвердостью обладает покрытие, сформированное в электролите, содержащем 2 г/л KOH и Na_2SiO_3 2 г/л при емкости конденсаторов установки 100 мкФ. А наибольшая толщина покрытия реализуется при прочих равных с увеличением емкости конденсатора до 400 мкФ.

Анализируя изменяющиеся параметры МДО-технологии при формировании покрытий, некоторые авторы отмечают, что природа магниевых сплавов (литейный или деформированный) не влияет на ход процесса МДО и кинетику нарастания покрытий [9]. Это утверждение кажется нам спорным уже хотя бы потому, что процесс оксидирования магниевых сплавов имеет много общего с АМДО алюминиевых. Если сравнить структурное состояние и толщины покрытий, формируемых методом АМДО в одних и тех же электролитах ЭЩ, ЭЩ1, ЭЩ2, ЭЩ3 на поверхности деформированных и литейных алюминиевых сплавов, то вполне очевидна существенная разница [10] (рисунок 5).



A 99



Al 9

Рисунок 5. Динамика прироста толщины оксидных покрытий и структура, деформированных и литейных алюминиевых сплавов, полученная в идентичных условиях АМДО

Степень влияния различных факторов МДО – технологии на особенности структурообразования и пористость покрытия на поверхности магниевых сплавов оценивалась по изменению плотности тока коррозии. Очевидно, что чем меньше пористость поверхностных слоев, тем большей коррозионной стойкостью они обладают. Авторы [3] показали, что минимальная плотность тока корро-

зии (0,0101 А/м²) наблюдается при СКОН=4 г/л и СЖС=6 мл/л, т. е. для наиболее толстого МДО-покрытия, а максимальная (0,4048 А/м²) – при СКОН=4 г/л и СЖС=9 мл/л, т. е. для покрытия с самой большой сквозной пористостью. Для сравнения – плотность тока коррозии для образца сплава МА2-1 без покрытия составляла 0,8 А/м² (рисунок 6).

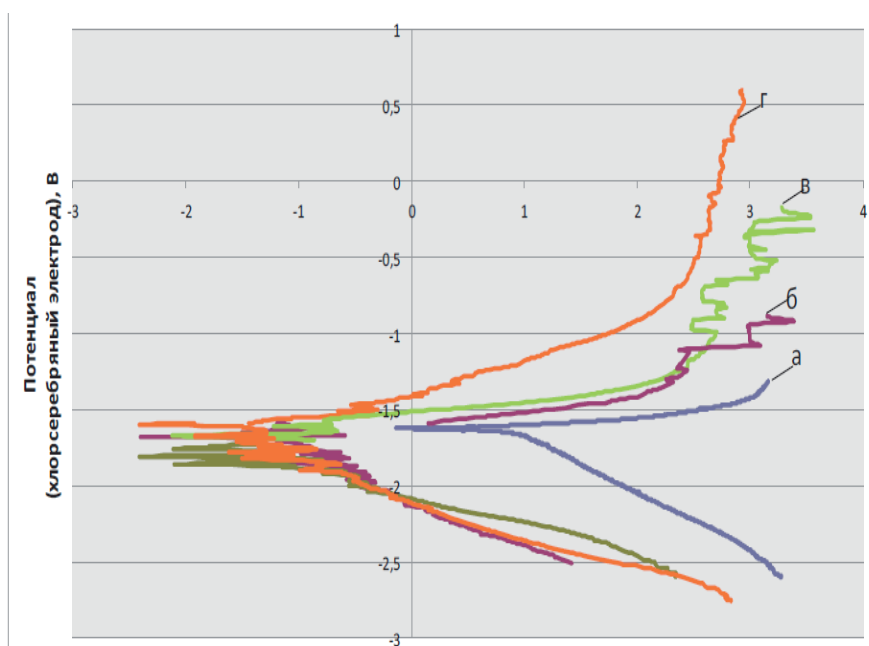


Рисунок 6. Поляризационные кривые, полученные на образцах:

а – без МДО-покрытия; б – обработанных в течение 54 мин в электролите СКОН=2 г/л, СЖС=3 мл/л; в – обработанных в течение 40 мин в электролите СКОН=4 г/л, СЖС=6 мл/л; г – обработанных в две стадии [3]

Из анализа приведенного графика следует, что наиболее эффективной для получения повышенной коррозионной стойкости покрытия является двухстадийная МДО-обработка (рисунок 6, г). Образцы сначала оксидировали в электролите, содержащем 2 г/л гидроксида калия и 3 мл/л жидкого стекла, в течение 54 мин, а затем в электролите, содержащем 4 г/л гидроксида калия и 6 мл/л жидкого стекла, в течение 40 мин. В результате было сформировано МДО-покрытие толщиной 63 мкм с пористостью 4,2 %. Плотность тока коррозии на поверхности данного покрытия по сравнению с покрытиями, полученными в течение 54 мин в электролите СКОН=2 г/л, СЖС=3 мл/л или обработанными в течение 40 мин в электролите СКОН=4 г/л, СЖС=6 мл/л снизилась почти на порядок – до 0,0016 А/м².

Таким образом, очевидно, что среди технологических факторов, ответственных за структурообразование, а также влияющих на количество и размеры пор в МДО-покрытиях на магниевых сплавах, определяющая роль принадлежит составу электролита и продолжительности обработки.

Список литературы:

1. Обработка поверхности изделий медицинского назначения в электролитах-суспензиях. Ч. 3 / А.М.Борисов, Б.Л. Крит, В.Б. Людин, Н.В. Морозова, И.В. Суминов, Д.И. Цыганов, А.В. Эпельфельд, Н.Л. Семенова // Технологии живых систем. – 2013. – Т. 10. – № 6. – С. 37–47.
2. Владимиров Б.В. Влияние состава электролита на свойства сплава МА2-1 при микродуговом оксидировании // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. №2 – С.143-148.
3. Елкин Ф.М. Актуальные проблемы металлостроения, производства и применения магниевых сплавов // Технология легких сплавов. – 2007. – № 1. – С. 5–18.
4. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов: в 2-х т. Т. II. / И.В.Суминов, П.Н. Белкин, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, Б.Л. Крит, А.М. Борисов. – М.: Техносфера, 2011. – 512 с.
5. Руднев В. С., Гордиенко П. С., Курносоева А. Г., Овсянникова А. А. Влияние электролита на результат микродугового оксидирования алюминиевых сплавов // Защита металлов. 1991. Т. 27. № 1. С. 106–110.
6. Суминов И. В., Эпельфельд А. В., Людин В. Б. и др. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование). / М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 352 с.
7. Черненко В. И., Снежко Л. А., Папанова И. И. Получение покрытий анод-но-искровым электролизом / Л.: Химия, 1991. – 128 с.
8. Дударева Н. Ю. Влияние режимов микродугового оксидирования на свойства формируемой поверхности // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17, № 3, (56). С. 217–222.
9. Хла Мо, Оптимизация процесса микродугового оксидирования алюминий-вых и магниевых сплавов : дис. ... к-та техн. наук : 05.17.03 / Хла Мо. – Москва, 2007. – 133 л.
10. Чигринова Н.М., Чигринов В.Е., Кухарев А.А. Некоторые сведения о возможности оптимизации режимов процесса АМДО для получения толстых керамических покрытий в щелочных растворах // В сб. тр. МНТК “Модификация поверхностей”. - Феодосия, 2001.

СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЯНЫХ И БИТУМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гатауллин Р.Н.

кандидат технических наук, научный сотрудник,
Казанский научный центр Российской академии наук (КазНЦ РАН)

Галимзянова А.Р.

младший научный сотрудник,
Казанский научный центр Российской академии наук (КазНЦ РАН)

CONDITION OF WAVE ACTION METHODS AND MEANS AT DEVELOPMENT OF OIL AND BITUMINOUS FIELDS

Gataullin R.N., candidate of science Technical, research associate, Kazan science center of Russian academy of science

Galimzyanova A.R., junior researcher, Kazan science center of Russian academy of science

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена актуальной проблеме повышения эффективности волнового воздействия на продуктивные пласты для увеличения нефтедобычи. Проведен обзор основных работ в области теоретических и экспериментальных исследований методов волнового воздействия и технических средств при освоении нефтяных и битумных месторождений с трудноизвлекаемой нефтью. Предложены перспективные методы волнового воздействия на продуктивный пласт (сейсмоакустическое и виброволновое), выявлены их преимущества и недостатки по сравнению с другими. Рассмотрены особенности тепловолнового воздействия на продуктивный пласт в условиях горизонтальных скважин. Проведена классификация по техническим средствам генерации колебаний (скважинным излучателям) для реализации волнового воздействия на пласт.

ABSTRACT

Article is devoted an actual problem of increasing the efficiency of wave action on pays for oil extracting magnification. The review of the basic operations in the field of theoretical and experimental researches of wave action methods and means is held at development of oil and bituminous fields with a scavenger oil. Perspective methods of wave action on a pay (seismoacoustic and vibrowave) are tendered, their advantages and deficiencies in comparison with others are revealed. Features of heat-wave action on a pay in the conditions of horizontal wells are viewed. Classification by means of oscillation generators (downhole emitters) for realization of wave action on oil layer is held.

Ключевые слова: волновое воздействие, добыча нефти, скважина, волновое поле, акустика, продуктивный пласт, излучатель колебаний.

Keywords: wave action, oil recovery, well, an undular field, acoustics, a pay, an emitter of oscillations.

Увеличение доли трудноизвлекаемых запасов нефти, сопровождается многолетним снижением нефтеотдачи пластов: в недрах остается более 70 % неизвлеченной нефти. В целом уже потеряно примерно 15 млрд. тонн потенциально извлекаемых запасов нефти, то есть примерно столько, сколько добыто за всю историю развития нефтяной промышленности России.

За последние 15 лет средняя проектная величина коэффициента извлечения нефти снизилась в 1,8 раза - с 0,5 до 0,28. Это объясняется тем, что сырьевая база уже много лет пополняется в основном за счет трудноизвлекаемых запасов, а утвержденные проекты их разработки предусматривают, как правило, традиционно применение заводнения, влекущего за собой большие потери. Это объясняется тем, что сырьевая база уже много лет пополняется в основном за счет трудноизвлекаемых запасов, а утвержденные проекты их разработки предусматривают, как правило, традиционно применение заводнения, влекущего за собой большие потери.

Необходимость в применении новых методов увеличения нефтеотдачи (МУН) пластов и интенсификации добычи нефти обусловлена, прежде всего, тем, что после

заводнения более половины запасов нефти остается в пласте. В связи с этим начали разрабатываться «вторичные» и «третичные» методы увеличения нефтеотдачи пластов, совместимые с заводнением.

Современное состояние в области методов воздействия на продуктивный пласт обусловлено новым качеством располагаемых запасов нефти и, прежде всего, тем, что преобладающая доля их – трудноизвлекаемые запасы. И если раньше стояли задачи более эффективного освоения месторождений на ранних этапах, то в настоящее время возникла необходимость повышения эффективности их разработки на поздних стадиях.

Интенсификация процесса извлечения нефти обусловлена необходимостью прироста ее добычи на поздних стадиях разработки месторождений. В то же время освоение высоковязких и трудноизвлекаемых запасов углеводородов, составляющих около 70% всех располагаемых ресурсов нефти в Российской Федерации, влечет за собой значительные материальные и энергетические затраты. В связи с чем, чрезвычайно актуальной задачей является применение энергосберегающих экологически безопасных технологий добычи. Перспективным направлением решения этой задачи является использование упругих волн для интенсификации процесса извлечения нефти. Для боль-

шинства углеводородных запасов в России (обводненные месторождения и низкопроницаемые коллекторы) необходимы технологии, которые не являются приоритетными для других стран. Значительный интерес представляет использование волнового воздействия как одной из составляющих - предлагаемый в данном проекте комбинированный метод воздействия на продуктивный пласт. При этом воздействии достигается: экологическая чистота, отсутствие вредного влияния на геологическую структуру пластов и химический состав извлекаемого продукта; техническая безопасность и относительная простота применения метода. В представленном проекте предложен метод комбинированного воздействия на продуктивный пласт с целью интенсификации процесса добычи нефти и повышения полноты извлечения ее из недр, в особенности - высоковязкой нефти и природных битумов. Применение метода обусловлено также необходимостью интенсификации внутрипластовых процессов и увеличения дебита скважин, в итоге - обеспечения рентабельности процесса добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов. Сущность, предлагаемого авторами статьи, волнового метода увеличения нефтеотдачи пластов заключается в формировании поля упругих колебаний внутри продуктивного пласта и в призабойной зоне скважины (рис.1). Волновое поле в пласте формируется с помощью излучателя колеба-

ний - 1, присоединяемого к насосно-компрессорной трубе на забое скважины. Для возбуждения колебаний давления в потоке агента, нагнетаемого в пласт с целью вытеснения нефти, используются различные физические эффекты, реализуемые в излучателе. Колебания, распространяемые в пласте, формируют поле упругих колебаний. В качестве рабочих агентов могут быть использованы газы и жидкости. Физические явления, которые наблюдаются при этом, позволяют интенсифицировать процесс фильтрации флюидов, насыщающих пористые коллектора. В итоге это способствует увеличению объема извлекаемого из недр углеводородного сырья и снижению энергетических затрат.

Сущность такой технологии состоит в совмещении применяемых методов увеличения нефтеотдачи с волновым воздействием [1]. С помощью этого метода в процессе промысловых испытаний впервые в отечественной практике нефтедобычи достигнута рентабельная скважинная добыча природного битума: кратно увеличился дебит скважин, снизилась обводненность извлекаемой продукции, уменьшились удельные энергетические затраты (Мордово-Кармальское и Первомайское месторождение ОАО «Татнефть») [2, 3]. При этом, как показано проведенными исследованиями, возможно достижение синергетического эффекта и кратное улучшение определяющих показателей качества процесса.

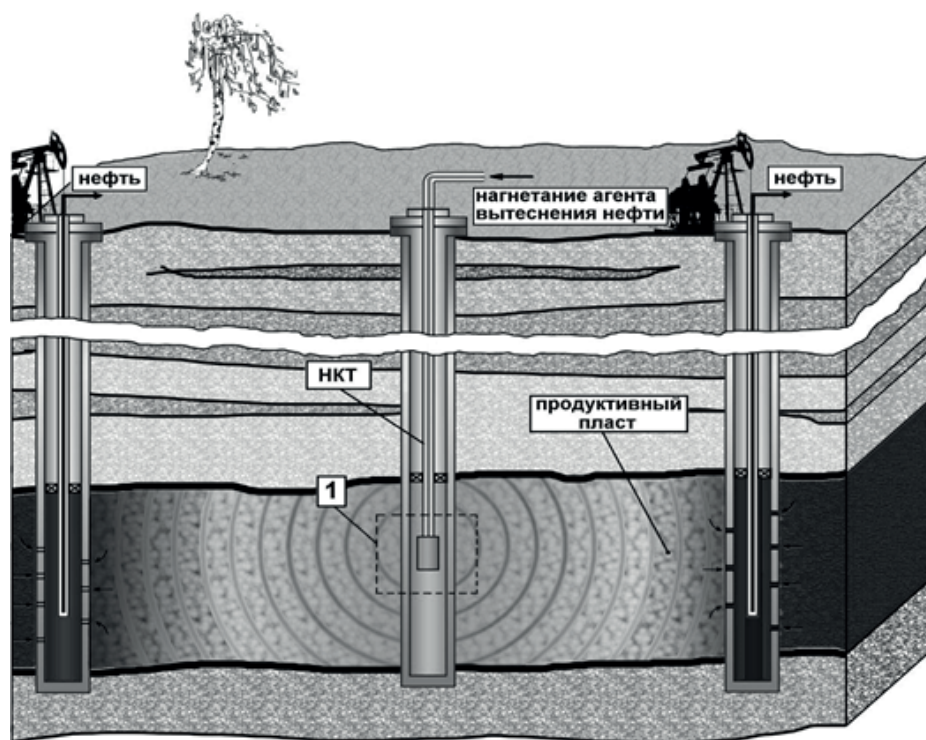


Рис. 1 – Схема реализации технологии комбинированного воздействия.

1 – излучатель колебаний давления.

Эффективность применения волновых методов воздействия на нефтяные пласты изучается более 50 лет – как в нашей стране, так и за рубежом.

Вибрационные и акустические технологии повышения продуктивности скважин отличаются относительной простотой, экологической чистотой и малыми энергетическими и материальными затратами. В их основе лежат различные способы передачи энергии от поверхностных

и скважинных источников в пласт. Под действием колебаний устраняется блокирующее влияние остаточных фаз газа, нефти и воды, инициируется фильтрация флюидов в низкопроницаемых пропластках и зонах и повышается охват пласта воздействием как по толщине, так и по простиранию, а также снижается равновесная концентрация газа в жидкости и др. Кроме того, в малопроницаемых пластах при достижении достаточно высоких значений амплитуды

ды колебания давления происходит еще и гидроразрыв пласта. [56].

Акустические волны и эффект кавитации в призабойной зоне пласта приводят к разрушению поверхностного слоя стенок в призабойной зоне скважин, очистке закупоренных поровых каналов продуктивного пласта. Депрессия активизирует возникновение кавитации, ускоряет приток пластовой жидкости (нефти) к скважине, способствует удалению кольматантов из поровых каналов. Кроме того, волновое поле существенно способствует снижению вязкости пластового флюида и увеличивает его приток к скважине [4].

Упругие волны на два-три порядка ускоряют процесс релаксации механических напряжений [5]. В призабойной зоне пласта (ПЗП) это способствует уменьшению отрицательных последствий бурения и вскрытия пластов, обусловленных напряжениями в породах вблизи скважин и перфорационных каналов; это способствует восстановлению равновесия между ПЗП и проницаемостью коллектора.

Основополагающий вклад в обоснование и разработку методов волнового воздействия на пласт с целью увеличения нефтеотдачи пластов внесли А.С. Алексеев, В.Е. Алемасов, В.А. Бабешко, Г.Г. Вахитов, Р.Ф. Ганиев, В.П. Дыбленко, О.Л. Кузнецов, А.В. Лебедев, М.В. Курленя, Р.И. Нигматуллин, В.Н. Николаевский, Муслимов Р.Х., Э.М. Симкин, М.Л. Сургучев, А.Я. Хавкин и др. За рубежом также проводились и выполняются в настоящее время исследования по обоснованию и разработке волновых и вибрационных методов воздействия на пористые среды Е. Анселом, И. Бересневым, В. Вуденым, Р. Робертсом, Х.Скоттом, П. Поэсио, Дж. Чилингаром, Ж. Эльхоури и др.

Например, во многих работах известных ученых (Дыбленко В.П., Камалов Р.Н., Шарифуллин Р.Я. и др.) показано, что упругие колебания на два-три порядка ускоряют процессы релаксации механических напряжений, а в призабойной зоне пласта способствует уменьшению отрицательных последствий бурения и вскрытия пластов [5]. В работах Manga M., Beresnev I., Elkhoury J.E., Барабанова В.Л., Лаврова В.С., Кучумова Р.Я. экспериментально доказано, что под воздействием высокоамплитудных колебаний давления в жидкости происходит необратимое увеличение абсолютной проницаемости насыщенных пористых сред [6,7]. В области вибрационного воздействия на пласты широко известны работы крупных ученых Graham, D. R., Higdon J., Садовского М.А., Симонова Б.Ф., Кузнецова О.Л., Симкина Э.М., Вахитова Г.Г. и многих других [8].

Сейсмоакустическое воздействие основано на использовании упругих волн. Эффекты, возникающие при прохождении упругих волн через насыщенные пористые среды, сводятся к следующему [9]:

- увеличение относительных фазовых проницаемостей нефти в большей степени, чем воды;
- увеличение в 10 раз скорости и полноты капиллярного вытеснения нефти водой;
- изменение напряженного состояния пород коллектора и связанное с этим изменение структуры порового пространства.

Основным мотивом применения сейсмоакустического

воздействия (САВ) является неоднородность продуктивных пластов по проницаемости. Объектом САВ следует считать также подвергнутые обработке объемы вышележающих или нижезалегающих пластов на расстоянии 20-50 метров. Предельное значение радиуса воздействия достигает 2000 метров от скважины.

Виброволновое воздействие на низких и средних частотах охватывает влиянием области призабойной зоны пласта (ПЗП) и более глубокие зоны пластов [9]. С существенно меньшей интенсивностью, замечено влияние упругих колебаний на фильтрационные процессы в насыщенных пористых средах; на структурно-механическое состояние матрицы скелета и насыщающие компоненты при напряжениях и градиентах внутриволнового давления. Важной особенностью является и то обстоятельство, что данные эффекты проявляются не в результате прямого «силового» воздействия упругими колебаниями, а в процессе существования в пластовой среде естественных метастабильных состояний, связанных как с ее внутренними свойствами, так и с наложением постоянно действующих внешних сил. Воздействие упругими колебаниями с относительно малой интенсивностью (относительно малой амплитудой) является неким пусковым механизмом получения существенного эффекта виброволнового воздействия на пласт. Приведенные эксперименты свидетельствуют, что под воздействием высокоамплитудных колебаний давления в жидкости (порядка 0,3 МПа) происходит необратимое увеличение проницаемости насыщенных пористых сред. Относительное изменение проницаемости искусственно склементированных кернов доходит до 30 % и связано с образованием новых фильтрационных каналов в пористой среде, изменением пористости, раскрытием трещин, переупаковкой и изменением ориентации зерен, слагающих пористую среду. При глинистости вплоть до 35 % эти явления усиливаются.

Влияние акустического поля на насыщенную пористую среду обусловлено особенностями воздействия на жидкость, газ и сплошное тело. Это вызвано, во-первых, наличием двух типов продольных волн и, во-вторых, присутствием развитой поверхности раздела твердой и жидкой фаз.

С увеличением интенсивности акустического поля относительный прирост температуры повышается. Полученные результаты свидетельствуют также об интенсивности внутриволнового тепло- и массопереноса между твердой фазой коллектора и фильтрующейся жидкостью [11].

Анализ результатов применения технологии добычи битумов при помощи горизонтальных скважин (ГС) [1, 12-13] показал, что наиболее эффективным является использование двух горизонтальных скважин, расположенных одна над другой. Верхняя служит для нагнетания теплоносителя, нижняя - для отбора битума - так называемая технология SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage).

При добыче высоковязких нефтей и природного битума с применением термоволнового воздействия на пласт целесообразно принять именно эту технологию, когда пар подается через излучатель колебаний давления в верхнюю горизонтальную скважину (рис.2). При этом формируется волновое поле, воздействующее совместно с температурой

на пласт, а из нижней горизонтальной скважины отбирается нефть или битум. Этот вариант тепловолнового воздействия является наиболее эффективным для условий на

месторождениях Западной Сибири, Республики Татарстан и т.д..

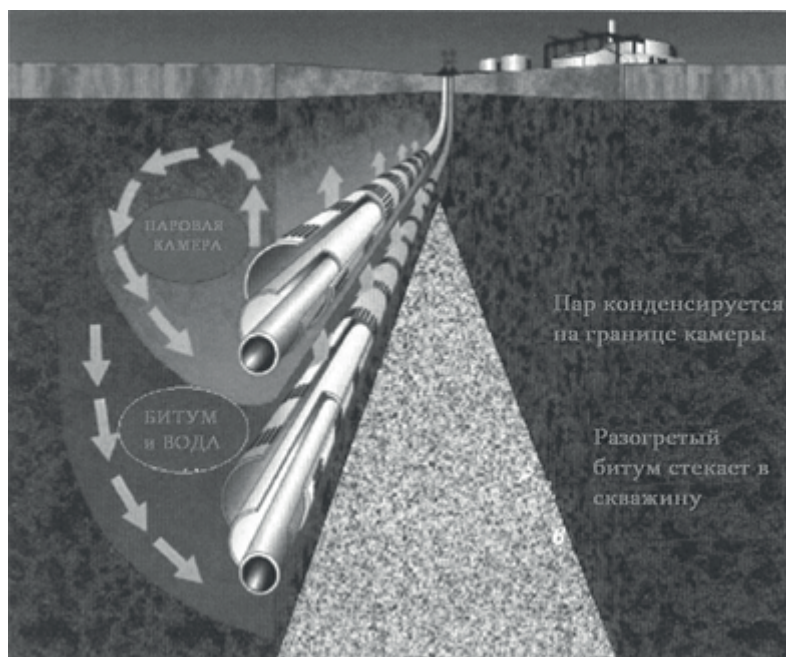


Рис. 2. Схемы разработки продуктивного пласта с помощью горизонтальных скважин: нагнетательной (сверху) и добывающей.

Реализация технологических параметров комбинированного воздействия на залежи нефти и природного битума происходит в объеме, который касается температурного и волнового полей колебаний и систем их обеспечения. При этом предполагается, что условия залегания и параметры ГС известны.

Из прогретой зоны нефть (битум) и конденсат стекают к нижней перфорированной горизонтальной трубе. В случае неперфорированной верхней горизонтальной скважины прогрев пласта происходит за счет теплопроводности длительное время. Поэтому верхняя труба перфорируется. Делается, это также для эффективного прохождения волнового поля из скважины в пласт. Благодаря этому осуществляется напорный режим добычи. При этом регулируется режим закачки пара, чтобы не допустить большое паро-нефтяное соотношение.

Верхняя горизонтальная скважина используется для нагнетания пара в пласт и создания высокотемпературной зоны [3, 14]. Процесс парогравитационного воздействия начинается со стадии предпрогрева, в процессе которой (несколько месяцев) происходит циркуляция пара в обеих скважинах. При этом за счет кондуктивного переноса тепла разогревается зона пласта между добывающей и нагнетательной скважинами, снижается вязкость нефти в этой зоне, что обеспечивает гидродинамическую связь между скважинами. На основной стадии добычи в нагнетательную скважину закачивается пар, который из-за разницы плотностей пробивается к верхней части продуктивного пласта, создавая увеличивающуюся в размерах паровую камеру. На поверхности раздела паровой камеры и холодных нефтенасыщенных пространств постоянно происходит процесс теплообмена, в результате которого

пар конденсируется в воду и вместе с разогретой нефтью под действием силы тяжести стекает к добывающей скважине. Увеличение паровой зоны (камеры) вверх продолжается до тех пор, пока она не достигнет кровли пласта; затем она начинает расширяться в стороны. При этом нефть всегда контактирует с высокотемпературной паровой камерой. Вследствие чего, потери тепла минимальны. Процесс может быть реализован на залежах практически любой вязкости углеводородов.

Применение тепловолнового воздействия на продуктивный пласт рентабельно также с точки зрения очистки призабойной зоны пласта, поскольку при эксплуатации пласта в ствол добывающей скважины совместно с нефтью выносятся парафины, асфальто-смолистые вещества, механические примеси, вода и др. Пониженные значения температуры и давления приводят к интенсивным отложениям парафинов. Температура плавления многих парафинов лежит в пределах 40-80°C. Тепловое поле должно обеспечить плавление парафина в призабойной зоне пласта и вынос его при последующей эксплуатации скважины на земную поверхность.

В связи с увеличением теплопроводности насыщенных горных пород в упругом поле повышается эффективность совместного применения термического и волнового воздействия. В этом случае, изменяя интенсивность и частоту акустического поля, можно увеличить или уменьшить радиус прогрева приствольного массива.

Для реализации волнового воздействия на пласт необходимы соответствующие технические средства - излучатели или генераторы упругих волн.

Рассматриваемые ниже технические средства генерации колебаний давления, в основном, связаны с волновы-

ми методами воздействия. Их классификация выглядит следующим образом:

1) устройство для возбуждения ударных гидроимпульсов, вызываемых механическим путем, что влечет за собой образование в призабойной зоне пласта искусственных трещин. Основным недостатком этих средств является их трудоемкость, энергоемкость и малая прочность;

2) устройства для возбуждения в призабойной зоне пласта различного рода механических колебаний. Эти устройства, как правило, механического типа с передвижными элементами и узлами. В ряде случаев для обеспечения их работы на забой скважины подается электропитание. В связи с чем осложняется их эксплуатация, снижается их надежность и работоспособность;

3) устройства для осуществления воздействия на пласт направленной импульсной струей рабочего тела; они же, как правило, обеспечивают генерацию колебаний давления низкой частоты;

4) устройства, обеспечивающие воздействие на пласт упругими волнами давления в жидкости в режиме периодической срывной кавитации, вихревых эффектов и т.д. Для генерации колебаний с помощью этих устройств, используется, как правило, энергия собственно потока агента воздействия или рабочего тела. В этом их преимущество.

Нефтяные компании проявляют все возрастающий интерес к повышению нефтеотдачи за счет воздействия на нефтяные пласты знакопеременного давления различной частоты и интенсивности. Объектом воздействия могут быть как пласт в целом, так и призабойная зона скважины. Воздействие проводят с помощью свабов, пульсаторов давления (в том числе, импlosionных), пороховых генераторов и аккумуляторов давления, электроискровых излучателей (спаркеров), магнотрипционных и пьезокерамических излучателей [15]. Частотный спектр перечисленных методов воздействия занимает диапазон от тысячных долей герца (при свабировании) до десятков килогерц (для магнотрипкторов и пьезокерамики), диапазон изменения давления простирается от тысячных - сотых долей мегапаскаля для магнотрипкторов и пьезокерамики, до десятков мегапаскалей для остальных методов. Учитывая то обстоятельство, что акустика в широком смысле, исследует упругие колебания от самых низких (условно, нулевых частот), назовем перечисленные методы воздействия акустическими.

Автором работы [16] в качестве устройств для обработки призабойной зоны скважины рассматриваются магнотрипционные и пьезокерамические излучатели. Преобладающая частота колебаний для этого типа излучателей 20-25 кГц, что соответствует ультразвуковой технологии воздействия. Интенсивность акустического поля в скважине достигает 10 кВт/м², а в породе (вблизи стенки скважины) - порядка 1 кВт/м². Это позволяет обеспечить интенсивность воздействия в пласте порядка 0,2 кВт/м² на расстоянии примерно 1 м от стенки обсадной колонны скважины. При этом глубина залегания пластов может достигать многих тысяч метров.

Как указывают авторы работы [17], использовавшие излучатель с диапазоном рабочих частот 18-24 кГц (с пи-

тающим напряжением генератора от трехфазной сети 380 В) при обработке призабойной зоны скважин акустическое воздействие влечет за собой проявление микрорезонансных свойств многофазных пористых структур. Они, в свою очередь, вызывают микротечения, улучшают гидродинамические характеристики капилляров коллектора.

К настоящему времени разработаны акустические генераторы с различными активными элементами: вихревые, тороидальные, дисковые, диафрагменные, параметрические, работающие в режиме усиления выходных параметров [18, 19]. Широкий набор скважинных приборов различного диаметра позволяет проводить воздействие как в открытом стволе, так и через насосно-компрессорные трубы. В нагнетательных скважинах обработка может проводиться при закачке и во время остановки, а в скважинах газлифтного и фонтанного фондов - без прекращения добычи и подъема насосно-компрессорных труб. На механизированных скважинах обработку целесообразно совмещать с подземным или капитальным ремонтом оборудования. Акустическое воздействие обладает эффектом последствия, т.е. положительный эффект от его применения сохраняется от нескольких недель до двух лет и более. Метод экологически чист, а затраты на его проведение ниже, чем при химобработке и, тем более, гидроразрыве. Однако, основными факторами, сдерживающими применение скважинных излучателей с длительным ресурсом эксплуатации являются проблемы, связанные, как с процессом кавитации в устройствах так и с недостаточностью величины амплитуды при генерации колебаний давления при приемлемых энергозатратах, связанных с изготовлением и эксплуатацией излучателей. В работе [20] предложены решения этих проблем, позволяющие увеличить амплитуду генерируемых колебаний, снизить и оценить потери в скважинной среде, а также увеличить ресурс службы самого технического устройства.

Стоит отметить, что разрабатываемые технические устройства (излучатели колебаний) для волнового воздействия, применяемые авторами для волнового воздействия на пласт, имеют ряд своих особенностей и преимуществ: использование в качестве источника энергии для формирования волнового поля преобразованной части энергии нагнетаемого в пласт потока агента; отсутствие в излучателе подвижных элементов конструкции; возможность регулирования в широких пределах режима воздействия - частоты и амплитуды генерируемых колебаний. Все это позволяет исключить необходимость в дополнительном источнике энергии, повысить ресурс работы излучателя, расширить область эффективного применения технологии, упростить и снизить стоимость технических средств.

Практическое применение подобных систем нашли при широкомасштабной апробации в условиях разработки Мордово-Кармальского месторождения природных битумов: при нагнетании пара в пласт [1], а также при нагнетании воздуха в условиях внутрискважинного горения [3].

Выводы и предложения.

Анализ и обобщение зарубежных и отечественных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Для поддержания на современном этапе темпов до-

бычи нефти и природных битумов и увеличения коэффициента нефтеотдачи необходимы принципиально новые методы и средства воздействия на продуктивные пласты.

2. Перспективным представляется метод комбинированного (включая волновое) воздействия на продуктивные пласты, в том числе и в условиях горизонтальных скважин. При сбалансированном и эффективном сочетании параметров волнового и гидродинамического (или теплового) воздействий на пласт возможно достижение сверхсуммарного эффекта воздействия и снижение энергетических затрат.

3. Выявлено, что для обеспечения максимального эффекта волнового воздействия на продуктивный пласт предпочтителен гидродинамический излучатель колебаний давления, обеспечивающий большой ресурс эксплуатации (при воздействии на пласт в диапазоне инфразвуковых и низких частот, свойственном пластовым условиям на определенных этапах их разработки) и режим резонансных колебаний столба жидкости.

Поскольку наблюдаемая в процессе добычи тенденция характеризуется снижением нефтеотдачи – основного показателя рационального использования сырьевой базы, то выходом из сложившейся ситуации является наращивание добычи нефти рассматриваемыми методами воздействия на месторождениях с трудноизвлекаемыми углеводородами.

* Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № «16-38-00354-мол_а».

Список литературы:

1. Гатауллин Р.Н., Кравцов Я.И., Марфин Е.А. Интенсификация добычи трудноизвлекаемых углеводородов за счет интегрированного тепловолнового воздействия на пласт. / Нефтяное хозяйство. – 2013 - №1. – Москва: Нефтяное хозяйство. – С. 90-93.
2. Марфин Е.А., Кравцов Я.И., Абдрашитов А.А., Гатауллин Р.Н. Промысловые испытания волнового воздействия на процесс добычи нефти на Первомайском месторождении / Георесурсы, Казань: КГУ, №2, 2014. - С. 14-16;
3. Гатауллин Р.Н. Моделирование процесса тепловолнового воздействия на продуктивный пласт в условиях горизонтальных скважин: Дисс. канд. техн. наук.- Казань. 2009. - 150 с.
4. Муслимов Р.Х. Нефтеотдача: прошлое, настоящее, будущее. – Казань: Фэн АН РТ, 2014. – 750 с.
5. Дыбленко В.П., Марчуков Е.Ю., Туфанов И.А., Шарифуллин Р.Я., Евченко В.С. Волновые технологии и их использование при разработке месторождений нефти с трудноизвлекаемыми запасами. (книга1) – М.: РАЕН, 2012. - 344 с.
6. Manga, M., I. Beresnev, E. E. Brodsky and etc. (2012), Changes in permeability caused by transient stresses: Field observations, experiments, and mechanisms, Rev. Geophys., 50, RG2004.
7. Elkhoury, J. E., A. Niemeijer, E. E. Brodsky, and C. Marone (2011), Laboratory observations of permeability enhancement by fluid pressure oscillation of in-situ fractured rock, J. Geophys. Res., 116, B02311.
8. Кузнецов О.Л., Симкин Э.М., Чилингар Дж. Физические основы вибрационного и акустического воздействия на нефтегазовые пласты. – М.: Мир, 2001, – 260 с.
9. Pant A. Johnson. Seismic stimulation of oil production in depleted reservoirs. Proposal summary. / GeoEngineering Group Los Alamos National Laboratory. pp. 1-5 1995.
10. Иванов Б.Н., Гурьянов А.И., Гумеров А.М. Волновые процессы и технологии добычи и подготовки нефти. – Казань: Изд-во «Фэн» АН РТ, 2009. – 400 с.
11. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1983.- 192 с.
12. Гатауллин Р.Н., Галимзянова А.Р. Определение протяженности горизонтального участка скважины для интегрированного воздействия на пласт. / Технологии нефти и газа. - 2015. - № 4 (99). - С. 44-48.
13. Шандрыйгин А.Н. Разработка залежей тяжелой нефти и природного битума методом парогравитационного дренажа (SAGD) // Нефтяное хозяйство, 07, 2006. - С.92-96.
14. Butler R.M. The potential for horizontal wells for petroleum production // JСPT. - №3, 1989. – P.39-47.
15. НТВ Каротажник, Тверь: 1998. Выпуски 38, 42, 50.
16. Горбачев Ю.И., Иванова Н.И., Никитин Н.И. и др. Акустические методы повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти. // Нефтяное хозяйство № 5, 2002. С. 87-91.
17. Исаков А.А., Юнусова Л.В., Михайлов А.П. и др. Научно-технический сборник «Нефтяные проблемы и перспективы нефтегазовой отрасли в северо-западном регионе России» часть 2. Ухта, 2005. - С. 136-147.
18. Муфазалов Р.Ш., Гимаев Р.Н., Арсланов И.Г., Зарипов Р.К. Акустические генераторы, разработанные для интенсификации технологических процессов добычи и переработки нефти. Труды научно-практической конференции VI международной специализированной выставки «Нефть, газ – 99» Казань, 8-9 сентября 1999 г. том. 2. С. 329-335.
19. Laaket A. and Meier G.E. A generator for high pressure pulses in liquids // Journal of Sound and Vibration. 1989. 131, 2. pp. 295-304.
20. Загидуллина А.Р., Буторин Э.А., Кравцов Я.И., Гатауллин Р.Н. Возбуждение продольных резонансных колебаний давления в условиях забоя скважины. / Нефтепромысловое дело. - 2015. - № 5. - С. 33-37.

СТРИМЕРНАЯ КОРОНА СО СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ

Чернухин Александр Юрьевич

аспирант кафедры «Инженерная электрофизика»
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

Князев Владимир Владимирович

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

THE STREAMER CORONA FROM THE ROD LIGHTNING ARRESTERS

Chernuhin A. Yu., Graduate student department Engineering Electrophysics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Kniaziev V. V., PhD Technical science, senior scientist, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

АННОТАЦИЯ

В работе содержится обобщение результатов теоретических и экс-периментальных исследований процессов формирования объемного заряда в области вершины стержневого молниеприемника. Рассмотрены особенности формирования стримерной короны на стержневых молниеприемниках с различными конфигурациями вершины в электрическом поле грозового облака. Установлены зависимости силы тока короны от напряженности электрического поля и высоты для каждого варианта стержня. Доказано, что при этом временные параметры импульсов тока стримера меняются не более чем на 30%. Напротив, заряд стримера, и как следствие, сила тока короны увеличиваются по мере роста напряженности электрического поля. Предлагается новый вариант эталонного стержня.

ABSTRACT

The paper contains a summary of the results of theoretical and experimental studies of the processes of formation of the space charge in the top of the rod air terminal. The features forming of the streamer corona from the rod lightning terminal with different configurations of the rod tops in the electric field from a thunderstorm cloud. The dependence of the corona current from the electric field and the height of the each option rod defined. The authors have shown that in this case the deviation of the time parameters of the pulse streamer current is not more than 30%. On the other hand, the charge of the streamer, and as a consequence, the corona current increases with increasing electric field. We propose a new version of the standard rod.

Ключевые слова: стержневой молниеприемник, импульсная корона, напряженность электрического поля грозового облака, эталонный стержень.

Keywords: rod lightning terminal, streamer corona, electric field of a thunderstorm cloud, reference rod.

Постановка проблемы.

Молния является весьма распространенным природным явлением на большей части Земли. Прямые удары молнии, как правило, приводят к трагическим последствиям и значительным материальным потерям. Современные знания по созданию систем молниезащиты сконцентрированы в серии стандартов Международной электротехнической комиссии [1, 2]. В этих нормативных документах рассмотрены системы, основанные на стержневых и тросовых молниеприемниках. Желание добиться повышения надежности и эффективности молниезащиты привело к появлению идеи создания молниеотводов новых типов, так называемых «активных», реализующих механизм ранней стримерной эмиссии (Early streamer emission), названных ESE терминалами. Мировой рынок отреагировал разнообразием конструкций ESE терминалов, производимых многими компаниями. Большинство специалистов в области молниезащиты критически относятся как с самой идее, так и к представленным на рынке образцам. Однако, учитывая тенденцию к широкому распространению ESE терминалов, целесообразно разобраться в деталях процесса и аргументации сторон.

Принцип действия ESE терминала основан на предположении, что воз-никновение стримера, переходящего во встречный к каналу нисходящей молнии лидер, с такого

терминала происходит ранее, чем с обычного стержневого молниеприемника [3]. Следовательно, величина времени опережения является основной технической характеристикой ESE терминала. При этом, восходящий стример возникает на фоне коронного разряда, являющегося неотъемлемой частью процесса. Поэтому, решение рассматриваемой проблемы целесообразно начать с исследования закономерностей развития стримерной короны и перехода ее во встречный лидер.

Анализ последних исследований и публикаций

Изучение процессов, происходящих при появлении короны, является важным при выборе эффективных средств молниезащиты. В настоящее время наиболее распространено мнение, что появление короны негативно влияет на защитные свойства молниеприемника, т.к. ее наличие препятствует развитию встречного лидера. Вопросам изучения коронного разряда посвящено большое число работ, например, [4-8].

Известно, что для зажигания короны, величина максимальной напряженности около коронирующего электрода должна превышать критическую напряженность E_c , определяемую для электрода цилиндрической геометрии согласно формуле Пика [9]:

$$E_c = 29,8\delta \left[1 + \frac{0.3}{(\delta R)^{1/2}} \right] \quad (1)$$

где: E_c – значение критической напряженности, кВ/см; $\delta = N/N_0$; N, N_0 – плотность газа при существующих и нормальных условиях соответственно.

R – радиус электрода, см.

Схожая формула, отличающаяся коэффициентами, представлена в работе Базеляна [4] для электрода сферической геометрии. Сравнение результатов оценки по эти формулам для электродов радиусом $R \leq 1$ см, для которых формулы справедливы, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Значения критической напряженности электрического поля, вычисленные по формуле Пика [9] и Базеляна [4]

Радиус, см	0,1	0,5	1,0
E_c [9], кВ/см	58,5	42,6	39,0
E_c [4], кВ/см	75,1	48,9	42,8

Очевидно, что расхождение между значениями критической напряженности возрастает по мере уменьшения радиуса электрода. Поскольку, молниеприемники, как

правило, имеют заостренную вершину, для определения критической напряженности электрического поля целесообразно провести дополнительные исследования.

По мнению авторов [10] тупые молниеотводы более эффективны при перехвате молний, чем острые. Напротив, в работе [4] утверждается, что меняя радиус молниеотвода в достаточно широких пределах (практически значимых), нельзя повлиять на величину и распределение объемного заряда короны в его окрестности. Это противоречие также требует экспериментальной проверки.

В [11] описаны результаты лабораторных исследований влияния конфигурации молниеотводов на величину тока короны при приложении постоянного напряжения. Показано, что величина тока короны слабо зависит от длины (H) межэлектродного промежутка “стержень-плоскость” если $H \geq 1$ м. Там же показано, что токи короны стержневого, проволочного и шарообразного молниеотводов сравнимы между собой (рис.1). Увеличение тока короны вызвало использование молниеотвода с V-образной вершиной. Эксперименты проводились при приложении отрицательного напряжения величиной 450 кВ к плоскости, расположенной на расстоянии 3 м от электрода, имитирующего молниеотвод.

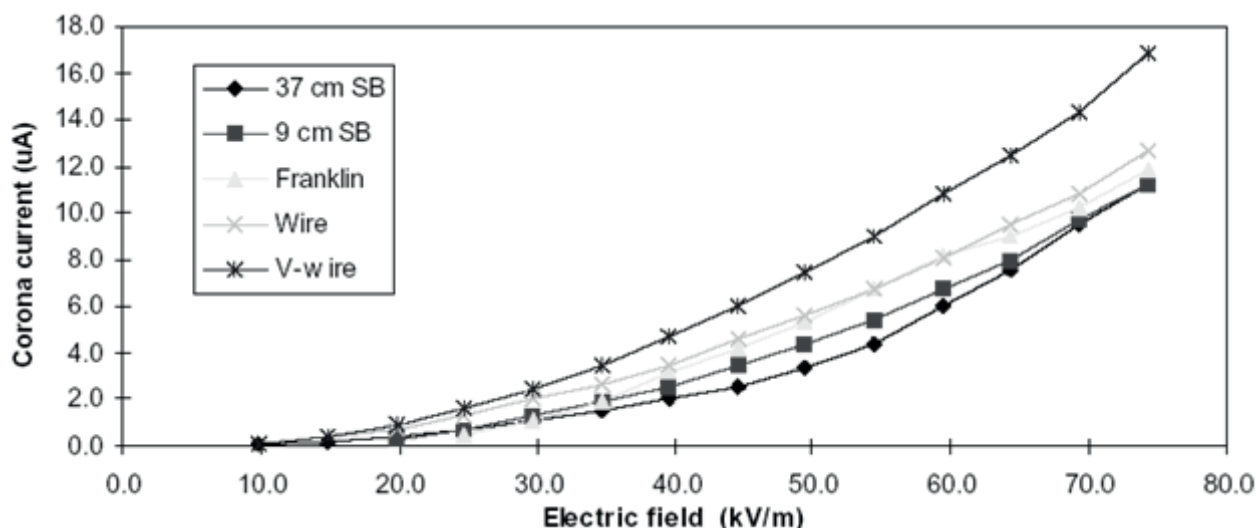


Рис. 1 – Зависимость силы тока короны от напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке 3 м [11]

В промежутках с большой степенью неоднородности электрического поля плазменная область, возникающая вследствие коронного разряда, может проникнуть в зону с низкой напряженностью только в виде тонкого канала – стримера. Когда стример попадает в область слабого поля, его скорость замедляется, он может остановиться. Такой незавершенный процесс называется импульсной или стримерной короной.

Граничной скоростью нарастания фронта импульса для квазистационарного режима, когда можно пренебречь изменением напряжения за время развития стримеров считается величина 50 кВ/мкс. Согласно формулы (2) из работы [4], следует, что для линейного роста напряженности электрического поля, ток короны нарастает линейно, а

при стабилизации E_0 ток снижается во времени. Данные экспериментальных исследований [7] этот факт не подтверждают. Если крутизна фронта выше граничной, стример продвигается в течение всего времени роста напряжения на промежутке, при этом скорость его нарастает.

Сильная стримерная вспышка инжектирует в промежуток так много заряда, что поле на всем аноде падает гораздо ниже порога ионизации, в результате чего в развитии разряда наступает пауза [12]. Она продолжается, пока ионы, формирующие заряд, под действием поля продвигнутся вглубь промежутка, или действие заряда компенсируется дополнительным поднятием напряжения. Если напряжение на промежутке не меняется или меняется медленно, время паузы может быть большим - около вре-

мени дрейфа ионов на расстояние, сравнимое с радиусом анода (при $r_a \sim 10$ см и средней напряженности электрического поля $5 \text{ кВ} / \text{см}$ $\Delta t \sim 10^{-3}$ с). Это явление характерно для стержня с острой конической вершиной, потому что элемент, который инжектирует заряд, имеет размер точки. Следовательно, плоская вершина стержня должна иметь преимущества при создании стабильного стримера.

Нерешенные ранее части общей проблемы

Контроль качества ESE терминалов в настоящее время осуществляется по методике стандарта Франции NFC 17-102:2011 [3], однако он обладает рядом недостатков, среди которых в данной работе рассмотрены такие:

- отсутствует обоснование параметров стержневого эталонного молние-приемника для сравнения результатов, полученных в различных лабораториях;

- противоречивые данные о степени влияния коронного разряда на эф-фективность действия молниеприемника.

Цель работы

Обобщение полученных авторами результатов исследования особенно-стей процесса формирования стримерной короны с вершины стержневого молниеприемника высотой более 1 м.

Обоснование параметров стержневого молниеприемника, который целесообразно выбрать в качестве эталонного при проведении испытаний ESE терминалов.

Результаты теоретических исследований

Очевидно, что молниеприемник, связанный с грунтом проводником имеет нулевой потенциал. При приближении грозового облака на нем наводится электрический заряд, поверхностная плотность которого обусловлена напряженностью электрического поля на вершине в области наибольшей неоднородности. При определенных условиях, описанных выше, возникает коронный разряд и стримеры, в последствии перерастающие во встречный к

молнии лидер.

Быстродействие молниеприемника зависит от степени ионизации окружающего воздушного пространства. Если ионизация активная, образуется облако заряженных частиц, осложняющих прорастание встречного лидера. Если она слабая, отсутствуют заряды, необходимые для формирования лавин. Значит, можно предположить, что существует некий ток короны с молниеприемника, оптимальный для минимизации времени формирования встречного лидера. Этот факт важен для выбора эталонного образца молниеприемника, необходимость определения которого была инициирована в работе [13].

С целью исследования начальной фазы процесса образования стационарной короны на вершине стержневого молниеприемника, выбрана математическая модель максимально приближенная к реальным условиям при проведении испытаний по стандарту [3]. Электростатическое поле образовано двумя круглыми дискообразными проводящими пластинами, диаметром 10 м каждая. Одной из пластин (верхней) присвоен потенциал 10 кВ, другая – заземлена ($U=0$). Расстояние между пластинами модели изменяется в диапазоне от 3 м до 10м. Значение потенциала выбрано таким из соображений уровня напряженности электрического поля $E_0 \geq 1 \text{ кВ} \cdot \text{м}^{-1}$, характеризующей пред-грозовую обстановку. Высота стержневого молниеприемника принята равной 2 м. Пространственная конфигурация расчетной модели показана на рис.2. Математическая модель задачи такова. В воздушном пространстве электрическое поле является потенциальным, а потенциал удовлетворяет уравнению Лапласа. Граничные условия задачи заданы равенством нулю потенциала на нижней пластине и стержне; положительный потенциал 10 кВ на верхней пластине; остальные границы соответствуют условию непрерывности потенциала.

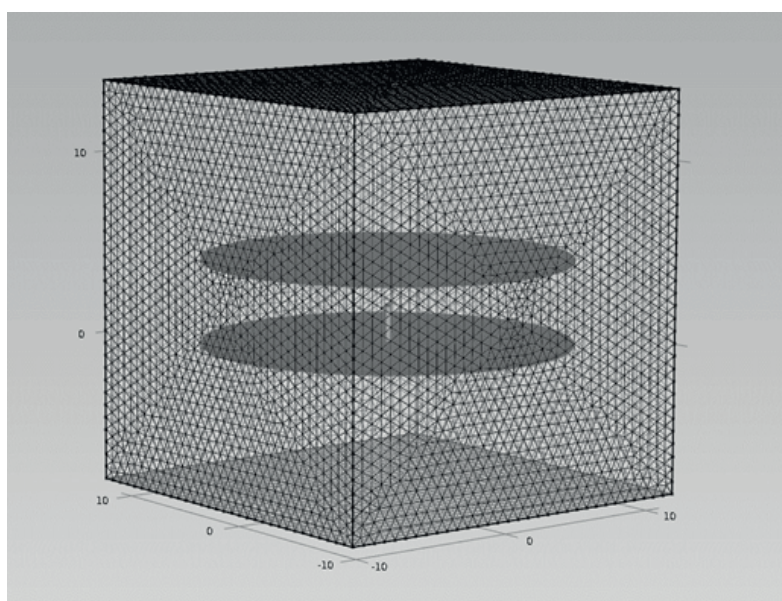


Рис. 2 - Геометрия расчетной модели

Цель моделирования – определение такого соотношения параметров стержневого молниеприемника, при котором достигается оптимальное соотношение максимальной напряженности поля около вершины и объема этой

области (напряженного объема), благоприятное для стримерного процесса.

Расчет напряженности электрического поля на поверхности заостренного стержня проведен вдоль обра-

зующей конуса его вершины. Степень остроты вершины стержня характеризуется коэффициентом заостренности (k), который равен отношению высоты острия к радиусу стержня. Рассмотрены варианты, когда коэффициент принимает значения 1; 2; 3 и 4 для стержня радиусом 0,05 м. Результаты расчета напряженности электрического поля на вершине острия заостренного стержня высотой 2 м, находящего в электрическом поле напряженностью 2 кВ/м представлены в таблице 2. Там же даны расчетные значения коэффициента K усиления напряженности поля в рассматриваемой точке.

Таблица 2. напряженности электрического поля на вершине острия заостренного стержня высотой 2 м

k	1	2	3	4
E, кВ/м	220	600	1020	1250
K	110	300	510	625

Результаты решения задачи для различных вариантов поперечного сечения (круг, квадрат, многоугольники), его размера (от 10мм до 30мм) и формы вершины (плоскость, острие) представлены в работе [15]. Результаты моделирования показали, что максимальное значение напряженности электрического поля на поверхности стержня увеличивается прямо пропорционально высоте стержня. Эта зависимость описывается формулой (2) (погрешность ≤5%)

$$E_m(h) = 26,7 \cdot E_0 \cdot h \quad (2)$$

где: $E_m(h)$ – максимальное значение напряженности E-поля на ребре вершины квадратного стержня с плоской вершиной, В/м;

E_0 – напряженность электрического поля, в котором размещен стержень, В/м;

h – высота стержня, м.

С целью проверки достоверности результатов, численного моделирования, проведем сравнение с результатами расчетов, полученных другими исследователям: по формулам, приведенным в работе [10] для заземленной половины сфероида во внешнем электрическом поле и численного метода работы [15]. Для этого определим напряженность E-поля на вершине стержня радиусом 0,05 м с вершиной в виде полусферы. Входные параметры модели таковы: H = 5м, h = 2м, U = 10⁴ В. По нашим оценкам максимальное значение напряженности электрического поля на вершине стержня равно 7,2•10⁴ В / м, то есть в 36 раз больше чем $E_0 = 2 \cdot 10^3$ В / м. При использовании графика 10 из работы [10] для сфероида с соотношением высоты к радиусу равным 40, коэффициент усиления определяется близко к 30. В результате численного решения в работе [15] результат близок к 35. Учитывая разницу между гео-

метрическими фигурами, и не слишком точную шкалу на графике из работы [10], есть основания считать достоверными результаты применяемого нами численного метода.

Основные результаты теоретических исследований таковы:

- поскольку зона повышенной напряженности локализована около ребер стержня, «напряженный объем» увеличивается с ростом периметра стержня;

- максимальное значение напряженности электрического поля и величины напряженного объема на поверхности молниеприемника, при прочих равных условиях, достигается при использовании стержня квадратного сечения с плоской вершиной. Такой стержень предлагается в качестве эталонного для стандарта [3].

Результаты экспериментальных исследований

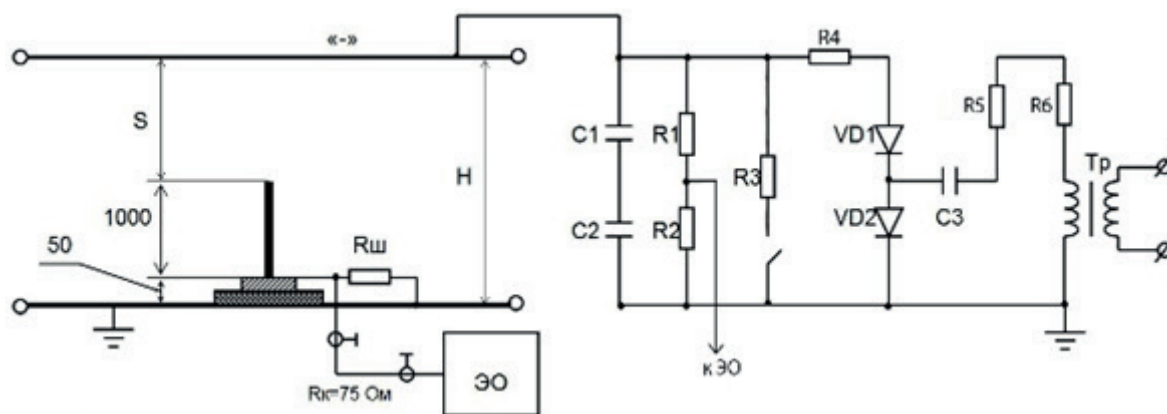
При некотором значении напряженности электрического поля, в которое помещен молниеприемник, на фоне «тихой» короны, ток которой составляет не более сотен микроампер, возникают стримерные вспышки, характеризующиеся током в десятки миллиампер. Только стримерная вспышка при определенных условиях может преобразоваться в лидер. Поэтому, определение критического значения напряженности электрического поля, при котором возникают стримерные вспышки, и характер их поведения при изменении уровня напряженности электрического поля является важной задачей. Моделирование процессов осуществлено на высоковольтном испытательном стенде ВВС-1.2 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ». Для оценки быстродействия конкретного молниеприемника предлагается использовать значения параметров стримеров, которые возникают при размещении его в электрическом поле.

Чтобы выявить зависимость между параметрами стримеров и защитными свойствами молниеприемника, проведено комплекс исследований, включая определение характеристик стримеров при постоянном и импульсном напряжении. Исследования на постоянном напряжении позволяют оценить поведение молниеприемника при приближении грозового облака, другая же часть исследований связана с изучением процесса возникновения стримеров при воздействии импульсного электрического поля, сопровождающего прорастающий канал молнии.

Исследования проведены на стержневых молниеприемниках, размещавшихся между двумя параллельными металлическими плоскостями.

Размеры плоскостей: нижняя – 4 x 6,5 м, верхняя – 3,6 x 5,2 м. Схема испытательной установки для исследования характеристик тока короны при постоянном и изменяющемся напряжении приведена на рис. 3.

В данном варианте нижняя плоскость заземлена. Верхняя плоскость по-тенциальная – на нее подается высокое напряжение отрицательной полярности. Расстояние (S) между вершиной стержня и потенциальным верхним электродом варьировалось в диапазоне от 2,5 м до 0,5 м.



$C1 = 0,381 \text{ мкФ}$; $C2 = 0,385 \text{ мкФ}$; $C3 = 0,4 \text{ мкФ}$; $R1 = 300 \text{ МОм}$; $R2 = 30 \text{ кОм}$; $R3 = 60 \text{ кОм}$; $R4 = 510 \text{ кОм}$; $R5, R6 = 60 \text{ кОм}$; $Rш = 75 \text{ Ом}$; Tr - трансформатор ИОМ 100/25

Рис. 3. - Схема испытательной установки

При этом, начальное значение напряженности электрического поля в промежутке не изменялось. Результаты экспериментальных исследований по-дробно представлены в работах [6-8, 14]. Обобщение этих результатов позволяет сделать следующие выводы. Типовая осциллограмма силы тока одиночного стримера представлена на рисунке 4. Заряд, содержащийся в стримере примерно $5,85 \cdot 10^{-9}$ Кл. Для сравнения, в работе [16, с77] измерение заряда стримера альтернативным методом дало среднее значение $5 \cdot 10^{-10}$ Кл. Учитывая различие конфигураций вершин стержней, совпадение результатов удовлетворительное.

Зависимости среднего арифметического числа стрим-

мерных вспышек от напряженности электрического поля для заостренного и квадратного стержней представлены на рис. 5. Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены в таблицах 3 и 4, для заостренного и квадратного стержней, соответственно. Следует отметить, что временные параметры (форма) тока единичного стримера для всех рассмотренных случаев изменяются в пределах $\pm 30\%$ от средне арифметических значений. Существенные изменения наблюдаются только для пикового значения импульса, следовательно, величины заряда стримера.

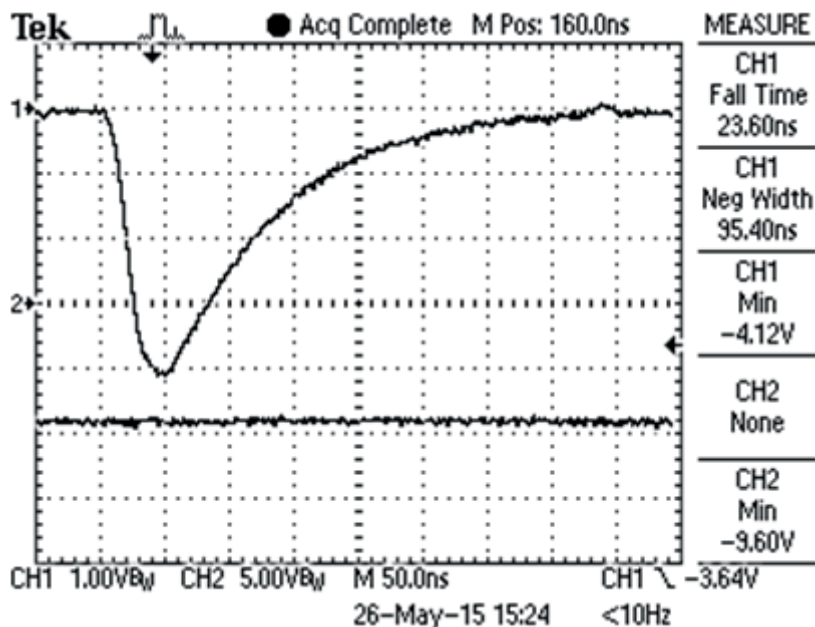


Рис. 4 - Осциллограмма единичного стримера со стержня квадратного сечения $12 \times 12 \text{ мм}^2$ высотой стержня 1,7 м, находящего в электрическом поле напряженностью 30 кВ/м (сигнал снят с резистора номиналом 75 Ом, заряд в импульсе $58,5 \cdot 10^{-10}$ Кл).

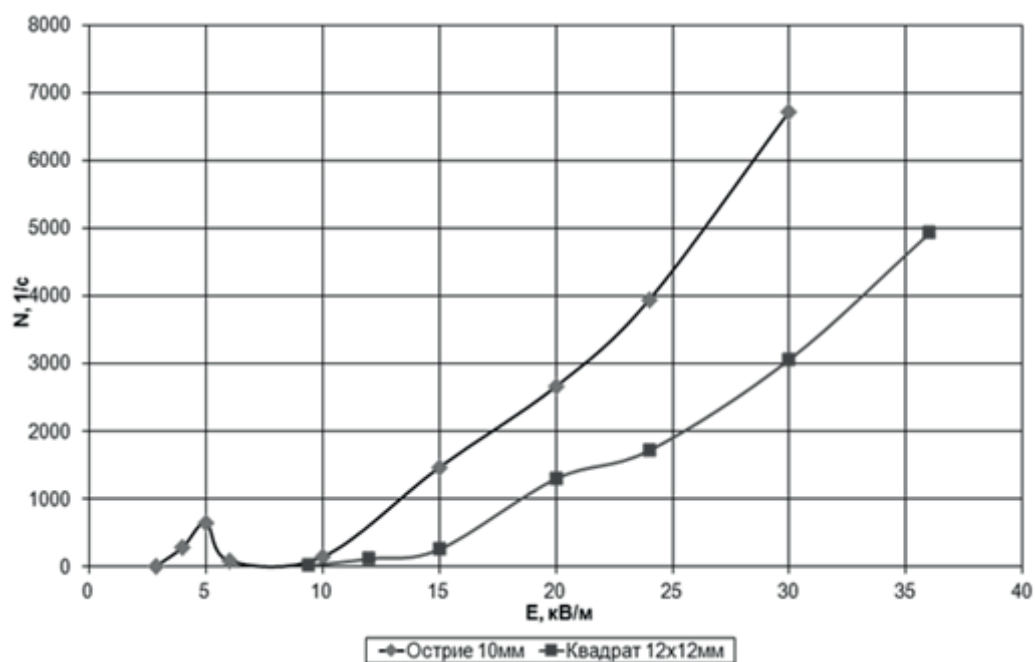


Рис. 5 - Зависимость частоты следования стримеров с заостренного (диаметр 10 мм, коэффициент заостренности $k=3$) и квадратного (12x12 мм²) стержней от напряженности электрического поля. Оба стержня имели длину 3,4 м.

Табл. 3

Результаты измерения частоты следования стримеров для заостренного стержня круглого сечения (диаметр 10 мм, коэффициент заостренности $k=3$, высота 3,4 м)

Узар, кВ	E_0 , кВ/м	Среднее арифм. N, с-1	СКО
14.5	2.9	9.16	1.31
20	4	276	7.02
25	5	636	12.58
30	6	78	15.97
50	10	136.6	59.53
75	15	1460	145.60
100	20	2656	322.20
120	24	3940	523.70

Табл. 4

Результаты измерений частоты следования стримеров для квадратного стержня (12x12 мм², высота 3,4 м)

Узар, кВ	E, кВ/м	Среднее арифм., N, с-1	СКО
47	9.4	14.7	1.40
60	12	116	4.81
75	15	258	4.74
100	20	1302	20.54
120	24	1720	23.85
150	30	3064	32.77
180	36	4930	93.15

Зависимость величина силы тока коронного разряда от напряженности электрического поля, для описанных выше стержней, представлена рисунке 6.

Из рисунка 6 видно, что при напряженности электрического поля большей 15 кВ/м сила тока с квадратного

стержня больше, чем с заостренного, не смотря на то, что число стримеров с заостренного стержня примерно в 2 раза больше (см. Рис. 5). Причина такого факта обуславливается большим зарядом каждого стримера со стержня квадратного сечения.

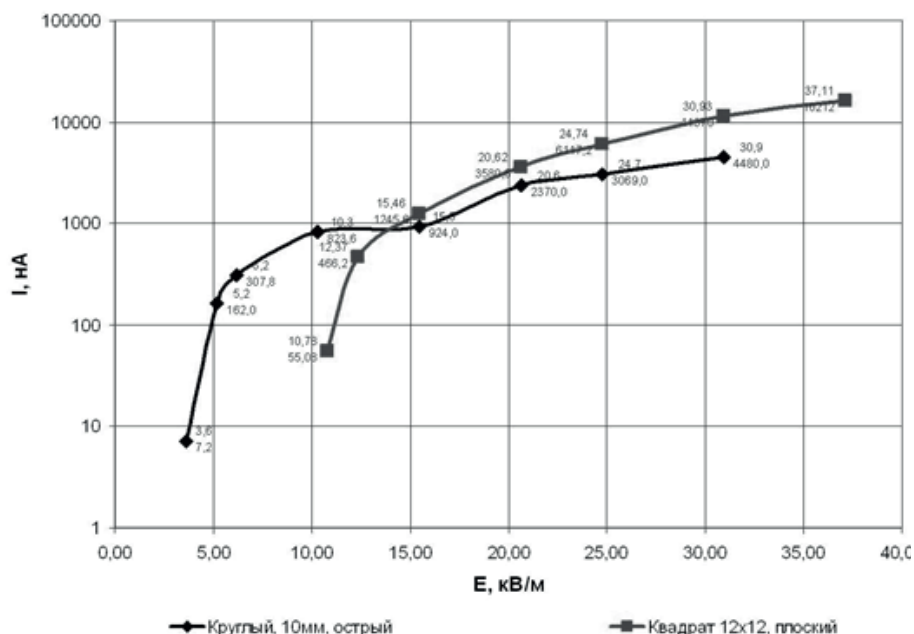


Рис. 6- Зависимость силы тока короны от напряженности электрического поля для заостренного (диаметр 10 мм, коэффициент заостренности k=3) и квадратного стержней. Оба стержня имели длину 3,4 м.

Из представленных экспериментальных результатов следуют такие выводы:

- заостренный стержень (диаметр 10 мм, k=3, высота 3,4 м) начинает реагировать с напряженности электрического поля 3 кВ/м, а стержень квадратного сечения (12x12 мм²) той же высоты не ранее чем с 9 кВ/м;

- коронный разряд с заостренного стержня в диапазоне напряженности E-поля от 6 кВ/м до 10 кВ/м прекращается, что в полной мере соответствует процитированным выше во введении результатам работы [12];

- при напряженности E-поля, превышающей 10 кВ/м, число стримеров с заостренного стержня примерно вдвое больше, чем с квадратного;

- среднее пиковое значение силы тока отдельного стримера выше для квадратного стержня, например, при напряженности E ≈ 10 кВ/м это значение составляет 5 мА для заостренного стержня и 60 мА для квадратного стержня.

- значение среднеквадратичного отклонения (СКО), при прочих одинаковых условиях для случая квадратного стержня меньше, чем для случая заостренного стержня.

Выводы

Экспериментально определены функциональные зависимости частоты следования стримеров с металлических стержней длиной 3,4 м круглого сечения с заостренной вершиной и квадратного сечения с плоской вершиной. Установлено, что частота следования стримеров для случая стержня квадратного сечения имеет детерминированный характер: с ростом напряженности электрического поля частота следования монотонно возрастает с коэффициентом близким к 0,25 с-1 В-1 м.

Значение среднеквадратичного отклонения (СКО), при прочих одинаковых условиях для случая квадратного стержня на меньше, чем для случая заостренного стержня.

Установлено, что коронный разряд с заостренного стержня в диапазоне напряженности электрического поля от 6 кВ/м до 10 кВ/м прекращается, а частота следования с ростом напряженности достигает 6 кГц.

На основании полученных расчетных и экспериментальных результатов исследования особенностей процесса формирования стримерной короны с вершины стержневого молниеприемника высотой более 1 м предлагается принять в качестве эталонного молниеприемника для проведения испытаний ESE терминалов в соответствии со стандартом [3] стержень квадратного сечения (12x12 мм²) с плоской вершиной высотой 1 м.

Результаты получены в рамках выполнения научно-исследовательской работы (ГР №0115U000611), которая выполняется по заказу Министерства образования и науки Украины в 2015-2016 годах.

Авторы выражают благодарность П.Н. Мельникову и А.Ю. Скобликову за помощь при проведении экспериментальных и теоретических исследований.

Список литературы:

1. IEC 62305-1: 2010 Protection against lightning. Part 1: General principles. Geneva, Switzerland: Publication IEC, 2010. – 67 p.
2. IEC 62305-3: 2010 Protection against lightning. Part 3. Physical damage to structures and life hazard. Geneva, Switzerland: Publication IEC, 2010. – 154 p.

3. NF C 17-102:2011 (Ed.2) Protection contre la foudre - Systèmes de protection contre la foudre à dispositif d'amorçage. Union Technique de l'Electricité (UTE), 2011. – 82 p.
4. Базелян Э.М. Эффект объемного заряда короны в молниезащите / Э.М. Базелян // Труды IV Российской конференции по молниезащите. НПО «Стример», Санкт-Петербург, 2014. – с.1-16.
5. Lightning protection / Ed. By Vernon Coorey // IET Power and Energy Series 58, UK, London.: 2010, 1070 p.
6. Чернухин А.Ю. Квазистатическое развитие коронного разряда с молниеприемников / А.Ю. Чернухин, В.В. Князев, П.Н. Мельников // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений», Вып. 60, 2013, с.122-127.
7. Чернухин А.Ю. Результаты измерения параметров импульсной короны со стержневых молниеприемников / А.Ю. Чернухин // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений», Вып. 50, 2014, с.155-160.
8. Чернухин А.Ю. Особенности стримерной короны со стержневых молниеприемников / А.Ю. Чернухин, В.В. Князев // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений», Вып. 20, 2015, с.149-155.
9. Проценко О.Р. Сто років формулі Піка для визначення початкової напруженості коронного розряду / О.Р. Проценко, Є.О. Троценко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». Серія: Енергетика та нові енергогенеруючі технології. №6, 2014, с. 36-41 (укр.)
10. Moore C B. Lightning rod improvement studies /C.B. Moore, W. Rison, J. Mathis, G. Aulich // J. Appl. Met. - 2000. – 39. – P.593–609.
11. D'Alessandro F. Laboratory studies of corona emissions from air terminals | D'Alessandro F., Berger G. // J. Phys. D: Appl. Phys. – 1999. –32 - P.2785–2790.
12. van Veldhuizen E M. Inception behavior of pulsed positive corona in several gases / E. M. van Veldhuizen, W.R. Rutgers // J. Phys. D: Appl. Phys. 36. – 2003. – P.2692–2696.
13. Князев В.В. Новые конструкции молниеприёмников: научные основы и практическая реализация / Князев В.В. // Киев: Электропанорама– 2008.–№ 6.– С.36-37; № 7–8.– С.16-18.
14. Князев В.В. Эффекты коронирования в условиях предразрядной обстановки / В.В. Князев, А.Ю. Чернухин // Труды IV Российской конференции по молниезащите. НПО «Стример», Санкт-Петербург, 2014. – с.62-70.
15. Резинкина М.М. Моделирование электрических полей при наличии стержней со скругленными вершинами / М.М. Резинкина // Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 3, С. 21-27.
16. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.–320 с.

ФУНКЦІОНАЛЬНА СТІЙКІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кравченко Юрій Васильович

доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій управління
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Лещенко Ольга Олександрівна

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмування та комп'ютерної техніки
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Микусь Сергій Анатолійович

кандидат військових наук, доцент,
професор кафедри зв'язку та автоматизованих систем управління
Національний університет оборони України імені Івана Черняховського

FUNCTIONAL STABILITY OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Kravchenko Y. V., doctor of technical sciences, professor Taras Shevchenko National University of Kyiv

Leshchenko O.A., Ph.D. in technical sciences, Ass.Prof. Taras Shevchenko National University of Kyiv

Mykus S. A., Ph.D. in military sciences, Ass.Prof. National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky

АНОТАЦІЯ

Введено поняття «функціонально стійка інформаційно-телекомунікаційна система». Обґрунтовано необхідність забезпечення інформаційно-телекомунікаційним системам властивості функціональної стійкості. Виконано аналіз існуючих та представлено основні нові наукові положення та результати щодо розвитку теорії функціональної стійкості стосовно інформаційно-телекомунікаційних систем. Представлено стратегію та теоретичне підґрунтя науково-методичного апарату забезпечення інформаційно-телекомунікаційним системам властивості функціональної стійкості. Досліджені практичні аспекти забезпечення інформаційно-телекомунікаційним системам властивості функціональної стійкості.

ABSTRACT

The notion of «functionally stable of information and telecommunications system». The necessity of providing of information and telecommunication systems functional properties of stability. Analysis of existing and new research shows the main position and results for the development of the theory of functional stability in relation to of information and telecommunication systems. Presented strategy and theoretical basis of scientific and analytical tools provide of information and telecommunication systems functional properties of stability. Investigated the practical aspects of information and telecommunication systems functional properties of stability.

Ключевые слова: функціональна стійкість, інформаційно-телекомунікаційна система, надійність, стратегія.

Keywords: functional stability, information and telecommunication system, reliability, strategy.

Постановка проблеми. Галузь, яка пов'язана з інформаційними технологіями продовжує набувати актуальності. Варто підкреслити те, що дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів підвищення ефективності складних технічних систем, до яких безумовно відносяться і телекомунікаційні дозволили зробити висновок про формування за останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням системи властивості функціональної стійкості [1-7]. Реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням у складній технічній системі різних вже існуючих видів надмірності (апаратної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парирования наслідків позаштатних ситуацій. Принципово те, що на етапі проектування не повинна вводитися додаткова надмірність, а парирования наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом вже існуючих ресур-

сів. Проблема полягає у виявленні існуючій надмірності й формуванні сигналів управління у необхідний момент на її перерозподіл. У цьому є основна відмінність проблеми забезпечення функціональної стійкості від проблеми побудови структурно надмірних систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі властивості складних технічних систем, такі як: стійкість, надійність, живучість, відмовостійкість характеризують функціонування систем при впливі відмов та ушкоджень. Але вони не дозволяють повною мірою описати процеси функціонування в умовах значних руйнувань, впливу потоків відмов і несправностей, можливих терористичних впливів, а також помилках операторів й інших внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих впливів. Тому, доцільно забезпечити інформаційно-телекомунікаційним системам таку властивість складних технічних систем, як функціональна стійкість (рис.1) [4].



Рис. 1. Місце функціональної стійкості в системі властивостей складних технічних систем

В багатьох наукових працях є матеріал про стійкість функціонування, наприклад, в книзі Бусленко Н.П. «Лекції по теорії складних систем» [2] 9 глава присвячена саме стійкості функціонування. Але ще в 90-х роках минулого сторіччя в своїх роботах професор Машков О.А. сформулював властивість функціональної стійкості і загальну ідею її забезпечення для складної технічної системи [3]. Було введено поняття функціональної стійкості динамічної системи «як властивості системи, що полягає в здібності виконувати хоча б установлений мінімальний об'єм своїх функцій при відмовах в інформаційній, обчислювальній і енергетичній частинах системи, а так само вплив зовнішніх факторів, які передбачені умовами експлуатації».

Більш детально була вирішена проблема забезпечення функціональної стійкості бортового інформаційно-управляючого комплексу літального апарату (ЛА). Були запропоновані нові принципи й отримані закони управління рухом ЛА, який математично описаний диференціальними рівняннями. Послідовники наукової школи функціональної стійкості професори Барабаш О.В. і Кравченко Ю.В. внесли вклад у розвиток понятійного апарату і вирішили проблему забезпечення функціональної стійкості для конкретних технічних систем, а саме, розподіленої інформаційної та псевдосупутникової радіонавігаційної системи.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Особливості принципу багатьох складних технічних систем дозволили зробити висновок про те, що, незважаючи на існуючі серйозні наукові результати теорії функціональної стійкості, досліджувані в них математичні моделі складних систем не здатні адекватно описати функціонування всіх існуючих систем. Отже, актуально узагальнити теорію функціональної стійкості складних технічних систем та розвивати її для конкретних систем, а саме – інформаційно-телекомунікаційних. Аналіз відомих наукових положень існуючої теорії функціональної стійкості визначає факт відсутності публікацій у явному вигляді щодо вирішення проблеми побудови функціонально стійкої інформаційно-телекомунікаційної системи.

Метою статті є аналіз та узагальнення існуючих та представлення основних нових наукових положень та результатів щодо розвитку теорії функціональної стійкості взагалі, так і стосовно інформаційно-телекомунікаційних

систем.

Основний матеріал. Дослідження показали те, що Барабаш О.В. вперше формалізував і довів загальну відмінність стійкості функціонування від функціональної стійкості: стійкість функціонування характеризує поведінку координат незбуреного й збуреного руху системи [4]

$$\forall \theta > 0 \Rightarrow \varepsilon > 0, \rho(z_0, z'_0) < \varepsilon \Rightarrow \rho[z(t, z_0), z(t, z'_0)] < \theta, \forall t \in [0, \infty] \quad (1)$$

де:

$z_0 = z(0)$ – початкові умови – координати фазового простору при незбуреному русі;

$z'_0 = z'(0)$ – координати фазового простору при збуреному русі;

ρ – метрика простору Z ;

ε, θ – задані числа, що характеризують відхилення збуреного руху від незбуреного.

Функціональна стійкість характеризує відхилення основних функцій від координат при збуреному і незбуреному русі

$$\forall \theta > 0 \Rightarrow \varepsilon > 0, \rho(f(z_0), f(z'_0)) < \varepsilon \Rightarrow \rho[f(z(t, z_0)), f(z(t, z'_0))] < \theta, \forall t \in [0, \infty] \quad (2)$$

де $f(z)$ – функція від координати руху системи, що характеризує основні вимоги, що висуваються до системи.

Розподілена інформаційна система математично описана випадковим графом, вершини якого з'єднані за принципом трикутника. Іншими словами, при будь-яких позаштатних ситуаціях інформація від кожного вузла повинна дійти (нехай і не по найкоротшому шляху) до кожного вузла системи.

Запропоновано необхідну й достатню умову функціональної стійкості розподілених інформаційних систем спеціального призначення, що полягає в працездатності всіх вузлів комутації й наявності альтернативних маршрутів передачі інформації між вузлами. Запропоновано понятійний апарат функціональної стійкості, що являє собою сукупність математичних моделей, ознак, показників, критеріїв, границі, запасу й областей функціональної стійкості. Узагальнено й одержали подальший розвиток методи визначення зв'язності графів в інтересах обчислення показників функціональної стійкості розподілених інформаційних систем. Розроблений метод двосторонньої оцін-

ки ймовірності зв'язності графа відрізняється від відомих приблизних методів додатковим об'єднанням простих ланцюгів щодо ребер розрізу у вершини стоку графа структури двохполюсної розподіленої інформаційної системи й дозволяє з більш високою точністю визначати показники функціональної стійкості для рішення практичних задач. Установлені аналітичні залежності для оцінки зв'язності псевдорегулярних графів дозволяють по спрощених формулах порівнювати різні структури розподілених інформаційних систем по показниках функціональної стійкості. Розроблені методики синтезу структури функціонально стійких розподілених інформаційних систем, які містять у собі методику рішення часткової задачі й методику рішення загальної задачі синтезу. Удосконалено методику ідентифікації позаштатних ситуацій у функціонально стійких розподілених інформаційних системах, яка заснована на принципах так званого блукаючого діагностичного ядра й не вимагає додаткової апаратної надмірності для рішення задач ідентифікації.

Професор Кравченко Ю.В. на базі теоретичного підходу викладеного в [2] надав формалізоване визначення функціональної стійкості псевдосупутникової радіонавігаційної системи. А саме, внутрішній стан z розглянутої системи є елементом множини Z , (фазового простору). Процес функціонування визначається законом зміни внутрішнього стану в часі. Вважається, що функціонування системи описується деяким набором параметрів α . Поняттю «параметр» надається широкий зміст. Відповідно до цього α – елемент множини A , названого множиною або простором параметрів. Таким чином, зміна внутрішнього стану в часі $z(t, \alpha)$ залежить від α . При цьому $t \in I$, де I – сукупність розглянутих моментів часу, тобто інтервал функціонування системи.

В загальному випадку функція часу $z(t, \alpha)$ є реалізацією деякого випадкового процесу. Так як якість роботи будь-якої системи оцінюється за допомогою функціоналів, тому вважається, що на реалізаціях $z(t, \alpha)$ при будь-якому $\alpha \in A$ задане однопараметричне сімейство дійсних функціоналів $F_\tau = F_\tau\{z(t, \alpha) | t \leq \tau, t, \tau \in I, \alpha \in A\}$. Значення функціонала F_τ при фіксованому τ оцінює роботу системи до цього моменту. При фіксованому α і фіксованій реалізації $z(t, \alpha)$ функціонал F_τ є дійсною функцією часу $\tau \in I$.

Досліджена множина D різних дійсних функцій з областю визначення I . Позначено: β – сукупність деяких підмножин цієї множини. Аналогічно, для кожної множини $B \in \beta$ визначена сукупність $\beta_\gamma(B)$ деяких підмножин B , обумовлену параметром γ . Фізичний зміст уведених понять: якщо дійсна функція належить одному із множин сукупності β , то це характеризує, основну властивість обраного визначення стійкості. Приналежність же одному з підмножин сукупності $\beta_\gamma(B)$ говорить про деякі додаткові властивості, що визначають особливості поняття стійкості. Так як B – деяка множина функцій, то позначено через B' множину значень всіх функцій з B , розглянутих у

точці t . Підкреслено, що в інтервал I входить фіктивна точка ∞ . Тоді, якщо деяка реалізація $\{F_\tau, \tau \in I\} \in B$ є елементом заздалегідь обраної множини B , тобто $\{F_\tau, \tau \in I\} \in B$, то по визначенню $F_\infty \in B^\infty$. Якщо ж $\{F_\tau, \tau \in I\} \notin B$, то $F_\infty \notin B^\infty$. Отже, можна сказати, що $\{F_\tau, \tau \in I\} \in B$ тоді і тільки тоді, коли $F_\infty \in B^\infty$.

Аналогічно тому, як це робилося для множини D , позначено Λ – сукупність деяких підмножин множини параметрів A . Для кожної множини $A \in \Lambda$ знайдено сукупність $\Lambda_\gamma(A)$ деяких його підмножин, також обумовлену параметром γ . Розрізнялися два числа: a і $a-0$.

Таким чином, отримано визначення: псевдосупутникова радіонавігаційна система є функціонально стійкою відносно $(\beta, \{\beta_\gamma\}, \Lambda, \{\Lambda_\gamma\}, \varepsilon_0, F_\tau, T)$, де $0 \leq \varepsilon \leq 1$ – деяке число, F_τ – обране однопараметричне сімейство функціоналів, T – деяка підмножина інтервалу функціонування I , якщо для будь-якої $\varepsilon > \varepsilon_0$ і будь-якої множини $B \in \beta$ можна знайти множину $A \in \Lambda$ таку, що для кожного $A_i \in \Lambda_B(A)$ існує $B_i \in \beta_{A_i}(B)$, що задовольняє при всіх $\tau \in T$ і $\alpha \in A_i$ нерівності

$$P\{F_\tau[z(t, \alpha) | t \leq \tau] \in B_{A_i}^\tau\} > 1 - \varepsilon \quad (3)$$

Тут як параметр для набору сукупностей $\{\Lambda_\gamma\}$ виступають множини $B \in \beta$, а параметрами для $\{\beta_\gamma\}$ є множини з Λ_B . Це визначення вимагає, щоб деяка властивість системи зберігалася в тому або іншому імовірнісному змісті на заздалегідь обраному інтервалі часу. Множини із сукупності Λ вказують на характер припустимих збурювань. Якщо ж параметри змінюються в одній із множин сукупності $\Lambda_B(A)$, то з погляду поставленої задачі поведіння системи повинне змінюватися незначно. Підмножина T , що характеризує інтервал часу, на якому досліджується стійкість, і сімейство функціоналів F_τ є неодмінними елементами будь-якого приватного визначення.

На відміну від розподіленої інформаційної системи в псевдосупутникової системі моделлю з'єднань між елементами прийнято вважати так звану «зірку», а математичною моделлю – навантажені орграфи. Проблема синтезу структури системи вирішена на основі теорії матроїдів, градієнтних алгоритмів і розробленого автором методу послідовного збільшення рангу k -однорідного матроїда. Запропонована концепція формування структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи, яка відрізняється від існуючих підходів побудови багатопозиційних радіонавігаційних систем забезпеченням властивості функціональної стійкості шляхом використання структурної

надмірності і формуванням відновлюючого управління з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій (при відмовах, збоях, руйнуваннях, бойових і інших uszkodженнях псевдосупутників), для виконання системою необхідних функцій по навігаційному забезпеченню. Реалізація концепції дозволяє синтезувати структуру системи з урахуванням можливих втрат її елементів, а також зменшити кількість псевдосупутників у 2-4 рази при рівних значеннях показника функціональної стійкості. Одержав подальший розвиток понятійний апарат функціональної стійкості структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи (ознака, показник, критерій, границя й область функціональної стійкості), який може бути застосований для будь-яких багатопозиційних радіонавігаційних систем, що дозволяє математично формалізувати цільову функцію й обмеження в задачі оптимізації структури, а також кількісно і якісно оцінювати властивість функціональної стійкості структур псевдосупутникових систем. Розроблена модель синтезу структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи, яка відрізняється від існуючих підходів синтезу структур багатопозиційних радіонавігаційних систем забезпеченням властивості функціональної стійкості; застосуванням запропонованого методу послідовного збільшення рангу k -однорідного матроїда. Вперше розроблена методика визначення значення показника функціональної стійкості структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи, яка комплексно враховує як точність рішення задачі навігації споживачами, так і структурну надмірність псевдосупутникової системи, а також можливість управляти структурною надмірністю системи з метою відбивання наслідків відмов, збоїв, руйнувань, бойових та інших uszkodжень псевдосупутників. Застосування методики дозволяє кількісно оцінювати функціональну стійкість будь-яких структур багатопозиційних радіонавігаційних систем при аналізі існуючих і синтезі перспективних систем [5].

Значний вклад в розвиток теорії функціональної стійкості зробив професор Неділько С.М. [6]. А саме, в його роботах одержала подальший розвиток класична концепція забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем, яка характеризується новою стратегією забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом у контексті деталізації етапу «парирування» через підетапи: виявлення існуючих ресурсів (області надмірності), формування процедури оптимального (субоптимального) використання надмірності й оцінки стану системи після перерозподілу ресурсів. Удосконалено методика оцінки функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом, яка характеризується комплексним використанням принципу декомпозиції процедури забезпечення функціональної стійкості на більш прості етапи та методику розрахунку узагальненого ймовірнісного показника функціональної стійкості як згортки матриці зв'язності структури. Розроблено методика виявлення існуючої області надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом, яка оснований на ідеї використання апріорної інформації при визначенні ознак надмірності, попереднього формування області надмірності, послі-

довного виключення надмірних елементів та зв'язків із системи з метою оцінки якості функціонування системи для остаточного уточнення області надмірності. Використання методики дозволяє виявити існуючий ресурс (область надмірності) для подальшого використання під час парирування нештатних ситуацій. Розроблено модель оптимального використання надмірності для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом, яка базується на запропонованому автором градієнтному методі. Реалізація методики дозволяє із множини допустимих варіантів перерозподілу ресурсів знаходити оптимальне рішення при значному зменшенні числа звернень до цільової функції у порівнянні з іншими методами оптимізації.

В роботах професора Обідина Д.М. [7] одержала подальший розвиток існуюча концепція функціональної стійкості складних технічних систем, яка відрізняється від існуючих підходів запропонованою стратегією та принципами забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальних систем автоматичного управління польотом літального апарату в контексті розвитку етапу «розпізнавання» класичної теорії через впровадження верифікації децентралізованої нечіткої бази знань для визначення достовірності елементів знань та етапу «парирування», в якому при формуванні відновлюючого управління враховується суб'єктивний характер знань через показники достовірності елементів бази знань для парирування наслідків нештатних ситуацій в польоті літального апарату. Реалізація запропонованої стратегії та принципів дозволяє враховувати суб'єктивний характер елементів бази знань при формуванні алгоритмів відновлюючого управління, що в сукупності забезпечить адекватне реагування системи автоматичного управління на нештатні ситуації та високий рівень безпеки польотів.

Запропоновано верифікаційну модель розподіленої бази знань інтелектуальної системи управління літальним апаратом, яка базується на так званому «блукаючому верифікаційному ядрі» та можливості оцінки коректності елементів знань на основі результатів тестових перевірок, що дозволяє реалізувати запропонований метод верифікації розподіленої бази знань інтелектуальної системи управління літальним апаратом. Розроблено метод верифікації розподіленої бази знань, який базується на запропонованій верифікаційній моделі, а також на випадковому методі переміщення верифікаційної інформації та аналізі верифікаційної інформації на основі характеристичних чисел структури зв'язків, що дозволяє досягти заданої достовірності верифікації елементів бази знань.

Отже, з метою розвитку та впровадження інформаційних технологій в суспільстві актуальна загальна проблема підвищення ефективності інформаційно-телекомунікаційних систем, для якої однією з важливих часткових проблем є проблема забезпечення системи властивості функціональної стійкості.

Функціональна стійкість інформаційно-телекомунікаційної системи – це її властивість перебувати в стані працездатності, тобто виконувати хоч необхідний мінімум своїх функцій протягом заданого інтервалу часу або наробітку в умовах відмов складових частин в умовах дії

зовнішніх і внутрішніх факторів за рахунок перерозподілу різних видів надмірності.

Аналіз вимог при побудові функціонально стійкої системи виявив суперечливу ситуацію, яка полягає в заостренні протиріч між вимогами:

між вимогою до підвищення ефективності, що має потребу в додаткових витратах, і вимогою на зменшення витрат при створенні та модернізації;

між вимогою на зменшення часу на модернізацію, що знижує ефективність системи й вимогою до збільшення ефективності.

Дана суперечлива ситуація лежить в основі актуальної, нової наукової проблеми забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційно-телекомунікаційним системам. Вирішення даної наукової проблеми можливо шляхом використання запропонованої авторами статті теорії забезпечення функціональної стійкості інформаційно-телекомунікаційним системам. Данна теорія включають

сукупність логічно пов'язаних між собою концептуальних, теоретичних і технологічних основ. В концептуальних основах зосереджена система поглядів або, інакше кажучи, основна керівна ідея – концепція забезпечення властивості функціональної стійкості. Обґрунтовується й розробляється стратегія забезпечення властивості функціональної стійкості. Висувається наукова гіпотеза стосовно того, що дана властивість буде забезпечена за рахунок інтелектуалізації етапів «класичної» стратегії.

В теоретичних основах дана ідея всебічно досліджується на основі нових наукових підходів, методів, методик, алгоритмів та математичних моделей. В результаті розроблене науково-методичний апарат щодо аналізу й синтезу функціонально стійкої інформаційно-телекомунікаційної системи. Теоретичним підґрунтям дослідження є системний підхід, теорія штучного інтелекту, універсальна алгебра, нечітка логіка та теорія емерджентного поля (рис.2).



Рис. 2. Схема теоретичного підґрунтя

Введені поняття та розроблено теоретичні основи так званих FS – систем та E – поля.

Під FS – системою розуміється система алгебри, що представляє решітки, на яких задано додаткове бінарне відношення, що має деякі продукційно-логічні властивості. Решітки в контексті цього визначення розглядаються в широкому сенсі, і її тип може уточнюватися в конкретних моделях. Поняття FS – системи являє собою абстрактний опис теоретико-множинної моделі продукційної структури. Таке узагальнення досягається використанням математичних решіток в якості основи алгебраїчної системи. На решітці задається бінарне відношення, що містить семантику продукційно-логічного висновку.

Відношення називається продукційно-логічним, якщо воно має рефлексивність, тобто містить усі пари виду (a,a), транзитивністю і іншими властивостями, які також визначаються конкретною моделлю. Одна з таких властиво-

стей – дистрибутивність. Неформально дистрибутивність відношення означає можливість логічного висновку по частинах і об'єднання його результатів на основі решідчатих операцій.

E – поле, або емерджентне поле – математична формалізація системного ефекту або емерджентності – однієї з важливих властивостей складної системи. Обґрунтовані та надані правила виконання так званих операцій «емерджентного додавання» та «емерджентного множення». Достовірність даного теоретичного результату підтверджується тим що він отримане на основі одного з законів діалектики – закону переходу кількості в якість.

Висновки. Очікується, що створення функціонально стійких інформаційно-телекомунікаційних систем дасть можливість успішно вирішити багато проблем побудови та освоєння нових поколінь даних систем, так як ці системи дозволяють: істотно розширити діапазони умов засто-

сування; забезпечити комплексну оптимізацію виконання покладених на систему функцій; підвищити ефективність систем в цілому; в значній мірі знизити часові та матеріальні витрати на розробку і освоєння окремих зразків апаратних та програмних засобів.

Список літератури:

1.Кравченко Ю.В. Сучасний стан та шляхи розвитку теорії функціональної стійкості /Ю.В. Кравченко, С.А. Микусь // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К.: ІПМЕ, 2013. – Вип. 68.– С. 60–68.
 2.Бусленко Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. – М.: Сов. радио, 1973. – 440 с.
 3.Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.

4.Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

5.Кравченко Ю.В. Применение метода последовательного увеличения ранга k-однородного матрицы в задаче синтеза структуры псевдоспутниковой радионавигационной системы / Ю.В. Кравченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: 2008. – №2(2). – С. 19 – 22.

6.Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 220 с.

7.Обідін Д.М. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтелектуалізованої системи автоматичного управління польотом літака. / Д.М. Обідін, О.В. Барабаш // Системи озброєння і військова техніка: Науковий журнал. – Х.: ХУПС, 2012. – № 1 (29). – С. 133 – 136.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ

Кустов Максим Владимирович

кандидат технических наук, доцент,

Национальный университет гражданской защиты Украины

Калугин Владимир Дмитриевич

доктор химических наук, профессор

Национальный университет гражданской защиты Украины

FORECASTING THE INTENSITY OF GASEOUS TOXIC CHEMICALS DEPOSITION BY PRECIPITATION

Kustov M. V., Associate Professor, Ph.D. in Technical, National University of Civil Protection of Ukraine

Kalugin V.D., Professor, Dr. in Chemical, National University of Civil Protection of Ukraine

АННОТАЦИЯ

В работе проанализированы существующие подходы решения задачи прогнозирования степени вымывания опасных веществ из атмосферы за счет их абсорбции атмосферными осадками. Сравнительный анализ моделей кинетики абсорбции показал целесообразность использования для оперативного прогноза в случае возникновения аварии с выбросом опасных веществ в атмосферу поэтапной модели, обладающей достаточной простотой использования и учитывающей большинство основных физико-химических свойств системы. Однако для долгосрочного прогноза физико-химических свойств и состояния атмосферы, глобального моделирования атмосферных явлений целесообразно использовать симуляционные модели, обладающие большей степенью достоверности и точностью. С помощью дополненной поэтапной модели проведены расчёты времени вымывания основных опасных газов, выбрасываемых в атмосферу при техногенных авариях (NH₃, SO₂ и др.). Расчёты показали, что формирование и выпадение осадков над зоной выброса токсичных веществ позволяет существенно снизить время «жизни» химически опасного газа в атмосфере и, следовательно, сократить зону распространения загрязнения.

ABSTRACT

The author analyzes the existing approaches to tackle the problem of predicting the degree of leaching of hazardous substances from the atmosphere through absorption by atmospheric precipitation. Comparative analysis of models of the kinetics of absorption showed the feasibility of using operational forecast in case of an accident with a release of hazardous substances into the atmosphere of the stage model, with sufficient ease of use and taking into account most of the major physicochemical properties of the system. However, for long-term prediction of physicochemical properties and atmospheric conditions, global modeling of atmospheric phenomena is advisable to use a simulation model having a higher degree of reliability and accuracy. Using augmented stage model calculations of time of leaching of hazardous gases emitted into the atmosphere by man-made accidents (NH₃, SO₂, etc.). The calculations showed that the formation and precipitation over the area of release of toxic substances can significantly reduce the life span of chemically hazardous gas in the atmosphere and, consequently, to reduce the spread of contamination.

Ключевые слова: атмосферные осадки, токсичные газы, диффузия молекул газа, абсорбция, коэффициент аккомодации

ции, вымывание из атмосферы, интенсивность осадков.

Keywords: precipitation, toxic gases, diffusion of gas molecules, absorption, coefficient of accommodation, the washout from the atmosphere, the intensity of precipitation.

Постановка проблемы. При нормальной работе промышленных предприятий в окружающую среду выбрасывается большое количество опасных химических веществ. Особенно масштабные выбросы происходят при возникновении на таких объектах аварий. Наибольшую опасность для экосистемы представляют выбросы в атмосферу загрязняющих химически опасных веществ. За счёт мощных воздушных потоков в тропосфере эти выбросы легко распространяются, как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях, что приводит к значительным размерам зоны загрязнения. По причине больших масштабов зон атмосферных загрязнений локализация и ликвидация последствий техногенных аварий представляет значительные трудности и требует привлечения большого количества сил и средств. В то же время в атмосфере происходят естественные процессы самоочищения, основным механизмом которых является вымывание опасных веществ осадками. Интенсивность процесса вымывания определяет время существования химически опасного вещества в атмосфере, а, следовательно, и размеры зоны загрязнения. Поэтому установление физико-химического механизма абсорбции газообразных загрязняющих веществ каплями воды (атмосферными осадками) является актуальной задачей.

Анализ последних достижений и публикаций. Если для атмосферных аэрозолей характерно гравитационное осаждение и поэтому они начинают коалесцировать практически в момент образования, то химически опасные газы, как однофазные системы, легко распространяются воздушными потоками на большие расстояния. Степень опасности любого химического соединения в атмосфере определяется его среднесуточными предельно допустимыми концентрациями (ПДК_{ср}) [1 – 5]. Различные государственные и международные организации и программы постоянно проводят спутниковый мониторинг химического состава тропосферы, что дает нам возможность оперативно отслеживать критические превышения предельно допустимых концентраций. Наиболее распространёнными являются комплексы MODIS (Искусственный спутник Земли (ИСЗ) Terra, Aqua) [6], OMI (ИСЗ Aura) [7], AIRS (ИСЗ Aqua) [8], которые покрывают все области земного шара. Кроме этого национальные организации по контролю экологической безопасности ежегодно готовят отчеты по состоянию атмосферного воздуха над территорией той или иной страны [9, 10]. При попадании химически опасных веществ (ХОВ) в атмосферу они взаимодействуют и вступают в реакцию с различными веществами в молекулярной, радикальной или ионной формах, а также с поверхностью жидких и твердых частиц аэрозолей. В работах [11-14] рассмотрены физико-химические процессы, происходящие в атмосфере с оксидами серы, азота и углерода, как основными составляющими продуктов горения при нормальной работе технологического оборудования и транспорта. Некоторые основные научные достижения в области физикохимии атмосферных дисперсных сис-

тем рассмотрены А.Е. Алояном в работе [15]. Однако при возникновении техногенных аварий (с возникновением пожара и без) в атмосферу выбрасывается большое количество аммиака, хлора, сероводорода, галогенводородов, сажи, золы и еще ряд особо опасных веществ [16]. Процессы очистки атмосферы от загрязняющих аэрозолей достаточно хорошо рассмотрены в работах [17, 18], однако особенности физико-химического осаждения загрязняющих газов, выбрасываемых в атмосферу при авариях, остаются практически не рассмотренными. Между тем каждое вещество имеет свои особенности, свою специфику абсорбции и адсорбции с компонентами внешней среды, которую необходимо учитывать при определении степени эффективности очистки атмосферы от опасных химических веществ осадками.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является установление физико-химических закономерностей процесса вымывания газообразных химически опасных веществ из атмосферы осадками. Для реализации этой цели сформулированы следующие задачи:

1. Рассмотреть особенности физико-химического взаимодействия молекул газов с атмосферными жидкими аэрозолями и их математические модели;
2. Провести сравнительный анализ расчетов скорости вымывания различных газов в атмосфере по различным моделям, с учётом их специфики построения;
3. Использовать результаты расчетов для прогнозирования кинетики вымывания газов из атмосферы осадками.

1. Абсорбция химически опасных газов атмосферными жидкими аэрозолями

Кинетика абсорбции газа жидкими аэрозолями является достаточно сложной и многофакторной. На сегодняшний день существует три принципиально разных подхода к решению этой задачи. Эти подходы различаются уровнем точности решения, количеством затраченного необходимого расчётного времени, количеством входных данных и необходимостью предварительных экспериментальных исследований. Для выбора наиболее подходящей модели для решения проблемы прогнозирования эффективности процесса абсорбции при вымывании химически опасных газов атмосферными осадками проведем анализ каждой модели.

1.1. Критериальные уравнения абсорбции газа жидким аэрозолем

Наиболее широкое применение в практической деятельности для проектирования технологических процессов приобрела модель расчёта процесса абсорбции с использованием теории подобия и, соответственно, критериальных уравнений [21]. Критерии подобия позволяют учесть большинство физико-химических особенностей процесса абсорбции. Однако конкретный вид критериального уравнения определяется для конкретной ситуации на основе большого массива экспериментальных данных и не всегда соответствует другим условиям процесса. Таким

образом, метод расчёта процесса абсорбции газов с использованием теории подобия является достаточно простым, однако имеет ограничения по области применения и значительную погрешность при варьировании условий процесса абсорбции.

1.2. Математические симуляционные модели абсорбции газа жидкими аэрозолями

Для повышения точности математического описания процесса абсорбции и универсальности расчётных методов в последнее время широкое распространение приобрели симуляционные модели.

При этом существует два различных подхода к построению моделей – кинетическая многослойная модель (kinetic multilayer model for gas–particle (KM-GAP)) [22] и модель симуляции молекулярной динамики (molecular dynamics (MD) simulations) [23, 24]. Модель MD работает на специальной платформе компьютерного расчёта абсорбции жидкими аэрозолями TIP4P-Ew. В работе [25] проведен сравнительный анализ таких моделей и получена высокая степень сходимости результатов расчётов. И хотя для большинства математических моделей в комплексах моделирования KM-GAP и MD принимаются некоторые допущения, упрощающие расчёт, данные модели являются на сегодняшний день наиболее точными методами численного расчёта скорости абсорбции газа жидкостью. Необходимо учитывать, что такие расчёты являются достаточно трудоёмкими и требуют значительного расчётного времени, специального программного обеспечения и значительного количества входных данных, которые не всегда можно строго определить и учесть.

1.3. Модель поэтапного процесса абсорбции газа жидкими аэрозолями

Согласно предложенной в [26] модели, процесс вымывания загрязняющих атмосферных газов каплями воды можно разделить на несколько отдельных этапов. Содержание этапов:

1. Транспортировка молекул газа (G_A) к поверхности капли за счёт диффузии в газовой фазе;
2. Поглощение молекул газа (G_A) поверхностью капли и достижение равновесия в локальной области поверхности раздела за счёт десорбции газа;
3. Транспортировка поглощённых молекул газа (G_A) в объём капли за счёт диффузии в жидкости;
4. Химические реакции поглощённого газа (G_A) и воды в объёме капли с образованием продуктов реакции (G_B);
5. Транспортировка продуктов реакции (G_B) в объёме капли;
6. Достижение равновесия в локальном объёме поверхности капли за счёт адсорбции-десорбции продуктов химической реакции;
7. Транспортировка молекул продуктов (G_B) от поверхности капли в газовую фазу за счёт диффузии.

Скорость поглощения химически опасного газа атмосферным аэрозолем определяется разностью скоростей процесса десорбции V_{des} и абсорбции V_{abs} :

$$\frac{dC_g}{dt} = V_{des} - V_{abs} \quad (1)$$

где: C_g – концентрация газа в атмосфере; t – время.

В соответствии с этапами 1 – 7 математическое выражение для скорости абсорбции имеет следующий вид:

$$V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_{dif} \quad \text{или}$$

$$V_{abs} = V_{col} \cdot \alpha \cdot K_r \quad (2)$$

где: V_{col} – скорость взаимодействия молекул газа с каплями воды; α – коэффициент, определяющий вероятность поглощения молекул газа поверхностью капель; K_{dif} – коэффициент, определяющий скорость диффузии газа внутри капли. При протекании химической реакции абсорбированного газа в объёме капли коэффициент K_{dif} заменяется на K_r – коэффициент, учитывающий диффузию молекул газа в капле и скорость химической реакции газа с жидкостью.

1.3.1. Перенос газа к поверхности капли

Количественно соударение молекул газа с поверхностью капли определяется коэффициентом диффузии определённого газа в воздухе и вероятностью столкновения молекул газа с поверхностью капли. Эти параметры легко определяются на основе положений молекулярно-кинетической теории, однако здесь вносит свои особенности параметр – размер капель аэрозоля. В нормальной атмосфере вода в молекулярном свободном состоянии практически отсутствует. Свободные молекулы воды взаимодействуют либо с другими компонентами атмосферы, в зависимости от их химической природы, либо объединяются в водные кластеры, которые можно рассматривать как высокодисперсный аэрозоль с размером частиц до 1000 Å. В атмосфере таким частицам соответствует число Кнудсена $K_n > 1$. Такие частицы характеризуются активным Броуновским движением и практическим отсутствием процесса седиментации. Поэтому взаимодействие газов с водными кластерами можно формально рассматривать как взаимодействие молекул газов между собой. Таким условиям соответствуют безоблачные зоны нижней тропосферы.

Для определения скорости вымывания отравляющих газов из атмосферы нам необходимо вычислить вероятность или частоту столкновений молекул газов с водными кластерами. Для этого можно воспользоваться моделью частоты встреч молекул двух газов, где коэффициент частоты встреч определяется с использованием коэффициентов диффузии [27]:

$$k_{col}^k = 4\pi \cdot (R_g + R_k) \cdot (D_g + D_k) \quad (3)$$

где: R_g, D_g – размер молекулы и коэффициент диффузии химически опасного газа в воздухе; R_k, D_k – размер и коэффициент диффузии водяного кластера, соответственно. Для молекул обычно применяется $R \approx \lambda$, где λ – длина свободного пробега молекул.

При размерах капель более 1 мкм $K_n \rightarrow 0$. При таких размерах соударения с молекулами газов не оказывают существенного влияния на движение капель, и они витают под действием воздушных потоков. В этом случае взаимодействие газ-аэрозоль можно рассматривать как взаимодействие молекулы с неподвижной поверхностью капли воды. Таким условиям соответствует $R_g \ll R_{drop}$ и $D_g \gg D_{drop}$, соответственно выражение (3) примет вид:

$$k_{col}^{drop} = 4\pi \cdot R_{drop} \cdot D_g \quad (4)$$

Как видно, такое соотношение справедливо для крупных капель в зоне сформировавшихся облачных атмосферных образований и в период обильных осадков.

В диапазоне размеров капель 0,1–1 мкм реализуется переходной процесс, при этом функцию распределения можно найти путём решения кинетического уравнения Больцмана, принимая некоторые упрощения. Авторы работы [28] предложили для таких режимов использовать выражение:

$$k_{col}^m = \frac{4\pi \cdot D_g \cdot (R_g + R_k)}{1 + \lambda \cdot Kn}, \quad \lambda = \frac{1,33 + 0,71 / Kn}{1 + Kn} \quad (5)$$

Используя рассмотренные выше коэффициенты можно определить частоту соударений молекул газа с каплями аэрозоля в определённых условиях:

$$V_{col} = k_{col} \cdot C_{drop} \cdot C_g \quad (6)$$

где: C_{drop} – концентрация водяных капель в воздухе.

Концентрацию капель воды в единичном объёме атмосферы можно принять постоянной ($C_{drop} = const$) при условии, что капли воды только поглощают газ и не коагулируют между собой. Условия полного отсутствия коагуляции в реальной атмосфере конечно нереальны, однако квазипостоянная среднеобъёмная концентрация водных кластеров вполне соответствует атмосфере с постоянными метеорологическими условиями, либо осадкам с постоянной интенсивностью.

Однако в реальной атмосфере аэрозоль полидисперсный, поэтому в уравнение (6) необходимо вводить функцию распределения капель по размерам $f(R_{drop})$ [29].

Таким образом, приведенные выше уравнения позволяют характеризовать процесс поступления молекул загрязняющих газов к поверхности капли воды на различных стадиях формирования осадков, начиная с момента ещё несформировавшегося облака.

1.3.2. Поглощение газа поверхностным слоем капли

Ранее нами рассмотрены закономерности частоты взаимодействия молекул газа с поверхностью капель атмосферного аэрозоля. Однако столкнувшись с каплей молекулы газа проникают в объём через поверхностный слой толщиной $\Delta x \rightarrow 0$, с вероятностью α (коэффициент аккомодации). Соответственно, скорость поглощения (адсорбции) молекул газа поверхностью V_{ads} будет определяться как:

$$V_{ads} = V_{col} \cdot \alpha \quad (7)$$

Так как в условиях атмосферы для процесса растворения справедлив закон Генри, то скорость установления равновесия в поверхностном слое капли из (7) определяется, как:

$$V_{ads}^H = \frac{V_{col} \cdot \alpha}{4\pi \cdot H \cdot R_0 \cdot T} \quad (8)$$

где: H – постоянная Генри; R_0 – универсальная газовая постоянная. В работе [26] коэффициент α предлагается выбрать из экспериментальных данных, при этом указан диапазон $\alpha \approx 10^{-2} - 1$, что сужает область применения модели и снижает её адекватность. Поэтому нами предпринята попытка расчета α .

1.3.3. Определение коэффициента аккомодации

Численный расчёт коэффициента аккомодации, с использованием общих молекулярных законов и уравнения Максвелла, является достаточно сложной задачей из-за неопределённости взаимодействия молекул газа с молекулами поверхности капли. Кроме того, такие расчёты проводятся без учёта физико-химических свойств поверхности капли и закономерностей химического взаимодействия газа с жидкостью. Поэтому на сегодняшний день существует два основных подхода к решению задачи по определению коэффициентов аккомодации.

Первый заключается в экспериментальном нахождении α [31, 32]. Данный метод учитывает все виды возможных физико-химических взаимодействий, однако позволяет определить коэффициент аккомодации только для контакта конкретного газа с конкретной поверхностью при определённых условиях, кроме того, результаты определений α у разных исследователей несколько разнятся по причине различий в методиках проведения эксперимента.

Второй подход к определению α основывается на математическом про-граммировании процесса адсорбции, который рассмотрен в разделе 1.2 данной работы, а также в литературных источниках [33-36]. И хотя такой метод расчёта α является наиболее точным, но для решения задачи оперативной очистки атмосферы от химически опасных газов имеет ряд недостатков, которые указывались выше.

Исходя из этого, нами предложен более простой расчётный метод, который основывается на двух граничных условиях взаимодействия свободной молекулы газа и поверхности воды. При столкновении с каплей молекулы газа с кинетической энергией, большей энергии связи молекул воды на поверхности капли ($E_g > E_{d-d}$), разрывают связь H_2O-H_2O и внедряются в поверхностный слой капли. В случае $E_g < E_{d-d}$ поверхностный молекулярный слой не разрушается и при скоростях столкновения, соответствующих скорости полёта свободной молекулы газа, жидкость ведёт себя как не сжимаемая и абсолютно упругая. Так как масса капли намного больше массы молекулы газа ($mg \ll md$), то молекула газа после столкновения отскакивает с той же энергией, что и была до соударения. Однако при расстояниях, меньше радиуса Дебая, между поверхностными молекулами капли и молекулой газа действуют силы химического взаимодействия E_{g-d} , которые притягивают молекулу газа к поверхности. При условии $E_g \leq E_{g-d}$ молекула газа адсорбируется на поверхности капли. Учитывая, что энергии молекул опасного газа в атмосфере распределены по закону Максвелла-Больцмана ($f(E_g)$), на основе описанных выше соображений нами предложена следующая формула для определения коэффициента ак-

комодации:

$$\alpha = 1 - \int_{E_{g-d}}^{E_{d-d}} f(E_g, T_g) dE_g \quad (9)$$

Результаты расчётов для адсорбции некоторых газов на поверхность капли воды по модели (9) приведены в табл.1. Для сравнения в таблице приведены данные из литературы, полученные экспериментальным путём и с помощью моделей KM GAP и MD.

Как видно из таблицы 1, расчёты по модели (9) несколько расходятся с литературными данными. В случае пара H₂O, газов NH₃, NO₂ относительная погрешность до 4%; для CH₄, SO₂, HCl – от 7,4% до 9,3%. Поэтому для задач масштабного моделирования атмосферных процессов и долгосрочного прогнозирования метеорологической обстановки целесообразней использовать расчётные комплексы KM GAP и MD. В то же время при решении задач оперативной очистки атмосферы от химически опасных загрязнений при возникновении аварий, где подобное значение погрешностей не критично, а большую значимость приобретают время расчёта и ограниченность в исходных данных, целесообразней использовать предложенную модель (9).

Таблица 1 – Коэффициенты аккомодации некоторых газов с поверхностью воды (T=273K, E_{d-d}=0,12eV)

Контактирующий газ	Значение α по модели (9)	Значение α из литературных источников	Относительная погрешность, %
H ₂ O	1	0,99 [25]	1,0
CH ₄	0,11	0,12 [22]	8,3
NH ₃	0,58	0,61 [37]	3,3
NO ₂	0,72	0,75 [37]	4,0
SO ₂	0,75	0,81 [37]	7,4
HCl	0,38	0,43 [22]	9,3

1.3.4. Диффузия газа в объеме капли

Предложенная в работе [26] зависимость для оценки влияния скорости диффузии газа в объеме капли многократно проверена другими исследователями [15, 38] и показала высокую адекватность экспериментальным данным. Согласно [15, 26, 38] коэффициент, учитывающий скорость диффузии молекул газа в объеме капли определяется как:

$$K_{d.a} = \frac{4N \cdot R_0 \cdot T}{\bar{v}_g} \sqrt{\frac{D_a}{\pi \cdot \tau}} \quad (10)$$

где: \bar{v}_g – средняя скорость молекул газа в воздухе, $\bar{v}_g = \sqrt{(8R_0T)/(\pi M_g)}$; D_a – коэффициент диффузии газа в жидкости; τ – характерное время; M_g – молярная масса абсорбированного газа.

Однако следует учесть, что выражение (10) справедливо только для газов, которые не диссоциируют и не вступают в химическую реакцию с жидкостью капли.

По аналогии с (10) можно записать выражение, определяющее диффузию продуктов реакции:

$$K_{d.a}^r = \frac{4N \cdot R_0 \cdot T}{\bar{v}_g^r} \sqrt{\frac{D_a^r}{\pi \cdot \tau}} \quad (11)$$

где: \bar{v}_g^r – средняя скорость молекул продукта реакции в воздухе; D_a^r – коэффициент диффузии продукта реакции в жидкости.

1.3.5. Влияние скорости химической реакции в объеме капли на процесс абсорбции

Влияние параллельного протекания в объеме капли двух процессов: диффузии газа и химической реакции молекул газа с молекулами воды, учитывается коэффициентом K_r (2), который определяется как [15, 26, 38]:

$$K_r = \frac{4N \cdot R_0 \cdot T}{\bar{v}_g} \sqrt{D_a \cdot v} \quad (12)$$

где: v – стехиометрический коэффициент скорости химической реакции.

2. Сравнительный анализ расчётов

Для проверки модели, рассмотренной в разделе 1.3., нами проведен расчётный сравнительный анализ влияния интенсивности потока аэрозоля на скорость вымывания аммиака водным аэрозолем (рис. 1). В качестве примера аммиак выбран по той причине, что для этого газа достаточно полно рассмотрены и многократно проверены модели с использованием критериальных уравнений и симуляционные математические модели [21, 22 – 25].

С учётом сказанного ранее о том, что наибольшей точностью обладает симуляционная математическая модель MD (кр. 3), то из рис. 1 можно сделать вывод, что рассмотренная в разделе 1.3 дополненная нами поэтапная модель обладает большей точностью расчёта по сравнению с результатами определения по критериальной модели. Диапазон погрешностей расчётов относительно кр. 3 составляет 4-14% для кр. 1 и 0-6 % для кр. 2. Между кр. 2 и 3 имеются точки пересечения, что свидетельствует об адекватности их в зонах J=4,2·10⁻⁴ и 8,7·10⁻⁴ кг·с⁻¹·м⁻². Другим важным моментом поэтапной модели абсорбции является то, что она позволяет учесть большинство основных физико-химических закономерностей абсорбции.

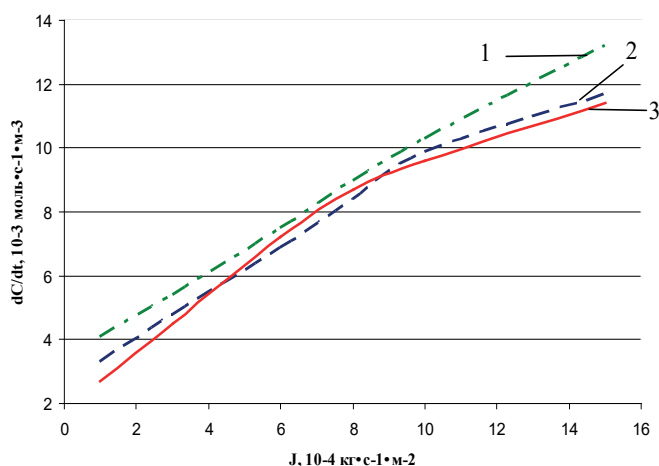


Рисунок 1. Зависимость скорости абсорбции аммиака водным аэрозолем от интенсивности потока: 1 – расчёт с помощью критериального уравнения; 2 – расчёт с помощью дополненной поэтапной модели; 3 – расчёт с помощью симуляционной математической модели MD

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что использование рассмотренной в работе, дополненной поэтапной модели абсорбции для прогнозирования процессов вымывания химически опасных газов атмосферными осадками является наиболее целесообразным. Также необходимо отметить, поскольку скорость абсорбции от концентрации капель и их размера имеет одинаковую степень зависимость но разную интенсивность осадков ($J \sim C_{drop}$, $J \sim R^3$), то при одинаковой интенсивности осадков предпочтительнее абсорбируют мелкодисперсные осадки, с большой концентрацией капель.

3. Процессы абсорбции химически опасных газообразных веществ на поверхности капли воды.

В работе [16] определены основные загрязняющие атмосферу вещества при возникновении техногенных аварий с возникновением пожаров на промышленных объектах. Среди газообразных продуктов горения особую опасность представляют оксиды азота и серы, галогенводороды, особоопасные – синильная кислота и фосген. При

авариях, связанных с разгерметизацией технологического оборудования без возникновения пожара, основными химически опасными веществами, поступающими в атмосферу, являются аммиак, хлор сероводород.

Так как согласно рассмотренной выше дополненной поэтапной модели скорость вымывания зависит от времени, то целесообразно рассматривать не мгновенную скорость вымывания, а время вымывания вещества с определённой начальной концентрацией. При этом принимается, что весь газ равномерно распределен в приземном слое высотой 1 км. По причине десорбции газа и возможного установления равновесия, полного вымывания достичь невозможно, поэтому зададимся предельной степенью очистки 0,9. Предельно допустимые концентрации химически опасных газов существенно разнятся [1], поэтому для анализа зададимся начальной концентрацией $C_g^0 = 1 \text{ моль}\cdot\text{м}^{-3}$. Зависимость времени вымывания химически опасных веществ при различной интенсивности осадков представлена на рис. 2.

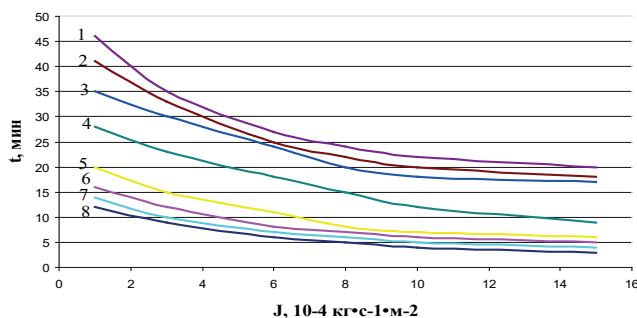


Рисунок 2. Зависимость времени вымывания опасных газов в атмосфере от интенсивности осадков: 1 – NO₂; 2 – Cl₂; 3 – H₂S; 4 – SO₂; 5 – HCN; 6 – COCl₂; 7 – HCl; 8 – NH₃.

Из рис. 2 следует, что время вымывания газов из атмосферы находится в строгой зависимости от их растворимости, т.е. чем больше растворимость газа, тем меньше время вымывания. Наибольшую эффективность вымы-

вание осадками имеет при загрязнении аммиаком, что объясняется наибольшей растворимостью аммиака среди рассмотренного перечня. Следует отметить низкую интенсивность вымывания хлора и сероводорода, которые

относятся к веществам II класса опасности. Однако учитывая то, что время существования опасных веществ в атмосфере без осадков составляет от не-скольких суток до месяца [10 – 13, 17, 20], искусственное инициирование осадков позволяет существенно сократить время «жизни» химически опасного газа в атмосфере, а, следовательно, и сократить зону загрязнения.

Выводы. 1. В работе рассмотрены существующие модели расчёта про-цесса абсорбции химически опасных газов атмосферными аэрозолями. Для целей прогнозирования процесса вымывания ХОВ из атмосферы осадками выбрана и дополнена поэтапная модель расчёта абсорбции, которая позволяет упростить расчёты, с учётом физико-химических особенностей абсорбции, с достаточной степенью точности. Дополненная поэтапная модель позволяет сохранить широкую область применения модели и сократить время оперативного прогнозирования, позволяет с достаточной степенью точности рассчитывать коэффициент accommodations для любого газа с учётом основных поверхностных свойств аквааэрозоля, а также рассчитывать интенсивность выпадения осадков, как функцию концентрации капель и их размеров. 2. Проведен расчёт времени вымывания основных химически опасных газов, поступающих в атмосферу при техногенных авариях, в зависимости от интенсивности осадков. 3. Установлено, что за счёт вымывания газов атмосферными осадками концентрация ХОВ в атмосфере менее чем в течение часа падает на 90%, тогда как при отсутствии осадков время их (ХОВ) «жизни» в атмосфере составляет порядка нескольких суток.

Список литературы:

1. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). ДСП 201-97. – [Діє від 1997-07-09]. – Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 201. – 43 с.
2. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. ГОСТ 17.2.3.01-86. – [Действует от 1987-01-01]. – Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 10 ноября 1986 г. № 3359. – 4 с.
3. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов. Вредных веществ промышленными предприятиями. ГОСТ 17.2.3.02-78. – [Действует от 1980-01-01]. – Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 24 августа 1978 г. № 2329. – 15 с.
4. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений, санитарная охрана воздуха. СанПиН 2.1.6.575-96. – [Действует от 1996-01-11]. – Постановление Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 года № 48. – 21 с.
5. The National Ambient Air Quality Standard (NAAQS). – The U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Dec. 14, 2012. – 43 p.
6. MOD04_L2. URL – ftp://ladsweb.nascom.nasa.gov/allData/51/MOD04_L2/
7. OMI3d. URL – http://eosps0.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/for_scientists/atbd/docs/OMI/
8. AIRX2RET. URL – http://eosps0.gsfc.nasa.gov/eos_

homepage/for_

scientists/atbd/docs/AIRS/

9. Стан довкілля в Україні. Інформаційно-аналітичний огляд. URL – <http://www.ecobank.org.ua/GovSystem/EnvironmentState/Reviews/Pages/default.aspx>
10. Advancing the Science of Climate Change. URL – <http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/Science-Report-Brief-final.pdf>
11. Заиков Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда / Г.Е. Заиков, С.А. Маслов, В.Л. Рубайло. – М., Химия, 1991. – 144 с.
12. Исидоров В.А. Органическая химия атмосферы. – СПб., Химиздат, 2001. – 352 с.
13. Ларин И.К. Химия ночной тропосферы. I. Процессы с участием окислов азота / И.К. Ларин // Экологическая химия. – М., 2011. – № 20(3). – С. 155 – 162.
14. Atkinson R. Gas-phase tropospheric chemistry of organic compounds: a review / R. Atkinson // Atmospheric Environment. – 2007. – № 41. – pp. 200 – 240.
15. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.
16. Кустов М.В. Химически опасные выбросы в атмосферу при техногенных авариях на предприятиях Украины / М.В. Кустов // Безопасность в техносфере. – М., 2015. – № 3. – С. 16 – 21.
17. Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгальук. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. – 194 с.
18. Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы, туманы / Х. Грин, В. Лейн// Л.: Химия, 1972. – 426 с.
19. Carslaw N. Modeling OH, HO₂, and RO₂ radicals in the marine boundary layer, 2. Mechanism reduction and uncertainty analysis / N. Carslaw, P. J. Jacoba, M. J. Pilling // J. Geophys. Res. – 1999. – № 104. – pp. 30257–30273.
20. Кондратьев К.Я. Атмосферный аэрозоль / К.Я. Кондратьев, Н.И. Москаленко, Д.В. Поздняков. – Л., Гидрометеоиздат. – 1987. – 224 с.
21. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М., Химия. – 1976. – 656 с.
22. Shiraiwa M. Kinetic multi-layer model of gas-particle interactions in aerosols and clouds (KM-GAP): linking condensation, evaporation and chemical reactions of organics, oxidants and water / M. Shiraiwa, C. Pfrang, T. Koop, U. Pöschl // Atmos. Chem. Phys. – 2012. – № 12. – pp. 2777–2794.
23. Takaharu T. Molecular Dynamics Studies on the Condensation Coefficient of Water / T. Takaharu, T. Tsuruta, G. Nagayama // J. Phys. Chem. B. – 2004. – № 108(5). – pp. 1736–1743.
24. Gilde A. Molecular Dynamics Simulations of Water Transport through Butanol Films / A. Gilde, N. Siladke and C. P. Lawrence // J. Phys. Chem. A. – 2009. – № 113(30). – pp. 8586–8590.
25. Julin J. Mass Accommodation of Water: Bridging the Gap Between Molecular Dynamics Simulations and Kinetic Condensation Models / J. Julin, M. Shiraiwa, R. Miles, J. P. Reid, U. Pöschl, I. Riipinen // J. Phys. Chem. A – 2013. – № 117. – pp. 410 – 420.
26. Schwartz S.E. Mass-transport considerations pertinent to aqueous phase reactions of gases in liquid-water clouds,

- in: NATO ASI Ser. –Springer-Verlag, New York. – 1986. – pp. 415–471.
27. Эйнштейн А., Смолуховский М. Броуновское движение [Текст]: сб. статей. – Ленинград: ОНТИ – Главная редакция общетехнической литературы, 1936. – 606 с.
28. Fuchs N. A. Highly dispersed aerosols / N. A. Fuchs, A. G. Sutugin // Ann Arbor Science Publishers. – London. – 1970. – 237 p.
29. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: АН СССР. – 1955. – 351 с.
30. Knudsen M. The kinetic theory of gases. – Ann. Phys. – 1910. – Vol. 32. – P. 809
31. Li Y. Q. Mass and Thermal Accommodation Coefficients of H₂O(g) on Liquid Water as a Function of Temperature / Y.Q. Li, P. Davidovits, Q. Shi, J.T. Jayne // J. Phys. Chem. A – 2001. – № 105(47). – pp. 10627–10634.
32. Winkler P. M. Mass and Thermal Accommodation during Gas-Liquid Condensation of Water / P. M. Winkler, A. Vrtala, P. E. Wagner, M. Kulmala and other // Phys. Rev. Lett. – 2004. – № 93. – p.p. 075701 – 075723.
33. Bongartz A. The mass accommodation coefficient of ammonia on water / A. Bongartz, S. Schweighofer, C. Roose, U. Schurath // Journal of Atmospheric Chemistry. – 1995. – V. 20. – pp 35 – 58.
34. Vieceli J. Accommodation coefficients for water vapor at the air/water interface / J. Vieceli, M. Roeselova, D. J. Tobias // Chemical Physics Letters. – 2004. – V. 393. – pp. 249 – 255.
35. Mozurkewlch M. Mass Accommodation Coefficient for HO₂ Radicals on Aqueous Particles / M. Mozurkewlch // J. Geophys. Res. – 1987. – V. 92. – pp. 4163 – 4170.
36. Davidovits P. Mass Accommodation and Chemical Reactions at Gas-Liquid Interfaces / P. Davidovits, C.E. Kolb, L.R. Williams and other // Chem. Rev. – 2006. – № 106 (4). – pp 1323 – 1354.
37. Kolb C. E. An overview of current issues in the uptake of atmospheric trace gases by aerosols and clouds / C. E. Kolb, R. A. Cox, J. P. D. Abbatt, M. Ammann and other // Atmos. Chem. Phys. – 2010. – V. 10. – pp. 10561 – 10605.
38. Crowley J.N. Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry / J. N. Crowley, M. Ammann, R.A. Cox, R.G. Hynes and other // Atmos. Chem. Phys. – 2010. – V. 10. – pp. 9059 9223.
39. Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry. URL – <http://www.henrys-law.org/henry-3.0.pdf>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ МЕТАПОВЕРХНОСТЕЙ

Кухаренко Александр Сергеевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Филиал ОАО «ОРКК» - «НИИ КП»

THE DESIGN OF MULTYLAYER PCB OF TUNABLE FREQUENCY-SELECTIVE METASURFACES

Kukharenko A. S., technical science philosophy doctor, head researcher Branch of "URSC" "ISDE"

АННОТАЦИЯ

Кратко описана структура перестраиваемой частотно-селективной метаповерхности на основе грибовидного метаматериала. Приведены рекомендации по выбору конструкции и количества слоев печатной платы, а также основные правила размещения элементов частотно-селективной поверхности на ней. Представлена методика расчета параметров металлизированных переходных отверстий метаматериала и цепей питания и управления. Предложена методика проектирования многослойных печатных плат метаматериалов. Приведен пример реализации платы перестраиваемой метаповерхности и результаты измерения ее параметров.

ABSTRACT

A mushroom-type metamaterial-based frequency-selective surface structure is shortly described. Recommendations for choosing the number of PCB layers and rules of arranging the frequency-selective surface elements on them are provided. A method of calculating the parameters of vias of metamaterial structure and feeding and control nets is proposed. A method of metamaterial multilayer PCB design is provided. An example of realization of a tunable metamaterial PCB and its measured parameters are shown.

Ключевые слова: метаматериал, частотно-селективная поверхность, электронно-перестраиваемый фильтр, топология печатных проводников, печатная плата.

Keywords: metamaterial, frequency-selective surface, electronically tunable filter, PCB topology, printed component board.

Введение

В последнее время метаматериалы находят все большее применение при конструировании различных СВЧ устройств [1,2]. Они используются как элементы усилителей [3], фильтров [4,5], делителей мощности [5]. Частотно-селективные поверхности на основе метаматериалов

– метаповерхности – широко применяются при конструировании антенн [6, 7] и антенных решеток [8]. Их необычные свойства, связанные с возможностью получения отрицательного коэффициента преломления, позволяют существенно улучшить характеристики СВЧ устройств, в которых они используются. Дополнительные преимуще-

щества разработчикам предоставляет возможность электронной перестройки рабочей полосы метаповерхностей [9]. Однако такие структуры требуют разработки специализированных многослойных печатных плат. В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с проектированием и изготовлением таких изделий.

Структура частотно-селективных поверхностей на основе грибовидных метаматериалов

Конструктивно частотно-перестраиваемые метаповерхности удобнее всего выполнять на основе грибовид-

ных метаматериалов. Эти структуры позволяют легко организовать подачу управляющих напряжений на выводы сосредоточенных элементов подстройки. Они представляют собой периодически расположенные идентичные металлические элементы в виде распределенных резонансных контуров, связанных емкостными зазорами, и имеющих геометрические размеры, много меньше рабочей длины волны, в центре каждого из которых выполнен тонкий металлический проводник, выполняющий роль индуктивности и подключенный к общему проводящему экрану (рис. 1) [10].

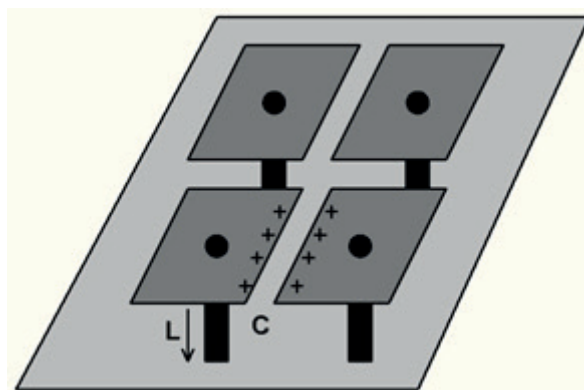


Рис. 1. Конструкция грибовидного метаматериала.

Наиболее простой способ реализации грибовидных метаматериалов на практике – выполнение их на печатной плате, на одном слое которой расположены металлические элементы («шляпки грибов»), соединенные при помощи индуктивных перемычек, роль которых выполняют металлизированные переходные отверстия, с общим экраном, расположенным на другом слое платы. Вместе они образуют резонансный контур, частота работы которого определяется емкостью связи металлических элементов и индуктивностью переходных отверстий.

«Шляпки грибов» могут быть выполнены различной формы с целью снижения резонансной частоты распре-

ленного контура (рис. 2) [11], однако в этой работе вопрос выбора их топологии, не будет рассматриваться.

Перестройка полосы запираения топологического участка частотно-селективной поверхности на основе грибовидного метаматериала осуществляется при помощи варикапов, установленных между соседними связанными резонансными контурами, один вывод которых заземлен по постоянному току через металлизированное переходное отверстие структуры метаматериала, а другой подключен к управляемому источнику постоянного напряжения [9, 12 - 13].



а) б) в)

Рис. 2. Варианты топологий элементов верхнего слоя грибовидного метаматериала:

а) - с увеличенной собственной индуктивностью; б) и в) – с увеличенной собственной емкостью.

Конструкция участка такой частотно-селективной поверхности представлена на рис. 3. Между двумя соседними элементами метаматериала (1) параллельно их краям размещен проводник (2), не имеющий омического контак-

та с ними. Таким образом, соседние резонансные контуры оказываются связанными двумя емкостными зазорами, параллельно хотя бы одному из которых и устанавливается варикап (3). При этом дополнительно введенный проводник служит также и площадкой, к которой подводится напряжение для управления его параметрами.

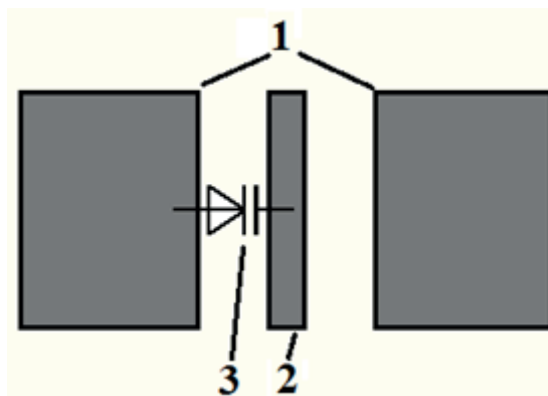


Рис.3 Конструкция участка частотно-селективной метаповерхности с перестраиваемой полосой заграждения.

Детали конструкции метаматериала зависят, в конечном итоге, от области его применения. После определения всех его параметров можно приступить к проектированию топологии печатной платы.

Проектирование топологии печатных плат

До начала проектирования платы необходимо определиться с уровнем ее конечной стоимости, технологичности и допустимыми габаритными размерами. В дальнейшем эти параметры повлияют на выбор технологии, по которой будет изготавливаться частотно-селективная поверхность, а, следовательно, и на допустимые технологические приемы, которые могут быть применены в ходе разработки топологии.

Сначала необходимо определиться с количеством и составом слоев печатной платы. Поскольку цепи питания и управления не могут быть выполнены в тех слоях платы, в которых расположены резонансные контуры и экран мета-

материала, количество слоев печатной платы должно быть не менее трех. С точки зрения удобства проектирования и технологичности производства наиболее рационально выбрать четырехслойный вариант исполнения, который представлен на рис. 4. Проводящие элементы топологии в этом случае нанесены на обеих сторонах двух диэлектрических подложек, которые соединены между собой при помощи препрэгга путем прессования. В данном случае такой вариант исполнения является строго обязательным по следующим причинам: метаматериал должен быть выполнен на основе диэлектрика со строго определенными, заложенными в его конструкцию параметрами диэлектрической и магнитной проницаемости, которые может обеспечить материал подложки, но не препрэгга; толщина подложек, в отличие от толщины слоя препрэгга, может задаваться и контролироваться в достаточном диапазоне и с достаточной степенью точности, что важно при производстве устройств СВЧ диапазона.

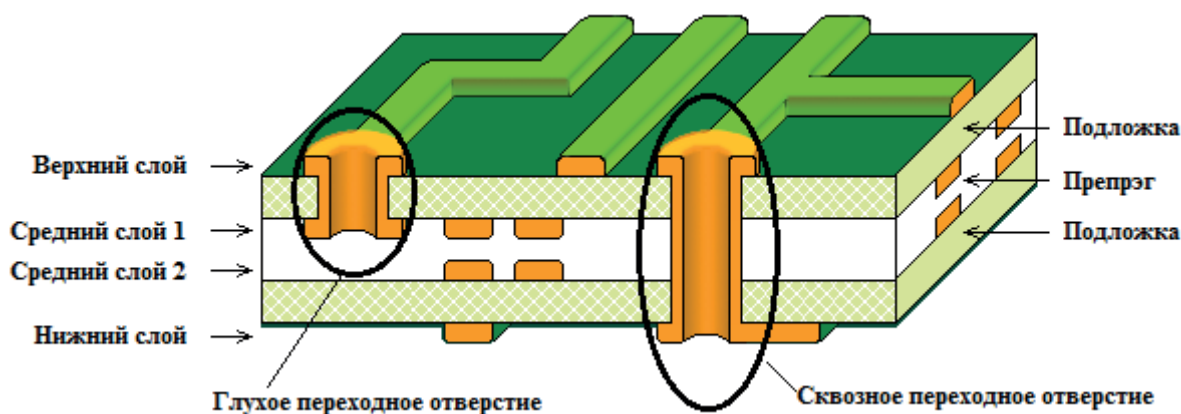


Рис. 4. Конструкция многослойной печатной платы.

Существенное влияние на характеристики изделия оказывает выбор варианта исполнения переходных металлизированных отверстий – сквозные или глухие (рис. 4) [14]. Применение глухих отверстий позволяют существенно сократить размер платы и сделать ее проектирование гораздо более удобным за счет того, что электронные компоненты цепей питания и управления можно будет размещать непосредственно под метаматериалом, но их наличие существенно увеличивает стоимость изготовления образцов. Применение сквозных переходных отвер-

стий значительно снижает конечную цену изделия, но приводит к необходимости поиска дополнительного места для размещения электронных компонентов и в конечном итоге – к увеличению размеров платы.

Определившись с количеством слоев и вариантом исполнения переходных металлизированных отверстий можно приступить непосредственно к проектированию печатной платы перестраиваемой частотно-селективной метаповерхности. Начинать следует с размещения всех без исключения элементов метаматериала. При этом то-

топологии резонансных контуров (1) (рис. 5) должны располагаться на внешнем (рабочем) слое печатной платы и соединяться при помощи металлизированных переходных отверстий (2) с общим проводящим экраном (3), расположенным на следующем слое. Это обусловлено требо-

ванием целостности конструкции резонансных контуров. Управляющее напряжение подводится к контактной площадке (4) при помощи переходного отверстия (5), изолированного от проводящего экрана при помощи зазора в металлизации (6).

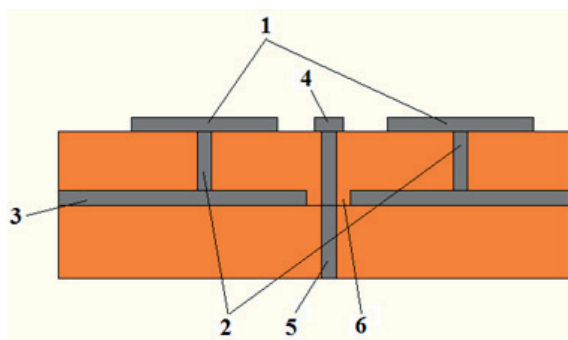


Рис. 5. Расположение элементов перестраиваемой метаповерхности на печатной плате.

Определившись с количеством слоев и вариантом исполнения переходных металлизированных отверстий можно приступить непосредственно к проектированию печатной платы перестраиваемой частотно-селективной метаповерхности. Начинать следует с размещения всех без исключения элементов метаматериала. При этом топологии резонансных контуров (1) (рис. 5) должны располагаться на внешнем (рабочем) слое печатной платы и соединяться при помощи металлизированных переходных отверстий (2) с общим проводящим экраном (3), расположенным на следующем слое. Это обусловлено требованием целостности конструкции резонансных контуров. Управляющее напряжение подводится к контактной площадке (4) при помощи переходного отверстия (5), изолированного от проводящего экрана при помощи зазора в металлизации (6).

Внутренний диаметр переходных отверстий метаматериала (2) (рис. 6) определяется при помощи следующего выражения [15, 16]:

$$b = \frac{4T}{e^{\left(\frac{L}{2T}-1\right)}} \quad (1)$$

где:

d – внутренний диаметр переходных отверстий метаматериала в миллиметрах;

T – толщина диэлектрической подложки, на которой выполнен метаматериал, в миллиметрах (рис. 4, 6);

L – индуктивность переходного отверстия, определенная на этапе расчета конструкции самого метаматериала, выраженная в нГн.

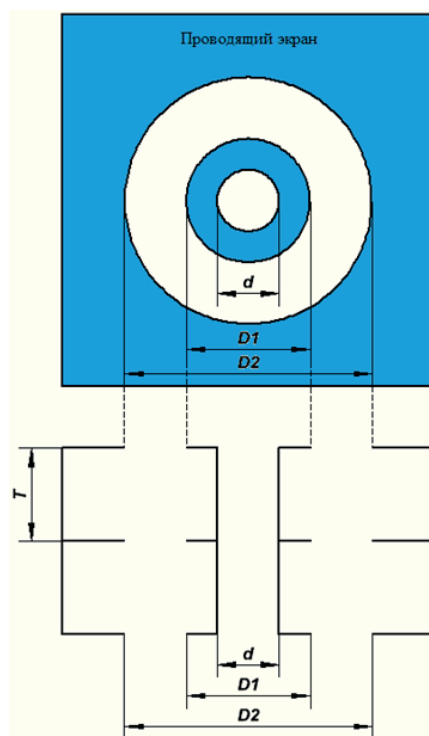


Рис. 6. Топология металлизированного переходного отверстия.

Переходные отверстия (5), при помощи которых к контактным площадкам топологии верхнего слоя метаматериала подводится управляющее напряжение, должны быть отделены от проводящего экрана (3) при помощи зазора в металлизации (6) (рис. 5). Ширина этого зазора равна:

$$\Delta D = \frac{D2 - D1}{2} \quad (2)$$

где:

ΔD – расстояние между ближайшими точками металлизации переходного отверстия и проводящего экрана – ширина зазора в металлизации (6);

$D1$ – диаметр контактной площадки переходного от-

верстия;

$D2$ – диаметр выреза в металлизации проводящего экрана.

Поскольку для изменения емкости варикапов, применяемых в качестве элементов подстройки, может быть использовано достаточно высокое напряжение (в зависимости от выбранного типа элемента - от 5 до 100 В.), ширина зазора ΔD должна быть достаточно большой для того, чтобы обеспечить защиту от электрического пробоя на плате. Зависимость зазора между печатными проводниками от величины приложенного к ним постоянного напряжения приведена в ГОСТ 23751-86 [17] и показана на рис. 7. На графике точками отмечены значения по ГОСТ.

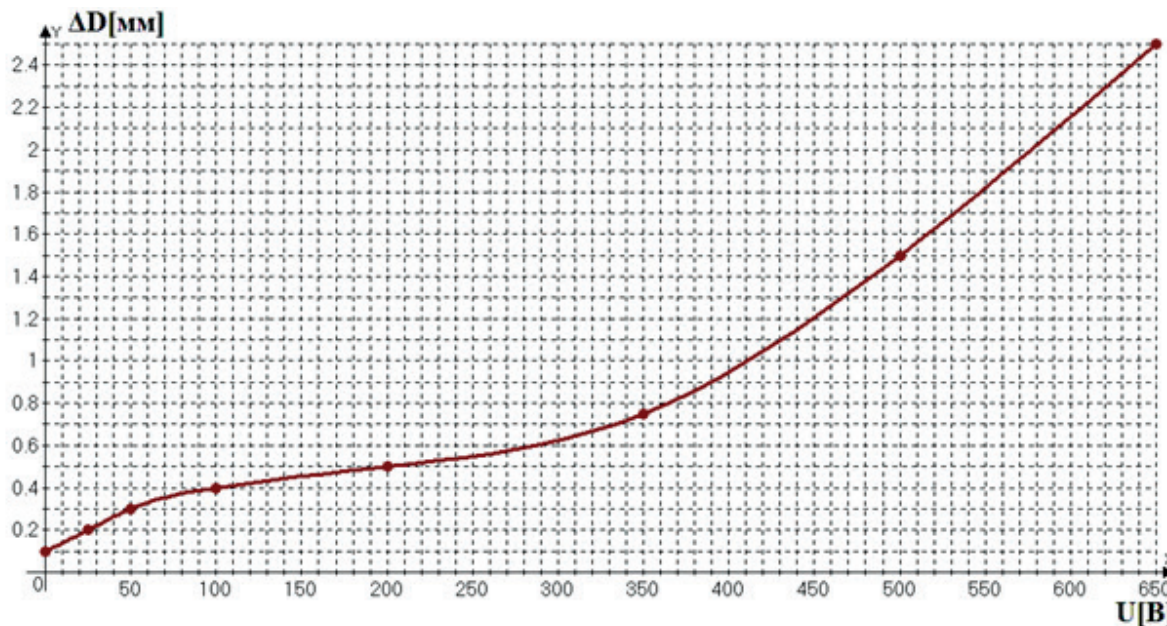


Рис. 7. Зависимость зазора между печатными проводниками от величины приложенного к ним постоянного напряжения.

Также следует помнить, что для того чтобы снизить влияние переходных отверстий цепи управления на параметры метаматериала, емкость, образованная вырезом в металлизации проводящего экрана, должна быть достаточной, для обеспечения развязки по частоте в диапазоне работы устройства. Реактивное сопротивление этой емкости зависит от частоты и определяется следующим выражением [18]:

$$Z = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3)$$

где:

f – частота, на которой работает метаматериал;

C – емкость зазора.

В то же самое время емкость зазора между проводящим экраном и переходным отверстием определяется следующим образом [15, 16]:

$$C = \frac{0.55 \times 10^{-12} \epsilon T d}{2\Delta D} \quad (4)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость подложки ме-

таматериала.

Выражая из (4) значение ΔD и подставляя определенную при помощи (3) емкость C получаем следующее выражение для определения необходимой величины зазора, выраженной в миллиметрах:

$$\Delta D = 0.55 \times 10^{-12} \pi \epsilon Z f T d. \quad (5)$$

Задавшись наиболее часто встречающимися на практике значением толщины подложки $T=1$ мм, внутренним диаметром переходного отверстия $d=0,2$ мм и волновым сопротивлением зазора $Z=100$ Ом (достаточное значение для обеспечения частотной развязки между элементами печатной платы), получаем следующие частотные зависимости величины зазоров печатной платы ΔD для материалов подложки ФАФ-4Д ($\epsilon=2,5$) и ФЛАН-52-10-35 ($\epsilon=5,2$) (рис. 8).

Таким образом, для того чтобы задать величину зазора ΔD нужно определить его допустимую величину по ГОСТ 23751-86 [17], зная при этом максимальное рабочее напряжение применяемых варикапов, рассчитать его значение, используя выражение (5) и выбрать для работы наибольшую из этих двух величин.

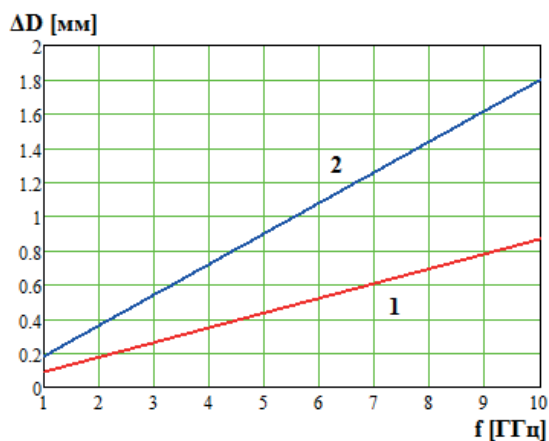


Рис. 8. Зависимость величины зазора между печатными проводниками печатной платы от частоты для материалов подложки ФАФ-4Д (1) и ФЛАН-52-10-35 (2).

Теперь, определившись со всеми параметрами переходных металлизированных отверстий и зазоров печатной платы можно приступать к проектированию цепей питания и управления, размещая их в третьем и четвертом слоях под структурой метаматериала. Важным моментом, о котором следует помнить, является то, что во избежание накопления разности потенциалов между проводящим экраном метаматериала и широкими проводниками цепи заземления схемы питания и управления, необходимо обеспечить омический контакт между ними в одной точке на плате при помощи индуктивного проводника шириной

0,2 – 0,3 мм.

Пример многослойной печатной платы перестраиваемой метаповерхности

Пример печатной платы перестраиваемой частотно-селективной метаповерхности, работающей в диапазоне от 1941 МГц до 2137 МГц, представлен на рис. 9 [9]. Она выполнена четырехслойной из материала FR4 ($\epsilon=4.2$) с двумя диэлектрическими подложками толщиной 1 мм каждая и имеет габаритные размеры 210*210 мм.

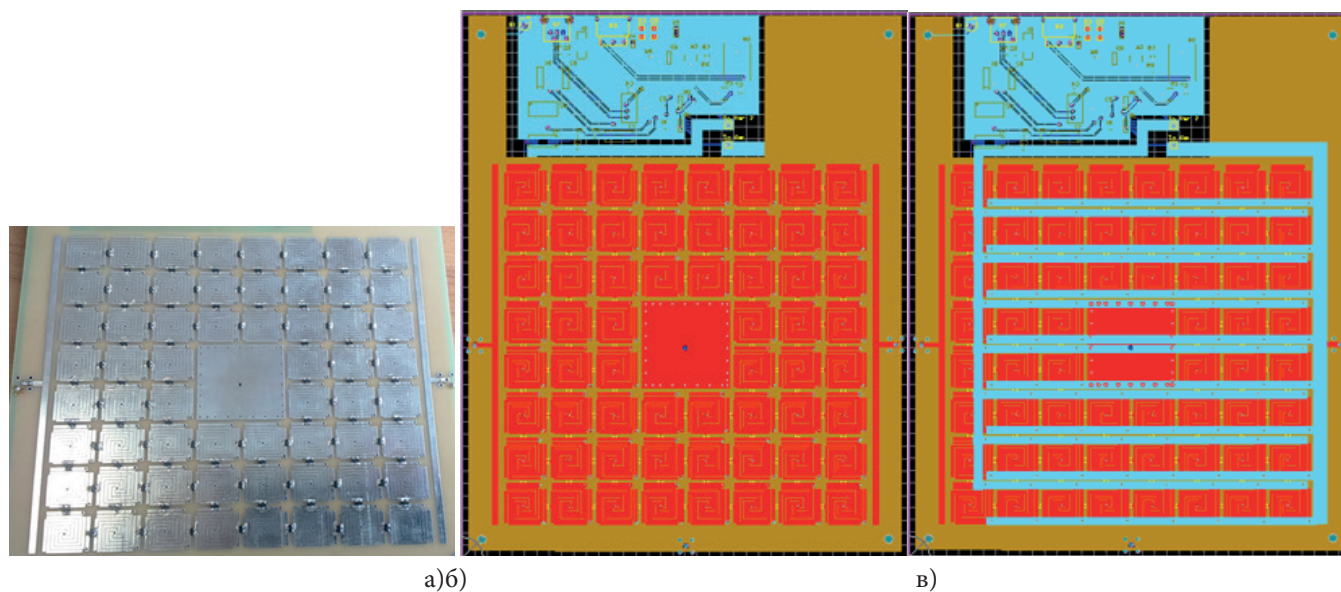


Рис. 9. Плата перестраиваемой частотно-селективной метаповерхности:

- (а) – внешний вид; (б) – топология верхнего слоя, на котором размещены резонансные контуры метаматериала;
- (в) – топология цепи питания варикапов на третьем слое платы.

На верхнем слое нанесена топология связанных резонансных контуров, выполненных в форме спиралей с размерами 15*15 мм и расстоянием между ними 3 мм, а также нанесены контактные площадки для подачи управляющего напряжения и установлены варикапы. В центре каждой спирали резонансного элемента выполнено металлизированное переходное отверстие, соединяющее его с металли-

ческим экраном, расположенным на втором слое печатной платы. Напряжение питания для управления варикапами подается на контактные площадки также при помощи переходных отверстий, соединяющих их с расположенной на третьем слое цепью питания. От проводящего экрана метаматериала они отделены зазором $\Delta D=0,4$ мм.

В данном варианте исполнения использованы сквоз-

ные переходные отверстия, поэтому элементы и цепи питания и управления размещены сбоку от метаматериала, а не под ним, что привело к увеличению размера платы, однако существенно снизило ее стоимость.

В качестве варикапов использованы микросборки

BF51, вольт-фарадная характеристика которых приведена на рис. 10. Из емкость меняется в диапазоне от 7,5 до 2,5 пФ. При этом для перестройки требуется совсем небольшое напряжение – до +6 В.

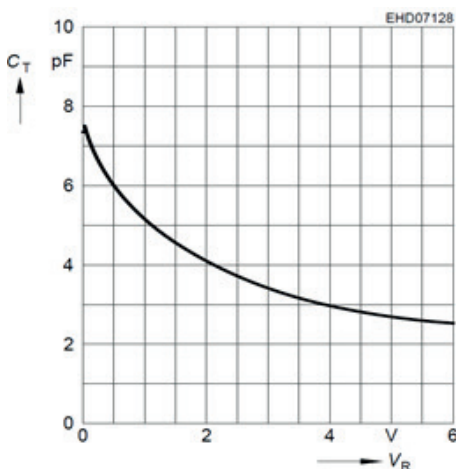


Рис. 10. Вольт-фарадная характеристика варикапов BF51, использованных в конструкции частотно-перестраиваемого метаматериала.

Результаты измерения метаповерхности представлены на рис. 11. Возбуждение конструкции осуществлялось при помощи емкостного зазора, образованного двумя параллельными микрополосковыми линиями, расположенными по краям диэлектрической платы. Видно, что с увеличением напряжения, подаваемого на варикапы, от 0 до 6В,

центральная частота полосы запираания смещается вниз от 1941 МГц до 2137 МГц, обеспечивая перестройку полосы запираания в диапазоне 200 МГц (10%). Представленная конструкция является пространственным фильтром с электронной перестройкой полосы запираания.

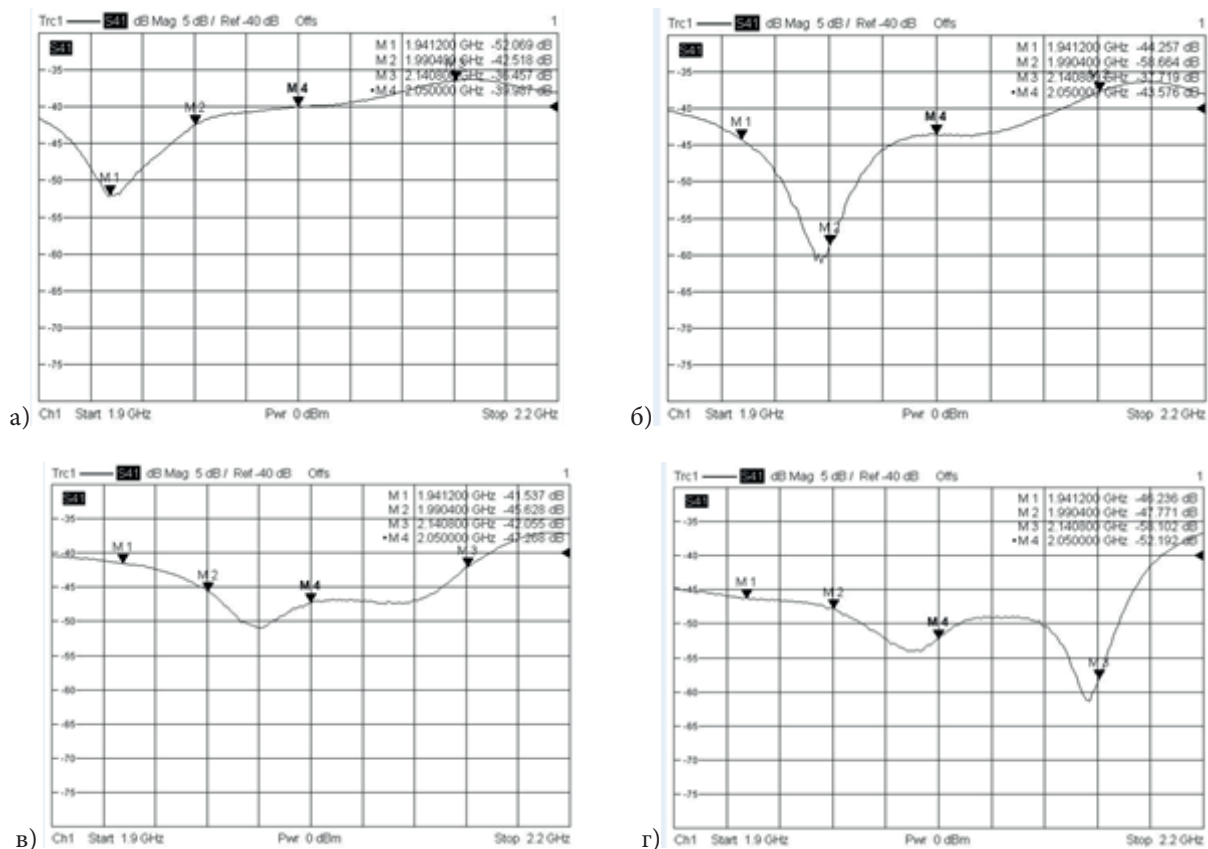


Рис. 11. Результаты измерения полосы запираания перестраиваемой частотно-селективной метаповерхности при различных напряжениях питания: (а) – 0 В (7,5 пФ), (б) – 2 В (4 пФ), (в) – 4 В (3 пФ), (г) – 6 В (2,5 пФ).

Заклучение

В работе представлены основные принципы построения и проектирования печатных плат перестраиваемых частотно-селективных метаповерхностей на основе грибовидных метаматериалов. Предложена методика расчета параметров переходных отверстий. Даны рекомендации по выбору количества и конструкции слоев платы, а также изложены основные правила размещения элементов метаматериала и цепей питания и управления в каждом слое, а именно:

- резонансные элементы метаматериала должны размещаться на верхнем (рабочем) слое платы;
- общий проводящий экран метаматериала должен располагаться на следующем слое;
- все элементы метаматериала должны быть выполнены на диэлектрической подложке – не на препреге;
- переходные отверстия цепи питания и управления должны быть отделены от проводящего экрана метаматериала емкостными зазорами, ширина которых достаточна для предотвращения электрического пробоя на плате и для обеспечения развязки на частоте работы метаматериала;
- проводящий экран метаматериала должен быть соединен с заземляющим проводником цепи питания и управления при помощи индуктивного проводника для предотвращения накопления разности потенциалов между ними.

В заключении, представлен образец платы перестраиваемой частотно-селективной метаповерхности, выполняющей роль пространственного фильтра с электронной перестройкой полосы запираания, и результаты измерения его параметров.

Список литературы

1. Caloz Ch., Itoh T. Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications (the engineering approach) – New Jersey: A John Wiley & Sons Inc., 2006. - 352 p.
2. Engheta N., Ziolkowsky R. W. Metamaterials - physics and engineering exploration. - Danvers: John Wiley & Sons Inc., 2006. - 414 p.
3. Kim H. and Seo C., Inverse Class-F Power Amplifier Using the Metamaterial Structure on the Harmonic Control Circuit. // Microwave and Optical Technology Letters. – 2008. – v. 50. – No 2. - pp. 2881-2884.
4. Awasthi S., Biswas A., Akhtar M. J. Compact Bandstop Filter Using Triangular Metamaterial Mushroom Resonators // Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC). - 2012. - pp. 217-219.
5. Morata M., Gil I., Fernandez-Garcia R. Parametric Design of Stop Band Pass Filter Based on RF Metamaterials in LTCC Technology // Progress in Electromagnetics Research

Symposium Proceedings. – 2012. - No 8. - pp. 813-817.

6. Бойко С. Н., Веселаго В. Г., Виноградов Е. А., Жуков А. А. Малогабаритные антенны на основе метаматериалов (практические аспекты) // Антенны. – 2012. - №12. - с. 32-41.
7. Кухаренко А.С., Елизаров А.А. Анализ физических особенностей метаматериалов и частотно-селективных свч-устройств на их основе // Т-Comm: Телекоммуникации и связь. – 2015. - Том 9. - №5 - с. 36-41.
8. Бойко С.Н., Елизаров А.А., Закирова Э.А., Кухаренко А.С. Исследование малогабаритного развязывающего СВЧ фильтра на метаматериале // Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП – 2014», Саратов, 2014. – Т.1. – с.218-225.
9. Кухаренко А. С., Елизаров А. А. Частотно-селективная поверхность на основе метаматериала с электронной перестройкой полосы запираания // Труды II Всероссийской научной конференции «Проблемы СВЧ-электроники» МИЭМ НИУ ВШЭ – «Инновационные решения» Keysight Technologies. Москва, 2015. - с.45-48.
10. Sievenpiper D., Zhang L., Broas R. J., Alexopolous N. G., and Yablonovich E. High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band// IEEE Trans. Microw. Theory Tech. - Nov. 1999. - No. 11. - Vol. 47. - pp. 2059-2074.
11. Froozesh A., Shafai L. Investigations in to the application of artificial magnetic conductors to bandwidth broadening, gain enhancement and beam shaping of low profile and conventional monopole antennas // IEEE AP Trans. - Jan. 2011 - No. 11. - Vol. 59. - pp. 4-20.
12. Lee H., Ford K. L., Langley R. J. Independently tunable low-profile dual-band high-impedance surface antenna system for application in UHF band // IEEE AP Trans. - Sep. 2012. - No. 9. - Vol. 60. - pp. 4092-4101.
13. Luo Z., Chen X., Long J., Quarforth R. and Sievenpiper D. Nonlinear power-dependent impedance surface // IEEE AP Trans. - Apr. 2015. - No. 4. - Vol. 63. - pp. 1736-1745.
14. Уваров А. С. P-CAD. Проектирование и конструирование электронных устройств. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 760 с.
15. Ардизони Д. Практическое руководство по разработке печатных плат для высокочастотных схем // Компоненты и технологии. – 2007. - №12. – с. 157-162.
16. Ardizzoni J. Keep high-speed circuit-board layout on track // EE times. – 2005. – May 23.
17. ГОСТ 23751-86. Печатные платы. Основные параметры конструкции.
18. Чернушенко А. М., Меланченко Н. Е., Малорацкий Л. Г., Петров Б. В. Конструкции СВЧ устройств и экранов: учебное пособие для ВУЗов. – М.: Радио и связь, 1983. – 400 с.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ, ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ УВЛАЖНЕНИЯ И СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Кучеренко Дмитрий Евгеньевич,
ассистент кафедры применения электрической энергии,
Кубанский Государственный Аграрный Университет

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются методы и средства сушки изоляции асинхронных двигателей. Так же представлены мероприятия, направленные на уменьшение отрицательного воздействия окружающей среды на изоляцию.

ABSTRACT

The article deals with the methods and means of drying the insulation of induction motors. Also presented measures aimed at reducing the negative impact of the environment on the insulation.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, сушка, влажность, изоляция, обмотка.

Keywords: the induction motor, drying, moisture, insulation, winding.

Асинхронный двигатель (АД) в сельскохозяйственном производстве эксплуатируются в различных условиях, часто сопровождаемых повышенной влажностью. Особенно неблагоприятным следует считать холодное время года. В животноводстве электродвигатели в этот период работают в условиях химически агрессивной среды, при резкой смене температуры. Поэтому отмечается интенсивный выход их из строя на навозоуборочных транспортерах, вытяжных вентиляторах, насосных установках, электродвигатели которых работают в повторно-кратковременном режиме с длительной технологической паузой.

Мероприятия, направленные на уменьшение отрицательного воздействия окружающей среды на изоляцию, можно разделить на две группы [1, 2].

Мероприятия первой группы являются защитными. Они позволяют замедлить проникновение влаги в обмотку и накопление ее в опасных количествах. К ним относятся:

- применение электродвигателей специализированных исполнений;
- модернизация электродвигателей при ремонте;
- размещение двигателей в сухих отапливаемых помещениях;
- электрообогрев электрических машин в нерабочем состоянии.

Первое мероприятие связано с производством электродвигателей

влагоморозостойкого, химостойкого, сельскохозяйственного исполнения. Для герметизации асинхронных двигателей специального исполнения предусмотрены уплотнения подшипниковых узлов. Сопротивление изоляции специальных асинхронных двигателей снижается во влажной среде в полтора раза медленней, чем двигателей общепромышленного назначения.

Однако улучшенные влагозащитные свойства асинхронных двигателей специализированных исполнений утрачиваются в результате старения изоляции в процессе эксплуатации в сельском хозяйстве, а также после ремонта в электроцехах сельских предприятий. В сельском хозяйстве в условиях влажной и агрессивной среды работают в большом количестве АД общепромышленного использования.

Модернизация асинхронных двигателей при ремонте

заключается в повышении влагостойкости лобовых частей обмотки. Лобовые части обмотки покрывают эмалью, модифицированной одним из летучих ингибиторов. При этом уменьшается влагонепроницаемость эмалевой пленки, а в местах отсутствия эмали пары ингибиторов пассивируют медь, повышая ее стойкость. Ингибирование улучшает влагостойкость изоляции, но не исключает ее увлажнения в тяжелых условиях эксплуатации.

Высокой стойкостью к воздействию окружающей среды обладают капсулированные обмотки [3]. Сущность капсулирования заключается в герметизации лобовых частей эпоксидным или другим компаундом. Его заливают в установленную на статор форму, выдерживают до отверждения. Сопротивление изоляции капсулированных двигателей в процессе эксплуатации не уменьшается ниже 500 МОм.

Размещение электродвигателей в сухих отапливаемых помещениях возможно далеко не всегда и для этого требуются значительные капитальные вложения. Известно, что проникновение влажного воздуха внутрь оболочки электрической машины и, как следствие этого, увлажнение изоляции возможно только после того, как температура обмотки станет равной температуре окружающего воздуха [4]. Следовательно, если в нерабочие периоды АД поддерживать температуру его обмоток несколько выше наружной температуры, то увлажнения изоляции можно избежать. На этом принципе основана работа ряда устройств предохранительного подогрева обмоток.

Академиком Прищепом Л.Г. предложен электрообогрев обмоток с помощью конденсаторов, включенных параллельно главным контактам коммутационного аппарата [5]. Необходимое превышение температуры обмоток обеспечивается соответствующим выбором емкости конденсаторов. Преимуществом этого способа является простота и возможность использования конденсаторов для компенсации реактивной мощности, недостатком - отсутствие контроля за температурой.

Известно более сложное тиристорное устройство [6], в котором превышение температуры обмоток двигателя поддерживается постоянным при колебаниях температуры окружающей среды. Для этого в оболочку асинхронного двигателя устанавливается термочувствительный элемент, позволяющий измерять ее температуру. С помощью

другого термочувствительного датчика измеряется температура окружающей среды. Таким образом определяется разность температур, пропорционально которой изменяется угол открытия тиристора и, соответственно, ток в обмотках электрической машины.

Достоинством этого устройства является экономия электроэнергии, так как после отключения двигателя от сети ток на его обмотки не подается до тех пор, пока корпус его не охладится до температуры на 5...8 °С, превышающей температуру окружающей среды.

Основным недостатком устройства следует считать необходимость встраивания терморезистора в оболочку АД и выполнения дополнительных монтажных работ по прокладке проводов, соединяющих терморезистор с устройством.

В Японии разработан экономичный нагреватель электродвигателей [7], не требующий установки термодатчиков. Источником тока подогрева служит понижающий трансформатор, к первичной обмотке которого подключен входной выключатель, а ко вторичной - выключатель с замедлением. При остановке двигателя размыкается пусковой выключатель и замыкается входной выключатель трансформатора. По истечении определенного промежутка времени, задаваемого устройством задержки, включается выключатель с замедлением и в обмотки электрической машины подается ток подогрева.

Общим недостатком всех рассмотренных устройств является отсутствие контроля за состоянием изоляции. Процесс увлажнения изоляции зависит главным образом от параметров окружающей среды, которые в свою очередь определяются метеорологическими условиями. При благоприятных метеорологических условиях, например, в летний период, влажность окружающей среды незначительна и обмотки электрических машин не увлажняются даже при длительных простоях. Это подтверждается результатами долговременных исследований состояния изоляции эксплуатирующихся двигателей [8], из которых следует, что сопротивление изоляции носит явно выраженный сезонный характер. Нечувствительность известных устройств к состоянию изоляции приводит к тому, что в обмотки электрической машины или нагреватель подается ток даже в тех случаях, когда в этом нет необходимости, что неэкономично.

Вторая группа мероприятий по уменьшению отрицательного воздействия окружающей среды на изоляцию связана с периодическим удалением накопившейся в изоляции влаги, то есть с сушкой. Известны следующие способы сушки отсыревшей изоляции АД [9, 10, 11, 12]: сушка внешним нагревом обмоток; сушка индукционными потерями; сушка рабочими токами двигателя; электроосмотическая сушка; токовая сушка.

Сушка внешним нагревом может быть выполнена с помощью воздуходувок, сушильных шкафов или ламп накаливания, вставляемых в расточку статора. Недостатком этих способов является необходимость демонтажа и разборки двигателей, что затрудняет проведение сушки в эксплуатационных условиях на судах.

Для сушки индукционными потерями [13] на статор АД наматывается временная намагничивающая обмотка,

на которую подается напряжение судовой сети. Этот способ требует больших трудозатрат не только на демонтаж и разборку двигателя, но и на расчет и укладку намагничивающейся обмотки. На практике данный способ применяется ограниченно [5], главным образом для сушки крупных электрических машин (свыше 100 кВт).

Определенный интерес представляет способ сушки, использующий нагрев обмоток рабочими токами. Условия для удаления влаги создаются, если разгерметизировать электрическую машину во время работы [14]. При этом исключаются простои электропривода, связанные с сушкой, и не требуются значительных, трудозатрат. Однако для эффективной временной разгерметизации электрических машин при условии сохранения их работоспособности необходимо внесение серьезных конструктивных изменений в оболочку двигателя, что возможно только в заводских условиях или на фирме.

Электроосмотическая сушка основана на известном явлении перемещения влаги в капиллярно-пористых материалах под воздействием градиента постоянного электрического поля [15]. В электродвигателях такое поле легко может быть получено путем подачи на корпус и обмотки электрической машины постоянного напряжения от выпрямителя или специального разработанного устройства [5, 16]. Преимуществом этого способа является отсутствие нагрева и малый расход электроэнергии [17], основным недостатком - невозможность полного восстановления свойств изоляции. При электроосмосе влага не удаляется из изоляции, а только подтягивается к отрицательно заряженным поверхностям корпуса и сердечника статора, за счет чего достигается некоторое повышение сопротивления изоляции. После снятия напряжения влага вновь распределяется по всему объему диэлектрика и сопротивление изоляции быстро уменьшается до исходного уровня. Поэтому электроосмотическая сушка [18] может быть применена только с последующим влагоудалением одним из вышеописанных тепловых способов сушки, например, рабочими токами АД.

Способ сушки током разработан Блюмбергом В.А. применительно к ремонтной практике электрических машин [19]. Нагревательным элементом при этом способе являются сами обмотки асинхронного двигателя, которые подключаются к постороннему источнику пониженного напряжения. Токовый способ оказался наиболее приемлемым для сушки отсыревшей изоляции, АД в эксплуатационных условиях на сельскохозяйственных предприятиях, что обусловлено следующими его преимуществами:

- возможностью проведения сушки на месте установки двигателей, без их демонтажа и разборки;

- меньшей по сравнению с другими способами длительности процесса сушки.

Методика сушки с использованием описанных устройств предусматривает контроль состояния изоляции с помощью дополнительных технических средств измерения вручную. На все время сушки у электрической машины устанавливается дежурство [4]. Дежурный периодически производит контрольные замеры температуры обмоток и сопротивления изоляции. Такая технология, с учетом значительного времени сушки, требует больших

трудозатрат и не может быть признана оптимальной.

Избежать непроизводительных затрат можно автоматизацией контроля за состоянием изоляции в процессе сушки. С повышением степени автоматизации технических средств сокращаются трудозатраты на проведение процесса сушки, но с другой стороны увеличивается сложность и стоимость приборов, снижается их надежность. Поэтому, наиболее целесообразно построение устройств, имеющих только автоматический контроль сопротивления изоляции. Необходимый температурный режим сушки может быть обеспечен заданием соответствующего тока в обмотках, величина которого определяется теоретически или экспериментально.

Большинство устройств для сушки являются однофазными и рассчитаны на подключение АД с шестью выводными зажимами по схеме последовательного или параллельного соединения обмоток. Согласно ГОСТ 19523-81 асинхронные двигатели мощностью до 11 кВт выпускаются с тремя выводами. Возможные схемы их подключения к однофазным устройствам не обеспечивают равномерного прогрева всех трех обмоток. Для получения удовлетворительного качества сушки в этом случае необходимы периодические переключения выводов, что требует дополнительных затрат.

При высокой температуре (около 100 °С и выше) в порах и капиллярах изоляции развиваются большие давления паро-воздушной смеси. В результате возможно образование дефектов в изоляции: трещин, пор, отслоений и др. Снижение температурного режима уменьшает опасность дефектообразования, но существенно увеличивает продолжительность сушки [20].

Длительность сушки является важнейшим параметром процесса. Время токовой сушки асинхронных двигателей зависит от гигроскопических свойств изоляции, от температуры обмотки, параметров окружающей среды и в среднем составляет 8...12 часов. Мощные электрические машины с сильно отсыревшей изоляцией сушатся значительно дольше [4]. Следовательно, полное восстановление свойств изоляции, даже наиболее интенсивным - токовым способом сушки, требует длительной остановки электрического оборудования на сельскохозяйственных предприятиях, что не всегда возможно по условиям технологического процесса.

Список литературы:

1. Федоров А.А., Михайлов В.В., Кутковецкий В.Я., Новиков А.Г. Повышение готовности к пуску асинхронных двигателей, работающих в местах с повышенной влажностью // Промышленная энергетика. 1979. №12. - С.27-29.
2. Пястолов А.А., Мешков А.А., Вахромеев А.Л. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования. - М.: Колос, 1981. - 335 с.
3. Ермолин Н.П., Жерихин И.П. Надежность электрических машин. - Л.: Энергия, 1976. - 248 с.
4. Пястолов А.А. Научные основы эксплуатации электросилового оборудования. - М.: Колос, 1968. - 224 с.
5. Прищеп Л.Г., Медведев А.А. Исследование схем предохранительного подогрева обмоток электродвигателей на конденсаторах // Научные труды МИИСП. - 1976. - Т.13. -

Вып.5. - С.5-10.

6. Авторское свидетельство 680102 СССР. Способ защиты изоляции об-моток электродвигателя от конденсации влаги и устройство для его осуше-ствления /Мартыненко И.И., Корчемный М.Т., Машевский В.П. - Оpubл. в Б.И.№30,1979.-С.214.
7. Заявка №50 - 11561 Японии, МКИЗ Н02К 15/12 //Б.И. Изобретения в СССР и за рубежом. - 1975. - №13. - С.61.
8. Хоменко О.В., Хомутов О.И. Прогнозирование спроса на электродви-гатели с учетом условий эксплуатации //Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1986. №4. - С.45-46.
9. Барэмбо К.Н., Бернштейн Л.М. Сушка, пропитка и компаундирование обмоток электрических машин. - М.: Энергия, 1967. - 303 с.
10. Алякритский И.П., Мандрыкин С.А. Сушка электрических машин и трансформаторов. - М.: Энергия, 1974. - 84 с.
11. Мартыненко И.И., Лавриненко Ю.Н. Исследования режимов токовой сушки обмоток электродвигателей //Сб. Механизация и электрификация сельского хозяйства. - К.: Урожай, 1982, вып. 54. - С.28-31.
12. Кудрявцев В.М. Изоляция станет надежнее //Электрическая и тепло-возная тяга. 1987. №9. - С.24-25.
13. Корчемный НА., Гирченко М.Т., Машевский В.П. Способы и техниче-ские средства повышения эксплуатационной надежности сельскохозяйст-венных электропри-водов //Сб. Механизация и электрификация сельского хозяйства. - К.: Урожай, 1981, вып.50. - С.8-15.
14. Корчемный Н.А., Машевский В.П., Синявский Н.В., Терновой В.А. Ав-томатическое устройство для токовой защиты электродвигателей от пере-увлажнения //Сб. Со-вершенствование механизации и электрификации техно-логических процессов в животноводстве. - Черноград, 1986. - СЛ42-146.
15. Прищеп Л.П, Бульте Ф.П. Накопление конденсата в герметизирован-ном электродвигателе //Механизация и электрификация сельского хозяйст-ва. 1987. №6. - С.56-57.
16. Авторское свидетельство 1365266 СССР. Способ сушки и защиты от увлажнения изоляции электрических машин /Прищеп Л.Г., Бульте Ф.П. -Оpubл. в Б.И. №1,1988.
17. Авторское свидетельство 1365265 СССР. Способ сушки в герметичном баке твердой изоляции электриче-ских машин и аппаратов / Филиппишин В.Я. и др. - Оpubл. в Б.И. №1,1988.
18. Авторское свидетельство 1377971 СССР. Устройство для управления процессом сушки изоляции обмоток электродвигателей //Пахомов А.И. -Оpubл. в Б.И. №8,1988.
19. Жежеленко И.В., Липский А.М., Кривонос В.Е. Использование асин-хронных электродвигателей в цепях фильтров гармоник //Известия вузов. Электромеханика. 1988. №1. - С.85-89.
20. Кавабэ Таданами, Окада Итару. Эффективный ме-тод предотвращения ухудшения изоляционных характе-ристик двигателей высокого напряже-ния, находящихся в длительном простое //Дэнки гэмба гидзюцу. 1987. 26. №297.-С.69-70.
21. Пахомов А.И. Автоматическое устройство для контроля и сушки изо-ляции электродвигателей //Меха-

низация и электрификация сельского хозяйства. 1989. №3. - С.30-31

20. Корчемный Н.А., Филоненко А.Ф., Юсупов Н.А. Устройства повышения эксплуатационной надежности

сельскохозяйственных электроприводов 112 Всес. науч.-техн. конф. «Энергосберегающее электрооборудование для АПК», Москва, окт., 1990: Тезисы докл. - М., 1990. - С.44-45.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОФИЗИОТЕРАПИИ

Кучеренко Дмитрий Евгеньевич

ассистент кафедры применения электрической энергии,
Кубанский Государственный Аграрный Университет

Гранкина Наталья Александровна

кандидат технических наук,

доцент кафедры применения электрической энергии,
Кубанский Государственный Аграрный Университет

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются методы воздействия электрофизиотерапевтического тока определённой частоты, амплитуды и формы импульсов. Так же представлены результаты данных исследований.

ABSTRACT

In article methods of influence of electrophysiotherapeutic current of a certain frequency, amplitude and a form of impulses are considered. Results of these researches are also presented.

Ключевые слова: электрический ток, электрофизиология, электрический импульс, электростимуляция.

Keywords: electric current, electrophysiology, the electrical impulse, electrical stimulation.

Ряд болезней крупного рогатого скота (КРС) можно успешно лечить с использованием физиотерапевтических методов, в частности воздействием электрического тока определённой частоты и формы импульсов. Известны методы электростимуляции родовспоможения, послеродовой инволюции, отделения последа, лечения эндометритов и др.

Несмотря на то, что эффективность и целесообразность электрофизиотерапии в ветеринарном акушерстве общепризнана, её методологическое и техническое обеспечение развито весьма слабо [3, 8]. Режимы электрофизиотерапевтического воздействия и устройства для их реализации позаимствованы из медицинской практики и в большинстве своём применяются без учёта физиологических особенностей животных и этических аспектов проблемы (например, такого, как боль).

Известно, что в механизме сократительной способности матки многие процессы замыкаются на функциях клеточных мембран и их потенциале. Причём амплитуда потенциала действия (ПД) не зависит от величины раздражающего сигнала, его продолжительности и формы вплоть до порога деполяризации мембраны. После каждого ПД следует интервал рефрактерности, исключающий возможность суммирования потенциалов клетки.

Электрический импульс, как и ток необходимый для снижения мембранного потенциала до порогового значения должен иметь определённую амплитуду и продолжительность действия, а параметры его амплитуды – заключены в границах болевого порога с одной стороны и порогового значения мембранного потенциала с другой. Скорость нарастания амплитуды импульсов воздействия

должна превышать скорость развития процессов аккомодации на мембранах [5, 9, 11].

Поиски оптимальных режимов электростимуляции имеют значительную хронологию и продолжаются в настоящее время. К сожалению, выводы и рекомендации, в подавляющем большинстве случаев базируются лишь на эмпирических данных (в ряде случаев взаимоисключающих) и с требуемым уровнем доверительной вероятности систематизированы быть не могут. Вместе с тем, результатами статистических и собственных исследований нервно-гуморальной реакции миометрия выявлены два типа импульсов определяющих ПД: высокочастотные – пиковые (ВЧ) и низкочастотные – колоколообразные (НЧ). Последние, варьируют с частотой изменения потенциала от 0,3 до $1,1 \cdot 10^{-3}$ Гц и мало зависят от электропроводности мембран. На них накладываются сформированные в пакеты высокочастотные импульсы длительностью 0,1...7 мс.

Статистическая огибающая амплитуд пакета высокочастотных импульсов по форме близка к утерограмме цикла маточного сокращения и её максимум, очевидно, определяет потенциал деполяризации мембран клеток миометрия. Низкочастотные импульсы могут не сопровождаться высокочастотными разрядами, но мышечное сокращение возможно лишь в случае их совместного действия [9, 10, 12].

Результаты исследований позволяют заключить, что: наиболее предпочтительная форма анальгезиющего возбуждающего импульса должна совмещать в себе физиологические преимущества присущие как низко-, так и высокочастотным импульсам;

- уровень болевого порога модулированных низкочастотных импульсов тем выше, чем больше частота заполняющих их высокочастотных;

- зависимость предельных безболезненных значений амплитуды ВЧ импульсов и их частоты носит функциональный порядок;

- при увеличении частоты НЧ импульсов следует уменьшить скорость модуляции и частоту пакета ВЧ импульсов;

- частота следования ВЧ импульсов нарастает в продолжительности 1/3 пакета, затем остаётся постоянной и в последней трети пакета снижается;

- наименее дискомфортными по анальгезийным признакам будут электрофизиотерапевтические воздействия, параметрически сходные с собственными биопотенциалами животного;

Совместные исследования в областях электрофизиологии и электроники позволили разработать и создать аппаратуру, способную реализовать в ветеринарном акушерстве и гинекологии электроимпульсные терапевтические воздействия на организм животных превышающие по своему отклику, а также эффективности природные и медикаментозные методы лечения ряда заболеваний.

Поиски оптимальных режимов электростимуляции для различных целей применения продолжают и в настоящее время [1, 2, 6, 7]. Если по напряжению и току воздействий расхождения рекомендаций у исследователей незначительны (в силу определённого консерватизма электропроводности тканей) и определяются в основном физиологическим состоянием животных, а также лечебными целями, частоты рекомендуемых импульсов варьируют на пять и более порядков, достигая сотен мегагерц [4, 7].

Аппарат «Стимул-3» разработан для электростимуляции сократительной функции матки и брюшного пресса при патологии родов и послеродового периода, а также функции яичников при её нарушении у коров. В сравнении с приборами – аналогами, почерпнутыми в основном из медицинской практики, разработанный аппарат более удобен в применении так как: воздействует на гениталии не непосредственно, а через биологически активные точки (БАТ) на коже животного; амплитудно-частотные режимы электрофизиотерапевтического воздействия могут регулироваться в широких пределах; форма сигналов при квалифицированном использовании исключает болевые ощущения и аккомодацию нервно-гуморальной реакции животных [1, 2].

Схемное решение аппарата позволяет воздействовать на БАТ тела животного и анатомические структуры гени-

талий самки однополярными колоколообразными пакетами высокочастотных импульсов с интегральной амплитудно-частотной модуляцией последних.

Результаты терапевтической оценки утеротонической эффективности электростимуляции моторики матки при патологии родов и послеродового периода оценивались применительно к аппарату «Стимул-3» и в сравнении с результатами использования такого традиционного средства лечения маточных заболеваний, каким является окситоцин и аналогичные препараты. Основными критериями оценки лечебного действия электростимуляции служили изменения: показателя индекса маточных сокращений, физиологического состояния и продуктивности.

При амплитуде выходного сигнала «Стимул-3» до 40 В и различных экспозициях воздействия у коров с патологией родового акта индекс маточных сокращений возрастал в 2,2–7,0 раз, оставаясь ниже уровня соответствующего показателя у коров с нормальным течением родов (в среднем на 20,0–14,5 единиц). При патологии послеродового периода (субинволюции гениталий и воспалении эндометрия) в этом же режиме электростимуляции индекс маточных сокращений возрастал в 3,5–10,0 раз, не достигая нормального уровня на 7,5–6,5 единиц. При увеличении амплитуды импульсов до 50 В характер нарастания индекса маточных сокращений приобрёл выраженную экспоненциальную зависимость в функции продолжительности сеанса, см рисунок 1. Так, при продолжительности воздействия 5–10 минут, он увеличивался в 15,1 раза; 10–15 минут – в 17,1 раза; 15–25 минут – 21,5 раза, практически достигая уровня присущего животным с нормальным течением родов (в среднем – 22,5–24,2). Увеличение экспозиции до 30–40 минут приводило к незначительному прогрессу индекса (в 22,3 раза) [5, 6, 8]. Электростимуляция патологии послеродового периода напряжением 40–45 В на протяжении 5–10 минут определяла увеличение индекса маточных сокращений в 28,7 раз; при временных режимах 10–15 мин, 15–25 мин, 30–40 мин – увеличение в 64, 69 и 65 раз, соответственно. То есть, почти в равной степени достигая нормального уровня течения послеродового периода (в среднем 7,94). При увеличении амплитуды физиотерапевтических импульсов выше 55 В наряду с ростом индекса маточных сокращений и усилением моторики матки отмечено проявление бурных и болезненных схваток и потуг. В контрольной группе: индекс маточных сокращений под действием окситоцина возрастал с 1,09 до 16,1; продолжительность выведения плода выше на 13,1 мин; случаев осложнений послеродового периода на 31,3 % больше [1, 2, 4].

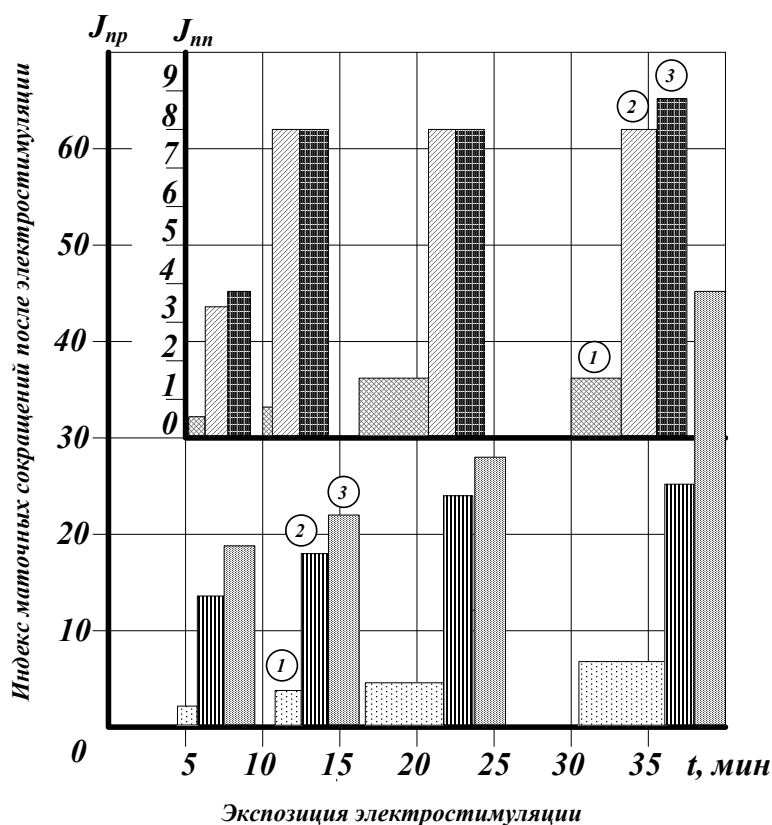


Рисунок 1 - Изменения индекса маточных сокращений у коров с осложнённым течением родов (Jnp) и послеродового периода (Jpp) при разных режимах электростимуляции. Гистограммы 1, 2, 3 построены для амплитуд импульсов терапевтического воздействия: до 40 В, 40 – 55 В и выше 55 В соответственно.

У животных с острой субинволюцией половой сферы до начала лечения наблюдалось понижение нервной возбудимости, снижение молочной продуктивности, замедление жвачки. Температура тела достигала 39,5 – 39,7 °С, пульс – 78 – 82 уд./мин. Уже спустя 2 – 4 суток после начала курса лечения температура тела, пульс и дыхание возвращалось к физиологическим границам [9, 10, 12]. Суточный удой возрастал с 7±1 л. до 17±1,5 л к 10 дню после начала

лечебного курса. У коров больных хронической субинволюцией матки повышение молочной продуктивности за 12 – 15 дней лечения составило в среднем 4±1,5 литров. Усиление ригидности матки отмечалось уже после первой электростимуляции. В контрольной группе остаточные признаки воспаления наблюдались в течение месяца после начала лечения, см. рисунок 2.

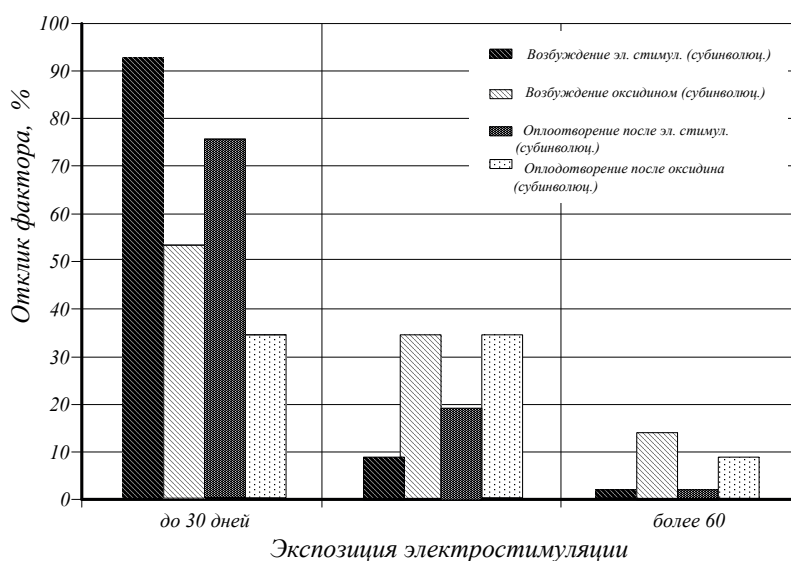


Рисунок 2 - Влияние электростимуляции и окситоцина на проявление стадии возбуждения полового цикла и оплодотворения после осеменения при лечении заболеваний моторики матки.

Проверка эффективности электростимуляции мускулатуры матки при задержании последа проводилась импульсами с амплитудой 50 – 70 В. и продолжительностью воздействия до полного отделения последа (20 – 30 минут). В контрольной группе время отделения последа составило 45 – 60 минут. Моторика матки при электростимуляции возросла в среднем в 182 раза (индекс маточ-

ных сокращений – 14,6). Таким образом, терапевтическая эффективность электростимуляции моторики матки оказалась по сравнению с окситоцином в среднем на 62,6 % выше. У большинства (88,9 %) животных опытной группы послеродовой период протекал без осложнений, против 14,8 % - в контрольной, см. рисунок 3.

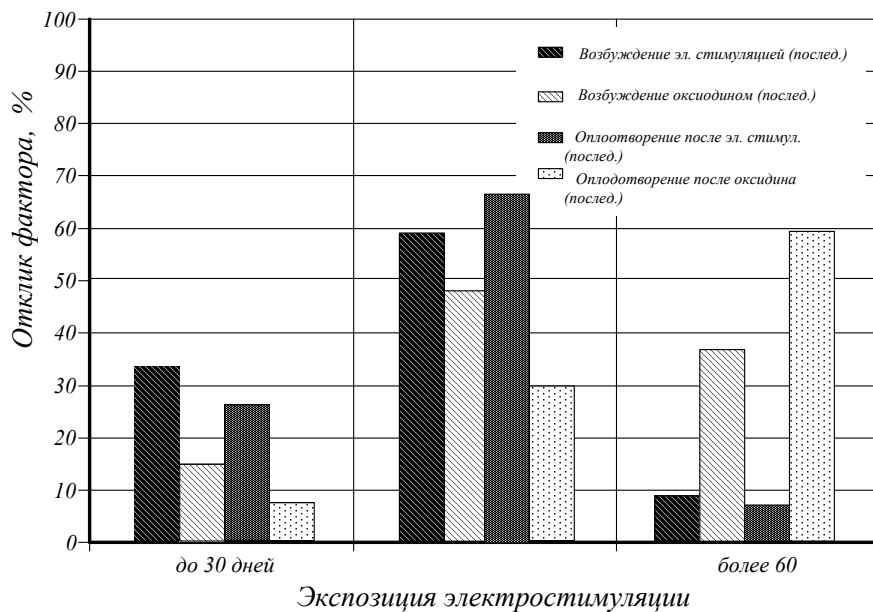


Рисунок 3 - Влияние электростимуляции и окситоцина на проявление стадии возбуждения полового цикла и оплодотворения после осеменения при лечении заболеваний моторики матки.

Электростимуляцию при острых и хронических гнойных эндометритах у коров осуществляли трёхкратным 15 минутным воздействием физиотерапевтических импульсов (с интервалом 24 часа). При остром гнойно-катаральном эндометрите уже к 5 – 8 суткам температура снижалась более чем на градус, пульс стабилизировался на 56 ± 3 ударах в минуту. К концу курса удой возросли с $8,5 \pm 0,5$ до $13,5 \pm 0,5$ кг. Уже на 2 – 3 день лечения можно обнаружить постепенное восстановление ригидности матки, индекс

её сокращения повышался в среднем в 90,2 раза. Одновременно наблюдалось рассасывание жёлтых тел и исчезли признаки гипофункции [6, 7, 11]. Беременность, роды и последующий послеродовой период протекали нормально. У контрольных коров с хроническим эндометритом клинические признаки воспаления матки (гиперемия, эксудация, атония матки, отёчность её стенок и пр.) в значительном числе случаев наблюдались в течение месяца и более после начала лечения, см. рисунок 4.

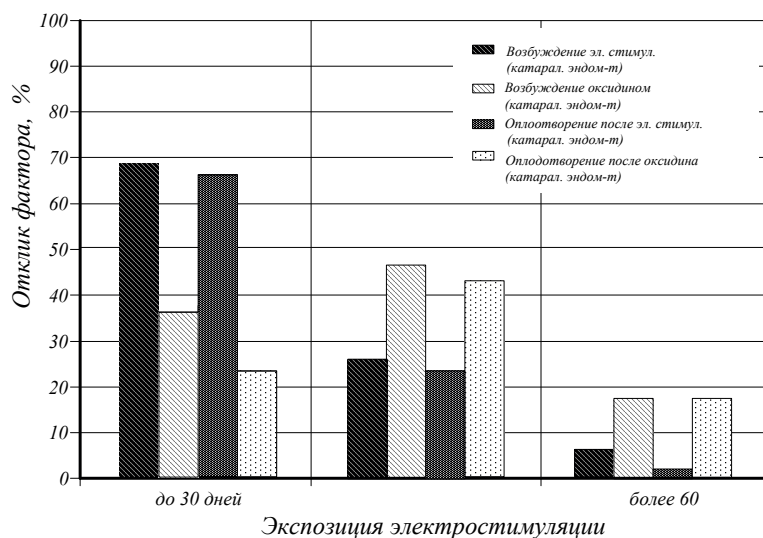


Рисунок 4 - Влияние электростимуляции и окситоцина на проявление стадии возбуждения полового цикла и оплодотворения после осеменения при лечении заболеваний моторики матки.

Результаты исследований оправдали прогнозы, перспективности метода электростимуляции с помощью аппарата «Стимул-3» и ожидаемую степень выраженности утеротонического действия. Так, если под действием окситоцина индекс маточных сокращений увеличивался в среднем в 37,3 раза, а при электростимуляции до 79 раз. Не случайно, терапевтическая активность электростимуляции моторики матки у коров при слабых схватках и потугах, задержании последа, субинволюции половой сферы, эндометритах составила соответственно 93,7 %, 92,6 %, 100,0 %, 90,9 %, превышая в среднем на 7,6 – 62,6 % аналогичные показатели при применении окситоцина, питуитрина, маммофизина, стерофизина, синестрола, препаратов спорыньи или пастушьей сумки и др. [4, 6]. Наблюдения выявили и то, что применение аппарата «Стимул-3» успешно и высокоэффективно сочетается с другими лечебными методами и средствами. Этот высокоэффективный биотехнический приём надёжно обеспечивает ускорение восстановления воспроизводительной способности у коров, предупреждает их симптоматическое бесплодие.

Список литературы:

1. Богатырев Н.И., Вольнова М.А., Демьянченко Н.А., Курзин Н.Н. Электростимулятор «Стимул-3»: Информ. листок № 312-98. -Краснодар: ЦНТИ, 1998. -4с.
2. Богатырев Н.И., Курзин Н.Н., Назаров М.В., Дайбова Л.А., Демьянченко Н.А. Рекомендации по применению и инструкция по эксплуатации комплекса устройств, используемых в системе мероприятий по борьбе с маститами. отчет о НИР (Кубанский государственный аграрный университет).-Краснодар.-2003.-11с.
3. Гранкина Н. А. Перспективы использования метода капиллярного электрофореза в животноводстве / Н. А. Гранкина, В. В. Борисенко, В. И. Николаенко // Молодой ученый. — 2015. — №5.1. — С. 6-9.
4. Гранкина Н.А., Коваленко М.П. Электрофизиотерапия - альтернативный способ лечения патологий у крс. Молодой ученый. 2015. № 15. С. 322-327.
5. Гранкина Н.А., Хусид С.Б. Обоснование принципов моделирования электрофизиотерапии миометрия крс. В сборнике: Современная наука: теоретический и практический взгляд. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2015. С. 91-94.
6. Гранкина Н.А., Хусид С.Б. Оценка эффективности клинического применения электростимулятора «Стимул-3». В сборнике: Актуальные проблемы науки на современном этапе развития. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. Уфа, 2015. С. 149-151
7. Курзин Н.Н., Демьянченко Н.А. Перспективы применения аппаратов электрофизиотерапии. В сборнике: Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе Сборник научных трудов I-й Российской научно-практической конференции. Редакционная коллегия: Трухачев В.И. (гл. ред.), Марков В.Р., Гребенник В.И., Минаев И.Г., Симоновский А.Я., Стародубцева Г.П., Клименко М.Ю. 2001. С. 260-262.
8. Назаров М.В. Разработка и усовершенствование методов коррекции производительной функции коров при патологическом течении родов и послеродового периода: Дисс. д-ра. вет. наук.- Краснодар, 1997.
9. Пат. 2156115, Российская Федерация, МПК7 61 D 1/08. Способ электростимуляции мышц матки при патологии в послеродовой период (субинволюции половых органов, атонии и гипотонии матки, эндометритах) у животных и устройство для его осуществления/Н. И. Богатырев, М. В. Назаров, Н. А. Демьянченко. Опубл. 03.06.1999.
10. Пат. 2193842, Российская Федерация, МПК7 А 01 J 7/04. Способ и устройство для электрической обработки in vivo полостей и тканей вымени сельскохозяйственных животных/Н. И. Богатырев, М. В. Назаров, Л. А. Дайбова, Н. В. Когденко, А. Л. Кулакова, Н. А. Демьянченко. Опубл. 09.08.2000.
11. Пат. 2210768, Российская Федерация, МПК G 01 N 33/48. Способ диагностики мастита у коров и устройство для его осуществления/Н. И. Богатырев, Л. А. Дайбова, Н. Н. Курзин, Н. А. Демьянченко, Н. В. Когденко, А. Л. Кулакова. Опубл. 11.07.2000.
12. Пат. 2299675, Российская Федерация, МПК А 61 В 5/04. Способ оценки безболезненности воздействия электрических импульсов при профилактике и лечении мастита/Л. А. Дайбова, А. Л. Кулакова, О. С. Турчанин, Н. А. Демьянченко. Опубл. 02.08.2005.

ПЕРЕСТАНОВКА ШИН ПО ПОЗИЦИЯМ КАК ОДИН ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ФАКТОРОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Левченко Евгений Анатольевич

эксперт, начальник центра технической диагностики ООО «НГМНУ»

Кузнецов Игорь Николаевич

эксперт, главный специалист центра технической диагностики

Илюшин Василий Викторович

главный специалист центра технической диагностики

Самохин Александр Владимирович

ведущий специалист ООО «СИБЭО»

TIRE ROTATION ON POSITIONS AS ONE OF THE MOST IMPORTANT FACTORS IN ENSURING SECURITY OF THE PIT-RUN DUMPER TRUCKS TRAFFIC

Levchenko E.A., expert, the head of the technical diagnostics centre, «NGMNU» Co Ltd

Kuznetsov I.N., expert, the main specialist of the technical diagnostics centre

Ilyushin V.V., the main specialist of the technical diagnostics centre

Samokhin Aleksandr, main specialist

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ степени износа различных по позициям шин автосамосвалов.

ABSTRACT

The analysis of the degree of wear of different positions tires of the dumper trucks was conducted.

Ключевые слова: промышленная безопасность; автосамосвалы; износ, техническое; обслу-живание; производительность.

Keywords: industrial safety; dump trucks; wear maintenance; service; performance.

То, что состояние шин является одним из важнейших факторов, влияющих на безопасность эксплуатации карьерных автосамосвалов, известно всем и не нуждается в доказательствах. Но, к большому сожалению, на горных предприятиях, эксплуатирующих автотранспортную технику, не всегда серьезно подходят к данному вопросу. Зачастую учет пробегов различных по позициям шин автосамосвалов ведется формально, а то и вовсе отсутствует. Статистические данные (если они есть) не анализируются, и никаких практических выводов по снижению износа шин, а, значит, повышению безопасности на транспорте не делается. На карьерах и угольных разрезах с течением времени существенно меняются горнотехнические и дорожные условия, а подходы к эксплуатации шин автосамосвалов остаются прежними. Например, уже достаточно давно на трех карьерах Олимпиадинского ГОКа ЗАО ЗК «Полюс» при достижении 60-70% нормативного пробега (устанавливается руководством комбината) производится снятие передних шин и их складирование. На их место устанавливаются новые экземпляры. Задние шины эксплуатируются до полного износа, именно по ним определяется фактический пробег (выявляется осмотром). Полностью изношенные шины выбрасываются, на их место устанавливаются шины со склада, снятые ранее с передних колес. Понятно, что при такой схеме в период экс-

плуатации автотранспорта на предприятии можно вести учет пробегов только задних шин. Неравномерный износ различных по позициям шин приводит к увеличению тормозного пути, повышению нагрузок на ходовые колеса автомобилей, снижению среднетехнической скорости их движения, и, как следствие, значительному уменьшению производительности.

Нами проведен анализ степени износа различных по позициям шин автосамосвалов (различных производителей), эксплуатирующихся на карьерах и угольных разрезах Красноярского края за последние 8 лет (там, где в какой-либо степени учет ведется). В результате установлено, что на всех автосамосвалах (от производителей самой техники и шин это не зависит) передние шины изнашиваются быстрее, чем задние, так как они работают в режиме увода (ими осуществляется рулевое управление). Правые шины изнашиваются быстрее левых, так как кабина водителя находится слева, и он хуже видит состояние дороги справа. На шарнирно-сочлененных автосамосвалах разница в степени износа правых и левых шин меньше, так как кабина водителя расположена по центру, но все равно картина та же. Задние внутренние шины ПЗВ и ЛЗВ изнашиваются быстрее наружных ПЗН и ЛЗН, так как первые движутся по новой колее, а вторые – по накатанной передними (рис.1).

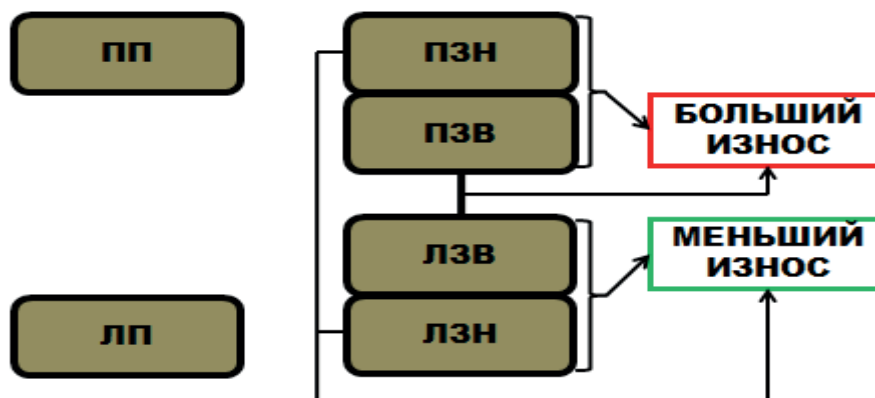


Рисунок 1 – Степень износа различных по позициям шин карьерных автосамосвалов: ПП, ПЗН, ПЗВ – правые соответственно передние, задние наружные и задние внутренние; ЛП, ЛЗН, ЛЗВ – левые соответственно передние, задние наружные и задние внутренние.

Основываясь на полученных данных, предлагаем универсальную схему перестановки с целью сравнить в процессе эксплуатации износ различных по позициям шин для списания их полным комплектом. При достижении гарантированного пробега шин (устанавливается производителем) ПП перемещается на позицию ЛЗВ, а ЛП - на позицию ПЗВ; ЛЗВ переходит на позицию ПЗН, а ПЗВ - на ЛЗН; ЛЗН перемещается на позицию ПП, а ПЗН - на ЛП. При достижении нормативного пробега ПП перемещается на позицию ПЗН, а ЛП - на позицию ЛЗН; ЛЗВ переходит на позицию ПП, а ПЗВ - на ЛП; ЛЗН перемещается на по-

зицию ПЗВ, а ПЗН - на ЛЗВ. Таким образом, каждая шина «побывала» в 3 позициях - передней, задней внутренней и задней наружной. При достижении фактического пробега шины списываются полным комплектом, производится их дефектовка, и в дальнейшем они могут быть направлены либо на восстановление протектора, либо на утилизацию. Внедрение предлагаемой схемы перестановки шин автосамосвалов предусматривает строгий учет их пробегов и обеспечит требуемый уровень промышленной безопасности транспортных работ на горных предприятиях.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ РОССИИ, ПУТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Левченко Евгений Анатольевич

эксперт, начальник центра технической диагностики ООО «НГМНУ»

Кузнецов Игорь Николаевич

эксперт, главный специалист центра технической диагностики

Илюшин Василий Викторович

главный специалист центра технической диагностики

Самохин Александр Владимирович

ведущий специалист ООО «СИБЭО»

IMPROVING INDUSTRIAL SAFETY AT THE RUSSIAN COAL OPENCAST BY MAINTAINING OPERATIONAL RELIABILITY OF THE MINING EQUIPMENT

Levchenko E.A., expert, the head of the technical diagnostics centre, «NGMNU» Co Ltd

Kuznetsov I.N., expert, the main specialist of the technical diagnostics centre

Ilyushin V.V., the main specialist of the technical diagnostics centre

Samokhin Aleksandr, main specialist

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ перестройки тактики технического обслуживания и ремонта: от ремонтов внезапного выхода оборудования из строя, к ремонту и техническому обслуживанию по его фактическому техническому состоянию.

ABSTRACT

The analysis of the tactics restructuring of maintenance and repair of equipment was conducted: from the repair of sudden equipment failure, to the repair and maintenance of its actual technical condition.

Ключевые слова: модернизация; эффективность; надежность; безопасная эксплуатация; мониторинг; горно-транспортное оборудование; техническое обслуживание; промышленная безопасность.

Keywords: modernization; efficiency; reliability; safe operation; monitoring; mining and transportation equipment; maintenance; industrial safety.

В настоящее время в России эффективная добыча угля открытым способом достигается главным образом надёжностью оборудования, оптимальным обслуживанием и ремонтом. На большинстве горнодобывающих предприятий основным показателем, определяющим срок службы экскаваторов, является срок амортизации, соответствующий нормам амортизационных отчислений. Срок амортизации назначается, исходя из имеющихся статистических данных, собранных за многолетний период эксплуатации для группы машин. Нормы амортизационных отчислений были приняты в период плановой экономики и практически не отражали фактического времени использования машины, реальных условий их эксплуатации, режима нагрузки и особенностей технического обслуживания и ремонта, то есть факторов, которые определяют ресурс и техническое состояние оборудования.

Поэтому поддержание эксплуатационной надёжности на разрезе добычного и вскрышного оборудования является высшим приоритетом, поскольку внезапный выход оборудования из строя приводит к наиболее высоким затратам. В этой связи к качеству технического обслуживания и ремонта, характеризующимся числом отказов, на опыте эксплуатации оборудования, фиксирующего наиболее частые выходы из строя после ремонтов и технического обслуживания, даёт основание к радикальному изменению системы технического обслуживания и ремонта, что даст возможность продления ресурса безопасной эксплуатации, особенно для оборудования отработавшего

свой нормативный срок.

Исключительно актуальными в этих условиях становится использование опыта передовых горных предприятий, где в целях обеспечения стабильности работы оборудования произошла перестройка тактики технического обслуживания и ремонта: от ремонтов внезапного выхода оборудования из строя, к ремонту и техническому обслуживанию по его фактическому техническому состоянию. Это даёт уменьшение эксплуатационных затрат, повышение уровня промышленной безопасности и сокращение внеплановых остановок.

Выявление влияния основных определяющих факторов процесса старения горного оборудования и снижения уровня промышленной безопасности является на разрезах наиболее важной задачей, ибо при сокращении резерва оборудования нужно сохранить то, что ещё можно сохранить, и нельзя пренебрегать фактором стареющей техники.

Одним из решений этой проблемы видится проблемно-ориентированная модернизация оборудования, что в принципе уже идёт на разрезах, но, на недостаточном уровне, по причине ограниченных финансовых возможностей.

Этими вопросами необходимо заниматься в первую очередь, ибо безопасность труда зависит от срока службы оборудования и его технического состояния.

В настоящее время оценка технической составляющей горно-транспортного оборудования является поверх-

ностной и субъективной, что приводит к снижению его работоспособности и, как следствие, снижению уровня за-

щищённости жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах.

ДИСТАНЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНОМ В КУЛЬТУРАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Мельник Вікторія Миколаївна

доктор технічних наук, професор

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Карачун Володимир Володимирович

доктор технічних наук, професор

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

REMOTE CONTROL OF HEAT TRANSFER IN CULTURE MEDIUM

Meľnick V.N., doctor of technical sciences, professor, National Technical University of Ukraine, Kiev Polytechnic Institute

Karachun V.V., doctor of technical sciences, professor, National Technical University of Ukraine, Kiev Polytechnic Institute

АНОТАЦІЯ

Досліджується можливість дистанційного тепломасообміну в культуральному середовищі за допомогою штучного формування зон каустики ультразвуковим променем.

ABSTRACT

the possibility of remote heat transfer in the culture medium by artificial formation of zones caustic by ultrasonic beam is investigated

Ключові слова: барботажний апарат, аберація, зона каустики.

Keywords: Bubbling apparatus, aberration, caustic zone.

Постановка проблеми. В мікробіологічній, харчовій та медичній промисловостях останнім часом з'явилася численна кількість різних технічних рішень конструкції ферментаторів для аеробного вирощування біомаси і отримання її метаболітів.

Рослинні клітини, які мають клітинну стінку, та культури живої клітини тварин, які її не мають, відповідно вирощуються на обладнанні із своїми специфічними, відкоректованими апаратурними особливостями біотехнологічних процесів. Звідси, або швидкохідні механічні засоби масообміну, або, навпаки, тихохідні, без наявних комплектуючих великої протяжності, фрикційних та зубчастих пар, муфт тощо.

Наявність механічних перемішуючих пристроїв, перш за все, порушує стерильність робочої рідини, а при великій швидкості обертального руху перемішувачів – призводить до порушення уразливої поверхні клітин.

Ефективність роботи біореакторів окреслюється достатньою кількістю показників. Разом з тим, основними з них слід вважати якісні характеристики процесів масообміну і аерації. Технічні рішення конструкцій біотехнологічного обладнання підвладні, таким чином, одній меті – усунення технологічних ризиків появи градієнтних проявів цих складових у поліагрегатних структурах. Розв'язання цієї проблеми слугує підґрунтям росту якісних показників виробництва.

Незважаючи на зростаючу роль багатофазних рідинних реакторів, все ж досконаліми її конструкції не назвеш.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При засто-

суванні барботажних апаратів для виготовлення вакцин, біологічно активних речовин, вирощування мікроорганізмів тощо, технологічний процес може здійснюватися за підвищеного барботування культуральної рідини. Тобто, за інтенсивного постачання мікроорганізмів киснем, а також поживними речовинами. Це забезпечується вилученням від'ємного зворотного зв'язку між газовмістом культурального середовища і інтенсивністю тепломасообмінних процесів, який суттєво стримує інтенсифікацію дріжджезростаючого процесу в робочому об'ємі апарату.

Недоліком відомих технічних рішень слугує висока матеріалоемкість апарату, значне піноутворення, відносно невисока продуктивність технологічного процесу внаслідок пасивного перемішування культуральної рідини. Ця прикмета окреслює плинність потоків тільки ламінарною структурою і тільки поступально угору, до кришки апарату. За такої картини, неминуче породжуються застійні зони в придонному прошарку та на периферії робочого об'єму, біля стінок апарату [1].

Наявність усередині апарату вертикальної циркуляційної труби, дозволяє більш рівномірно розподілити газ та підвищити його диспергування, що підвищить продуктивність процесу [2].

Відомі також інші конструкції барботажних апаратів, які в тій, чи іншій формі вирішують питання технологічного процесу [3-5]. Кожна з них має свої переваги, але і певні вади згідно вищесказаного.

Процес культивування мікроорганізмів, як і більшість гетерогенних хімічних реакцій, безпосередньо залежить

від кількості розчиненого в рідині газу.

Підвищення ступеня розчину газу в рідиннофазній складовій слугує зменшенню його витрати, а також зменшенню необхідного енергопостачання технологічного процесу.

Структура зміни енергетичного стану при опромінюванні звуковими хвилями при великому хвильовому розмірі розглянута в роботі [6]. Поява циліндричних каустик в рідині розглянута в роботах [7, 8]. Характер додаткового збурення рідини в акустичному полі вивчався в роботі [9].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Наявність механічних перемішувачів елементів в біореакторі, як уже зазначалося, не йде на користь мікроорганізмам рідинної культуральної рідини. Найменш вразливим тут постає процес тепломасообміну без використання несумісних з живими організмами елементів. Тобто, йдеться про штучне формування енергетичного стану робочої рідини без додаткових пристроїв усередині біореактору.

Одним з таких шляхів постає опромінювання ззовні корпусу реактора ультразвуком. За певних умов, генеруєма в корпусі вібрація випромінює усередину внутрішнього об'єму реактора звукові хвилі. Завдяки аберації цих хвиль утворюється зона енергетичної активності культуральної рідини у вигляді співвісних внутрішній поверхні реактора поверхні – поверхні каустики [10, с. 316-317]. Таким чином, тільки за рахунок власних коливань рідини буде здійснюватися тепломасообмін.

Поверхонь каустики може бути дві. Одна утворюється за рахунок частот опромінювання вищих за граничну, інша – для низьких частот. Перша формується згинними коливаннями корпусу, друга – коловими коливаннями [11, с. 44-48].

Мета досліджень. За мету досліджень слугує аналіз технічної реалізації дистанційного управління тепломасообміном в культуральному середовищі на прикладі відомої конструкції реактора [2].

Викладення основного матеріалу.

В основу пропонуємого пристрою поставлена задача підвищення продуктивності технологічного процесу шляхом інтенсифікації тепломасообміну по всьому об'єму апарату за допомогою штучного формування резонансного стану культурального середовища і породженої цим станом енергетичної активності робочої рідини.

Газліфтний барботаажний апарат з ультразвуковим перемішувачем містить вертикально розташований циліндричний корпус з технологічними патрубками і розміщену в порожнині корпусу з радіальним зазором циркуляційну трубу, а також встановлений під циркуляційною трубою аератор, згідно заявляемого винаходу газліфтний барботаажний апарат обладнаний ззовні своєї бічної поверхні на спільній основі ультразвуковим перемішувачем, напрям променя якого на означеній відстані і висоті регулюється кутами повороту випромінювача в горизонтальній і вертикальній площині.

Технічний результат від використання газліфтного барботаажного апарату з ультразвуковим перемішувачем забезпечується обладнанням газліфтного барботаажного апарату ззовні його бічної поверхні на спільній основі

ультразвуковим перемішувачем, напрям променя якого на означеній відстані і висоті регулюється кутами повороту випромінювача в горизонтальній і вертикальній площині.

Регулювання напрямку ультразвукового променя має на меті визначити такий кут θ (пеленг) і кут ψ (кут місця) між променем і нормаллю до поверхні корпусу в даній точці, коли слід генеруємої в поверхні корпусу колової (уздовж паралелі) швидкості c_{Π} і падаючої звукової хвилі співпадають, тобто має місце рівність

$$c_{\Pi} = \frac{c_0}{\sin \theta}$$

яка окреслює умову народження резонансного стану, тобто, хвильового співпадання (c_0 - швидкість падаючої звукової хвилі). Це означає, що механічний імпеданс корпусу газліфтного апарату стає рівним нулю і відбувається трансляція енергії звукового випромінювання усередину барботаажного апарату за повної відсутності дисипації енергії, так зване явище "акустичної прозорості". Причому, виникнення хвильового співпадання не залежить від частоти випромінювання і може виявитися тільки за наявності відповідного кута падіння θ [10, 316-317]. При інших значеннях кута θ , звукопередача крізь корпус апарату миттєво знижується.

Ультразвукове випромінювання дозволяє докорінно збільшити хвильовий розмір внутрішньої циліндричної поверхні корпусу і забезпечити виконання обов'язкової нерівності $2\pi f/c_0 \gg 1$. Так, якщо матеріал корпусу сталь, радіус апарату $R=1$ м, швидкість звуку в повітрі $c_0=331$ мс⁻¹, а частота випромінювання $f=42$ кГц, хвильовий розмір корпусу буде дорівнювати 176, тобто стане набагато більшим від одиниці. За цих умов, колова швидкість c_{Π} буде випромінювати в робочу рідину звукову хвилю, яка з вектором c_p швидкості звуку в рідині складе кут (явище аберації)

$$\sin \alpha = \frac{c_p}{c_{\Pi}} = \frac{1500}{6100} \approx 0,246; \alpha = 14^{\circ} 20'$$

В результаті, лєвова частка енергії звукової хвилі буде зосереджуватися в коловій циліндричній поверхні (зона каустики) радіуса

$$r=R \cos \alpha = 0,97 \text{ (м)},$$

тобто на відстані 3 см від внутрішньої поверхні корпусу.

Таким чином, зони пасивної енергетики придонних шарів та на периферії, тобто поблизу внутрішньої поверхні корпусу апарату, активізуються і приймають енергійну участь в тепломасообміні по всьому об'єму апарату, внаслідок чого підвищується продуктивність і якість технологічного процесу.

Далі сутність роботи пояснюється відповідним описом та кресленнями, де:

на рис. 1 схематично зображений в поздовжньому перерізі газліфтний барботаажний апарат з ультразвуковим

перемішувачем;

на рис 2 показаний переріз А-А на рис. 1.

Газліфтний барботажний апарат з ультразвуковим перемішувачем (рис. 1) використовується для культивування мікроорганізмів в рідинних середовищах при виготовленні вакцин та біологічно-активних речовин і містить вертикально розташований циліндричний корпус 1 з патрубком 2 для введення живильної рідини і посівного матеріалу (робоча рідина), патрубком 3 для видалення культуральної рідини та патрубком 4 для відведення відпрацьованого газу. В порожнині корпусу 1, співвісно з ним, з радіальним зазором δ встановлена циркуляційна труба 5, а під нею розміщується аератор 6. Від непередбачених технологічних процесів переміщення в корпусі 1 труба 5 забезпечена фіксаторами її положення, наприклад, радіально вгвинченими в неї шпильками 7, або іншими відомими способами (не показано). Корпус 1 розміщений на спільній основі 8 з ультразвуковим випромінювачем 9.

Робота газліфтної барботажної апарату з ультразвуковим перемішувачем здійснюється наступним чином.

У попередньо простерилізований корпус 1 крізь патрубок 2 вводять робочу рідину, після чого через аератор 6 впускають стиснений газ (повітря) і одночасно включають ультразвуковий випромінювач 9. Стиснений газ у вигляді бульбашок 10 надходить в циркуляційну трубу 5 і утворює з робочою рідиною рідинно-повітряну суміш, яка набагато легша від робочої рідини, що знаходиться в зазорі "δ" між трубою і корпусом 1. Доки надходить повітря, різна щільність (питома вага) робочої рідини всередині циркуляційної труби і навколо неї буде породжувати висотну циркуляцію 11 рідинного середовища в корпусі 1. Відпрацьоване повітря через патрубок 4 видалається в навколишнє середовище. Одночасно з цим, ультразвуковий випромінювач 9 починає опромінювати звуковим променем 12 бічну поверхню корпусу 1 на відстані H від основи, штучно генеруючи в матеріалі корпусу колові хвилі.

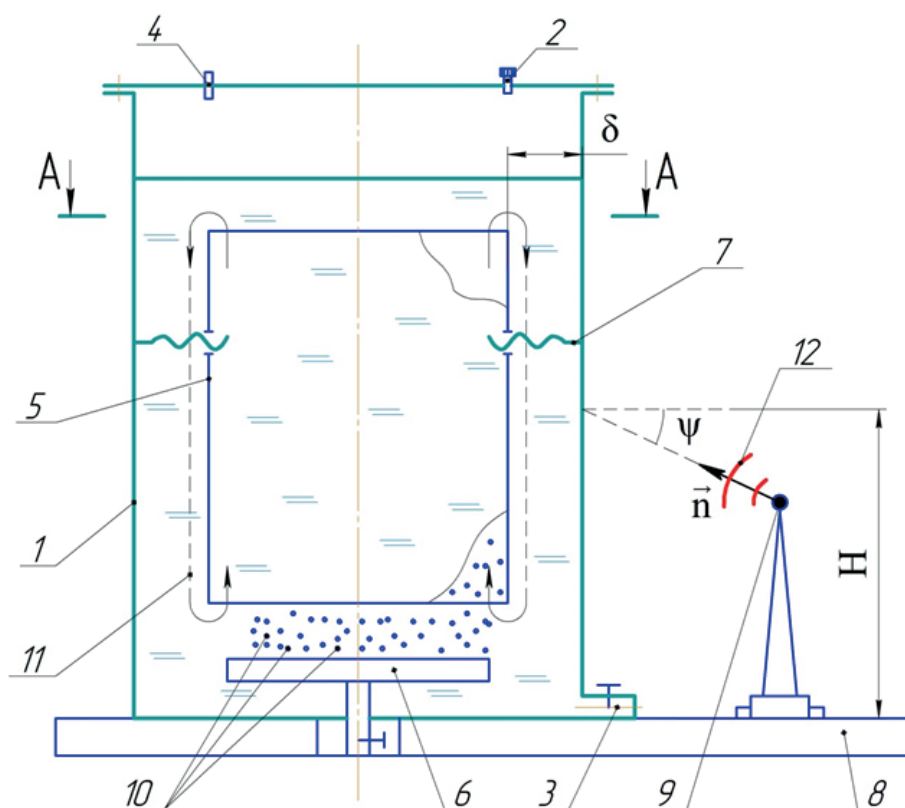


Рис. 1. Газліфтний барботажний апарат з ультразвуковим перемішувачем

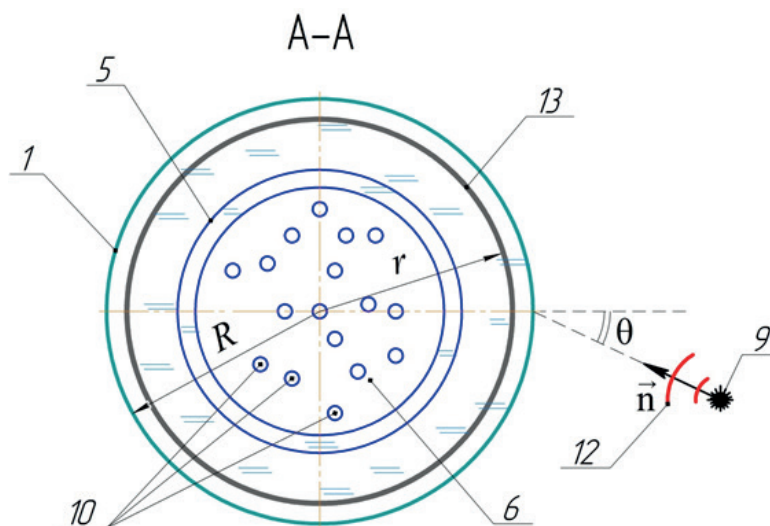


Рис. 2. Переріз А-А на рис. 1.

Змінюючи кут θ і кут ψ між нормаллю до зовнішньої поверхні корпусу 1 і напрямом \vec{n} ультразвукового проміння, досягаємо хвильового співпадання у вигляді стрімкого росту енергетичної активності робочої рідини окресленої циліндром радіуса r , так звана зона каустики 13, поблизу внутрішньої поверхні корпусу 1 в проміжку "8". Різка концентрація звукової енергії зумовлена ефектом аберації генеруємої корпусом 1 в рідину звукової хвилі (за відсутності аберації звукових хвиль зона каустики вироджується в пряму лінію, яка співпадає з осью корпусу 1 апарату). Зона каустики збільшує амплітуду коливань культуральної рідини, інтенсивно турбулізуючи її по всім напрямкам в придонному шарі та на периферії, що ефективно ліквідує застійні зони. Оскільки зони концентрації звукової енергії додатково призведуть до інтенсивного просторового перемішування робочої рідини, разом із висотною циркуляцією 11, інтенсивність процесу перемішування, і, відповідно, якість масообміну зростуть, штучне формування резонансного стану культурального середовища активізує роботу рідини, внаслідок чого зони пасивної енергетики робочої рідини в придонному прошарку і на периферії внутрішнього об'єму апарату щезнуть, а це прискорить ріст мікроорганізмів і підвищить продуктивність технологічного процесу.

Висновки та пропозиції.

Таким чином, використання газліфтного барботажного апарату з ультразвуковим перемішувачем, за допомогою нових властивостей, забезпечить енергетичну активність робочої рідини по всьому об'єму, що кардинально підвищить продуктивність технологічного процесу.

Швидкість колової хвилі в корпусі, за умови значного перевищення швидкості звуку, буде випромінювати в робочу зону рідини звукову хвилю, яка напрямлена під кутом α до швидкості генерованої в корпусі хвилі. Це буде слугувати концентрації енергії по колу радіуса r . З цієї самої причини згинна радіальна хвиля приведе до концентрації енергії поблизу кола радіуса r .

Літературні джерела:

1. А.с. 1497208 А1 СССР, С12М1/04. Аппарат для

выращивания микроорганизмов/ Ю.Ф. Давыдов, В.М. Геллис, В.К. Погудкин, В.М. Крац, В.Н. Соловьев, С.П. Уткин (СССР). - № 4109725/28-13; заявл. 21.08.86; опубл. 30.07.89, Бюл. № 28. - 1 с.: ил.

2. А.с. 1708829 А1 СССР, С12М1/04. Газлифтный барботажный аппарат/ Ю.Г. Куляшов, В.И. Горячкин, С.П. Уткин, Ю.Н. Талызин, А.С. Васильев, В.М. Крац (СССР). - № 4612860/13; заявл. 01.12.88; опубл. 30.01.92, Бюл. № 4. - 1 с.: ил.

3. Пат. № 43558 на корисну модель, Україна, МПК (2009), С 12 М 1/04. Газліфтний барботажный апарат [Текст]/ В.В. Карачун, М.С. Тривайло, В.М. Мельник, М.А. Руденко, Д.В. Литвиненко. u 200901835; заявл. 02.03.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16. - 1 с.; ил.

4. Пат. № 40230 на корисну модель, Україна, МПК (2009), С 12 М 1/04. Газліфтний барботажный апарат [Текст]/ М.С. Тривайло, В.В. Карачун, В.М. Мельник, О.Є. Резенчук, А.О. Заброта. u 200813427; заявл. 20.11.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. - 1 с.: ил.

5. Пат. № 78382 на корисну модель, Україна, С 12 М 1/04 (2006.01) Газліфтний барботажный апарат [Текст]/ В.М. Мельник. u 2012 13327; заявл. 22.11.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. - 1 с.: ил.

6. Cremer, L. Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall [Text]/ L. Gremer// Akust. Zeitschrift. - 1942. - V. 7. - P. 3-7.

7. Gösele, K. Zur Körperschallausbreitung in Wohubauten [Text]/ K. Gösele // Körperschall in Gebäuden. - Berlin, 1960. - P. 24-24.

8. Heckl, M. Die Schalldämmung von homogenen Einfachwänden endlicher Fläche [Text]/ M. Heckl// Acustica. - 1960. - V. 10. - P. 17-21.

9. Junger, M. C. Letter to the editor [Text]/ M. C. Junger, P. W. Smith// Acustica. - 1955. - V. 5,1. - P. 43-46.

10. Шендеров Е.Л. Волновые задачи гидроакустики. - Л., Судостроение, 1972. - 352 с.

11. Заборов В.Н. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. - М.: Издание литература по строительству, 1969. - 184 с.

ПОРИЗАЦИЯ БЕСЦЕМЕНТНЫХ ФОРМОВОЧНЫХ МАСС

Ольга Александровна Мирюк

Рудненский индустриальный институт

Доктор технических наук,

Факультет экономики и строительства

PORIZATION OF CEMENT-FREE FORMING MASSES

Olga Aleksandrovna Miryuk, Rudny Industrial Institute Doctor of Technical Sciences, Faculty of economy and construction

АНОТАЦІЯ

Исследовано влияние вещественного состава формовочной массы, содержащей жидкое стекло, на образование пористой структуры. Определены условия приготовления композиции на основе жидкого стекла и наполнителя, обеспечивающие стабильность пеномассы.

ABSTRACT

Influence of material structure of the forming mass containing liquid glass on formation of cell structure is investigated. The conditions of preparation of composition on the basis of liquid glass and powder filler providing of stability of foam-mass are defined.

Ключові слова: жидкое стекло, пена, ячеистая структура, стеклобой.

Keywords: liquid glass, foam, cellular structure, powdery glass.

Ячеистый бетон выгодно отличается многообразием номенклатуры изделий, доступностью сырьевой базы, сравнительной простотой технологии, высокими техническими характеристиками, экологичностью. Дороговизна портландцемента, технические сложности автоклавной обработки обуславливают необходимость использования альтернативных бесцементных вяжущих. При этом необходимо создать благоприятные условия для поризации, обеспечить повышенную прочность межпоровых перегородок [1, 156 – 158].

Анализ технической литературы свидетельствует о перспективности щелочесиликатных вяжущих, которые затворяют раствором щелочного компонента, активизирующим твердение порошкообразной части композиции. Жидкое стекло, как основа таких композиций с многолетней практикой применения, соответствует требованиям сырьевой обеспеченности и возможности применения малоэнергоёмких технологий [2, 128 – 129; 3, 34 – 35]. В качестве порошкообразного наполнителя щелочесиликатных вяжущих используют металлургические шлаки, бой стекла и другие силикатные и алюмосиликатные материалы различного происхождения.

Поризация – определяющая стадия технологического процесса получения ячеистых материалов, которую для жидкостекольных масс осуществляют термическим, химическим, механическим способами. Представляется, что дальнейшее развитие технологии щелочесиликатных ячеистых бетонов связано с совершенствованием приемов поризации структуры.

Цель работы – исследование влияния технологических факторов на поризацию материалов из жидкого стекла и техногенного наполнителя.

Объектом исследования послужили жидкостекольные композиции, наполненные металлургическим шлаком и стеклобоем. Для поризации масс использовали поверхностно активные вещества различного происхождения: протеиновый пеноконцентрат «Унипор», пенообразователи на синтетической основе «Fairgu» и «Zelle – 1».

Пеномассы готовили по одностадийному методу: суспензию, полученную перемешиванием всех компонентов,

вспенивали в смесителе миксерного типа в течение 2 мин. Скорость перемешивающего механизма 600 – 800 об/мин. Свойства пеномассы оценивали по кратности и плотности. Образцы пенобетона размером 40x40x40 мм твердели в нормальных условиях.

Для сравнения полученных пен использована визуальная оценка крупности, однородности и устойчивости во времени. Мелкими обозначены пены с размером ячеек 0,5 мм; крупными – более 1 мм. Однородная пористая структура охарактеризована равномерным распределением пор в массе, отсутствием крупных воздушных полостей. Устойчивость пеномассы оценена по продолжительности сохранения первоначального объема: высокая устойчивость – не менее 30 мин; низкая – разрушается вскоре после извлечения из смесителя.

Особенность исследуемых композиций – использование для затворения жидкости с регулируемым составом и плотностью. Жидкое стекло выполняет две функции: в сочетании с пенообразователем является компонентом технической пены и одновременно – компонентом щелочесиликатного вяжущего.

Сопоставление характеристик пен, полученных при равных условиях на основе различных жидкостей, выявило пониженную кратность (вода – 12, жидкое стекло – 5) и повышенную среднюю плотность (вода – 80 кг/м³, жидкое стекло – 200 кг/м³) пены из жидкого стекла. Истечение жидкости из пены в результате синерезиса в пеномассах отличалось незначительно.

Исследование пены, образованной из жидкого стекла различного состояния, свидетельствует о предпочтительности раствора Na₂O(SiO₂)_n плотностью 1200 – 1300 кг/м³, при которой образуется пена необходимого качества и достигается технологически обоснованная скорость твердения материала (таблица 1). Повышенные значения плотности жидкого стекла снижают выход пеномассы, при низких значениях плотности – медленное упрочнение структуры бетона.

Структура ячеистых материалов существенно зависит от природы порообразующего компонента. Исследованы пены, полученные из пенообразователей различного про-

исхождения, которые добавляли к жидкому стеклу в количестве 3%. Результаты приведены в таблице 2.

Использование протеинового пенообразователя «Унипор» сопровождается коагуляционными процессами и образованием сгустков в жидком стекле. Пена, образован-

ная с применением «Унипора», неоднородна по структуре и весьма неустойчива. Протеиновые поверхностно-активные вещества катионного или амфотерного типа эффективны только в слабокислой среде [4, 3 – 4].

Таблица 1

Влияние плотности жидкого стекла на свойства пены

Плотность жидкого стекла $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, кг/м^3	Кратность пены	Плотность пены, кг/м^3
1100	8,5	115
1150	8,1	170
1200	7,7	195
1250	6,4	230
1300	5,3	250
1350	4,2	320
1400	3,8	470

Таблица 2

Влияние состава пенообразователя на свойства пены

Вид пенообразователя	Кратность пены	Плотность пены, кг/м^3	Качественная характеристика пены		
			размер пор	однородность пор	стойкость
«Fairy»	7,0	180	очень мелкие	однородная	высокая
«Zelle – 1»	6,5	190	мелкие	однородная	высокая
«Унипор»	4,0	210	средние	неоднородная	низкая

Пена на основе синтетического пенообразователя «Fairy» выгодно отличается мелкопористым строением, низкой плотностью и устойчивостью. Предпочтительность синтетических пенообразователей для жидкого стекла обусловлена их анионным или неионогенным типом. Такие пенообразователи содержат натриевые соли алкилсульфонатов и алкилбензосульфокислот и наиболее эффективны в области $\text{pH} = 7,0 - 10,5$.

Щелочесиликатные композиции состоят из жидкого стекла и порошкообразного наполнителя (металлургического шлака или боя стекла), который влияет на реологи-

ческие свойства и вспениваемость массы. Для поризации щелочесиликатной композиции использован пенообразователь «Fairy». Увеличение доли наполнителя закономерно повышает плотность массы за счет уменьшения пористости материала (таблицы 3 и 4). Для получения стойкой к седиментации пеномассы с низкими значениями плотности соотношение «жидкое стекло : наполнитель» целесообразно принять равным «1 : 1,85 – 1 : 2,00». Композиции на основе стеклобоя менее чувствительны к изменению доли наполнителя и сохраняют практически неизменной кратность пеномассы.

Таблица 3

Влияние доли шлака на свойства поризованного материала

Жидкое стекло: шлак	Кратность пеномассы	Плотность пеномассы, кг/м^3	Плотность пенобетона, кг/м^3	Прочность при сжатии пенобетона, МПа
1: 1,45	6,4	430	260	0,3
1: 1,65	6,3	470	320	0,4
1: 1,85	6,1	490	350	0,5
1: 2,00	5,8	550	460	0,7

Структура пенобетона чувствительна к изменению вещественного состава формовочной массы. Сопоставление показателей шлакощелочных композиций на синтетических пенообразователях различного типа выявило, что

использование «Zelle – 1» при прочих равных условиях приготовления пеномассы обеспечивает формирование укрупненных ячеек со средним размером 0,8 – 1,0 мм (рисунки 1) и пониженную плотность материала (таблица 5).

Таблица 4

Влияние доли стеклобоя на свойства поризованного материала

Жидкое стекло: стеклобой	Кратность пено-массы	Плотность пеномассы, кг/м ³	Плотность пенобетона, кг/м ³	Прочность при сжатии пенобетона, МПа
1: 1,45	5,1	570	400	0,8
1: 1,65	5,2	620	420	1,0
1: 1,85	5,1	640	430	1,1
1: 2,00	5,0	670	480	1,2

Таблица 5

Влияние состава смеси на свойства шлакощелочного пенобетона

Пенообразователь		Жидкое стекло : шлак					
		1 : 1,85			1 : 2,00		
вид	доля в смеси, %	крат-ность пены	плотность пенобето-на, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа	крат-ность пены	плотность пенобетона, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа
Fairy	3	5,4	393	0,68	5,2	402	0,73
	4	5,8	296	0,63	5,8	369	0,72
	5	6,2	255	0,62	6,2	322	0,61
Zelle - 1	3	5,6	309	0,59	5,8	369	0,68
	4	5,9	237	0,53	6,2	336	0,63
	5	6,3	205	0,50	6,7	276	0,60

Пенобетон на основе металлургического шлака характеризуется меньшими по размеру ячейками по сравнению с композитом на основе стеклобоя (рисунок 2).

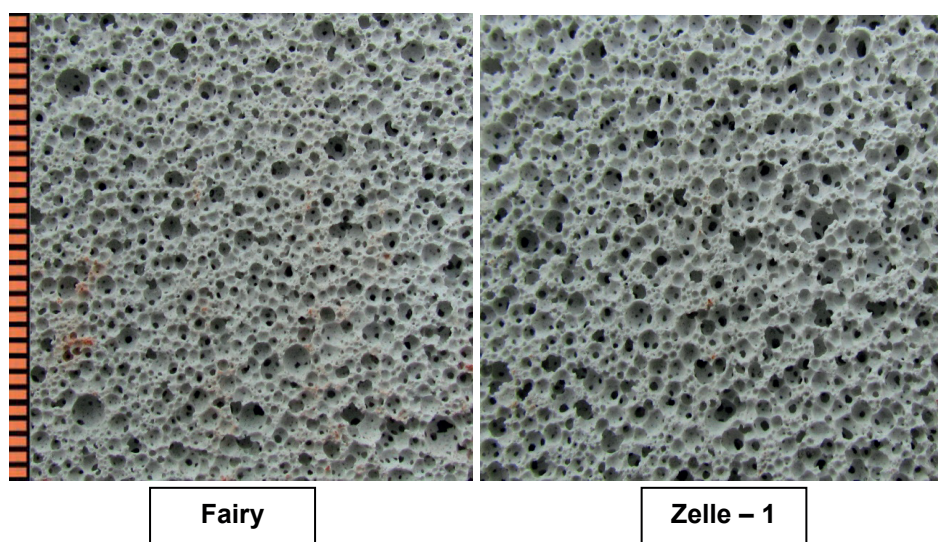


Рисунок 1– Структура шлакощелочных композиций с использованием различных пенообразователей

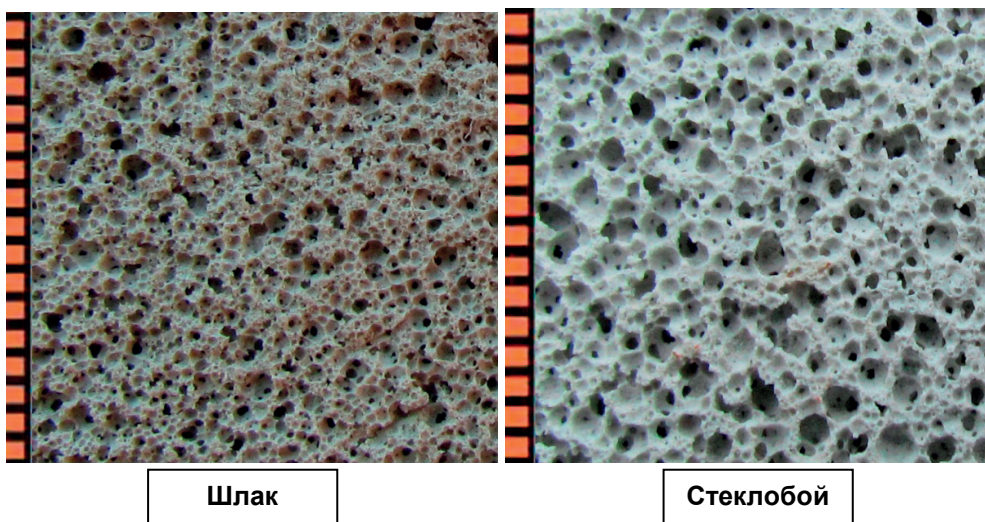


Рисунок 2– Структура пенобетона с использованием различных наполнителей

Выводы. Процессы поризации щелочесиликатных композиций чувствительны к изменению состояния сырьевых компонентов, рецептуры и режима вспенивания формовочной массы.

Использование в качестве основы композиции жидкого стекла – жидкостекольной с выраженной химической активностью и регулируемой плотностью предопределяет выбор порообразователей с высокой вспенивающей способностью и устойчивостью в среде затворителя. Образование устойчивой мелкопористой жидкостекольной пеномассы обеспечивается при использовании синтетических пенообразователей анионного или неионогенного типа.

Для формирования стойкой к седиментации пеномассы с низкими значениями плотности соотношение «жидкое стекло : наполнитель» целесообразно принять равным «1 : 1,85 – 1 : 2,00». Состав техногенного наполнителя определяет долю жидкого стекла и влияет на характер пористости материала.

Жидкостекольные ячеистые композиции – малоэнергетические материалы, содержащие техногенный наполнитель,

обеспечивают возможность регулирования пористости структуры за счет направленного выбора сырьевых компонентов и способа приготовления формовочной массы.

Ссылки

1. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. М.: ИНФРА – М., 2003. 268 с.
2. Глуховский В. Д., Рунова Р.Ф., Максун С.Е. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения. Киев: Высшая школа, 1991. 242 с.
3. Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З., Фатыхов Г.А., Кузнецов Д.П. Газобетоны на основе композиционных шлакощелочных вяжущих // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Технологии бетонов. 2009. №7 – 8. С. 34 – 35.
4. Мирюк О.А. Поризация щелочесодержащих масс // Бетон и железобетон в Украине. 2014. № 1. С. 2 – 6.

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МЕТОДА ТОЧНЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ УСЛОВИЙ

Оразбекова М.Б.

магистрант, Л.Н.Гумилев Евразийский Национальный Университет, Астана.

Молжанов Ш.А.

магистрант, Л.Н.Гумилев Евразийский Национальный Университет, Астана.

Наурызбаев Е.Н.

магистрант, Л.Н.Гумилев Евразийский Национальный Университет, Астана.

Давлетбаева Д.М.

магистрант, Л.Н.Гумилев Евразийский Национальный Университет, Астана.

Тлеген М.Н.

магистрант, Л.Н.Гумилев Евразийский Национальный Университет, Астана.

Нуримбетов Н.А.

научный сотрудник кафедры радиотехники,

Л.Н.Гумилев Евразийский Национальный Университет, Астана.

NUMERICAL IMPLEMENTATION OF 2D ELECTROMAGNETIC MODELS FOR THE EXACT ABSORBING CONDITIONS METHOD

Orazbekova M.B., undergraduate, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana.

Molzhanov S.A., undergraduate, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana.

Nauryzbayev.E.N., undergraduate, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana.

Davletbayeva D.M., undergraduate, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana.

Tlegen M.N., undergraduate, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana.

Nurimbetov N.A., assistant of the department of radioengineering, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен круг радиофизических задач, которые могут быть эффективно решены численно в рамках строгих двухмерных моделей метода точных поглощающих условий. Это плоские (отсутствует зависимость от одной из пространственных декартовых координат) и аксиально-симметричные модели, позволяющие анализировать различные процессы излучения, распространения и рассеяния импульсных и монохроматических электромагнитных волн.

ABSTRACT

Certain class of electromagnetic and microwave, in particular, problems that can be efficiently solved numerically within accurate 2D models of the exact absorbing condition method is considered. Among these models are the plane (the dependence on one of spatial Cartesian coordinate is absent) and axisymmetric structures, ensuring the accurate and robust simulation and treatment of the various processes of radiation, propagation and scattering of monochromatic and pulsed electromagnetic waves.

Ключевые слова: точное поглощающее условие, импульсная электромагнитная волна, начально-краевая задача, алгоритмы метода конечных разностей, антенна.

Keywords: exact absorbing conditions, pulsed electromagnetic wave, boundary-value problem, algorithms for the finite difference method, antenna

1. ВВЕДЕНИЕ

Метод точных поглощающих условий [1,2] регуляризует открытые начально-краевые задачи электромагнитной теории, т.е. такие задачи, область анализа которых уходит на бесконечность по одному или нескольким пространственным направлениям. Регуляризация заключается в эквивалентной замене оригинальных открытых задач задачами закрытыми, с ограниченной областью анализа. А такие классические задачи уже можно решать численно, используя стандартные алгоритмы метода конечных разностей или метода конечных элементов [3,4].

В данной работе мы реализуем эти возможности, рассматривая процессы излучения, распространения и рассеяния импульсных и монохроматических электромагнитных волн в рамках двухмерных (плоских и аксиально-симметричных) моделей. Основная цель – продемонстрировать эффективность метода точных поглощающих

условий, возможность его использования для решения широкого круга актуальных физических и прикладных задач, связанных с изучением пространственно-временных и пространственно-частотных трансформаций электромагнитных поля.

2. ДВУХМЕРНЫЕ МОДЕЛИ МЕТОДА ТОЧНЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ УСЛОВИЙ

2.1. Аксиально-симметричные модели. Метод точных поглощающих условий сводит оригинальные открытые задачи (задачи, область анализа которых уходит на бесконечность) для аксиально-симметричных излучающих

структур (рис. 1), возбуждаемых TE_{0p} - или TM_{0p} -волнами питающего круглого или коаксиального волновода

Ω_1 , к таким эквивалентным закрытым задачам [1,2,5]:

(1)

$$\begin{cases} \left[-\varepsilon(g) \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \sigma(g) \eta_0 \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \rho \right) \right] U(g,t) = 0; & t > 0, \quad g \in \Omega_{\text{int}} \\ U(g,t)|_{r=0} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial t} U(g,t)|_{r=0} = 0; & g = \{\rho, z\} \in \bar{\Omega}_{\text{int}} \\ \vec{E}_{\text{tg}}(q,t), \quad \vec{H}_{\text{tg}}(q,t) \text{ непрерывны при пересечении } \Sigma^{\varepsilon, \sigma}, \\ \vec{E}_{\text{tg}}(p,t)|_{q=\{\rho, \phi, z\} \in \Sigma} = 0, \quad U(0, z, t) = 0 \text{ для } \{0, z\} \in \bar{\Omega}_{\text{int}}, \\ D_1[U(g,t) - U_p^{i(1)}(g,t)]|_{g \in \Gamma_1} = 0, \quad D_2[U(g,t)]|_{g \in \Gamma_2} = 0, \\ \text{и } D[U(g,t)]|_{g \in \Gamma} = 0; \quad t \geq 0. \end{cases}$$

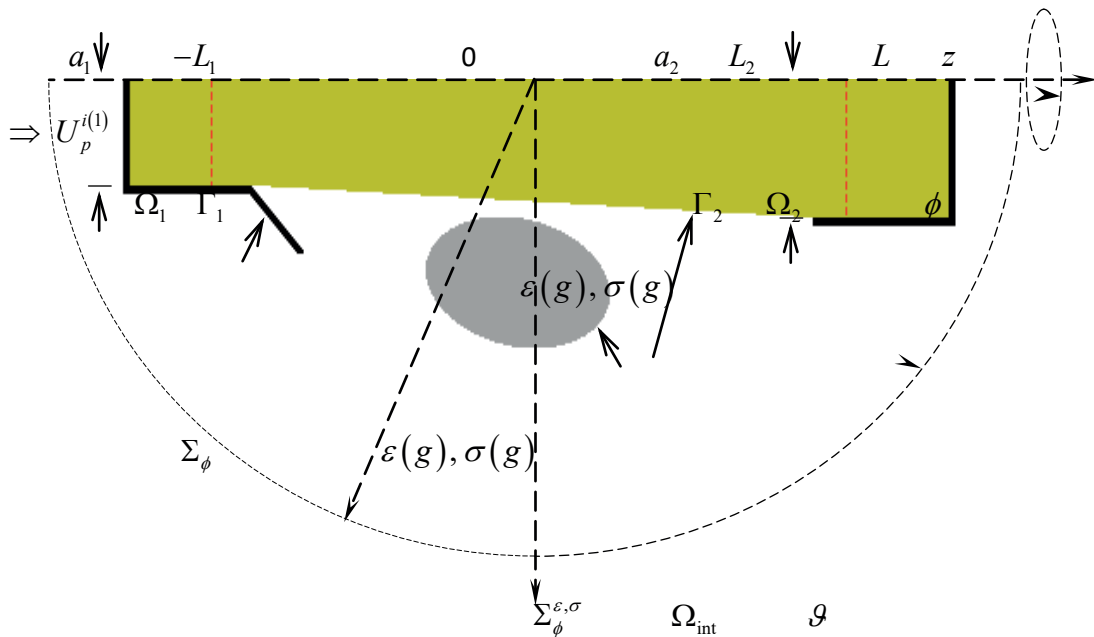


Рисунок 1 – Геометрия модельной задачи (1) r, ϑ, ϕ , – сферические координаты

Здесь $\vec{E}_{\text{tg}}(q,t)$ и $\vec{H}_{\text{tg}}(q,t)$ – тангенциальные компоненты векторов напряженности поля $\vec{E} = \{E_\rho, E_\phi, E_z\}$ и $\vec{H} = \{H_\rho, H_\phi, H_z\}$; $q = \{\rho, \phi, z\}$; ρ, ϕ, z – цилиндрические координаты; $\eta_0 = (\mu_0/\varepsilon_0)^{1/2}$ импеданс свободного пространства; ε_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные вакуума. $U(g,t) = E_\phi(g,t)$ в случае TE_0 -волн ($\partial/\partial\phi \equiv 0, E_\rho = E_z = H_\phi \equiv 0$) и $U(g,t) = H_\phi(g,t)$ в случае TM_0 -волн ($\partial/\partial\phi \equiv 0, H_\rho = H_z = E_\phi \equiv 0$). Область анализа Ω_{int} – часть полуплоскости $\phi = \text{const}$, ограниченная контурами Σ_ϕ , виртуальными границами $\Gamma_j, j = 1, 2$ в поперечном сечении регулярных фидерных волноводов Ω_j , и виртуальной границей $\Gamma = \{g = \{r, \vartheta\} : r = L\}$ в свободном

пространстве (см. рис. 1). Функции $\sigma(g)$ и $\varepsilon(g)$ – 1 финитны в замыкании Ω_{int} , а все рассеивающие элементы, задающиеся кусочно-постоянными функциями $\varepsilon(g), \sigma(g)$ и кусочно-гладкими контурами Σ_ϕ и $\Sigma_\phi^{\varepsilon, \sigma}$, расположены в области Ω_{int} . Символами $\Sigma = \Sigma_\phi \times [0, 2\pi]$ и $\Sigma^{\varepsilon, \sigma} = \Sigma_\phi^{\varepsilon, \sigma} \times [0, 2\pi]$ мы обозначаем поверхности идеальных проводников и поверхности, на которых относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon(g)$ и удельная проводимость $\sigma(g)$ изменяются скачком. Все физические величины имеют размерности системы СИ (в тексте статьи мы их опускаем), и только время здесь – это произведение истинного времени на скорость распространения света в вакууме.

Аналитическая форма операторов

$D_1[U(g,t) - U_p^{i(1)}(g,t)], D_2[U(g,t)]$ and $D[U]$ представлена в [2,5]. Эти операторы, не искажая физику

процессов, моделируемых математическими средствами, позволяют сократить пространство счета до ограниченной области Ω_{int} . Уходящие из области Ω_{int} волны, пересекая виртуальные границы Γ_j и Γ , полностью этими границами «поглощаются», то есть распространяются так, как будто Ω_1 и Ω_2 являются регулярными полубесконечными волноводами, а граница, разделяющая Ω_{int} и часть $\Omega_{\text{ext}} = \{g = \{r, \vartheta\} : r > L\}$ свободного пространства, не содержащую источников поля и эффективных рассеивателей, отсутствует.

Функция

$$U_p^{(1)}(g, t) = v_{p1}(z, t) \mu_{p1}(\rho); \quad g = \{\rho, z\} \in \Omega_1, \quad p \geq 0 - \text{целое}, \quad (2)$$

входящая в точное поглощающее условие

$$D_1[U(g, t) - U_p^{(1)}(g, t)] = 0, \text{ определяет импульсную}$$

TE_{0p} - или TM_{0p} -волну, возбуждающую излучатель. Она должна удовлетворять волновому уравнению и принципу причинности. Эта функция, или точнее – значения

ее пространственно-временной амплитуды $v_{p1}(z, t)$ на границе Γ_1 , а также функции $\varepsilon(g)$, $\sigma(g)$ и контуры

Σ_ϕ , $\Sigma_\phi^{\varepsilon, \sigma}$ предполагаются заданными. Наборы собственных поперечных функций $\{\mu_{n1}(\rho)\}_n$ и отвечающие им

наборы поперечных чисел $\{\lambda_n\}_n$ для двух возможных типов аксиально-симметричных фидерных линий (круглых и коаксиальных) и для двух возможных поляризаций поля распространяющихся в них собственных импульсных или монохроматических волн можно найти в [1,2].

В области Ω_{ext} поле $U(g, t)$ определяется своими значениями на границе Γ , рассчитываемыми при решении задачи (1). Для этого используется построенные в [1,2] точные условия излучения для уходящих импульсных волн.

Решение $U(g, t)$ задач (1), построенное для точек $g \in \overline{\Omega_{\text{int}}} \cup \Omega_{\text{ext}}$ и значений t из интервала времени наблюдения $[0, T]$, $T < \infty$ в рамках стандартных вычислительных схем метода конечных разностей [3], конвертируется с помощью интегрального преобразования в необходимые для физического анализа амплитудно-частотные характеристики излучателя. Назовем некоторые из них. Это:

- $\{\tilde{E}_x(g, k), \tilde{E}_y(g, k), \tilde{E}_z(g, k)\}$ и

$\{\tilde{H}_x(g, k), \tilde{H}_y(g, k), \tilde{H}_z(g, k)\}$, $g \in \overline{\Omega_{\text{int}}} \cup \Omega_{\text{ext}}$ – значения компонент гармонически колеблющихся полей;

- $R_{np}(k)$ and $T_{np}(k)$ – коэффициенты преобразования приходящей на границу Γ_1 из волновода Ω_1 синусоидальной TE_{0p} - или TM_{0p} -волны в отраженную в волновод Ω_1 и прошедшую в волновод Ω_2 волну с номером n ;

- $\eta(k) = 1 - W_{\text{abs}}(k) - \sum_n [W_{np}^R(k) + W_{np}^T(k)]$ – эффективность излучения;

- $D(\vartheta, k, M) = \frac{|\tilde{E}_{tg}(M, \vartheta, k)|^2}{\max_{0 \leq \phi \leq \pi} |\tilde{E}_{tg}(M, \phi, k)|^2}$

$0 \leq \vartheta \leq 180^\circ$, $K_1 \leq k \leq K_2$ – нормированная диаграмма направленности излучения на дуге $r = M \geq L$;

- $\vartheta = \bar{\vartheta}(k)$ – угол, определяющий, ориентацию главного лепестка диаграммы направленности,

$$D(\bar{\vartheta}(k), k, M) = 1, 0;$$

- $\vartheta_{0,5}(k)$ – ширина главного лепестка диаграммы на уровне $D(\vartheta, k, M) = 0,5$.

Здесь $k = 2\pi/\lambda > 0$ – волновое число (частотный параметр или просто частота); λ – длина волны в свободном пространстве; T – верхний предел в интервале времени наблюдения $0 \leq t \leq T$ и для всех $t > T$ подвергаемая преобразованию функция $f(t)$ считается равной

нулю; $\tilde{E}_{tg}(M, \vartheta, k)$ – тангенциальная составляющая гармонически колеблющегося электрического поля на

цилиндрической поверхности $r = M \geq L$; $W_{\text{abs}}(k)$ – доля энергии, поглощенной в неидеальных диэлектриках;

$W_{np}^R(k)$ и $W_{np}^T(k)$ – доля энергии, которую переносят волны, отраженные в волновод Ω_1 и прошедшие в волновод Ω_2 .

2.2. Плоские модели. Закрытые начально-краевые задачи

$$\left\{ \begin{aligned} & \left[-\varepsilon(g) \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \sigma(g) \eta_0 \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] U(g,t) = F(g,t); \quad t > 0, \quad g \in \Omega_{\text{int}} \\ & U(g,t)|_{t=0} = 0, \quad \partial U(g,t)/\partial t|_{t=0} = 0; \quad g = \{y,z\} \in \bar{\Omega}_{\text{int}} \\ & \bar{E}_{\text{ig}}(g,t) \quad \text{и} \quad \bar{H}_{\text{ig}}(g,t) \quad \text{непрерывны при пересечении} \quad \Sigma^{\varepsilon,\sigma}, \\ & \bar{E}_{\text{ig}}(g,t)|_{g=\{x,y,z\} \in \Sigma} = 0, \\ & \text{и} \quad D[U(g,t)]|_{g \in \Gamma} = 0, \quad D_1[U(g,t) - U^{i(1)}(g,t)]|_{g \in \Gamma_1} = 0, \\ & D_2[U(g,t)]|_{g \in \Gamma_2} = 0; \quad t \geq 0 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

описывают пространственно-временные трансформации электромагнитного поля $\{\bar{E}(g,t), \bar{H}(g,t)\}$ в плоских ($\partial/\partial x \equiv 0$) электродинамических структурах. Эти структуры могут возбуждаться через виртуальную границу Γ_1 в поперечном сечении виртуального питающего волновода Ω_1 импульсной волной $\{\bar{E}^{i(1)}(g,t), \bar{H}^{i(1)}(g,t)\}$ (рис. 2) и/или токовым источником $F(g,t)$, носитель которого лежит в Ω_{int} (рис. 3). Задачи (3) описывают изучаемые процессы точно, без каких-либо приближений. Детально формулировка этих модельных задач обсуждается в работах [1,2,6]. Здесь $U(g,t) = E_x(g,t)$ в случае TE_0 -волн ($E_y = E_z = H_x \equiv 0$) и $U(g,t) = H_x(g,t)$ в случае TM_0 -волн ($H_y = H_z = E_x \equiv 0$); E_x, H_x и т.д. – компоненты векторов напряженности поля \bar{E} и \bar{H} . Символом $\Sigma = \Sigma_x \times [-\infty, \infty]$ мы обозначаем поверхности идеальных проводников, а символом $\Sigma^{\varepsilon,\sigma} = \Sigma_x^{\varepsilon,\sigma} \times [-\infty, \infty]$

– поверхности, на которых материальные параметры среды распространения волн (функции $\varepsilon(g)$ и $\sigma(g)$) терпят разрыв. В задачах (3) область анализа Ω_{int} – это часть плоскости yOz , ограниченная контурами Σ_x , виртуальными границами Γ_j ($j=1,2$) и границей Γ , отделяющей пространство счета Ω_{int} от части свободного пространства Ω_{ext} . Граница Γ может быть круговой ($\Gamma = \{g = \{\rho, \phi\} : \rho = L, 0 \leq \phi \leq 2\pi\}$, $\{\rho, \phi\}$ – полярные координаты в плоскости yOz) либо прямоугольной (рис. 3). В остальной задаче (3) практически ничем не отличается от рассмотренной выше задачи (1).

Интегро-дифференциальные операторы

$D_1[U - U^{i(1)}], D_2[U]$ и $D[U]$ построены в [2,6]. Они позволяют абсолютно точно моделировать поведение импульсных волн

$$U^{s(1)}(g,t) = U(g,t) - U^{i(1)}(g,t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_{n1}(y,t) \mu_{n1}(z); \quad g \in \Omega_1, \quad (4)$$

$$U^{s(2)}(g,t) = U(g,t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_{n2}(y,t) \mu_{n1}(z); \quad g \in \Omega_2 \quad (5)$$

и $U(g,t)$, уходящих через виртуальные границы $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma$ и в виртуальные волноводы Ω_1, Ω_2 и свободное пространство Ω_{ext} (в случае круговой границы Γ $\Omega_{\text{ext}} = \{g = \{\rho, \phi\} : \rho > L, 0 \leq \phi \leq 2\pi\}$).

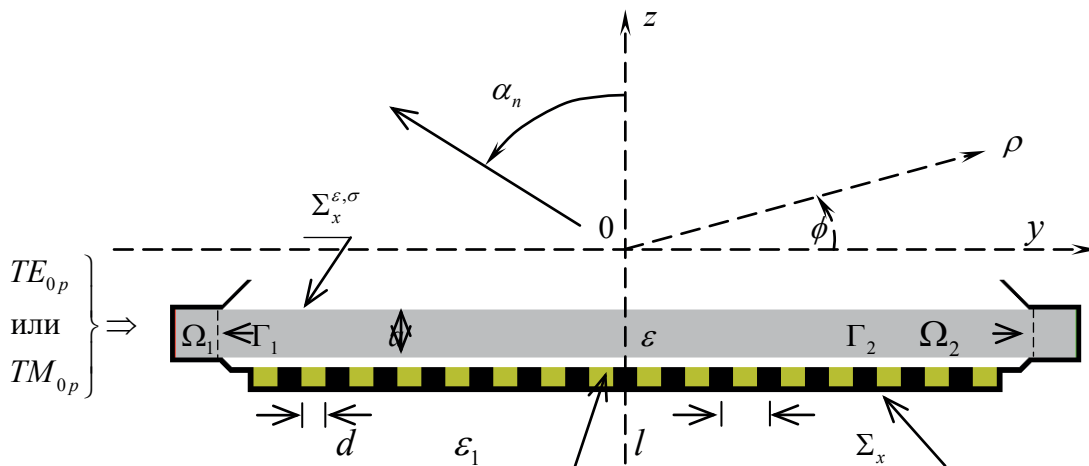


Рисунок 2 – Одна из возможных геометрий модельной задачи (3)

Эти волны как бы полностью поглощаются границами Γ_j и Γ , поэтому соответствующие граничные условия в (3) называют обычно точными поглощающими условиями. Введение таких условий в изначально открытые модельные начально-краевые задачи, т.е. в задачи, область анализа которых уходит на бесконечность по одному или нескольким пространственным направлениям, позволяет корректно редуцировать пространство счета последних и, по существу, устраняет все препятствия на пути построения эффективных вычислительных схем для численного анализа переходных и установившихся процессов в рассматриваемых электродинамических структурах. Функция в (3) и (4) определяет поле $\{\bar{E}^{i(1)}(g,t), \bar{H}^{i(1)}(g,t)\}$ волны, приходящей на границу Γ_1 из волновода Ω_1 . Эту функцию, так же, как и функции $\varepsilon(g)$, $\sigma(g)$ и контуры

Σ_x , $\Sigma_x^{\varepsilon,\sigma}$ считаем заданной. Ортонормированный базис $\{\mu_{nj}(z)\}_n$, $j=1,2$ собственных поперечных функций для плоскопараллельных волноводов Ω_j определен в [2], $v_{n1}(y,t)$ – пространственно-временные амплитуды собственных импульсных волн волновода Ω_1 , составляющих в сумме падающую волну $U^{i(1)}(g,t)$. Наборами пространственно-временных амплитуд $\{u_{nj}(y,t)\}_n$ – эволюционными базисами уходящих через границы Γ_j импульсных волн $U^{s(2)}(g,t)$ – определяются (при $F(g,t) \equiv 0$) все энергетические характеристики узла, как амплитудно-частотные, так и динамические [2].

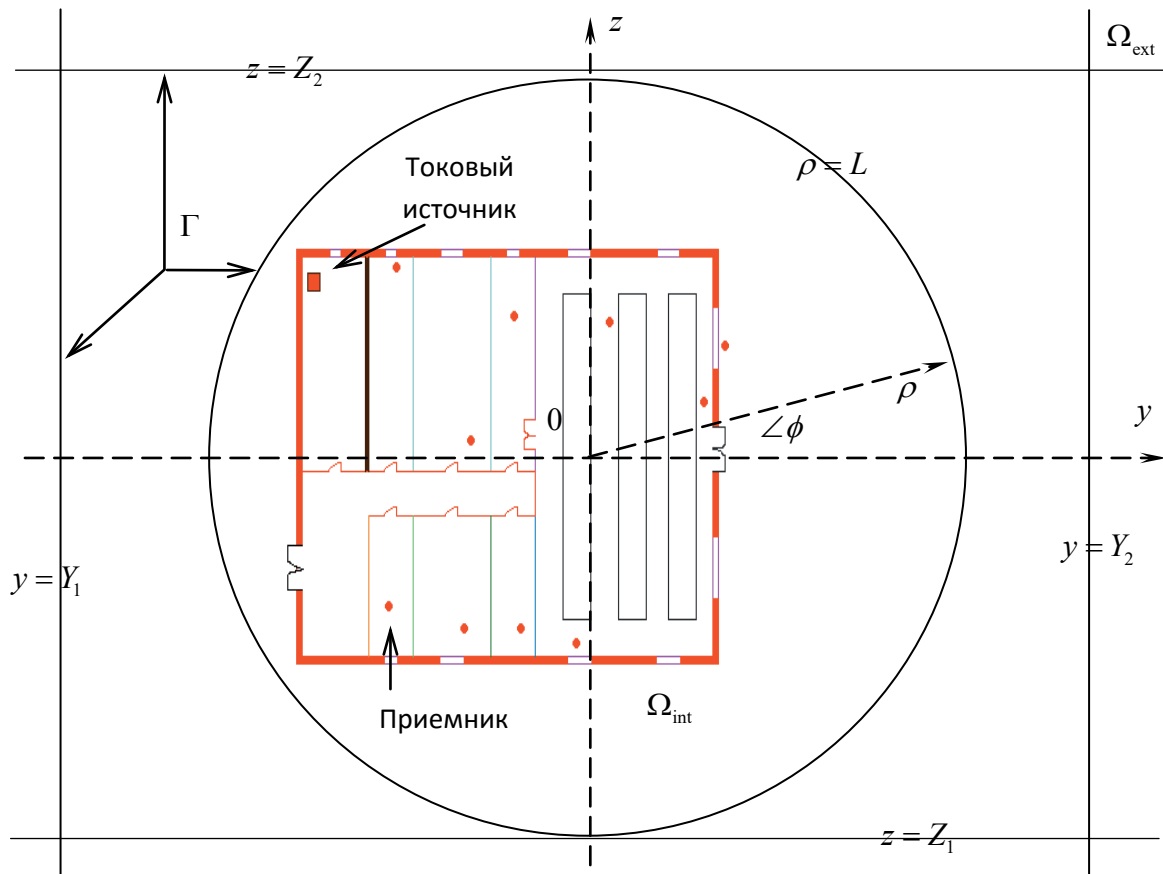


Рисунок 3 – Круглая и прямоугольная виртуальная граница в задаче (3), описывающей распространение волн токового источника

$$U^{i(1)}(g,t) = \sum_n v_{n1}(y,t) \mu_{n1}(z); \quad g = \{y, z\} \in \bar{\Omega}_1 \quad (6)$$

Решение задач (3), так же, как и в случае с задачами (1), легко конвертируется в необходимые для физического анализа амплитудно-частотные характеристики: распределение значений компонент гармонически колеблющихся полей; в эффективность излучения (КПД излучателя); ди-

аграмму направленности излучения на дуге $\rho = M \geq L$

$$D(\phi, k, M) = \frac{|\tilde{E}_{ig}(M, \phi, k)|^2}{\max_{0 \leq \phi \leq 2\pi} |\tilde{E}_{ig}(M, \phi, k)|^2}; \quad 0 \leq \phi \leq 360^\circ, \quad K_1 \leq k \leq K_2$$

и др. [2].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

3.1. Аксиально-симметричные излучатели. Решение двумерных скалярных задач (1) позволяет изучать широкий круг проблем, связанных с разнообразными волновыми процессами в волноводных трансформаторах, открытых резонаторах, компрессорах мощности, всенаправленных антеннах и т.д. [2]. Здесь, в качестве примера мы рассмотрим одну из таких задач, а именно, задачу анализа перехода «круглый волновод – диэлектрический стержень – свободное пространство», геометрия которого изображена на рисунке 4 (радиус подводящего волновода $a=3,85\text{мм}$, диэлектрический стержень выполнен из материала с $\epsilon=2.2$ и $\sigma=0$, пропорции в отображении геоме-

три сохранены). Цель такого рода исследований – поиск конструкции простой, компактной и достаточно широкополосной связанной антенны.

Импульсная TM_{01} -волна

$$U_1^{(0)}(g,t) = v_{11}(z,t) \mu_{11}(\rho) : v_{11}(-L_1,t) = 4 \frac{\sin[\Delta k(t-\tilde{T})]}{(t-\tilde{T})} \cos[\tilde{k}(t-\tilde{T})] \times \chi(\tilde{T}-t) = F_1(t); \quad \tilde{k}=0,84, \quad \Delta k=0,21, \quad \tilde{T}=100, \quad \bar{T}=200, \quad (7)$$

($\chi(\dots)$ – ступенчатая функция Хевисайда), возбуждающая такой переход через виртуальную границу

$\Gamma_1 : z = -L_1$, занимает полосу частот $0,63 \leq k \leq 1,05$ [2].

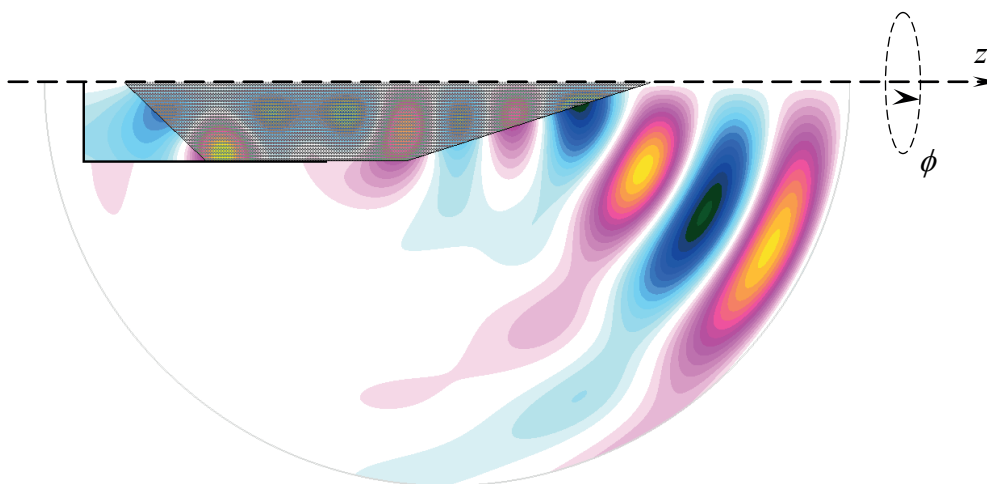


Рисунок 4 – Геометрия излучателя и распределение значений $H_\phi(g,t)$ в пространстве счета Ω_{int} в момент времени $t = 150$, возбуждение импульсной TM_{01} -волной (7)

Во всей этой полосе подводящий волновод – одно-модовый. Его первая и вторая частоты отсечки (частоты $k = k_{n1}^+$, на которых продольные постоянные распространения для собственных TM_{0n} -мод обращаются в ноль и превышение которых приводит к тому, что затухающие TM_{0n} -монокроматические волны превращаются в волны, распространяющиеся без затухания) равны соответственно $k_1=0.63$ и $k_2=1.05$. Величина \tilde{k} определяет центральную частоту сигнала (7), а величины Δk , \tilde{T} и \bar{T} – его спектральную полосу ($\tilde{k} - \Delta k \leq k \leq \tilde{k} + \Delta k$), время запаздывания (момент времени, в который главная часть

импульса пересекает границу Γ_1) и длительность.

Способность структуры направлять излучаемую волну в сектор углов $\mathcal{G} = \bar{\mathcal{G}} \pm \Delta \mathcal{G}$, $\bar{\mathcal{G}} = 30^\circ$ (что важно для ряда связанных и радиолокационных антенн) и ее достаточно высокий коэффициент полезного действия $\eta(k) > 0,8$ сохраняются практически во всей рассматриваемой области значений k . Характеристики излучателя (расположение максимумов на кривой $\eta(k)$, зависимость $\bar{\mathcal{G}}(k)$ и т.д.) могут быть изменены при изменении длины диэлектрического стержня и геометрии согласующих срезов с обеих его сторон.

Результаты вычислительного эксперимента приведены на рисунке 5.

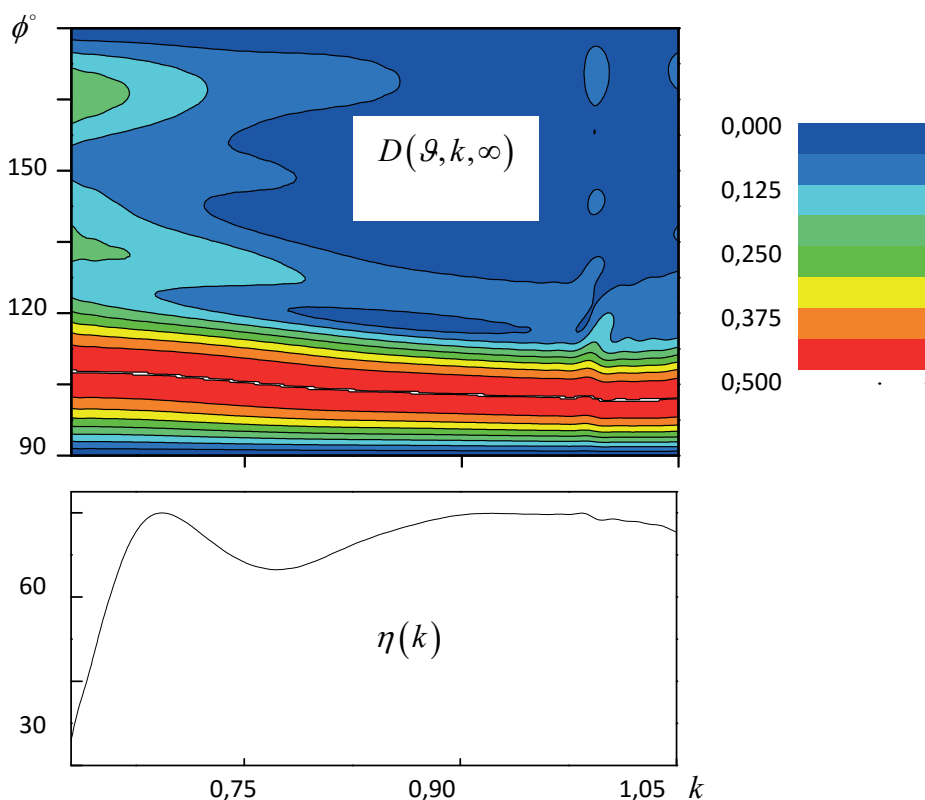


Рисунок 5 – Диаграмма направленности и КПД излучателя в полосе частот

3.2. Планарная дифракционная антенна. Рассмотрим теперь излучающую структуру, сечение которой плоскостью $x = const$ представлено на рисунке 6: планарный диэлектрический ($\epsilon = 2,1$) волновод шириной $a = 1,0$ на металлической подложке уходит своими торцами в плоскопараллельные виртуальные волноводы Ω_j ($j = 1, 2$) с 45-градусными фланцами. Непосредственно на волноводе лежит полупрозрачная решетка из металлических лент, содержащая 15 полных периодов длиной $l = 1,0$. Ширина и толщина лент равна, соответственно, $d = 0,5$ и $h = 0,04$. Пропорции в изображении всех деталей излучающих структур на рисунке сохранены. Элек-

тродинамический анализ этой структуры мы проведем с использованием плоской модели метода точных поглощающих условий (см. задачу (3)). Конечная цель подобного рода исследований – построение дифракционных антенн [7], излучающие элементы которых могут быть выполнены с использованием достаточно простых технологий и с использованием недорогих и доступных материалов. Вообще же, использование плоских моделей позволяет решать очень широкий круг исследовательских и прикладных задач электромагнитной теории. В качестве примера в следующем подразделе мы рассмотрим как такие модели помогают рассчитывать ослабление сигналов при их распространении на приповерхностных (Земля – тропосфера) трассах и трассах внутри промышленных и офисных зданий.

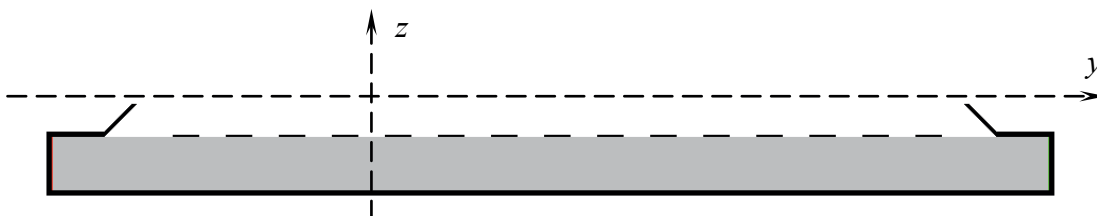


Рисунок 6 – Геометрия излучателя с полупрозрачной ленточной решеткой

Итак, пусть рассматриваемый излучатель возбуждается через виртуальную границу импульсной TE_{01} -волной

$$U^{i,1}(g,t) = U_1^{i,1}(g,t) = v_{11}(y,t) \mu_{11}(z); \quad g = y, z \in \bar{\Omega}_1. \quad (8)$$

Точки отсечки первых трех синусоидальных TE_{0n} -волн в волноводах Ω_1 и Ω_2 равны $k_1^+ \approx 2,17$, $k_2^+ \approx 4,33$ и $k_3^+ \approx 6,5$.

Пусть $v_{11} y: g \in \Gamma_1, t = F_1 t$ и $\tilde{k} = 4,4$, $\Delta k = 2,0$, $\tilde{T} = 40$, $\bar{T} = 80$, $T = 300$. Импульс $F_1 t$

занимает полосу частот $2,4 \leq k \leq 6,4$, и только две синусоидальные волны – TE_{01} -волна и TE_{02} -волна – могут распространяться в волноводах Ω_j без затухания.

Результаты вычислительного эксперимента, в ходе которого определялись электродинамические характеристики излучателя, представлены на рисунке 7. Методика проведения и анализа результатов подобных экспериментов подробно описана в [7].

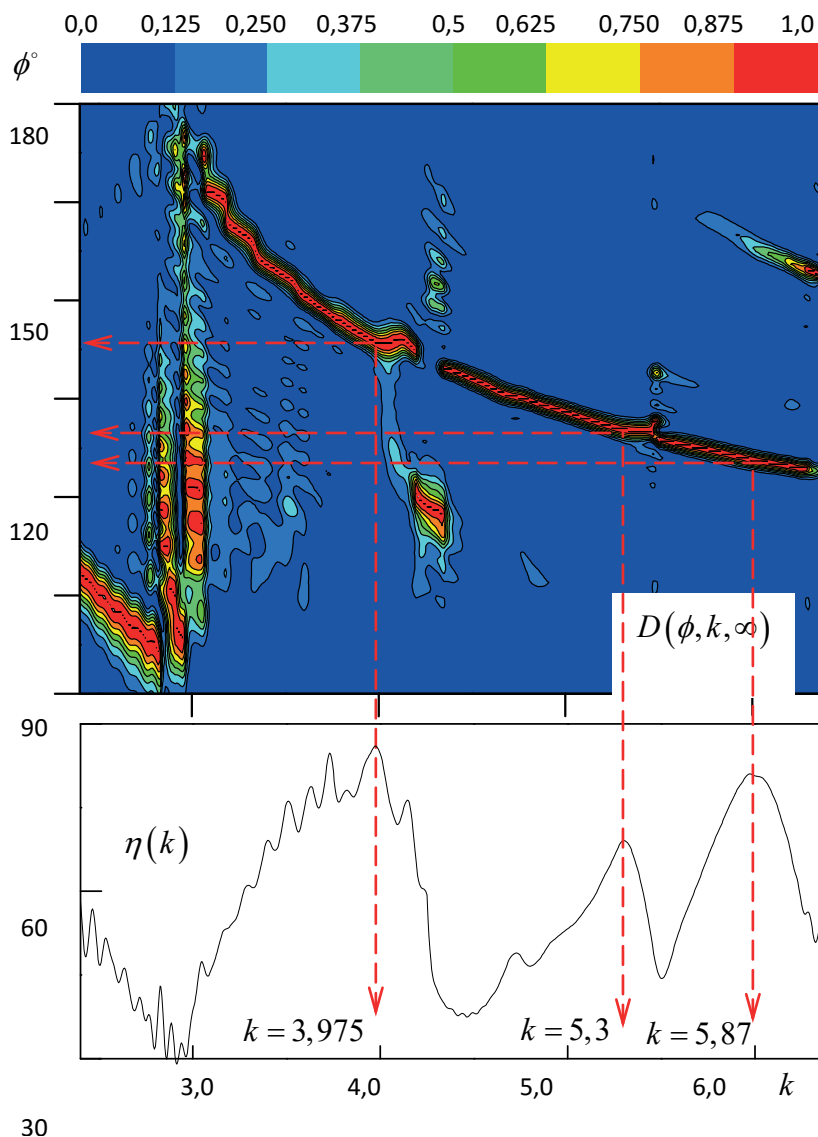


Рисунок 7 – Характеристики излучателя (диаграмма направленности $D(\phi, k, \infty)$ и эффективность излучения $\eta(k)$) в полосе частот $2,4 \leq k \leq 6,4$

Следуя этой методике, приходим к выводу, что основная распространяющаяся пространственная гармоника в зоне прохождения ленточной решетки появляется при значениях $k > 3,1$, а минус первая – при $k > 5,45$. Первая формирует основной лепесток диаграммы направленности излучателя, а последняя проявляется достаточно мощным боковым лепестком (рисунок 7). Сильным ока-

зывается влияние порогового эффекта, связанного с возбуждением в открытом волноводе второй распространяющейся волны (диапазон частот $4,25 \leq k \leq 4,45$).

Эффективность излучения достигает локальных максимумов в точках $k = 3,975$ ($\eta(k) = 0,934$), $k = 5,3$ ($\eta(k) = 0,87$), $k = 5,87$ ($\eta(k) = 0,87$).

$\eta(k) = 0,652$) и $k = 5,87$ ($\eta(k) = 0,85$). Диаграммы направленности излучателя на этих частотах изображены на рисунке 8. Направление главных лепестков диаграммы

направленности на этих частотах определяется следующими углами: $\bar{\phi} = 106,5^\circ$, $\bar{\phi} = 106,5^\circ$ и $\bar{\phi} = 70,8^\circ$.

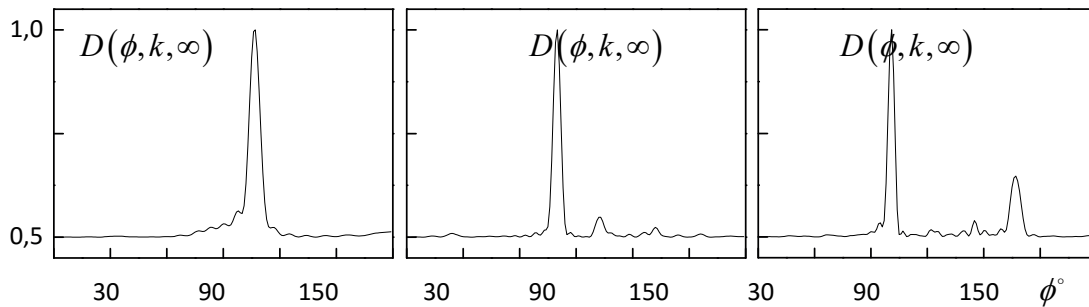


Рисунок 8 – Диаграммы направленности излучателя на частотах $k = 3,975$ ($\bar{\phi} = 106,5^\circ$), $k = 5,3$ ($\bar{\phi} = 79,8^\circ$) и $k = 5,87$ ($\bar{\phi} = 70,8^\circ$)

Полученные характеристики подтверждают предположение, что гибридные излучатели, т.е. излучатели, изготовленные из дешевых и доступных материалов, вполне могут конкурировать с излучателями классического типа, содержащими отражательные решетки типа «гребенка» [7]. Это очень важно, поскольку с укорочением рабочей длины волны точное изготовление периодических структур такого типа становится проблематичным. А гибридные излучатели с привлечением технологических возможностей литографии можно изготавливать как для терагерцового диапазона, так и для диапазонов оптических.

3.3. Задачи распространения волн. Одна из возможных геометрий задачи о расчете трасс распространения сигналов внутри офисных зданий изображена на рисунке 3. Токовый источник $F(g, t)$ (см. задачу (3)) размещен в одном из помещений, точки приема сигналов рассредоточены по всей площади офисного здания. Задача состоит в определении множителя ослабления

$V(g, k) = |\tilde{U}(g, k)| / |\tilde{U}_{\text{free}}(g, k)|$, $g \in \Omega_{\text{int}}$, характеризующего ослабление напряженности $\tilde{U}(g, k)$ поля волны при распространении в реальных условиях по сравнению со значением этой же величины ($\tilde{U}_{\text{free}}(g, k)$), которое имело бы место при распространении в свободном пространстве, во всех точках наблюдения $g_j = \{y_j, z_j\}$ и в заданной полосе частот k .

В эксперименте, результаты которого коротко описаны ниже, изучалась линия передачи (среда распространения волн), включающая в себя естественные и искусственные элементы, изображенные на рисунках 9 и 10. Точки, для которых рассчитывалась величина коэффициента ослабления, расположены на крышах строений (g_1), в сухой почве на глубине около метра (g_2), в лесном массиве (g_3) и на вершине холма вне зоны прямой видимости (g_4).

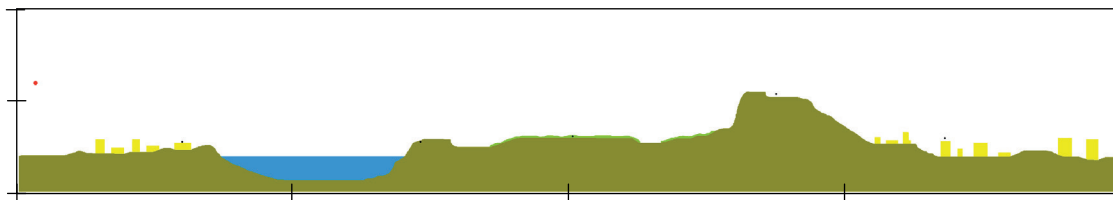


Рисунок 9 – Геометрия задачи: 1 – атмосфера ($\epsilon = 1,0$, $\sigma = 0$), 2 – сухая почва ($\epsilon = 4,5$, $\sigma = 10^{-3}$), 3 – пресная вода ($\epsilon = 90$, $\sigma = 2,0 \cdot 10^{-2}$), 4 – лес ($\epsilon = 1,2$, $\sigma = 1,0 \cdot 10^{-4}$), 5 – кирпичные строения ($\epsilon = 3,0$, $\sigma = 10^{-4}$)

Импульс тока $F(g, t) = G(g)F_1(t)$; сигнала Ω_{int} $U(g, t) = E_x(g, t)$ (рассматривается случай TE_0 -волн), занимающий полосу частот TE_0 .
 $G(g) = \chi \left[2.25 - (z - 150)^2 - (y - 25)^2 \right]$, $\tilde{k} = 1,0$,
 $\Delta k = 0,5$, $\tilde{T} = 100$, $\tilde{T} = 100$ порождает в пространстве

Основные особенности, связанные с распространением сигнала $U(g, t)$, отражают данные, представленные на рисунке 10 (распределение значений $E_x(g, t)$, $g \in \Omega_{\text{int}}$ в различные моменты времени наблюдения t) и рисунке 11 (величины коэффициентов ослабления в точ-

ках наблюдения g_j).

Полезным может оказаться изучение пространственного распределения значений $U(g, t)$ отвечающих квазимонохроматическим сигналам, распространяющимся в области Ω_{int} . Для данных, представленных на рисунке 12, такой сигнал порождается

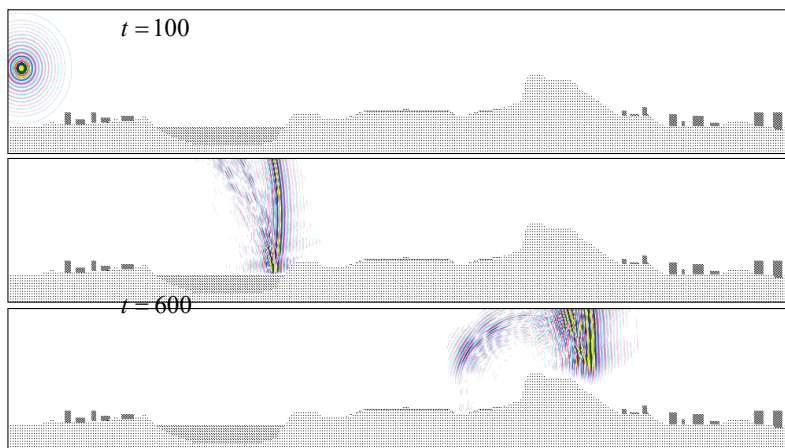


Рисунок 10 – Пространственное распределение значений $U(g, t)$, $g \in \Omega_{\text{int}}$ в различные моменты времени t при распространении сверхширокополосного сигнала

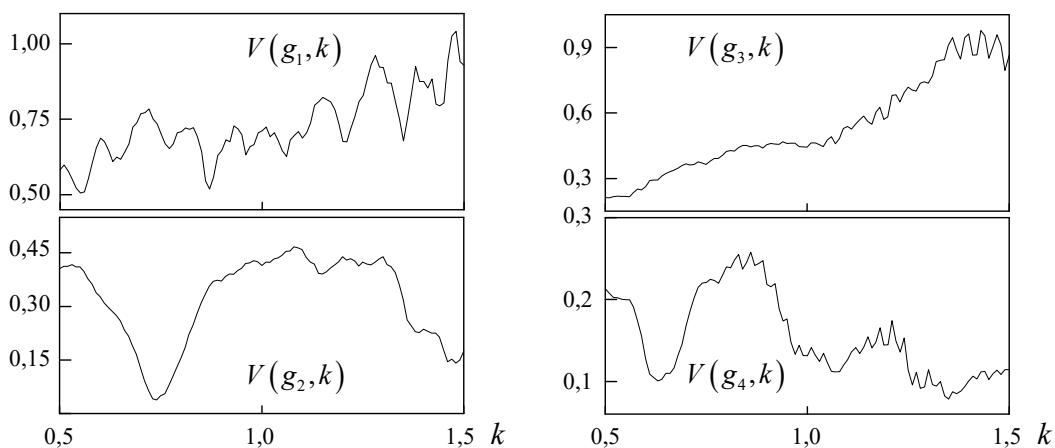


Рисунок 11 – Коэффициент ослабления $V(g, k)$ в точках наблюдения $g = g_j$, $j = 1, \dots, 4$

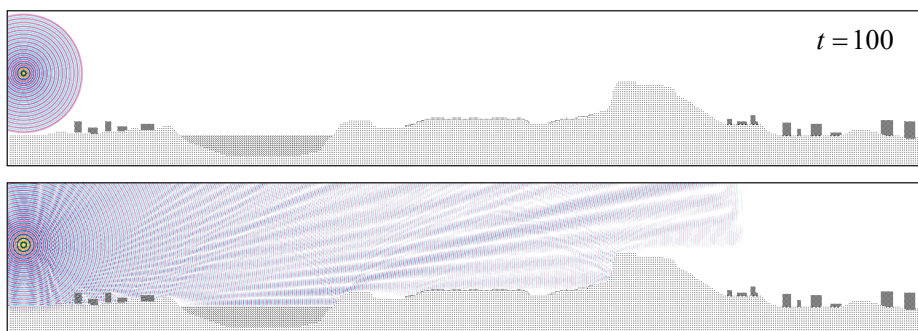


Рисунок 12 – Пространственное распределение значений $U(g, t)$, $g \in \Omega_{\text{int}}$ в различные моменты времени t при распространении квазимонохроматического сигнала с центральной частотой $\tilde{k} = 1,0$

сверхузкополосным импульсом тока

$$F(g, t) = G(g) \cos(\tilde{k}t) \chi(\bar{T} - t), \quad \tilde{k} = 1, 0, \quad \bar{T} = 2000$$

. Здесь хорошо видны все локальные центры рассеяния сигнала, зоны его замирания, обусловленные интерференцией множества лучей, порожденных таким рассеянием, слабо и сильно затененные области, возникающие из-за неровностей рельефа и т.д.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены двухмерные электродинамические модели метода точных поглощающих условий. Это, так называемые, плоские ($\partial/\partial x \equiv 0$) и аксиально-симметричные ($\partial/\partial \phi \equiv 0$) модели, которые позволяют решать широкий круг физических и прикладных задач электромагнитной теории, связанных с анализом и синтезом различных элементов и узлов антенно-фидерных трактов, с изучением особенностей в процессах распространения волн на коротких (в помещениях офисных и промышленных зданий) и достаточно длинных (приповерхностных) связных трассах. Решения нескольких таких конкретных задач приведены в работе. Полученные результаты доказывают эффективность метода, возможность практического использования программ, реализующих его модели, как в инженерных расчетах, так и в качестве мощного обучающего средства, позволяющего визуализировать процессы излучения, распространения и рассеяния электромагнитных волн.

Авторы благодарят своих руководителей проф. Вертий А.А. и проф. Сиренко Ю.К. за предложенные ими темы ис-

следований, помощь в их проведении и конструктивную критику результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sirenko Y.K., Strom S., Yashina N.P. Modeling and Analysis of Transient Processes in Open Resonant Structures. New Methods and Techniques. – New York: Springer, 2007.
2. Кравченко В.Ф., Сиренко К.Ю., Сиренко Ю.К. Преобразование и излучение электромагнитных волн открытыми резонансными структурами. Моделирование и анализ переходных и установившихся процессов. – Москва: Наука. Физматлит, 2011.
3. Taflov A., Hagness S.C. Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. – Boston: Artech House, 2000.
4. Rao S.M. (ed). Time Domain Electromagnetics. – San Diego: Academic Press, 1999.
5. Sautbekov S.S., Sirenko K.Y., Sirenko Y.K., Pazynin V.L., Vertiy A.A., Orazbekova M.B. The exact absorbing conditions method in the analysis of open electrodynamic structures. Axially-symmetrical objects in free space and effective calculations. Физические основы приборостроения. – 2014. – Т.3, №4. – С.40–58.
6. Davletbayeva D.M., Kabytay Zh.K., Sirenko Yu.K. Rigorous solution of complex 2D problems of radiation and propagation of impulse and monochromatic electromagnetic waves. Telecommunications and Radio Engineering. – 2014. – Vol.73, no.7. – P. 587–603.
7. Sautbekov S., Sirenko K., Sirenko Y., Yevdokimov A. Diffraction radiation phenomena: Physical analysis and applications. Antennas and Propagation Magazine, IEEE. – 2015. – Vol.57, no.5. – P.73–93.

METHOD OF SELECTION OPTIONS FOR COMPLEX TECHNICAL SYSTEM

S.O. Nikul

Military Academy (in Odesa)

The chief of Department of Rockets and Artillery Armament

ABSTRACT

The method of selection of promising options for complex technical systems (CTS) in the design phase because of its properties as an object of which is to significantly narrow their number that seen in the variant testing.

Keywords: selection, option technical system, method.

Formulation of the problem

In the early stages of CTS raises questions about the selection of promising options that are formed using techniques of expert assessment or otherwise. These options primarily described as qualitative and quantitative indicators, reflecting the CTS, as the object of development. This necessitates the selection of the best options to implement consistent coordination of decisions.

Analysis of recent achievements and publications

Approaches for the establishment of CTS and selection of options considered in [1-3]. But they are general in nature and does not take into account the phasing of selection options for CTS.

Bold unsolved aspects of the problem, which the article is dedicated

Known methods of comparative assessment of options for CTS set of quantitative and qualitative indicators do not provide consistent approval of decisions.

Formulation of article purposes

The aim is to develop a method of gradual selection of promising options for CTS.

Presenting main material

It is proposed to use to determine the rational subset of choices CCC and the allocation among them the most desirable option selection method based on consistent harmonization solutions that enables a sufficient degree of probability «weed out» unpromising appearance options in terms of their development.

The method of selection options CTS includes the following steps.

1. Definition of the normalized matrix. Output matrix served as a matrix of decision-making

$$P = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ a_1 & \left\| \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right\| \\ a_2 & \left\| \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right\| \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & \left\| \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right\| \end{matrix},$$

where

a_1, \dots, a_m - Options for comparison;

x_1, \dots, x_n - CTS indicators as object of development;

x_{11}, \dots, x_{mn} - values of CTS as object of development.

Based on this matrix transition matrix solutions

$$\bar{P} = \begin{matrix} \left\| \begin{matrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{matrix} \right\| \end{matrix}$$

де $\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_j, \dots, \bar{x}_m, \forall i, j, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ - normalized values of CTS as object of development.

2. Definition of matrix solutions \hat{P} . With weight ratios

indicators $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, elements of the matrix column \bar{P} multiplied by the value of their respective

$$\hat{P} = \begin{matrix} \left\| \begin{matrix} \alpha_1 \bar{x}_{11} & \dots & \alpha_j \bar{x}_{1j} & \dots & \alpha_n \bar{x}_{1n} \\ \alpha_1 \bar{x}_{21} & \dots & \alpha_j \bar{x}_{2j} & \dots & \alpha_n \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_1 \bar{x}_{m1} & \dots & \alpha_j \bar{x}_{mj} & \dots & \alpha_n \bar{x}_{mn} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} f_{11} & \dots & f_{1j} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & \dots & f_{2j} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{mj} & \dots & f_{mn} \end{matrix} \right\| \end{matrix}$$

3. Determination of the many consents and disagreements.

For each pair of options a_k and a_l

$(\forall k, l; k, l = \overline{1, m}; k \neq l)$ is calculated many approvals $S_{kl} = \{j / \bar{x}_{kj} \geq \bar{x}_{lj}\}$.

This index consists of many of the indicators for k -s option is not worse than option l . Once it is determined by calculating many disagreements $H_{kl} = \{j / \bar{x}_{kj} < \bar{x}_{lj}\}$, which consists of indexes of indicators on which option l is superior option k . So, $H_{kl} = \{1, 2, \dots, n\} \setminus S_{kl}$.

4. Determination of matrix consent. For this purpose, there

are indexes consent. For a pair of options a_k and a_l indexes define consent as follows

$$\tilde{S}_{kl} = \frac{\sum_{j \in S_{kl}} \alpha_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j}$$

If $\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1$, then $\tilde{S}_{kl} = \sum_{j \in S_{kl}} \alpha_j$.

The index reflects the importance of consent (preferred) a_k in relation to a_l . These indices formed matrix consent agreement S , with dimension $m \times m$.

$$S = \begin{pmatrix} - & \tilde{S}_{12} & \dots & \tilde{S}_{1m} \\ \tilde{S}_{21} & - & \dots & \tilde{S}_{2m} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{S}_{m1} & \tilde{S}_{m2} & \dots & - \end{pmatrix}$$

5. Determination of disagreement matrix. If the matrix is based on the consent of the weight values of quality, the matrix of disagreement - on the basis of the indicators. Index of dissent is calculated for each pair of options

$k, l (\forall k, l; k, l = \overline{1, m}; k \neq l)$ using formulas

$$\tilde{H}_{kl} = \max_{j \in H_{kl}} |f_{kj} - f_{lj}| / \max_{j \in \overline{1, n}} |f_{kj} - f_{lj}|$$

Disagreement matrix H composed from disagreement index, with dimension $m \times m$

$$H = \begin{pmatrix} - & \tilde{H}_{12} & \dots & \tilde{H}_{1m} \\ \tilde{H}_{21} & - & \dots & \tilde{H}_{2m} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{H}_{m1} & \tilde{H}_{m2} & \dots & - \end{pmatrix}$$

The consensus matrix S largely reflects about the importance of indicators that the value of the weight, and the disagreement matrix H provides information about the differences between the values of model parameters AO example as object of development.

6. Determination dominant matrix of consent.

This matrix $\mathcal{A}_s = \|r_{kl}\|$ consisting of zeros and ones, and

$$r_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{if } \tilde{S}_{kl} \geq \bar{S}; \\ 0, & \text{if } \tilde{S}_{kl} < \bar{S}. \end{cases}$$

Values of \bar{S} can be defined in various ways, such as the average index of consent, i.e.

$$\bar{S} = \left(\sum_{k=1}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m \tilde{S}_{kl} \right) / [m(m-1)]$$

Elements of matrices $\mathcal{A}_s = \|r_{kl}\|$ reflect the domination of one option in AO example over another, that characterizing it as facility development.

7. Determination of the dominant matrix of disagreement.

This matrix $\mathcal{A}_H = \|q_{kl}\|$ constructed similarly to $\mathcal{A}_s = \|r_{kl}\|$. So

$$q_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{if } \tilde{H}_{kl} \leq \bar{H}; \\ 0, & \text{if } \tilde{H}_{kl} > \bar{H}, \end{cases}$$

where \bar{H} could be the average index of disagreement

$$\bar{H} = \left(\sum_{k=1}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m \tilde{H}_{kl} \right) / [m(m-1)]$$

8. Determination of aggregate matrix of dominance

$\mathcal{A}_A = \|v_{kl}\|$. This matrix is formed by multiplication of the respective elements of the matrix \mathcal{A}_s and \mathcal{A}_H , that is $\mathcal{A}_A = \mathcal{A}_s \cdot \mathcal{A}_H = \|r_{kl}\| \cdot \|q_{kl}\| = \|v_{kl}\|$

$\forall k, l; k, l = \overline{1, m}; k \neq l$

9. Remove the less desirable option.

The matrix defines a partial order on a set of options. If $v_k = 1$, then option a_k preferable that option a_l , as the criterion of agreement and disagreement on a criterion.

Conclusions of this research and perspectives

Thus, in order to remove the options that are worse than the other options, you need to remove those options for which the corresponding column matrix \mathcal{A}_A there is at least one unit. As a result of carried out purposeful selection of the many not dominant options. And considered approach compares favourably with other existing methods for its versatility and, most importantly, the possibility of adjusting the results of the elections as the new information about CTS that is being developed.

To further reduce and evaluate the technical solution options CTS mainly used as indicators of its facility operation.

The prospect of further research is to address two fundamental issues related to the justification of the range performance and choice of technical solutions integrated indicator CTS.

List of literature used:

1. Avtonomov V.N. Creating of modern technics: Fundamentals of theory and practice. - M.: Mechanical engineering, 1991.-304 p.
2. Efficiency and reliability in the equipment. Directory

P. 1: Methodology. Organization. Terminology / In edit. A.I. Encyclopedic Dictionary - Directory / In edit. A.I. Polovynkina, Rembezi. - M.: Mechanical engineering, 1986.-224 p. V.V. Popova. - M.: NPO "Inform-Systema", 1995.-408 p.

3. Technical creativity: Theory, Methodology, practice.

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА М'ЯКИХ СИРІВ З ПРОБІОТИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Ткаченко Наталія Андріївна

доктор технічних наук, професор
завідувач кафедри технології молока,
жирів і парфумерно-косметичних засобів
Одеська національна академія харчових технологій

Скрипніченко Дмитро Михайлович

асистент кафедри технології молока, жирів
і парфумерно-косметичних засобів
Одеська національна академія харчових технологій

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF THE PRODUCTION OF SOFT CHEESE WITH PROBIOTIC PROPERTIES

Tkachenko N. A., doctor of technical sciences, professor, head department of dairy technology and technology of fats and perfume-cosmetic products Odessa national academy of food technologies

Skrypnichenko D. M., assistant department of dairy technology and technology of fats and perfume-cosmetic products Odessa national academy of food technologies

АНОТАЦІЯ

Розроблена інноваційна технологія м'яких сирів з пробіотичними властивостями і тривалим терміном зберігання, в основу якої покладена ферментація ретентату, отриманого при ультрафільтрації молока, збагаченого фруктозою, заквашувальними композиціями із біфідо- й лактобактерій з підвищеними пробіотичними й протеолітичними властивостями з подальшим визріванням сирної маси. Розроблена технологія м'яких пробіотичних сирів апробована у виробничих умовах ТОВ «Білоцерківський молочний комбінат» (Україна) і може бути впроваджена на цьому підприємстві без здійснення модернізації та реконструкції виробництва.

ABSTRACT

The innovative technology of soft cheeses with probiotic properties and a long expiration life, which is based on a fermentation of retentate obtained by ultrafiltration of milk, enriched with fructose, souring compositions of bifid bacteria and lactobacillus advanced with probiotic and proteolytic properties with a further ripening of a cheese mass was worked out. This technology of soft probiotic cheeses was tested in a production environment of the LLC "Bila Tserkva Milk Plant" (Ukraine) and can be implemented at this plant without a modernization or reconstruction of the production.

Ключові слова: інноваційна технологія, м'який сир, пробіотичні властивості, біфідобактерія, лактобактерія, органолептичні показники.

Keywords: innovative technology, soft cheese, probiotic properties, bifid bacteria, lactobacilli, organoleptic properties.

Анотація. Розроблена інноваційна технологія м'яких сирів з пробіотичними властивостями і тривалим терміном зберігання, в основу якої покладена ферментація ретентату, отриманого при ультрафільтрації молока, збагаченого фруктозою, заквашувальними композиціями із біфідо- й лактобактерій з підвищеними пробіотичними й протеолітичними властивостями з подальшим визріванням сирної маси. Розроблена технологія м'яких пробіотичних сирів апробована у виробничих умовах ТОВ «Білоцерківський молочний комбінат» (Україна) і може бути впроваджена на цьому підприємстві без здійснення модернізації та реконструкції виробництва.

Ключові слова: інноваційна технологія, м'який сир, пробіотичні властивості, біфідобактерія, лактобактерія, органолептичні показники.

1. Вступ

Молочні продукти відіграють винятково важливу роль у раціоні харчування людини. Серед них сир є одним із найкращих продуктів завдяки високій калорійності, фізіологічній повноцінності та різноманіттю смакових властивостей. Харчова цінність сиру обумовлена високою концентрацією білка та жиру, вмістом вітамінів і солей кальцію, фосфору та магнію. Значна частина білків сиру знаходиться в формі, легкодоступній для засвоєння організмом людини. Крім того, білок сиру містить всі незамінні амінокислоти в значній кількості [1, 30; 2, 11].

Серед сирів особливе місце займають м'які сири. В результаті біохімічних процесів, які відбуваються під час визрівання сирів, в них утворюється велика кількість пептидів і амінокислот за більш короткі терміни в порівнянні з напівтвердими та твердими сирами. Це дозволяє відно-

сити м'які сири до більш дієтичних у порівнянні з сирами інших груп. Великий смаковий діапазон м'яких сирів дозволяє найбільш повноцінно задовольнити потреби широкого кола споживачів [3, 7-10; 4, 413-417].

Перевагами виробництва м'яких сирів є [5, 24; 6, 36, 37, 40]:

- ефективне використання сировини;
- можливість реалізації сиру без визрівання або з коротким терміном визрівання (не більше 14 діб);
- високі органолептичні показники;
- високі харчова та біологічна цінність;
- швидка оборотність капіталовкладень.

На споживному ринку України сегмент м'яких сирів, в основному, представлений продуктами, які експортують з країн Євросоюзу. М'які сири з пробіотичними властивостями на ринку України та країн СНД взагалі не представлені [6, 36, 37, 40; 7, 17; 8, 40-41]. Тому розробка вітчизняних інноваційних технологій м'яких сирів з пробіотичними властивостями та впровадження їх у виробництво є актуальним завданням сьогодення.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Поняття «м'які» сири пов'язують з вмістом вологи в незжиреній частині продукту. За класифікацією сирів, розробленою у 2003 році в Україні, показник твердості в них повинен складати не менше 69 % [9, 78].

М'які сири виробляють з пастеризованого молока. За температурними режимами, які застосовують для теплового оброблення нормалізованого молока, їх умовно можна поділити на три групи. До першої групи входять м'які сири, при виробленні яких пастеризацію молока проводять при температурі (74–76) °С; до другої – сири, що виробляються при більш високій температурі пастеризації (80–90) °С; до третьої – сири, у яких температура пастеризації молока знаходиться в межах (93–95) °С [9, 78]. Підвищена температура пастеризації більш ефективна з точки зору пригнічення життєдіяльності мікрофлори сирого молока. Використання температури пастеризації вище 85 °С, дозволяє забезпечити ефективність процесу 99,99 % [10, 169-170]. Але чим вища температура теплового оброблення, тим більш глибокі зміни відбуваються з компонентами молока. Найбільш чутливими до температури є сироваткові білки [11, 47-52]. Відбувається майже повна їх денатурація і агрегація, внаслідок яких сироваткові білки коагулюють разом з казеїном, що дозволяє підвищити ступінь використання білків молока при виробництві м'яких сирів і збільшити вихід готового продукту [12, 41-43].

Технологія сирів, в т.ч. і м'яких, зводиться до створення умов для розвитку мікрофлори, яка вноситься із закваскою. Використовують різні види заквашувальних культур – молочнокислі бактерії, пропіоновокислі мікроорганізми, сирний слиз, плісені, дріжджі тощо. Провідна роль належить молочнокислим мікроорганізмам. Вони:

- перетворюють основні компоненти молока (вуглеводи, білки, жири) у сполуки, які обумовлюють смакові та ароматичні властивості сиру, його харчову і біологічну цінність;

- активізують молокозсідальний фермент і стимулюють виділення сироватки із сичужного згустку;
- приймають участь у формуванні рисунка і консистенції сиру;

- створюють несприятливі умови для розвитку сторонньої мікрофлори.

Сьогодні у виробництві молочних продуктів, і сирів в тому числі, використовують спеціальні висококонцентровані бакконцентрати для безпосереднього внесення у молоко із вмістом клітин 10^{10} – 10^{11} КУО/г. Їх виробляють у ліофілізованому вигляді і у вигляді глибоко заморожених гранул. Останні є більш активними і мають ширший асортимент. Перевагами використання бакконцентратів безпосереднього внесення (БК DVS) є [13, 16]:

- простота і зручність у використанні;
- стабільність співвідношення між штамми та стабільність властивостей бакконцентрату;
- виключення можливості внесення сторонньої мікрофлори з заквашувальними культурами;
- зниження ризику забруднення бактеріофагами;
- гарантія якості та кількості активних клітин у складі бакконцентрату;
- відповідність світовим стандартам;
- збереження традиційної технології виробництва молочних продуктів при суттєвому спрощенні процесу;
- підвищення виходу при виробництві білкових продуктів.

Бакконцентрати DVS є більш дорогими, але при їх застосуванні виключаються витрати на придбання сироватки, приготування лабораторних і виробничих заквасок, проектування і обслуговування заквашувальних відділень, зарплатню персоналу, витрати теплової і електроенергії.

Класифікація м'яких сирів в залежності від заквашувальних культур, які використовують у процесі їх виробництва, та умов визрівання [14, 172-175; 15, 27] наведена на рис. 1.

Особливу цікавість сьогодні представляють м'які сири, які реалізують у свіжому вигляді (такі сири на споживному ринку України є альтернативою сирам кисломолочним), а також розсільні сири, які в 1,3-1,8 раз дешевші від твердих і напівтвердих сирів, тому користуються попитом серед споживачів.

У групі розсільних сирів найбільш поширеними на ринку України є Фета, Бринза і Моцарелла. Сьогодні на одному з провідних молокопереробних підприємств України – ТОВ «Білоцерківський молочний комбінат» (с. Томилівка, Київська область) – сири Фета й Бринза виробляють з використанням новітньої технології, яка ґрунтується за ультрафільтрації нормалізованого пастеризованого молока з подальшою ферментацією ретентату культурами лактобактерій у складі бакконцентратів DVS і визріванням сирної маси. Саме ця технологія була обрана прототипом при розробці інноваційної технології м'яких пробіотичних сирів.

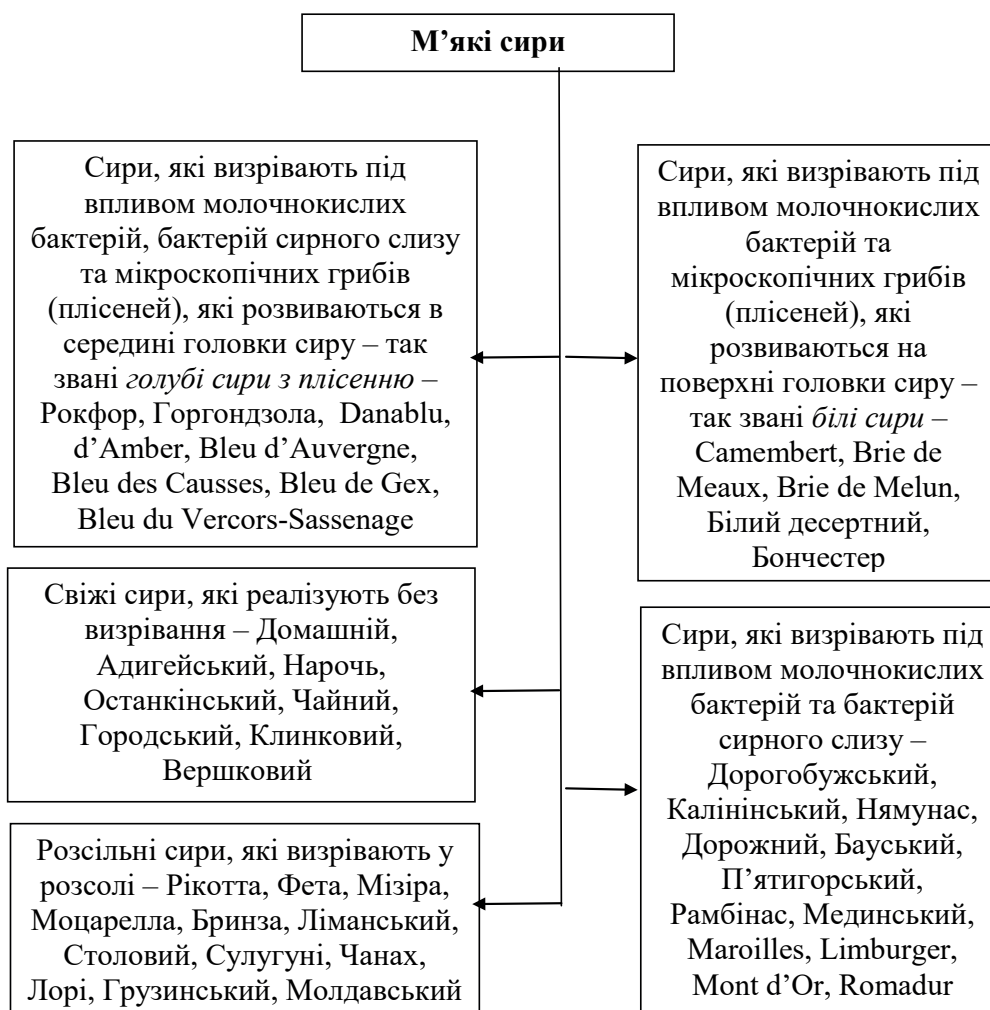


Рис. 1 – Класифікація м'яких сирів

3. Інноваційна технологія м'яких сирів з пробіотичними властивостями і тривалим терміном зберігання

Метою представленої роботи стало науково-практичне обґрунтування інноваційної технології м'яких сирів з пробіотичними властивостями і тривалим терміном зберігання.

Різноманіття сирів, в т.ч. м'яких, їх видові особливості, неперевершена гама смакових відчуттів забезпечуються використанням у технологічному процесі виробництва різних заквашувальних композицій, до складу яких, крім лактобактерій, входять дріжджі, плісені, сирний слиз тощо. Для розробки інноваційної технології м'яких сирів з пробіотичними властивостями необхідним етапом стала розробка симбіотичних заквашувальних композицій із лактобактерій з високими протеолітичними властивостями, які б забезпечували зброджування лактози і глибокий протеоліз білків при визріванні, та біфідо- і лактобактерій з високими пробіотичними властивостями, які б сприяли отриманню продукту з тривалим терміном зберігання, високою концентрацією життєздатних клітин заквашувальних культур, антагоністичними властивостями по відношенню до патогенної й умовно-патогенної мікрофлори і високими органолептичними властивостями. В якості заквашувальних культур було обрано БК лакто- й біфідо- бактерій DVS фірми «Chr. Hansen» (Данія).

На основі комплексних наукових досліджень для ви-

робництва м'яких пробіотичних сирів на кафедрі технології молока, жирів і парфумерно-косметичних засобів Одеської національної академії харчових технологій було розроблено три симбіотичні заквашувальні композиції з високими протеолітичними й пробіотичними властивостями [16, 36-38]:

- заквашувальна композиція 1 із FD DVS La-5 + FD DVS Bb-12 у співвідношенні 1:10; вихідна концентрація *L. acidophilus* La-5 і *B. animalis* Bb-12 при інокуляції – $1 \cdot 10^5$ та $1 \cdot 10^6$ КУО/см³ відповідно;

- заквашувальна композиція 2 із FD DVS CHN-19 + FD DVS *L. helveticus* + FD DVS Bb-12 у співвідношенні 1:1:1, вихідна концентрація *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis* при інокуляції – $1 \cdot 10^6$ КУО/см³, *L. helveticus* та *B. animalis* Bb-12 – $1 \cdot 10^6$ та $1 \cdot 10^6$ КУО/см³ відповідно;

- заквашувальна композиція 3 із FD DVS CHN-19 + FD DVS *L. helveticus* + FD DVS La-5 у співвідношенні 1:1:1, вихідна концентрація *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis* при інокуляції – $1 \cdot 10^6$ КУО/см³, *L. helveticus* та *L. acidophilus* La-5 – $1 \cdot 10^6$ та $1 \cdot 10^5$ КУО/см³ відповідно.

Доведено, що при включенні до складу симбіотичних заквашувальних композицій для м'яких сирів монокуль-

тур *B. animalis* Bb-12 і при збагаченні молочної сировини стимуляторами їх росту (фруктозою у кількості 0,1 % [17, 50-56]), синергетичні властивості згустків значно покращуються, що дозволяє використовувати підвищені температури пастеризації в процесі теплового оброблення сировини [18, 27-29].

Основними операціями в технології виробництва м'якого сиру є (рис. 2): приймання, резервування й визрівання молока; нормалізація, пастеризація й ультрафільтрація молока; оброблення білкового концентрату – ретентату – гомогенізація, пастеризація, заквашування, фасування й пакування, ферментація й визрівання білкової маси, зберігання готового продукту.

Оцінка якості та приймання молока

Для виробництва високоякісного м'якого сиру молоко коров'яче повинно відповідати вимогам ґатунків екстра, вищого та першого згідно ДСТУ 3662-97 та бути сиропри-

датним.

Спочатку в молоці, призначеному для виробництва м'якого сиру, визначають органолептичні показники (після попереднього кип'ятіння). Потім визначають кислотність, температуру, групу чистоти, густину, масові частки жиру, білка та сухих речовин, відбирають середньопорційну пробу для визначення сиропридатності молока та записують результати аналізів у приймальний журнал. Мікробіологічні показники (кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, бродильну пробу, сичужно-бродильну пробу та пробу на наявність маслянокислих бактерій) визначають 1 раз на 10 діб.

Прийняте за якістю молоко приймають за кількістю за допомогою автоматизованих ліній приймання або резервуарів з тензометричними датчиками в закритому потоці для збереження якості молока.

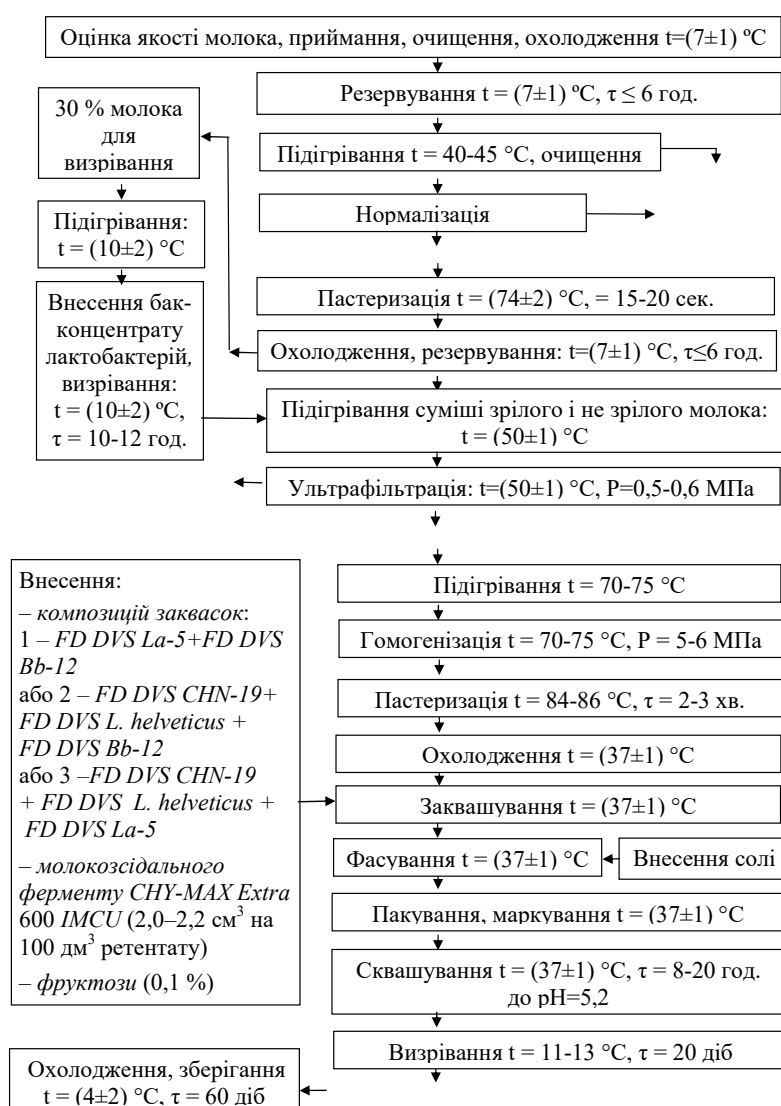


Рис. 2. Технологічна схема виробництва м'якого сиру з пробіотичними властивостями

Очищення, охолодження й резервування молока

Очищення прийнятого молока здійснюють в потоці з використанням керамічних фільтрів або сепараторів холодного очищення. Очищують молоко холодним, оскільки при його підігріванні перед очищенням до температу-

ри 40-45 °C створюються сприятливі умови для розвитку мікрофлори (особливо термофільно), що призводить до підвищення бактеріального забруднення молока. Слід віддавати перевагу очищенню молока на керамічних фільтрах, оскільки при очищенні молока на відцентрових се-

параторах, крім видалення механічних забруднень та частини мікроорганізмів, відбувається розбивання скупчень мікроорганізмів, внаслідок якого бактеріальне забруднення молока може збільшуватись [19, 213-216].

Доохолодження прийнятого й очищеного молока необхідно проводити для подовження бактерицидної фази, щоб зберегти молоко бактеріально чистим. Температура охолодження при виробництві сирів складає (7 ± 1) °C. Така температура призупиняє ріст всіх мікроорганізмів, крім психротрофних [19, 34-37]. Використання традиційної температури зберігання молока – (4 ± 2) °C – у сироробстві не допустимо, оскільки зберігання молока при такій низькій температурі сприяє погіршенню сиропридатності молока.

При температурі (7 ± 1) °C бажано зберігати сире молоко не більше 6 годин, оскільки при тривалому зберіганні знижується вміст вітамінів, відбуваються структурні зміни білка: гідрофобні зв'язки слабшають та асоціати казеїнатів розпадаються на більш мілкі. Більша частина молока (близько 70 %) для виробництва м'якого сиру повинна направлятися на резервування, а 30 % – на визрівання [15, 345-349].

Визрівання молока є невід'ємною операцією при виробництві високоякісних сирів. Свіже парне молоко не придатне для виробництва сиру, оскільки є поганим середовищем для розвитку заквашувальних культур та погано згортається молокозсідальними ферментами. Згусток з такого молока виходить слабкий, молочнокислий процес протікає повільно, внаслідок чого можливий розвиток сторонньої мікрофлори.

В процесі визрівання фізико-хімічні властивості молока змінюються: збільшується вміст поліпептидів, під дією вільних іонів кальцію збільшуються розміри міцел казеїну, знижується окисно-відновний потенціал молока, частина кальцієвих солей переходить у розчинний стан, кислотність молока підвищується на 1–2 °T. Молочна кислота, яка утворюється, сприяє переходу фосфорнокислих солей, які знаходяться в свіжому молоці в колоїдному стані, в розчинний стан – все це прискорює зсідання молока під дією молокозсідального ферменту, створює сприятливі умови для розвитку мікрофлори закваски та підвищує якість сиру [15, 45-49].

Є три варіанти проведення процесу визрівання молока.

Варіант 1. Часткове визрівання сирого молока відбувається під час резервування, а на крупних підприємствах з великим радіусом доставки молока значна частина його надходить на завод на другу добу, тобто вже поступає зрілим, в цих випадках молоко відразу направляють на виробництво м'якого сиру.

Варіант 2. Якщо сире молоко, призначене для виробництва продукту, має низьку бактеріальну забрудненість, то піддають визріванню сире молоко. Перед визріванням молока нагрівають на пластинчастому підігрівачі до температури 40–45 °C, очищують на сепараторі-молокоочищувачі, охолоджують на пластинчастому охолоджувачі до температури визрівання 8–12 °C і направляють у ємкості для визрівання.

Варіант 3. Молоко з граничною бактеріальною забрудненістю перед визріванням направляють на термізацію

або пастеризацію. Таке молоко нагрівають до температури 40–45 °C в секції рекуперації пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки гарячим молоком, яке виходить із системи, і направляють на сепаратор-молокоочищувач, де відбувається його відцентрове очищення від механічних домішок. Очищене молоко подають в секцію пастеризації пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки, де нагрівають гарячою водою до температури (65 ± 2) °C при здійсненні термізації або до температури (74 ± 2) °C при здійсненні пастеризації. У нагрітому молоці за допомогою системи автоматизованого контролю температури визначають температуру термізації (пастеризації). Якщо температура молока не досягла необхідного значення, воно повертається до зрівнювального баку, після чого проходить процес повторно, якщо температура молока досягла заданого значення, воно подається на трубчастий витримувач, який проходить за 15–20 сек., після чого охолоджується в секціях рекуперації та охолодження крижаною водою до температури визрівання (8–12 °C) і направляється у ємкості для визрівання. В такому випадку в молоко для визрівання додають закваску, оскільки мезофільні молочнокислі мікроорганізми при термізації (пастеризації), в основному, знищуються. Після визрівання таке молоко обов'язково пастеризують. Титрована кислотність зрілого молока перед зсіданням повинна бути 20-21 °T.

Для попередження підвищення бактеріального забруднення молока при резервуванні й визріванні авторами рекомендовано здійснювати резервування і визрівання молока після його пастеризації (рис. 2).

Нормалізація молока

Зарезервоване на нетривалий проміжок часу (не більше 6 год.) молоко перемішують та підігрівують до температури $t = 40-45$ °C і направляють на відцентрове очищення, метою якого є зменшення забрудненості сировини. Очищення відбувається на сепараторах-молокоочисниках.

Для того, щоб виробити м'який сир стандартного складу з нормованим вмістом жиру (45 % у сухій речовині) та вологи (не більше 69 %), необхідно на виробництво продукту направляти нормалізоване молоко з масовою часткою жиру 3,40–3,45 % (з врахуванням вмісту білка). Нормалізацію молока слід проводити у потоці для скорочення витрат коштів на здійснення процесу (за рахунок зменшення виробничої площі апаратного цеху і економії теплової енергії), а також для суміщення операцій нормалізації і теплового оброблення, що дозволяє скорочувати тривалість технологічного процесу і попереджувати збільшення бактеріального забруднення молока.

Для нормалізації молока за масовою часткою жиру доцільно використовувати сепаратори-вершковідокремлювачі зі стандоматами, оскільки при вмісті жиру в сировині понад 3,45 % необхідно відокремити від молока частину вершків, а при меншій жирності молока – частину молока знежиреного. Для здійснення процесу нормалізації очищене молоко з температурою 40–45 °C подають на сепаратор-вершковідокремлювач, де воно під дією відцентрової сили розділяється на вершки (масова частка жиру у вершках залежить від їх подальшого використання) і молоко знежирене з масовою часткою жиру 0,05 %. Продукти

сепарування окремими потоками поступають у пристрій для нормалізації (стандомат), де змішуються у необхідній пропорції. Отримане нормалізоване молоко з масовою часткою жиру 3,40–3,45 % подається на подальший технологічний процес, а продукт нормалізації (вершки або молоко знежирене) – на охолодження до температури (4 ± 2) °C і нетривале резервування (не більше 4 год.) до подальшого використання. При зберіганні сирого знежиреного молока (вершків) більше 4 годин в ньому (в них) в результаті розвитку психротрофної мікрофлори, яка виробляє термостійкі ферменти – ліпазу й протеази, можуть виникати вади смаку – прогірклий та гіркий смаки відповідно. Якщо вершки або молоко знежирене необхідно зберігати довше, ніж 4 години, їх слід піддати термізації або пастеризації з подальшим охолодженням до температури зберігання – (4 ± 2) °C. В такому випадку у сировині показники якості, в т.ч. органолептичні, будуть незмінними протягом 24–36 год.

Пастеризація нормалізованого молока

Метою пастеризації є знищення патогенної мікрофлори та частини вегетативної сапрофітної мікрофлори, інактивація ферментів, гормонів та бактеріофагів [15, 78–81].

Для пастеризації нормалізованого молока перед резервуванням та визріванням використовують наступний режим: температура (74 ± 2) °C, витримка 15–20 сек. Після контролю температури теплового оброблення молока останнє охолоджують до температури (7 ± 1) °C для резервування (при необхідності). На резервування направляють 70 % від загальної кількості молока, а 30 % – після підігрівання до температури (10 ± 2) °C подають у ємкості для визрівання.

Визрівання молока

Визрівання пастеризованого молока відбувається за участю мезофільних молочнокислих лактококів, які вносять у резервуар з підготовленим молоком. Для цього використовують бакконцентрати DVS (у кількості 10 ум. од. акт. на 100 кг молока): FD DVS CHN-11 або FD DVS CHN-19, або FD DVS CHN-22, або FD DVS Flora-danica. До складу зазначених бакконцентратів входять змішані культури (3K) *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*, які здатні розвиватись при температурі визрівання молока. Тривалість визрівання складає 10–14 годин.

Для подальшого технологічного процесу змішують зріле й не зріле молоко у співвідношенні 3 : 7.

Ультрафільтрація молока

Сьогодні використання традиційних способів виробництва м'яких сирів має деякі недоліки – низьку продуктивність, нестабільність складу продукції, недостатній рівень механізації. Розробка інноваційних технологій таких сирів, які дозволяють механізувати та автоматизувати технологічні процеси, є актуальним напрямом розвитку молочної промисловості. Найбільш перспективним є безперервний спосіб виробництва м'яких сирів з використанням нових баро-, електро- і біомембранних методів оброблення молока [20, 44]. При цьому використання нативних білків молока (як казеїну, так і сироваткових білків) для нормалізації суміші дозволяє перейти на без-

перервний спосіб виробництва сиру, забезпечити однорідну та постійну якість готового продукту протягом всього року, зменшити витрати та втрати сировини, підвищити ступінь використання виробничих потужностей та сухих речовин молока [20, 44].

У інноваційній технології виробництва м'яких пробіотичних сирів рекомендовано використовувати ультрафільтрацію нормалізованого молока для отримання білкового концентрату (ретентату) з такою ж масовою часткою сухих речовин, як у готовому продукті.

Суміш зрілого й не зрілого пастеризованого нормалізованого молока підігривають до $t=(50\pm 1)$ °C і направляють на ультрафільтраційну установку. Завдяки ультрафільтрації під тиском 0,5–0,6 МПа вміст білків в молочній суміші збільшується в 5–6 разів у порівнянні зі звичайним молоком. Відсотковий вміст лактози та мінеральних солей у водній фазі залишається таким же. При ультрафільтрації нормалізованої молочної суміші утворюються два потоки: перший – білковий концентрат (ретентат), за складом ідентичний готовому сиру, але представляє собою рідину, другий – відфільтрований прозорий фільтрат (пермеат) – освітлена сироватка, яка не містить білкових компонентів. Ретентат направляється на подальші технологічні операції. Пермеат, в свою чергу, може бути направлений на реалізацію або виробництво молока питного й кисломолочних напоїв.

Гомогенізація та пастеризація ретентату

В сирому молоці середній діаметр жирових кульок складає 2–5 мкм. Внаслідок різниці густини молочного жиру і плазми на поверхні ретентату утворюється шар вершків. Щоб запобігти цьому білковий концентрат необхідно піддавати гомогенізації. Гомогенізація – це механічний спосіб оброблення молочної сировини, внаслідок якого відбувається подрібнення жирових кульок до розміру 1–2 мкм з метою усунення відстою жиру в молочних продуктах при їх сквашуванні та зберіганні. На процес гомогенізації значно впливають тиск і температура, які обирають в залежності від масової частки жиру в сировині.

Отриманий білковий концентрат (ретентат) підігривають до температури 70–75 °C в секції рекуперації пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки і направляють на гомогенізацію при тиску 5–6 МПа. Обрані температура та тиск забезпечують достатню в'язкість продукту, добре подрібнення жирових кульок та найменший відстій вершків при зберіганні. Гомогенізований ретентат подається в секцію пастеризації пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки.

Температура пастеризації молочної сировини при виробництві м'яких сирів суттєво впливає на фізико-хімічні властивості згустку, що в свою чергу, відображається на якості готового продукту. Так, в класичній технології сирів при м'яких температурних режимах згусток отримують щільний, при його обробленні сироваткові білки відходять в сироватку, а кількість готового продукту зменшується. При підвищенні температури пастеризації масова частка вологи в сирі підвищується за рахунок підсилення гідрофільних властивостей казеїну в результаті денатурації сироваткових білків, але за рахунок цього також збільшується вихід сиру [9, 13].

Витримка суміші при температурі пастеризації залежить від бактеріальної забрудненості молока: чим більше бактеріальна забрудненість молока, тим більш тривала витримка при температурі пастеризації.

За умови використання в якості сировини для виробництва м'якого пробіотичного сиру ретендату температура пастеризації може бути підвищена, оскільки процес відділення освітленої сироватки – пермеату – здійснюється до процесу зсідання. З огляду на безпечність продукту з мікробіальної точки зору, це є суттєвою перевагою перед класичною технологією м'яких сирів.

На основі проведених експериментальних досліджень був обраний наступний режим теплового оброблення ретендату: температура 84–86 °С, витримка 2–3 хв. [18, 27–29].

Підготовка ретендату до заквашування, ферментація ретендату

Підготовка ретендату до заквашування включає наступні операції:

- охолодження до температури заквашування. При виробництві м'якого сиру з використанням *L. acidophilus* La-5 та/або *B. animalis* Bb-12 в якості пробіотиків важливе значення має температура заквашування і сквашування ретендату, оскільки вона впливає на розвиток мікроорганізмів, включених до складу заквашувальних композицій, і розвиток мікробіологічного процесу, тобто на накопичення достатньої кількості продуктів метаболізму культур лакто- й біфідобактерій при ферментації [21, 112]. Для розвитку біфідобактерій і лактобацил оптимальною є температура (37±1) °С (ця температура також є прийнятною для розвитку *3K Lactococcus lactis* ssp. і монокультур *L. helveticus*), тому ретендат після пастеризації рекомендовано охолоджувати до температури заквашування і сквашування – (37±1) °С;

- внесення композицій заквашувальних культур. У формуванні органолептичних, реологічних, антагоністичних і пробіотичних властивостей м'яких сирів, а також у забезпеченні тривалого терміну зберігання продукту важливу роль відіграє мікрофлора, яка входить до складу заквашувальних композицій. У охолоджений до температури заквашування ретендат вносять одну з розроблених заквашувальних композицій з підвищеними пробіотичними й протеолітичними властивостями. Внесення композицій заквашувальних культур в ретендат здійснюють у потоці на спеціальній лінії для фасування ретендату. У підготовлену тару (полімерні коробочки ємкістю 250 або 500 см³) з використанням дозаторів вносять суміш ретендату й компонентів, необхідних для його заквашування, в т.ч. розчин заквашувальних культур. Розчин заквашувальних культур лакто- й біфідобактерій готують у лабораторії: бакконцентрати DVS, включені до складу обраної заквашувальної композиції, розчиняють у стерилізованому молоці, охолодженому до температури (37±1) °С, ретельно перемішують протягом 15–20 хв. і приготований розчин вносять у спеціальний дозатор, розташований на лінії фасування. Дозують розчин заквашувальних культур при фасуванні ретендату в коробочки з таким розрахунком, щоб забезпечити необхідну вихідну концентрацію культур лакто- й біфідобактерій у ретендаті;

- внесення молокозсідального ферменту. Для зсідання ретендату необхідно внести в нього молокозсідальний фермент. У технології м'яких сирів з пробіотичними властивостями авторами рекомендовано використовувати молокозсідальний фермент мікробіального походження (хімозин) CHY-MAX Extra 600 IMCU в кількості 2,0...2,2 см³ на 100 дм³ ретендату [18, 28–29]. Молокозсідальний фермент, як і заквашувальні культури, вносять у ретендат в процесі дозування в тару. Розчин молокозсідального ферменту також готують в лабораторії аналогічно розчину заквашувальних культур, за винятком того, що в якості розчинника використовують пермеат. Дозування розчину молокозсідального ферменту здійснюють таким чином, щоб забезпечити необхідний вміст його в ретендаті;

- внесення фруктози. Для стимулювання росту *B. animalis* Bb-12 у процесі зсідання ретендату, ферментації й визрівання сирної маси необхідно збагачення ретендату біфідогенними факторами (стимуляторами росту біфідобактерій). В якості біфідогенного фактора рекомендовано використовувати фруктозу в кількості 0,1 % [17, 50–56] при виробництві м'якого пробіотичного сиру з використанням композицій заквашувальних культур 1 або 2. Розчин фруктози готують на стерилізованому охолодженому до температури (37±1) °С пермеаті і дозують до ретендату при фасуванні в тару разом з розчинами заквашувальних культур і молокозсідального ферменту.

Після дозування ретендату з розчинами заквашувальних культур, фруктози (при необхідності) і молокозсідального ферменту в тару остання за допомогою спеціального транспортера подається в спеціальний горизонтальний тунель для зсідання ретендату. Температура в тунелі підтримується на рівні (37±1) °С. Тара з заквашеним ретендатом повільно рухається по стрічковому транспортеру вздовж тунелю і проходить його за 25–30 хв. За цей час відбувається зсідання ретендату. У виробництві м'яких пробіотичних сирів при зсіданні ретендату відбувається сичужна коагуляція.

Протягом перших 5–15 хвилин після внесення заквашувальних компонентів ніяких змін ретендату не відбувається. Потім в'язкість суміші різко підвищується, що свідчить про зміни стану білку. Відбувається сичужна коагуляція казеїну, білкові частинки починають укрупнюватися, з'являються мілкі пластівці, потім нижній згусток, який у подальшому ущільнюється. Тривалість зсідання ретендату складає 25–30 хв.

Існує декілька теорій сичужного зсідання. Найбільш розповсюджена – гідролітична теорія. В молоці існує три форми казеїну: α-, β- і κ-казеїн. За участі фосфату кальцію вони утворюють міцели казеїну. При цьому α-, β-казеїн і фосфат кальцію знаходиться всередині, а κ-казеїн розташований на поверхні міцели казеїну, тобто κ-казеїн утворює захисний шар і допомагає утримувати всю міцелу у розчині повністю. На 1-ій стадії коагуляції молокозсідальний фермент діє на міцелу на поверхні казеїнової міцели. Хімозин розщеплює молекулу κ-казеїну між 105 (фенілананін) та 106 (метіонін) амінокислотами. Частина κ-казеїну від 1 до 105 амінокислоти залишається зв'язана з міцелою казеїну, а частина від 106 до 169 амінокислоти (глікомакропептид) після відщеплення переходить у

плазму ретентату, тобто на першій стадії коагуляції міцела казеїну втрачає захисний шар своєї поверхні. При цьому к-казеїн розпадається на гідрофобний пара-к-казеїн і гідрофільний глікомакропептид. Глікомакропептид має високий негативний заряд і високі гідрофільні властивості. При його відщепленні знижується від'ємний заряд на поверхні міцел казеїну і частково порушується гідратна оболонка. Таким чином, колоїдна система ретентату втрачає свою стабільність. На другій стадії сичужної коагуляції в присутності достатньої кількості іонів кальцію міцели казеїну починають прикріплятися одна до другої кальцієвими містками, утворюючи ланцюжок казеїнових міцел (у класичній технології м'яких сирів необхідно додавання розчину хлориду кальцію для утворення щільного згустку, у розробленій інноваційній технології м'яких сирів ретентат містить достатню кількість іонного кальцію для утворення кальцієвих містків). При цьому утворюється трьохмірна структура казеїнового згустку і ретентат перетворюється на однорідну щільну масу, яка захоплює жирові кульки у сітку казеїнових міцел, тобто відбувається процес телеутворення.

Після виходу коробочок з продуктом горизонтального тунелю їх направляють на пакувальний автомат. Згусток, який утворюється в результаті сичужної коагуляції ретентату, дуже щільний, на його поверхню на пакувальному автоматі поміщається мембрана, на яку зверху дозується прокалена охолоджена кухонна сіль (кількість солі розраховують таким чином, щоб масова частка солі в м'яких пробіотичних сирах складала 1,5–2,0 %). Після цього на коробочку зверху накладається фольга, яка запаюється по периметру тари, потім коробочка накривається кришкою і здійснюється пакування. Упакований продукт маркують і подають на ферментацію.

Процес ферментації ретентату здійснюється в інкубаційній камері при температурі $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ до досягнення $\text{pH}=5,2$: при використанні заквашувальної композиції 1 – протягом 20 годин, при використанні заквашувальних композицій 2 і 3 – протягом 8 годин. При ферментації ретентату відбувається процес бродіння лактози лакто- й біфідобактеріями, в результаті якого накопичується молочна кислота (або суміш молочної й оцтової кислот при наявності в заквашуваній композиції монокультур *V. animalis Bb-12*), що призводить до зниження активної й підвищення титрованої кислотності продукту, а також до незначного виділення сироватки на поверхні білкової маси. Виділення сироватки сприяє кращій дифузії кухонної солі в середину сирної маси. Сіль повністю проникає в сирну масу після 2–3 діб визрівання.

Визрівання та зберігання м'яких сирів з пробіотичними властивостями

М'який сир після ферментації являє собою щільну масу злегка гумової консистенції, з кисломолочним смаком і ароматом, без специфічного сирного смаку і запаху, а також без рисунка. У процесі визрівання м'який сир перетворюється на поживний продукт високої харчової цінності. Визрівання є складним мікробіологічним, ферментативним та біохімічним процесом. У процесі визрівання змінюються всі складові частини сиру. Визрівання проводять у спеціальних приміщеннях – камерах визрівання.

При використанні будь-якої із заквашувальних композицій визрівання сирної маси здійснюють в одній камері при температурі $11\text{--}13^\circ\text{C}$ протягом 20 діб. Протягом перших 5-ти діб визрівання відбувається подальший розвиток мікрофлори в сирі, особливо це характерно для біфідобактерій, оскільки всередині сирної маси створюються анаеробні умови. Після 5-ти діб визрівання сирної маси частина лакто- й біфідобактерій відмирає, в результаті чого в сирну масу виділяються ендogenous ферменти (в тому числі, протеолітичні), які є значно активнішими, ніж екзогенні, тому після 5-тої доби визрівання в сирній масі активізується протеоліз білків. В результаті протеолізу білків під дією ендogenous і екзогенних ферментів біфідобактерій, мезофільних молочнокислих лактококів і паличок в сирній масі накопичуються амінокислоти, пептиди й пептони різної молекулярної маси, що обумовлює у зрілому сирі (через 20 діб) появу сирного присмаку. Слід зазначити, що більш виражений сирний присмак характерний для м'яких сирів, виготовлених з використанням заквашувальних композицій 2 і 3, що обумовлено наявністю в їх складі мезофільних молочнокислих лактококів і паличок, які мають високі протеолітичні властивості. В процесі визрівання сирної маси в ній також незначно знижується активна кислотність і наростає титрована, що обумовлює чистий, сирний, злегка кисломолочний смак і аромат м'яких пробіотичних сирів. В результаті часткового протеолізу білків консистенція сирної маси стає більш пластичною, а в середині головок сиру з'являються злегка приплюснуті вічка неправильної форми, що обумовлено використанням наливання при формуванні сиру.

Зберігання м'якого сиру з пробіотичними властивостями повинно здійснюватись при температурі $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ не більше 60 діб з моменту закінчення технологічного процесу (тобто, після охолодження сиру до температури зберігання – $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$), оскільки протягом цього терміну продукт має високі органолептичні показники, нормовані фізико-хімічні та мікробіологічні показники, а також характеризується високими пробіотичними властивостями (кількість життєздатних клітин пробіотичних культур протягом всього терміну зберігання перевищує вимоги нормативних документів (не менше $1 \cdot 10^6$ і $1 \cdot 10^7$ КУО/г для біфідобактерій і лактобацил відповідно).

4. Висновки

Розроблена інноваційна технологія м'яких сирів з пробіотичними властивостями і тривалим терміном зберігання, в основу якої покладена ферментація ретентату, отриманого при ультрафільтрації молока, збагаченого фруктозою, заквашувальними композиціями із біфідо- та/ або лактобактерій з підвищеними пробіотичними й протеолітичними властивостями з подальшим визріванням сирної маси.

Інноваційна технологія м'яких пробіотичних сирів апробована у виробничих умовах ТОВ «Білоцерківський молочний комбінат» (Україна); вона може бути впроваджена на зазначеному підприємстві без здійснення модернізації та реконструкції виробництва.

Виробництво м'яких сирів з пробіотичними властивостями дозволить ефективніше використовувати молочну сировину на молокопереробних підприємствах, прискори-

ти процес обороту коштів, а введення розроблених про- біотичних сирів в раціон харчування населення України сприятиме нормалізації мікробіоценозу шлунково-киш- кового тракту та процесу метаболізму в цілому.

Список літератури:

1. Шергина, И. А. Особенности производства мягких сыров / И. А. Шергина // Переработка молока. – 2009. – № 2. – С. 30–31.
2. Остроухова, И. Л. Мягкий сыр – это рентабельно / И. Л. Остроухова, В. А. Мордвинова, С. Г. Ильина // Сыроделие и маслоделие. – 2009. – № 2. – С. 11–13.
3. Probiotics for human health – new innovations and emerging trends / S. Grover, H. M. Rashmi, A. K. Srivastava, V. K. Batish // Gut Pathogens. – 2012. – № 4:15. – P. 1–15. doi:10.1186/1757-4749-4-15
4. Hazal, V. O. Properties of probiotics and encapsulated probiotics in food / V. Hazal Ozyurt, Semih Ötles // Acta Sci. Pol. – Bornova Izmir, Turkey, 2014. – № 13(4). – P. 413–424. doi:10.17306/J.AFS.2014.4.8
5. Каган, Я. Р. Сыры с пробиотической микрофлорой / Я. Р. Каган // Сыроделие и маслоделие. – 2009. – № 2. – С. 24–27.
6. Мироненко, И. М. Мягкие сыры. Ассортимент и технологические особенности / И. М. Мироненко, Д. А. Усатюк // Сыроделие и маслоделие. – 2015. – № 4. – С. 36–40.
7. Свириденко, Ю. Я. Инновационные разработки в области сыроделия / Ю. Я. Свириденко, В. А. Мордвинова // Сыроделие и маслоделие. – 2011. – № 3. – С. 17–19.
8. Остроумов, Л. А. Технологические особенности производства мягких сыров / Л. А. Остроумов, В. В. Бобылин, Н. В. Хуснуллина // Сыроделие и маслоделие. – 2010. – № 2. – С. 40–41.
9. Дидух, Н. А. Биотехнология мягкого бифидосодержащего сыра функционального назначения / Н. А. Дидух // Продукты & ингредиенты. – 2008. – № 2. – С. 78–82.
10. Кручек, О. А. Висока ефективність пастеризації – надійний спосіб отримання безпечного пастеризованого молока / О. А. Кручек, Т. А. Лисогор, Н. А. Дідух, Т. Є. Шарахматова // Аграрний вісник Причорномор'я. Економічні науки. Вип. 37. – Одеса : Імідж – Прес, 2007. – С. 166–170.
11. Чагаровський, О. П. Хімія молочної сировини: навч. пос. для студ. вищих навч. закладів / О. П. Чагаровський, Н. А. Ткаченко, Т. А. Лисогор; – Одеса: «Сімекс-прінт», 2013. – 268 с. ISBN 978-966-8788-79-6
12. Дидух Н.А. Зависимость показателей качества и выхода мягких бифидосодержащих сыров от состава синбиотических комплексов и режимов пастеризации молока // Продукты & ингредиенты. – № 4(46). – 2008. – С. 40–43.
13. Шаманова, Г.П. Культуры прямого заквашивания (DVS) в производстве ферментированных продуктов / Г.П. Шаманова // Молочная промышленность. – 1999. – № 3. – С. 16.
14. Технология молока и молочных продуктов: Учебник для студ. ВУЗов / Г. В. Твердохеб, З. Х. Диланян, Л. В. Чекулаева, Г. Г. Шилер. – М.: Агропромиздат, 1991. – 463 с.
15. Гудков, А. В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / А. В. Гудков. – М.: ДеЛи Принт, 2004. – 804 с. ISBN 5-94343-071-7
16. Скрипніченко, Д. М. Визначення протеолітичної активності заквашувальних композицій для виробництва м'яких пробіотичних сирів / Д. М. Скрипніченко // Харчова наука і технологія. – 2015. – № 2. – С. 34–38.
17. Дідух, Н. А. Заквашувальні композиції для виробництва молочних продуктів функціонального призначення / Н. А. Дідух, О. П. Чагаровський, Т. А. Лисогор. – Одеса: Поліграф, 2008. – 236 с. – ISBN 978-966-8788-79-6.
18. Скрипніченко, Д. М. Обґрунтування раціонального вмісту молокозсідального ферменту СНУ-МАХ у виробництві м'яких пробіотичних сирів / Д. М. Скрипніченко, Н. А. Ткаченко // Харчова наука і технологія. – 2014. – № 2(27). – С. 24–29.
19. Банникова, Л. А. Микробиологические основы молочного производства: Справочник / Л. А. Банникова, Н. С. Королёва, В. Ф. Семенихина; Под ред. Я. И. Костина. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
20. Храмов, А. Г. Технологическая платформа производства оригинальных мягких сыров / А. Г. Храмов // Переработка молока. – 2014. – № 8. – С. 44–48.
21. Ткаченко, Н. А. Обґрунтування параметрів ферментації молочної основи для виробництва м'яких пробіотичних сирів / Н. А. Ткаченко, Д. М. Скрипніченко // Науковий вісник ЛНУВМтаБ ім. С.З. Гжицького. – 2015. – № 1(61). – С. 107–116.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЭС ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Канюк Геннадий Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков

Мезеря Андрей Юрьевич,

кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков

Фурсова Татьяна Николаевна,

кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков

OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF LOW-POTENTIAL COMPLEXES OF TPP ON CRITERION OF MINIMUM ENERGY LOSS

Kanjuk G. I., doctor of technical sciences, professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy

Mezeria A.U., candidate of technical sciences, associate professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy

Fursova T.N., candidate of technical sciences, associate professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен круг радиофизических задач, которые могут быть эффективно решены численно в рамках строгих двухмерных моделей метода точных поглощающих условий. Это плоские (отсутствует зависимость от одной из пространственных декартовых координат) и аксиально-симметричные модели, позволяющие анализировать различные процессы излучения, распространения и рассеяния импульсных и монохроматических электромагнитных волн.

ABSTRACT

the task of optimization of operating modes of systems of low-potential complex (LPC) of thermal power plants on the criterion of minimum energy loss and the ways of its solution. The main technological parameters and external disturbances that affect the amount of energy loss in the LPC TPP. The mathematical model of the optimization of operating modes of the LPC on the criterion of minimum energy loss.

Ключевые слова: конденсатор, низкопотенциальный комплекс, электростанция, оптимизация, энергосберегающее управление.

Keywords: condenser, low-potential complex, power plant, optimization, energy-saving control.

Введение

Основным тепловым оборудованием ТЭС является система низкопотенциального комплекса (НПК), состоящая из конденсатора, эжекторов, циркуляционных и конденсатных насосов. Технологические параметры работы НПК оказывают значительное влияние на удельный расход топлива и себестоимость вырабатываемой тепловой и электрической энергии, определяя тем самым экономичность работы станции в целом. Так, по данным Запорожской АЭС, недовыработка электроэнергии на станции, вызванная плохими условиями теплообмена в конденсаторах составляет ежегодно порядка 1,5 млрд. кВт·ч. При себестоимости электроэнергии, стремящейся к 1 грн/кВт·ч, в денежном выражении это эквивалентно 1,5 млрд. грн. в год.

Удорожание органического топлива и физический износ оборудования приводят к необходимости выявления возможных резервов энергосбережения, их научного обоснования и интеграции энергосберегающих алгоритмов управления НПК в существующие АСУ ТП.

В работе [1, 42-44] изложен научный принцип энергосберегающего управления технологическими объектами и процессами, в котором параметр энергетических потерь

является отдельной функцией управления. Максимальная реализация энергосберегающего потенциала оборудования требует комплексного подхода, который включает в себя постановку задачи оптимизации эксплуатационных характеристик по критерию минимума энергетических потерь с соблюдением необходимых технологических ограничений.

Постановка задачи

Задача оптимизации эксплуатационных параметров блоков ТЭС в целом и отдельных его агрегатов сложная, т.к. приходится иметь дело с многопараметрической оптимизацией в условиях неполной информации [2, 210-225]. Целью энергосберегающего управления системой низкопотенциального комплекса в основных стационарных режимах работы является обеспечение заданных значений параметров конденсата на выходе из конденсатора и давления внутри него при минимальных суммарных потерях энергии.

Задачей данной работы является развитие принципов энергосберегающего управления технологическими объектами с целью снижения потерь и повышения уровня использования технологической информации в АСУ ТП, подсистемах экономического управления, на уровне САУ

и САР.

Результаты исследования

В качестве критерия оптимальности при создании энергосберегающей АСУ НПК может служить минимум суммарных энергетических потерь при поддержании необходимых параметров на заданном уровне, обусловленном технологическим процессом, показателями надежности, безопасности и др.

Тогда поиск оптимального энергосберегающего режима можно осуществить в результате решения следующей задачи:

$$\begin{cases} V = \Delta N; \\ \min_{X_{\text{вх}}^{\text{рег}}, R} \Delta N(X_{\text{вх}}, Y_{\text{вых}}, R, H, E); \\ R(X_{\text{вх}}, Y_{\text{вых}}, E) \geq 0; \\ H(X_{\text{вх}}, Y_{\text{вых}}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где:

$$V = \{ \Delta N_1 \dots \Delta N_N \} = \{ v_1 \dots v_N \} \quad (2)$$

– функция цели;

$$Y_{\text{вых}} = \{ y_{\text{вых} 1} \dots y_{\text{вых} W} \} \quad (3)$$

– выходные зависимые оптимизируемые параметры;

$$X_{\text{вх}} = \{ x_{\text{вх} 1} \dots x_{\text{вх} M} \} \quad (4)$$

– входные зависимые и независимые оптимизируемые параметры (регулируемые);

$$E = \{ \varepsilon_1 \dots \varepsilon_U \} \quad (5)$$

– внешние возмущения;

$$R = \{ r_1^{\text{min,max}} \dots r_K^{\text{min,max}} \} \quad (6)$$

– векторная функция ограничений-неравенств (включает ограничения снизу и сверху на такие зависимые параметры как расход острого пара на турбину, электрическая мощность турбоагрегата и др.);

$$H = \{ h_1 \dots h_L \} \quad (7)$$

– векторная функция ограничений-равенств, включает уравнения, описывающие технологические связи между элементами схемы, энергетические и материальные балансы элементов технологической схемы и др.

В основе математической модели лежит допущение, что все переменные, параметры, ограничения и целевая функция модели количественно измеримы. Задача на условный экстремум обычно имеет смысл, когда $K < M$. Именно в этом случае множество допустимых решений может содержать более одной точки [3, 209-225].

Из допустимой области исходной задачи выделяется подобласть, являющаяся окрестностью решения задачи. В пределах указанной области генерируются значения оптимизируемых параметров, вычисляются ограничения и значения измеряемых выходных параметров. Выбираются точки, в которых: выполняются ограничения; значения выходных параметров находятся в заданной окрестности решения; энергетические потери минимальны, т.е.:

$$\begin{cases} S = \{ x_{\text{вх} 1}^{\text{опт}} \dots x_{\text{вх} M}^{\text{опт}} \}; \\ V = \min \{ v_1 \dots v_N \}; \\ Y_{\text{вых}} = Y_{\text{вых}} \cdot R; \\ E = E. \end{cases} \quad (8)$$

Для решения задачи энергосберегающего управления математическую модель выходных параметров можно представить в виде зависимости:

$$\begin{aligned} Y_{\text{вых}} &= [X_{\text{вх}} A_{(Y_{\text{вых}}-X_{\text{вх}})} + C_{(Y_{\text{вых}}-X_{\text{вх}})}] + V + E = \\ &= X_{\text{вх}} A_{(Y_{\text{вых}}-X_{\text{вх}})} + C_{(Y_{\text{вых}}-X_{\text{вх}})} + \\ &+ [X_{\text{вх}} (A_{(V-X_{\text{вх}})} + A_{(V-E)}) + (C_{(V-X_{\text{вх}})} + C_{(V-E)})] \end{aligned} \quad (9)$$

где $A_{(i-n)}, C_{(i-n)}$ – коэффициенты линеаризации зависимостей соответствующих параметров, полученные в результате эксперимента, статистической обработки или теоретически. Они представляют собой суть взаимосвязей между входными, выходными и внутренними параметрами объекта управления, должны учитывать влияние возмущающих воздействий, старение оборудования и т.д. Параметры, как правило, имеют нелинейную зависимость, но в узком диапазоне изменений, обусловленном жесткостью ограничений, их можно принять линейными.

Формализация задачи оптимизации по минимуму энергетических потерь в НПК будет выглядеть следующим образом:

– функция цели: – входные и выходные параметры:

$$V = \begin{pmatrix} 1/N_{та} \\ \Delta N_{цн} (N_{цн}) \\ \Delta N_{кн} (N_{кн}) \\ \Delta N_{эж} (N_{эж}) \\ \Delta N_{\Sigma} \end{pmatrix}; \quad (10) \quad X_{вх}^{рег} = \begin{pmatrix} Q_{цв} \\ V_{к} \\ G_{эж} \\ G_{пп} \end{pmatrix}; \quad X_{вх}^{нрег} = \begin{pmatrix} D_2 \\ T_2 \\ T_{цв} \end{pmatrix}; \quad Y_{вых} = \begin{pmatrix} G_{к} \\ P_2 \\ T_{к} \\ P_{к} \end{pmatrix}; \quad (11)$$

– внешние возмущения: – ограничения на входные и выходные параметры:

$$E = \begin{pmatrix} \Delta T_{цв} \\ P_{цв} \end{pmatrix}; \quad (12) \quad R_{X_{вх}^{рег}} = \begin{pmatrix} Q_{цв}^{min} & Q_{цв}^{max} \\ V_{к}^{min} & V_{к}^{max} \\ G_{эж}^{min} & G_{эж}^{max} \\ G_{пп}^{min} & G_{пп}^{max} \end{pmatrix}; \quad R_{Y_{вых}} = \begin{pmatrix} G_{к}^{min} & G_{к}^{max} \\ P_2^{min} & P_2^{max} \\ T_{к}^{min} & T_{к}^{max} \\ P_{к}^{min} & P_{к}^{max} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Взаимосвязи между входными параметрами и функцией цели, входными и выходными параметрами, возмущениями и ограничениями определяются расчетным путем, либо путем аппроксимации экспериментальных характеристик. В результате составляются матрицы взаимосвязей:

$$A_{V-X_{вх}}, C_{V-X_{вх}}, A_{Y_{вых}-X_{вх}}, C_{Y_{вых}-X_{вх}}, \\ A_{V-E}, C_{V-E}, H_{X_{вх}}, H_{Y_{вых}} \quad (14)$$

Взаимосвязи параметров НПК, технологических ог-

раничений и внешних возмущений можно представить в виде графа на рис. 1.

В уравнениях (10)-(14) и на рис. 1:

ΔN – потери мощности, Вт; G – массовый расход жидкости, кг/с; D – массовый расход пара, кг/с; Q – расход жидкости, м³/с; V – скорость, м/с; P – давление, Па; T – температура, оК. Индексы: цв – циркуляционная вода; к – конденсат; эж – эжектор (эжектируемый пар); пп – промежуточный подогрев; та – турбоагрегат; цн – циркуляционный насос; кн – конденсатный насос; 2 – пар в конденсаторе.

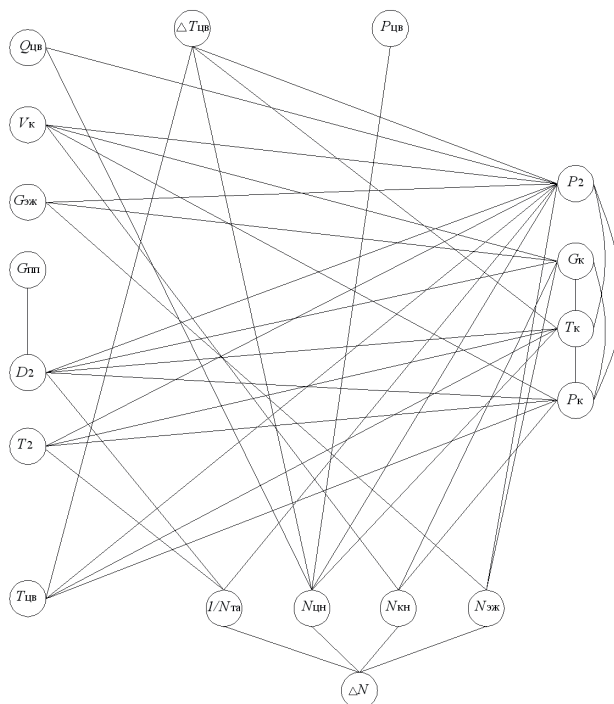


Рис. 1. Граф взаимосвязей параметров НПК

Практическая задача оптимизации работы НПК по минимуму энергетических потерь будет представлять собой нахождение значений параметров регулируемых величин,

при которых потери энергии будут минимальны (при фиксированном значении мощности блока), а также построение статических эксплуатационных регулировочных ха-

рактистик НПК во всём диапазоне нормальной работы.

Выводы

1) Предложен метод оптимизации режимов работы систем низкопотенциального комплекса электростанций по критерию минимума энергетических потерь, что позволит снизить потери энергии в нем и улучшить технико-экономические показатели работы энергоблока.

2) Поставлена формальная задача оптимизации и получены необходимые уравнения, необходимые для ее решения.

Список литературы: 1. Канюк Г.И. Общие принципы энергосберегающего управления технологическими объектами / Канюк Г.И. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –№ 3(46). –том 4. –2010. –С. 42-44. 2. Дуэль М.А. Развитие систем энергосберегающего автоматизированного управления энергопроизводством ТЭС и АЭС Украины / Дуэль М.А., Канюк Г.И., Мезеря А.Ю. –Харьков: Изд-во «Точка». –2013. –388 с. 3. Дуэль М.А.

Повышение эффективности энергосбережения при автоматизации энергопроизводства с использованием интегрированной АСУ ТЭС и АЭС. / Дуэль М.А., Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Бабенко И.А. –Харьков: Типография «Мадрид». –2014. –440 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kanyuk G.I. The general principles of energy-save management technological object / Kanyuk G.I. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies –№3(46) –V.4. –2010. –P. 42-44. 2. Duel M.A. The Development of the systems of energy-save automatic management energy production in TES and AES of Ukraine / Duel M.A., Kanyuk G.I., Mezerya A.Y. –Kharkov: Izd-in «Point» –2013. –388 p. 3. Duel M.A. Increasing to efficiency of energy-save at automations energy production with use integrated CAD TES and AES. / Duel M.A., Kanyuk G.I, Mezerya A.Y., Babenko I.A. –Kharkov: Printing house «Madrid». –2014. –440p.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ЗАПРОСАМИ К УЗЛАМ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОЛЛИНГА

Височиненко М.

Государственное заведение «Киевский колледж связи»,
Преподаватель, кандидат технических наук

Харлай Л.

Государственное заведение «Киевский колледж связи», преподаватель,
председатель комиссии «Информационные сети связи»

Федюнин С.

Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев
Директор учебно-научного института менеджмента и предпринимательства

Method of management by the hosts requests of wireless network with the use of polling method

Vysochinenko M., Kiev Colledg of Communication, Lecturer, Ph.D.

Kharlay L., Kiev Colledg of Communication Lecturer, Head of the Department «Information communication networks»

Fedyunin S., State University of Telecommunications, Kiev, Director of Training and Research Institute of Management and Entrepreneurship

АННОТАЦИЯ

При оптимизации параметров и структуры телекоммуникационных сетей в состав целевой функции входит большое количество основных и дополнительных параметров, от которых зависит качество сервиса QoS.

Для решения задач текущего управления сетями необходим системный подход. Критерии оптимизации ключевых параметров функционирования сети и текущего управления сетью неоднозначны и противоречивы. Учет этих противоречий и поиск компромиссных решений возможен при использовании статистических методов, согласования достоверности и детального анализа исходных данных с учетом физического смысла решаемых задач.

В этой статье предлагается рассмотреть математическую модель запросов к узлам беспроводной сети с использованием метода поллинга.

ABSTRACT

When optimizing parameters and structure of telecommunication networks of the objective function is a large number of basic and additional parameters that affect the quality of service QoS. To solve the current problems of network management required systematic approach. Criteria optimization of key parameters of the network and the current network management is ambiguous and contradictory. Taking into account these contradictions and the search for compromise solutions possible at the use of statistical methods, harmonization of authenticity and detailed analysis of the initial data, taking into account the physical meaning of tasks. In this article will propose the mathematical model of requests for items broadband wireless network using the method polling.

Ключевые слова: система поллинга, интенсивность потока, нестационарный поток запросов.

Keywords: polling system, the flow rate, the unsteady flow of requests.

Let's review the mathematical model of requesting broadband wireless network elements using polling [1]. Polling system consists of queues to M network elements. Every element receives a random request for data output of certain volume. Request receipt process is permanent and ergodic. Probability, that m element will receive more than one request at the same time, is considered to be the value of second order of smallness [2, 3].

In a servicing time $[t_i \dots t_i + \tau]$ of m element $\Psi_m(l_m)$ datasets can be sent. l_m stands for queue length in moment t_i ; Ψ_m stands for servicing discipline (cyclic, periodic based on polling table, random law, with priorities). Let's designate the probability of servicing, which makes up k requests for interval τ , as $p_{\tau k}$.

Let's formulate the conditions, which servicing disciplines should follow.

If there is another request for m element, when queue to the same element already contains $l_m - 1$ requests, they should be served by discipline FIFO (first in, first out) or FIFO with priorities. Serviced requests leave the system. Then the request to the next segment moves forward. It is considered that conditions $\Psi_m(1) = 1$ with probability $p_{\tau 1} = 1$ and $\Psi_m(l_m) \leq l_m$ with

probability $p_{\tau m} < 1$ are always executed.

May λ stand for average request rate on the observation interval, μ stand for average request servicing rate, and p_m stand for probability of request to hit the m element.

If $\lambda \left(\frac{1}{\mu} + \max_M \frac{p_m}{\Psi_m v_m} \right) < 1$ the queue length decreases;

if $\lambda \left(\frac{1}{\mu} + \max_M \frac{p_m}{\Psi_m v_m} \right) = 1$ the queue length converges to the stationary value;

if $\lambda \left(\frac{1}{\mu} + \max_M \frac{p_m}{\Psi_m v_m} \right) > 1$ the queue length in system increases to the infinite value so that queue will be filled.

In the last event the loss of requests may occur and then repeated request should be organized. v_m here stands for average amount of requests incoming to the m element on the observation interval.

Let's review the problem of queue length characteristic by non-stationary request rate. It is commonly known [4, 5], that

in such case conditions of ordinariness and after-effect absence are applied to the wide range of conditions. At the same time assumption concerning stationary is doubtful and obviously wrong.

Typical example of such process in informational and telecommunication networks is Triple Play traffic (voice, video and data) and Quadro Play traffic (voice, video, data and mobile subscribers). Traffic becomes more self-similar [4]: by general low (in average) rate on separate short-time observation intervals bursts of momentary traffic rate occur, that can exceed continuous average rate by a huge ratio.

To ensure stationary (or similar) support mode of queue length by non-stationary request rate we have developed the modified polling method with feedback, which parameters are determined not only by consequences of analysing value of general buffer volume flow, as well as by flow speed. We reviewed comprehensive, gateway and l-restricted servicing disciplines (detailed determination and classification of servicing disciplines are provided in the work [6]). Model of polling system with periodical inquiry of station nodes is developed in the work [1]. Model structure is represented on fig 1.1.

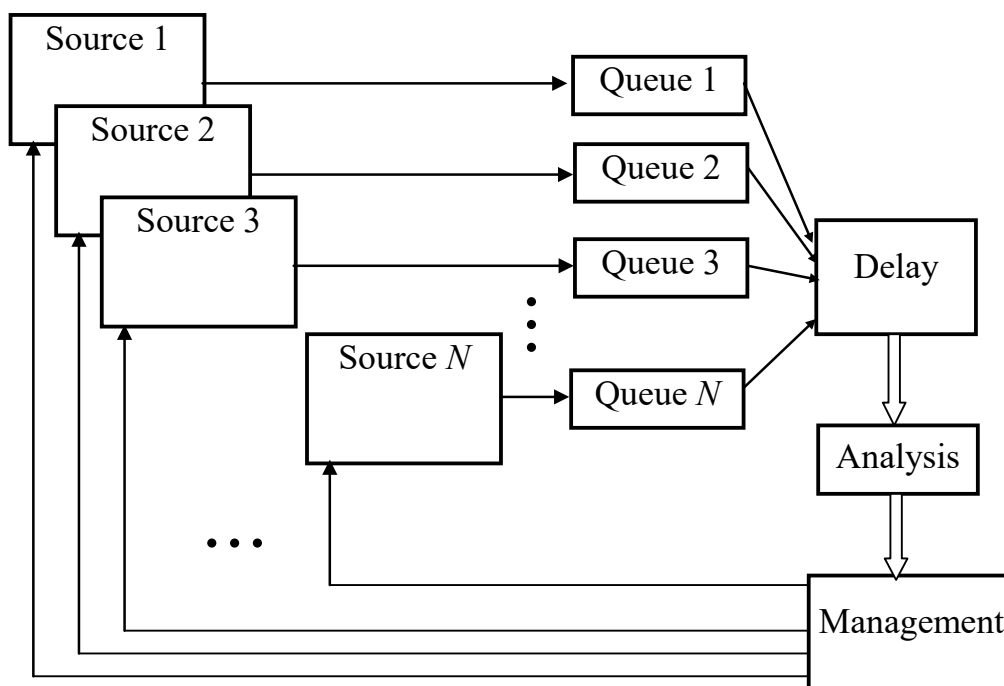


Fig 1.1: model of polling system with periodical inquiry and restricted comprehensive servicing, and feedback by speed of buffer flow.

Servicing system is asymmetrical. Signal and management information is received with delays, which in general are different for every serviced element. Such model is described using system of differential-difference equations (equations with rejected argument [7, 8]).

To simplify the problem and obtaining of asymptotic values let's suppose, that management system can be described using linear differential equations with constant coefficients on observation interval and accuracy acceptable for this object:

$$y'_{asi}(t) = b_i y_{asi}(t - \tau_i) + u_i(t - v_i) + \xi_i(t) \quad (1.1)$$

It is considered [8], that method of approximation of differential equations using difference equation is especially efficient for equations with rejected argument.

Let's write difference equation with first-order differences for initial equation (1.1) without additive noise in observations:

$$\frac{y_{asi}(t) - y_{asi}(t - \Delta t)}{\Delta t} \approx b_i y_{asi}(t - k\Delta t) + u_i(t - m\Delta t) \quad (1.2)$$

where Δt stands for elementary interval, $k\Delta t = \tau_i$ stands for delay of information concerning object status, $m\Delta t = v_i$ stands for delay of control signal.

In this problem it is reasonable to make the elementary

interval Δt equal to packages incoming period T_p to the management system. Incoming packages contain information about network parameters and status. In general the delay of control signals is not equal to the delay of informational signals.

The equation (1.2) for normalized elementary interval $\Delta t/T_p = 1$ will be of such form:

$$y_{asi}(n) \approx y_{asi}(n-1) + b_i y_{asi}(n-k) + u_i(n-m), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1.3)$$

If we will execute z-transformation (1.3), we will get expression for system function of discipline parameters management system for servicing of station nodes:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - b_i z^{-k}} \quad (1.4)$$

As a result if polling system with feedback by speed for organization of requests in network is used, stationary mode for support of queue length can be applied by non-stationary request rate as well.

In this work the mathematical model of requests for items broadband wireless network using the method polling. To ensure patient (or close to it) exposure mode queue length at unsteady flow of requests in Article polling proposed a

modified method of feedback parameters are determined not only by the results of the analysis of the completed value of the total volume of buffer, but the rate of filling.

Considered comprehensive, gateway and I-limited discipline Service (detailed definition and classification of subjects in the maintenance data. Also work the model polling periodic survey of terminal nodes.

Literature

1. Vysochynenko M.S. / Vysochynenko M.S., Khalimon N.F. (April 22-25, 2014), Upravlenie zaprosami k stantsiyam besprovodnoy seti [Management of requesting wireless network stations], 8th International Scientific-Technical Conference "Problems of telecommunications", National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", p. 28.
2. Toroshanko Ya.I. / Toroshanko Ya.I., Hrushevska V.P., Shmatko V.S., Vysochynenko M.S. (2014), Klyuchovi parametry efektyvnosti bezprovodovykh telekomunikatsiynykh merezh ta metody yikh identifikatsiyi [Main efficiency parameters of wireless telecommunication networks and their identification methods], Scientific notes of Ukrainian research institute of communication, No. 4 (32)
3. Vysochynenko M.S. (2015), Upravlenie zaprosami s pereklyucheniyami k stantsiyam besprovodnoy seti [Request management with switch to wireless network stations], Telecommunication and informational technologies, No. 1, pp. 73-76.
4. Stallings W., High-speed networks and internets: performance and quality of service. – New York, NY. – Prentice Hall, 2002. – 715 pp.
5. Hnedenko B.V. / Hnedenko B.V., Kovalenko I.N. (1987), Vvedenie v teoriyu massovoho obsluzhivaniya [Fundamentals of mass service theory], Nauka, 336 pp.
6. Vyshnevskiy V.M. / Vyshnevskiy V.M., Lyakhov A.I., Portnoy S.L., Shakhnovych I.V. (2005), Shyrokopolosnye besprovodnye seti peredachi informatsii [Broadband networks for information transfer], Moscow, Tekhnosfera, 592 pp.
7. Elsholz L.Ye. / Elsholz L.Ye., Norkin S.B. (1971), Vvedenie v teoriyu differentsialnykh uravneniy s otklonyayushchim argumentom [Fundamentals of theory on differential equations with rejected argument], Moscow, Nauka, 296 pp.
8. Bellman R. / Bellman R., Kuk. K. (1967), Differentsialno-raznostnyye uravneniya [Differential-difference equations], Moscow, Mir, 548 pp.

ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ ПЛАНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИМИТАЦИИ ОТЖИГА И БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА

Н.Д. Кошевой

Национальный Аэрокосмический
Университет им. Н.Е Жуковского «ХАИ»,
Доктор Технические Наук, Профессор,
Факультет Систем Управления
Летательными Аппаратами

З.Э. Чистикова

Национальный Аэрокосмический
Университет им. Н.Е Жуковского «ХАИ»,
Аспирант, Факультет Систем Управления
Летательными Аппаратами

А.В. Бельмега

Национальный Аэрокосмический
Университет им. Н.Е Жуковского «ХАИ»,
Магистр, Факультет Систем Управления
Летательными Аппаратами

OPTIMIZATION OF THE EXPERIMENT MULTIFACTOR DESIGN USING THE SIMULATED ANNEALING METHODOLOGY AND THE NEAREST NEIGHBOR

Koshevoy N.D., National Aerospace Zhukovsky M. Ye. University "Kharkiv Aviation Institute", Doctor of Engineering Science, Professor, Flight Control System Faculty

Chistikova Z.E., National Aerospace Zhukovsky M. Ye. University "Kharkiv Aviation Institute", Postgraduate Student, Flight Control System Faculty

Belmega A.V., National Aerospace Zhukovsky M. Ye. University "Kharkiv Aviation Institute", Magister, Flight Control System Faculty

АННОТАЦИЯ

Разработаны методы поиска оптимального или близкого к оптимальному по стоимости реализации многофакторного плана эксперимента и реализующее их программное обеспечение. Проведено сравнение выигрышей в стоимостных и временных затратах, полученных методами имитации отжига и ближайшего соседа.

ABSTRACT

There were developed searching methods of optimal and nearly optimal according to the value of implementation of the experiment multifactor design and the software for their realization. There was made comparison of wins in cost and time expenditures obtained by simulated annealing methodology and the nearest neighbor.

Ключевые слова: оптимизация, планирование эксперимента, алгоритм имитации отжига, алгоритм ближайшего соседа, метод.

Keywords: optimization, experiment design, simulated annealing methodology, nearest neighbor. methodology, method.

Постановка проблемы. Для решения задач оптимизации различных технологических процессов применяются методы планирования эксперимента [1–6], в ходе которого возникает проблема построения математических моделей. При этом естественно желание экспериментаторов получать данные модели в оптимальные временные промежутки и с минимальными стоимостными затратами.

Анализ последних исследований и публикаций. В современной научной литературе представлено множество работ, посвященных методам поиска оптимальных планов эксперимента: анализ перестановок [7], случайный поиск [7], метод ветвей и границ [7, с. 32-39], жадный алгоритм [8, с. 29-37] и др. Анализ перестановок дает точный результат, однако, необходимость перебора большого количества вариантов требует значительных объемов вычислений и много времени. Другие методы являются приближенными, они не гарантируют точность результата, а объем вычислений остается довольно большим.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. На сегодняшний день, остается задача разработки метода поиска оптимального по стоимостным и временным затратам плана эксперимента, обладающего более высокими показателями быстродействия. Целесообразно, например, рассмотреть применение алгоритмов имитации отжига и ближайшего соседа для решения этой задачи.

Цель статьи. Разработка методов поиска оптимизированных по стоимости реализации планов многофакторного эксперимента, основанных на использовании алгоритмов имитации отжига и ближайшего соседа, а также реализующего их программного обеспечения.

Изложение основного материала. Для решения вышеуказанной проблемы предложен метод, базирующийся на применении алгоритма имитации отжига [9, с. 103-106], и реализующая его программа.

Схема алгоритма программы поиска оптимальных планов представлена на рис. 1, сущность его применения за-

ключается в следующем.

Шаг 1. В начале работы программы осуществляется ввод количества факторов k .

Шаг 2. Построение матрицы планирования эксперимента исходя из количества факторов.

Шаг 3. Для каждого из факторов необходимо ввести значения стоимостей или временных затрат переходов между уровнями.

Шаг 4. Происходит построение промежуточной матрицы-массива. При этом заданы значения стоимостей или затрат времени при переходе с одного опыта на другой.

Шаг 5. Расчет стоимостных или временных затрат для начального плана эксперимента.

Шаг 6. Происходит вычисление степени сканирования row по формуле: $row = 106^{\text{«степень»}}$, где «степень» – введенное число с клавиатуры.

Шаг 7. Производится перебор перестановок. Для перехода к шагу 8 необходимо, чтобы их было меньше, чем сте-

пень сканирования row. В противном случае выполняется шаг 15.

Шаг 8. Происходит генерация двух чисел X, Y в случайном порядке. Числа генерируются в пределах от k до $2k$.

Шаг 9. На основе ранее случайно сгенерированных чисел выполняется перестановка в плане эксперимента опытов X, Y .

Шаг 10. Рассчитываются стоимостные или временные затраты для текущего плана эксперимента.

Шаг 11. Сравниваются стоимостные или временные затраты при текущем плане эксперимента и при начальном. Если эти затраты меньше при начальном плане, то происходит переход к шагу 14, в противном случае выполняется шаг 12.

Шаг 13. Сохраняется план, стоимостной или временной минимум которого был только что установлен, как оптимальный.

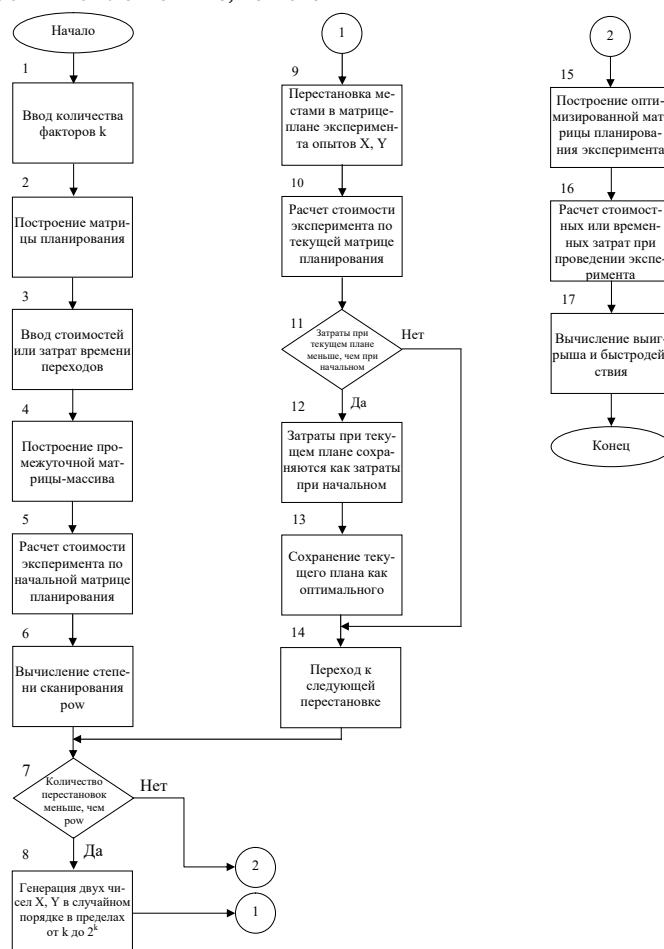


Рис. 1. Схема применения алгоритма имитации отжига

Шаг 14. Осуществляется переход к следующей перестановке, то есть повторяется шаг 7.

Шаг 15. Выполняется построение оптимизированной матрицы планирования эксперимента. Затраты при данном плане будут наименьшими.

Шаг 16. Вычисляются временные или стоимостные затраты при реализации данного оптимизированного плана эксперимента.

Шаг 17. Рассчитывается время, затраченное на оптими-

зацию плана эксперимента.

Недостатком данной программы есть то, что при одних и тех же данных результаты оптимизации могут не совпадать из-за использования случайной генерации чисел X, Y . Данные числа могут быть различны с числами, сгенерированными при первоначальной работе алгоритма, соответственно, и результат оптимизации будет отличаться. Также алгоритм имитации отжига эффективно применять при небольшом количестве факторов $2 < k < 5$. В случае уве-

личения количества факторов быстродействие программного обеспечения будет уменьшаться.

Рассмотрим применение алгоритма ближайшего соседа, схема которого показана на рисунке 2. Согласно предложенному методу поиск оптимального плана многофакторного эксперимента осуществляется в следующем порядке.

Шаг 1. В начале работы вводится количество факторов k .

Шаг 2. Рассчитывается количество опытов по формуле: $N=2k$.

Шаг 3. После расчета количества опытов происходит

построение начальной матрицы планирования эксперимента в зависимости от выбранного количества факторов.

Шаг 4. Производится ввод стоимостных или временных затрат переходов между уровнями для каждого фактора.

Шаг 5. Вычисляется стоимость эксперимента по начальной матрице планирования.

Шаг 6. После расчета стоимости эксперимента по начальной матрице создается новая матрица планирования, в которой первый опыт совпадает с первым опытом начальной матрицы, а далее добавляются другие опыты по алгоритму ближайшего соседа.

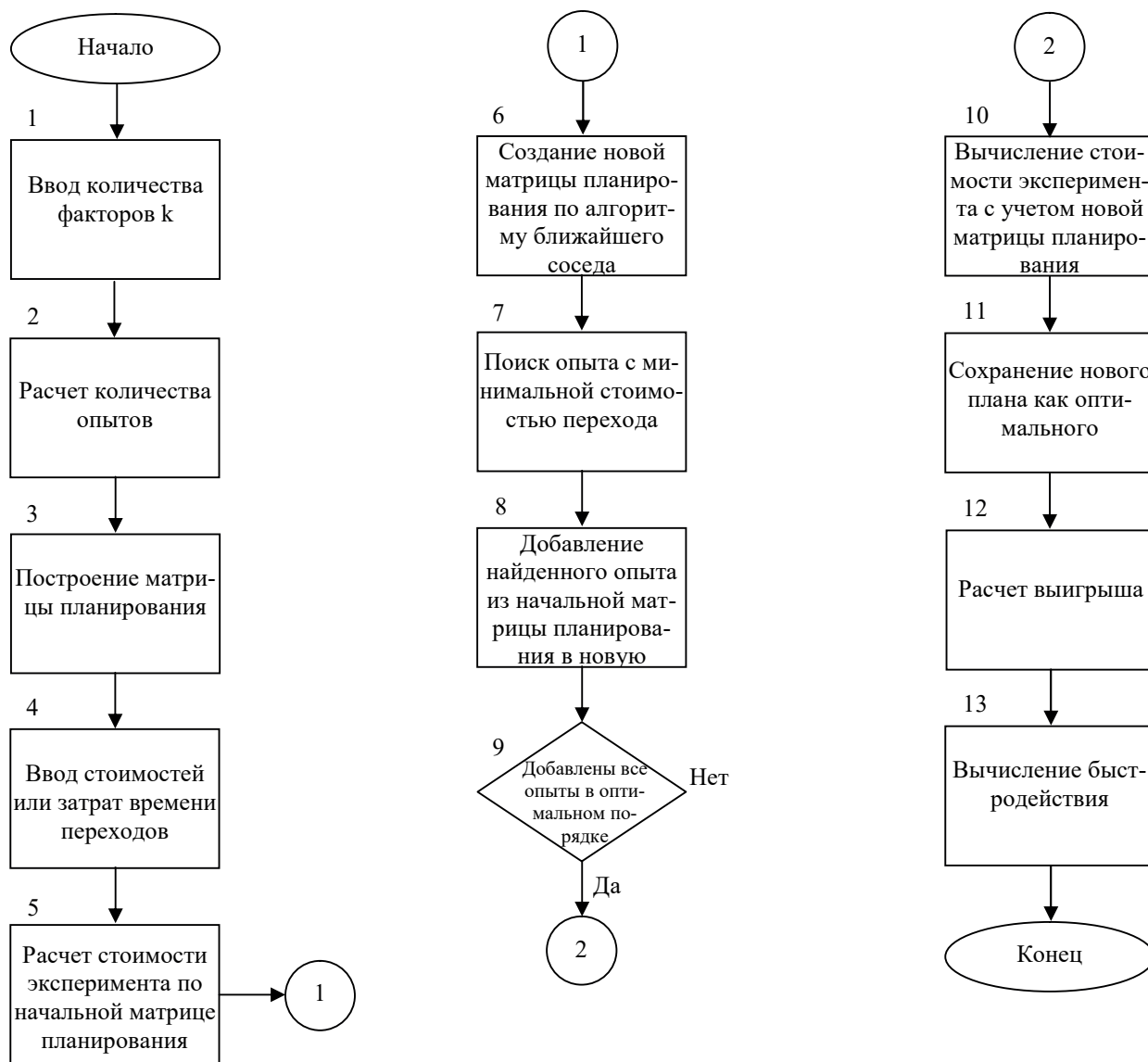


Рис. 2. Схема применения алгоритма ближайшего соседа

Шаг 7. Происходит перебор всех оставшихся опытов начальной матрицы, которые еще не добавлены в новую матрицу, в поисках опыта, стоимость перехода к которому от предыдущего будет минимальной.

Шаг 8. После нахождения опыта с минимальной стоимостью перехода от предыдущего он добавляется в новую матрицу планирования.

Шаг 9. Если добавлены все опыты из начальной матри-

цы в новую в оптимальном порядке, то выполняется шаг 10. В случае, если еще не все опыты добавлены в новую матрицу, то происходит переход к шагу 7.

Шаг 10. Вычисление стоимости эксперимента с учетом новой матрицы планирования.

Шаг 11. Сохранение нового плана как оптимального.

Шаг 12. Рассчитывается выигрыш стоимостных или временных затрат при реализации данного оптимизиро-

ванного плана эксперимента.

Шаг 13. Определяется время, затраченное на оптимизацию плана эксперимента.

Был проведен сравнительный анализ программного обеспечения, основанного на применении метода ближай-

шего соседа, с программой поиска оптимальных планов эксперимента, основанной на использовании метода имитации отжига. Объектами исследования являлись различные технологические процессы с количеством факторов от 3 до 5. Результаты сравнения приведены в таблице.

Таблица

Сравнение результатов оптимизации планов экспериментов методами имитации отжига и ближайшего соседа

Объект исследования	Выигрыш в стоимостных (у.е.) или временных (мин.) затратах	
	Метод имитации отжига	Метод ближайшего соседа
Весомизмерительная система (k=3)	1,61	1,58
Обслуживание комплекса технических систем (k=5)	1,98	6,97
Исследование устройства для контроля качества диэлькометрических материалов (по энергопотреблению) (k=4)	1,23	1,38
Исследование устройства для контроля качества диэлькометрических материалов (по точности) (k=4)	1,12	1,39
Тестовый пример комбинаторного плана много-факторного эксперимента (k=4)	3,50	5,19

На основании представленных данных видно, что при увеличении количества факторов программное обеспечение с использованием метода ближайшего соседа позволяет получить больший выигрыш по стоимостным или временным характеристикам. Также, необходимо отметить, что поиск оптимального или близкого к оптимальному плана осуществляется за значительно меньшее время, например, при просчете тестового примера комбинаторного плана методом имитации отжига время составляет 0,422 с, а методом ближайшего соседа – всего 0,039с.

Выводы. Предложены методы поиска оптимального по стоимости реализации многофакторного плана эксперимента. Для автоматизации процесса поиска разработано программное обеспечение.

Проведено сравнение результатов оптимизации двумя методами: имитация отжига и ближайший сосед. Показано, что программа, базирующаяся на применении алгоритма ближайшего соседа имеет более высокий показатель быстродействия и выигрыша по стоимости реализации многофакторного плана эксперимента.

Ссылки:

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 286 с.
2. Сидняев Н.И. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособ. / Н.И. Сидняев, Н.Т. Вилисова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 463 с.

3. Алибеков А.К. Практика применения планирования эксперимента: для инженеров и научных работников: моногр. / А.К. Алибеков, М.А. Михелев. — Махачкала: ДГТУ, 2013. – 126 с.

4. Блинова Е.И. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособ. / Е.И. Блинова. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2010. – 130 с.

5. Никитин О.Р. Теория планирования экспериментальных исследований / О.Р. Никитин. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2012. – 94 с.

6. Порсев Е.Г. Организация и планирование экспериментов: учеб. пособ. / Е.Г.Порсев. – Новосибирск: Новосибир. гос. техн. ун-т, 2010. – 128 с.

7. Кошевой Н.Д. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: моногр. / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко. – Полтава: издатель Шев-ченко Р.В., 2013. – 317 с.

8. Кошевой Н.Д. Применение жадного алгоритма для оптимизации многофакторных планов эксперимента / Н. Д. Кошевой, А. В. Бельмега // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шев-ченка. – 2014. – Вип. 47. – С. 29-37.

9. Кошевой Н. Д. Применение алгоритма имитации отжига для оптимизации много-факторных планов эксперимента / Н. Д. Кошевой, А. В. Бельмега, З. Э. Чистикова // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 6. – С. 103-106.

BIOLOGIA | БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

ФОРМУВАННЯ ТА РОЗИТОК СУЦВІТЬ У РОСЛИН РОДИНИ BRASSICACEAE НА ПРИКЛАДІ MATTHIOLA LONGIPETALA (VENT.) DC

Березенко Катерина Сергіївна,

Луганський національний аграрний університет (м. Харків),
викладач кафедри екологічної безпеки та життєдіяльності людини

FORMATION AND DEVELOPMENT OF INFLORESCENCES IN THE PLANT FAMILY BRASSICACEAE FOR EXAMPLE MATTHIOLA LONGIPETALA (VENT.) DC

Berezenko K.S., Luhansk National Agrarian University (Kharkiv), lecturer in environmental safety and human life

АНОТАЦІЯ

З'ясовано процеси формування, розвитку та терміналізації суцвіття з метою створення сучасного уявлення про типологію суцвіття в родині Brassicaceae. Створено методику вирощування одного з представників родини, методику виготовлення постійних препаратів ювенільних органів рослин, вивчено особливості анатомічної структури суцвіть.

ABSTRACT

Studied the development of inflorescences representative of the Brassicaceae plants *Matthiola longipetala*, conducted morphological and anatomical analysis using developed methods. Found out the processes of formation, development and terminalization blossoms to create the modern idea of the typology of inflorescences in the Brassicaceae. A method of growing one of the members of the family, method of making permanent preparations of juvenile plants, studied the anatomical features of the structure of inflorescences.

Ключові слова: суцвіття, меристема, приквітники, термінальна квітка, Brassicaceae, анатомічна будова, постійні препарати.

Keywords: inflorescence meristem, bracts, terminal flower, Brassicaceae, anatomy, permanent preparations.

У певний період свого життя рослина утворює репродуктивні органи або органи статевого розмноження. У покритонасінних Magnoliophyta — це квітки, з яких надалі формуються плоди і насіння. У більшості випадків, квітки виникають на кінцях пагонів, які складаються у різноманітні групи, що мають назву суцвіття.

Для родини Brassicaceae характерні верхівкові китицеподібні або щиткоподібні (*Iberis carnosa* Willd.), звичай (або за рідкісним винятком, як у *Rorippa x ancercs* (Wahlenb.) Reichenb) безлисті суцвіття.

За кількістю квіток у суцвітті представники родини Brassicaceae дуже різняться. Серед них зустрічаються види з поодинокими квітками (*Solmslaubachia carnosifolia* Z.X. *Solmslaubachia ramirica* Z.X.), малокутків (з двома, трьома квітками — *Aubrieta cultorum* Bergmans) і багатоквітковими суцвіттями (*Brassica rapa* L., *Lobularia maritima* (L.) Desv., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl та інш.) з різноманітною щільністю [5, 6, 8, 10].

Морфологічний аналіз рослин на підставі типології, генезису, диференціального зростання, фізіології, гомології і філогенії є взаємодоповнюючими науковими напрямками.

Для створення сучасної уяви про типологію суцвіття в родині Brassicaceae необхідно вивчити біологічні особливості окремих представників, провести морфолого-анатомічний аналіз суцвіть з використанням певних методик та скласти типологізацію суцвіть.

Наприкінці XX — початку XXI століття значно зріс інтерес ботаніків до питань структури суцвіть (Кузнецова, 1991, 1992; Кондорська 1989; Федорова, 2006; Харченко та ін.) [9, 14, 15].

Незважаючи на велику зацікавленість систематиків і морфологів представниками даної родини, роботи, що були присвячені вивченню морфології та анатомії суцвіть Brassicaceae, нечисленні. Безліч існуючих систем опису та класифікації суцвіть, багатозначність трактування деяких термінів і понять, зокрема, різна інтерпретація цимозних і рацемозних суцвіть, термінальної квітки, наявності приквітників (брактей) та приквітничків (брактеолей) (Philipson, 1953; Тахтаджян, 1966; Кузнецова, 1985 та ін.) зумовили необхідність вивчення структури суцвіття у представників родини Brassicaceae [9, 11, 12].

Динаміка розвитку суцвіття регулює репродуктивну здатність рослини, оскільки остання визначається за кількістю квітів. Матеріали, які були отримані при дослідженні суцвіть Brassicaceae, необхідні для узгодження даних морфологічних і нових молекулярно-філогенетичних досліджень, а також можуть бути використані при вивченні систематики і філогенії даної родини. Особливості розгалуження суцвіть і розташування квіток, характер листкоподібних утворень, довжина осей і квітконіжок успішно використовуються при складанні визначників рослин. Різні методи і підходи до вивчення суцвіть дозволяють провести різнобічний аналіз морфології суцвіть Brassicaceae та виділити їх основні типи, а також з'ясувати шляхи їх трансформації.

Матеріали та методи досліджень

Для досягнення поставлених завдань були використані методи спостереження за формуванням і розвитком структури суцвіть у об'єкта дослідження, метод порівняння отриманих результатів спостережень із вже відомими

даними по іншим представникам родини.

Експериментально було створено методику вирощування *Matthiola longipetala* (Vent.) DC, методику виготовлення постійних препаратів ювенільних органів рослин, вивчено особливості морфолого-анатомічної структури суцвіть. Кількісні ознаки, що характеризують морфологічні особливості структури суцвіть були оброблені з використанням математичних методів [3, 16].

Matthiola longipetala (Vent.) DC. є зручним об'єктом для дослідження за ростом та розвитком суцвіття, для анатомічних досліджень, також легко культивується у лабораторних умовах.

Насіння для культивування цих рослин нами було отримане з Національного центру генетичних ресурсів України.

Рослини *M. longipetala* вирощували та досліджували як у лабораторії світлокультури кафедри біології рослин Луганського НАУ, так і у природних умовах на дослідній ділянці Навчально-наукового виробничого аграрного комплексу Луганського НАУ «Колос» протягом 2009 - 2014 років.

Аналіз суцвіть на рослинах проводили поетапно, із урахуванням фаз розвитку елементів пагону, враховуючи комплекс морфолого-анатомічних та фізіологічних особливостей, а саме: квітки у складі суцвіття розвиваються раніше, ніж на бокових пагонах, довжина міжвузлів, частіше за все, скорочується, але перше міжвузля залишається видовженим.

Результати досліджень та їх обговорення

Matthiola longipetala (Vent.) DC є типовим представником родини Brassicaceae Burnett. Вид широко розповсюджений на території України, використовується як культурно-декоративна рослина.

Дорослі рослини *M. longipetala* досягають висоти 20 — 40 см, стебло тонке, опушене зірчастими волосками (з домішкою залозистих). Листорозташування чергове. Листя вузьке, видовжене, близько до ланцетоподібного, виїмчато-зубчасте (іноді пір'ястороздільне) з прилистками довжиною 2 — 2,5 мм [13].

Суцвіття китицеподібне, квітки мають вкорочені квітконіжки, в основі яких розташовуються парні приквітнички (брактеолі), довжиною 1 — 2 мм [17]. Чашолистки довжиною близько 10 мм, опушені притиснутими зірчастими трихомами; пелюстки лінійні, розширені догори, довжиною 20 — 25 мм блідо-бузкові з жовтуватими прожилками; тичинки чотири довгі, дві короткі, між тичинками розташовуються чотири нектарники; стручки циліндричні, злегка горбкуваті, довжиною 50 — 60 мм, шириною 2,5 — 3

мм, опушені зірчастими трихомами (зазвичай з домішкою залозистих); приймочка при основі має два гострі шилоподібні ріжки довжиною 3 — 8 мм, у зв'язку з чим рослина має також другу назву — *Matthiola bicornis* — матіола дворога.

Згідно зі спостереженнями, було встановлено, що проростки *M. longipetala* з'являються на 6 – 8 день після висівання їх у чашки Петрі. На стадії сім'ядольних листків апекс пагону представлений верхівковою меристемою, яка формує листкові горбки. Перехід до фази утворення пари справжніх листків відбувається на 10 – 12 день [16].

Результати анатомічних досліджень показали, що закладка меристеми суцвіття у рослин *M. longipetala* відбувається у фазі формування 5 – 7 справжніх листків. Вона має вигляд конуса, що складається з горбків, які, в подальшому будуть утворювати частини суцвіття.

На стадії 8 – 10 справжніх листків на верхівці головного пагона формуються квіткові бутони, які потім стають морфологічно помітними у фазі 12 – 13 листків. Суцвіття, що утворилося, при цьому являє собою скупчення квіткових бутонів, що розташовуються спірально, при цьому кут дивергенції між бутонами становить 60 градусів.

Розпускання квіток на вісі суцвіття відбувається знизу вгору (акропетально). У суцвітті може формуватися від трьох до десяти квіток, розташованих на вкорочених квітконіжках, в основі яких знаходяться парні листкоподібні структури, відмінні за своїми анатомо-морфологічними характеристиками від стеблових листків — приквітнички (брактеолі)

За гістологічними препаратами, які були отримані на різних фазах розвитку суцвіття, було встановлено, що черговий квітковий горбок закладається в основі квітконіжки бутона, який розвинений в суцвітті в найменшому ступені. У процесі його подальшого зростання і розвитку відбувається пресування раніше сформованих квіток у латеральне положення.

Морфологічно процес формування суцвіття диференціюється після утворення рослиною 9 – 11 листків, коли на вершині пагону стає помітним бутон, який займає верхівкове положення. Надалі, у його основі формується друга і третя квітка, які відрізняються одна від однієї розмірами (рис. 1 – а, б, в). У процесі розвитку суцвіття відбувається не тільки збільшення кількості квіток у суцвітті, але й швидке видовження вісі самого суцвіття, що обумовлено проліферацією і збільшенням клітин субапикальних тканин, або «меристеми первинного росту», яка в свою чергу, є похідною апікальної меристеми, що активно працює [7]. При цьому, раніше сформовані квітки виявляються в основі суцвіття, а найбільш молоді — поблизу апексу.



Рис. 1 Формування та розвиток головного квітконосного пагону *Matthiola longipetala* (Vent.) DC

1 – 4 квіткові бутони в порядку їх формування, 5—приквітники

віття *M. longipetala*, з якого можна побачити, що розвиток суцвіття починається з верхівкової квітки (рис. 2 – Б), яка формується на верхівці головного квітконосного пагону.

На рис. 2 послідовно представлений морфогенез суц-

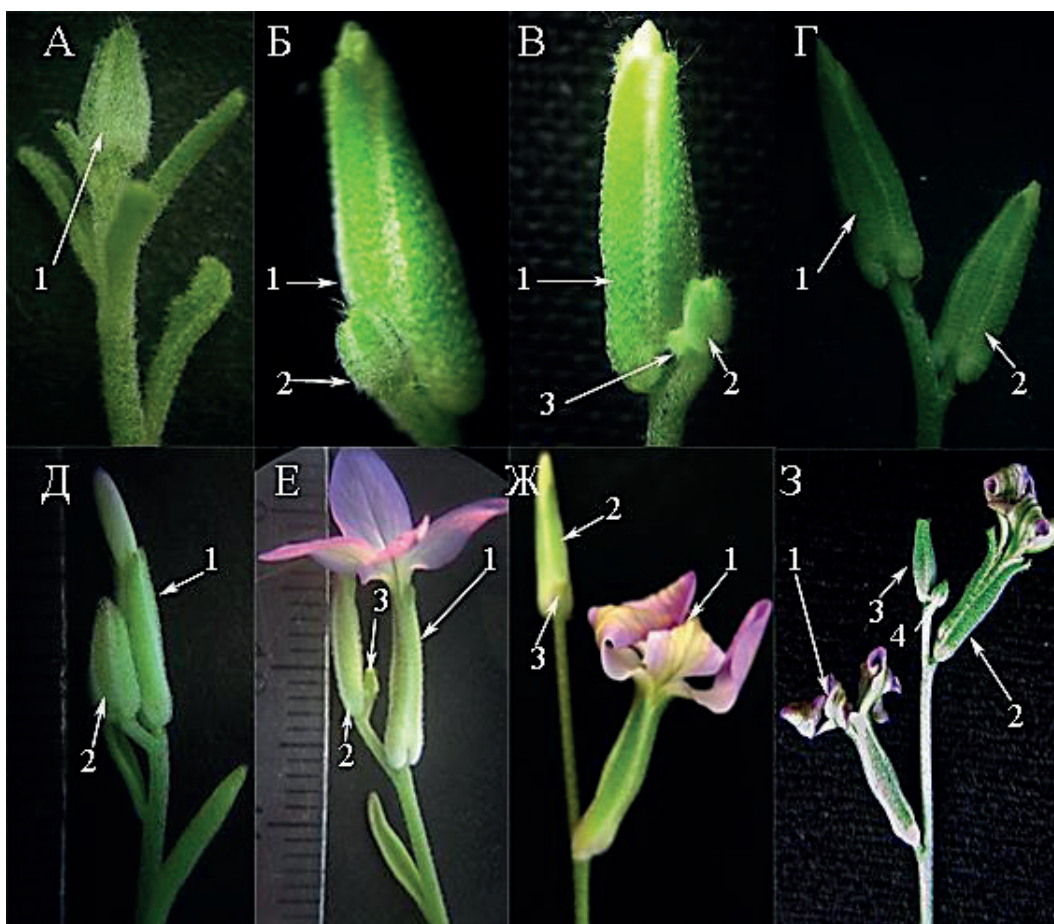


Рис. 2. Морфогенез суцвіття у рослини *Matthiola longipetala* (Vent.) DC

1 — 4 квіткові бутони на верхівці суцвіття в порядку їх формування

Розвиток суцвіття у рослин *M. longipetala* починається з формування верхівкової квітки, під якою закладається новий бутон (рис. 2. – А, Б – 1, 2). Потім в основі другого

бутону утворюється третій і так далі.

З часом, перший бутон переходить у бічне положення, а бутон, який розташовувався нижче, — у верхівкове (рис. 2 – Г, Д), і під ним знову формується новий бутон (рис. 2. – Д). Таким чином, відбувається зміна положення квітки на верхівці квітконосного пагону (рис. 2 – А, З).

Квітки на вісі суцвіття розташовуються почергово (по спіралі), кут дивергенції між ними, в середньому, становить $120 \pm 20^\circ$.

Морфогенез суцвіття рослини *M. longipetala*, який представлено на рис. 2 свідчить про процес переростання верхівки в процесі розвитку.

На верхівці квітконосного пагону розташовується меристема, з якої розвивається суцвіття. При переході рослини до репродуктивної стадії апікальні меристеми стають від невизначеного зростання до детермінованого, оскільки утворення квітки, зазвичай, є заключним етапом розвитку апекса. На рис. 3 послідовно представлені перетворення верхівкової меристеми при формуванні суцвіття.

На рис. 3 – А в оточенні зародкових стеблових листків знаходиться флоральна меристема, для якої характерна невелика глибина і досить значне розростання в ширину.

Згодом, під верхівковим горбком (рис. 3 – А – 1) диференціюється ще два горбики (рис. 3 – А – 2, 3), з яких у подальшому формуються квітки (рис. 3 – В, Е).

У процесі розвитку квіток відбувається ряд змін, пов'язаних з розташуванням квіток на верхівці пагону та у просторі. Спочатку центральне положення займає меристематичний горбок (рис. 3 – А – 1, Б – 1), який з часом перетворюється у квітку і зсувається в бічне положення (рис. 3 – В, Ж – 1). За рахунок зростання тканини, що формує квітконіжку відбувається видовження останньої, що призводить до підняття квітки над площиною меристеми і перенесення її у центральне положення відносно вісі суцвіття (рис. 3 – Б – 2, В, Е – 3).

На рис. 3 – Е можна відзначити розташування трьох квіткових бутонів на верхівці пагона.

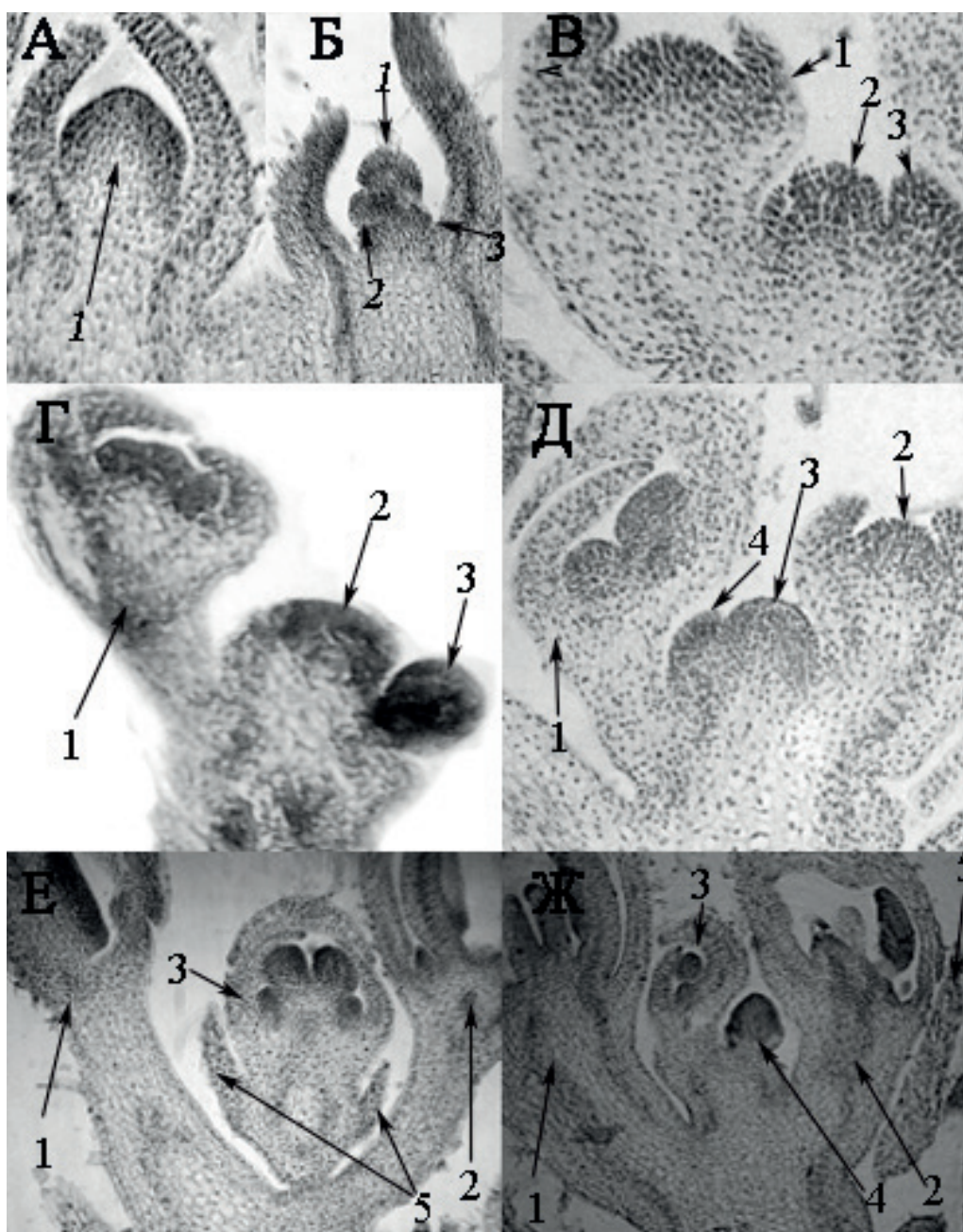


Рис. 3 Ранні стадії розвитку суцвіття у рослини *Matthiola longipetala* (Vent.) DC (поздовжні зрізи)

1 — 4 квіткові бутони на верхівці суцвіття в порядку їх формування;

5 — приквітники

На верхівці суцвіття у рослин *M. longipetala* розташовується, як правило, не більше трьох квіткових зачатків, які переміщуються в процесі розвитку. В якості додаткового критерію по визначенню зсуву квіткових бутонів на верхівці суцвіття можуть служити приквітники. На рис. 3 — Е — 5 розташовані приквітнички, які добре визначаються морфологічно та анатомічно як парні супротивно розташовані структури біля основи квітконіжки.

При моноподіальному і симподіальному галуженні, утворення бічних гілок завжди відбувається з бічних бруньок, які розташовані нижче точки росту первинної осі. У моноподіальних пагонів верхівкова брунька при цьому зберігається, внаслідок чого основна вісь здатна зростати невизначено довго [2].

Вважається, що апікальна меристема багатьох рацемозних суцвіть, до яких належить і суцвіття *M. longipetala*, може функціонувати необмежено тривалий термін, оскільки існує теоретична можливість продовження формування апексом нових квіток.

Найчастіше кількість квіток у суцвітті досліджуваного об'єкту є невеликою, і зупинка зростання може наступати у порівняно короткий термін. У більшості випадків, у даного виду рослин (екземпляри з кількістю квіток у суцвітті більше 5 — 7) апікальна меристема абортуються. При цьому зростання суцвіття зупиняється без утворення розвиненої термінальної квітки за різноманітних причин (екологічні фактори, нестача поживних речовин і т. ін.) Це спостерігається як всихання і зупинка в рості та розвитку одного — трьох бутонів, які розташовані на верхівці суцвіття (рис. 4 — а, б) і призупинення функціонування апікальної меристеми суцвіття з подальшим її відмиранням.

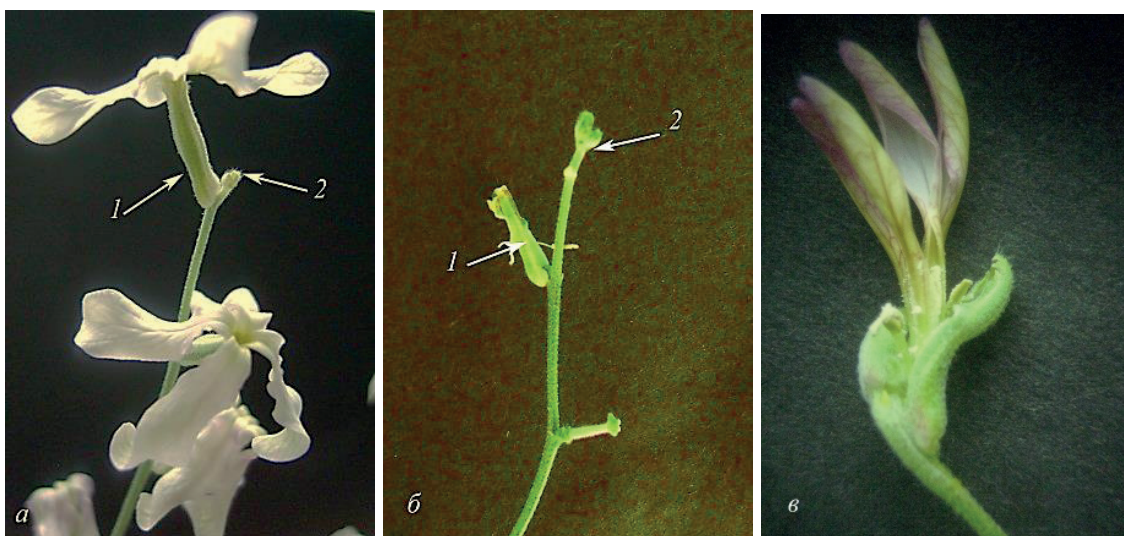


Рис. 4. Зупинка розвитку суцвіття

а, б — зупинка розвитку суцвіття без утворення термінальної квітки:

1 — остання розвинена квітка на генеративному пагоні;

2 — недорозвинений бутон;

в — розвиток «аномальної» квітки на верхівці суцвіття

Однак, за певних умов утворюється термінальна квітка, яка може мати ознаки аномальної будови. На думку Ляварле, дане явище обумовлене тим, що кількість мерис-

тематичних тканини, що залишилася на верхівці пагона, є недостатньою для формування повноцінної квітки, як, наприклад, на рис. 4 — в можна бачити, що в квітки відсутня частина оцвіттини і тичинок [7].

Крім одиночної верхівкової квітки, наростання суцвіття може бути обмежене комплексом з трьох квіток, розташованих на вершині, квітконіжки яких виходять із дуже близько розташованих вузлів, що дає можливість говорити про скорочення міжвузлів при терміналізації суцвіття.

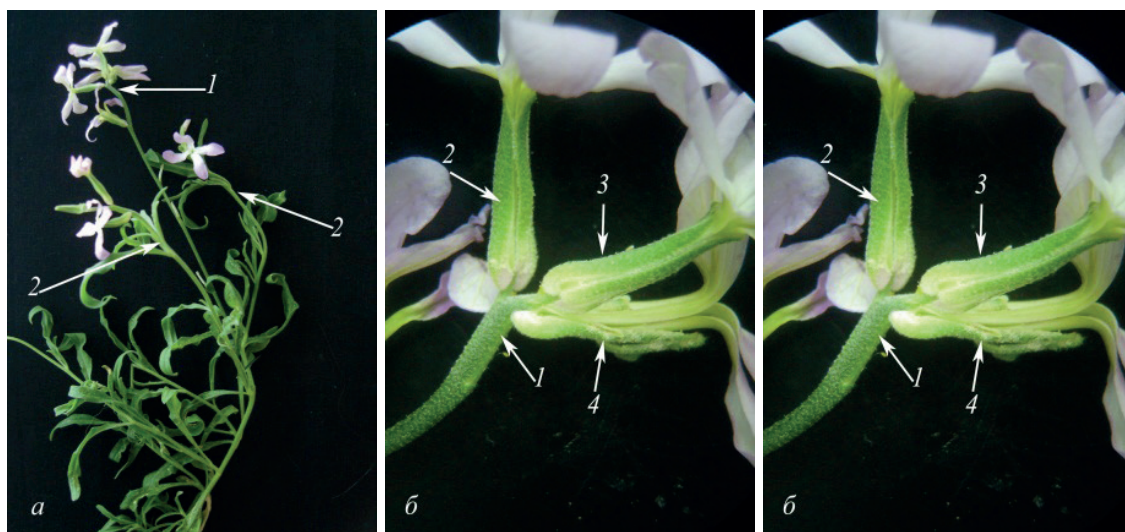


Рис. 5 Формування термінальних квіток на верхівці суцвіття

а — рослина з термінальними квітками на головному квітконосному пагоні:

- 1 — термінальні квіттки;
- 2 — нормально розвинені бічні квітконосні пагони);
- б — група термінальних квіток:
- 1 — останнє нормально розвинуте міжвузля;
- 2 — 4—термінальні квіттки;
- в — збільшення кількості квіток на верхівці суцвіття

Дане явище неможна вважати мутацією або спадковою мінливістю, у зв'язку з тим, що на одній і тій же рослині формуються також нормальні суц-віття без термінальних квіток (рис. 5 - а — 2). Кількість квіток на верхівці суцвіття може варіювати, як, наприклад, на рис. 5 в результаті скорочення міжвузлів відбувається зближення всіх квіток у суцвітті, різке потовщення і зморщування осі квітконосного пагону.

Таким чином, суцвіття представника родини Brassicaceae Burnett *Matthiola longipetala* (Vent.) DC є верхівковими (якщо розташовуються на головному пагоні) або пазушними (так звані бічні генеративні пагони), що мають симподіальний характер наростання, за структурою його можна віднести до рацемозних.

В структурі суцвіття *M. longipetala* наявні приквітнички (брактеолі), які морфологічно та анатомічно відрізняються від стеблових листків та є парними утвореннями, тому цей тип суцвіття можна віднести до брактеозного, що відрізняється від думки багатьох дослідників родини Brassicaceae, які заперечують наявність серед представників цієї родини видів з таким типом суцвітть.

Причиною припинення розвитку суцвіття *M. longipetala* може бути всихання апекса пагону, формування термінальної квіттки з нормально розвиненими частинами, формування квіттки з недорозвиненими частинами, формування на верхівці пагону групи термінальних квіток в результаті скорочення довжини міжвузлів біля верхівки суцвіття.

Найчастіше причиною припинення росту і розвитку суцвіття *M. longipetala* є всихання апікальної частини генеративного пагона.

Формування на верхівці квітконосного пагону термінальної групи квіток не є спадковим для рослин *M. longipetala*, тому на одному і тому ж рослині можуть формуватися квітконосні пагони з різним типом припинення росту.

Список використаної літератури:

1. Алексеев Д.В. и др. Определение типа и положения органов цветка: Динамическая модель развития // Известия РАН, Сер. биол. — 2006. — №6. — С. 45 — 659.
2. Артюшенко З.Т., Федоров А.А. Атлас по описательной морфологии высших растений. Цветок / АН СССР; Бот. ин-т им. В. Л. Комарова. — Л.: Наука, Лен. отд, 1975. — С. 38.
3. Березенко Е.С. Методика изучения морфолого-анатомических особенностей строения соцветий у представителей семейства Brassicaceae на примере *Matthiola longipetala* (Vent.) DC. в лабораторных условиях // Вестник ВГУ. Серия Химия. Биология. Фармация. — 2014. — № 2. — С. 41 — 46.
4. Березенко Е.С., Харченко В.Е., Черская Н.А. Морфолого-анатомическая характеристика соцветия *Lobularia maritima*(L.) Desv. // Материалы Международной заочной научно—практической конференции «Биология, химия, физика: вопросы и тенденции развития».— Новосибирск, 2012.— С. 16 — 22.
5. Буш Н.А. Cruciferae // Флора СССР в 30т., Т. 8 / под ред. В.Л. Комаров. — М. — Л.: АН СССР, 1939. — 696 с.
6. Дорофеев В. И. Крестоцветные (Cruciferae Juss.) Европейской России // Turczaninowia. — 2002. — № 5 (3). — С. 5 — 114.
7. Кине Ж. М., Сакс Р, Бернье Р. Физиология цветения. Т.3. Развитие цветков. — М.: Агропромиздат, 1991. — 445с.
8. Котов М. И. Хрестоцвітні. Cruciferae Juss. // Флора УРСР. Т. 5. — Київ: АН УРСР, 1953. — 527 с.
9. Кузнецова Т.В. Морфология соцветий: современное состояние // ВИНТИ Итоги науки и техники. Ботаника. — 1991. — Т.12. — С. 51 — 124.
10. Определитель высших растений Украины / Акад.

наук Украинской ССР; Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного; Редкол.: Ю. Н. Прокудин, Д. Н. Доброчаева, Б. В. Заверуха, В. И. Чопик; Авт.: М. И. Котов, Ю. Н. Прокудин, А. И. Барбарич и др.. — 2-е изд., стереот., с незначительными доп. и исправлениями. — К. : Фитосоцицентр, 1999. — 548 с.

11. Тахтаджян А.Л. Жизнь растений. Соцветие. — М.: Просвещение, 1980. — 512 с.

12. Тахтаджян А.Л. Система и филогения цветковых растений. — Л.: Наука, 1966. — 612 с.

13. Флора СРСР. Т. VIII / Комаров В.Л. — М.: АН СРСР, 1939. — 695 с.

14. Харченко В.Е., Березенко Е.С. Анатомия и морфология прицветников и прицветничков в порядке Brassicales // Материалы I міжнародної наукової конференції «Сучасна

Фітоморфологія». — Т.2. — Львів, 2012. — С. 201—205.

15. Харченко В.Е. Симподиальное ветвление стеблей при формировании соцветий у представителей семейства Brassicaceae Burnett. // 36. наук. праць Луганського НАУ. — 2007. — №75 (97). — С. 158 – 181.

16. Харченко В.Е., Березенко К.С. Спосіб вирощування *Matthiola longipetala* (Vent.) DC у лабораторних умовах. — Патент на корисну модель № 54338. — МОН, 2010

17. Харченко В.Е., Березенко Е.С. Гомологічні листові на рослинах *Matthiola longipetala* (Vent.) DC // Синтетична теорія еволюції: стан проблеми, перспективи (план і матеріали конференції, присвяченої 200-річчю з дня народження Ч.Дарвіна). — Луганск.—2009. — С.83 —85.

ПЯДЕНИЦЫ (LEPIDOPTERA, GEOMETRIDAE) РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ

Виталий Добронос

Национальный парк «Алания»,
Кандидат сельскохозяйственных наук, Отдел науки

Юрий Комаров

Северо-Осетинский государственный
природный заповедник,
Кандидат биологических наук, Отдел науки

GEOMETRIDS (LEPIDOPTERA, GEOMETRIDAE) OF THE REPUBLIC NORTHERN OSSETIA-ALANYA

Vitaly Dobronosov, National Park "Alania", Candidate of agricultural sciences, Department of science

Yury Komarov, The North Ossetian state natural reserve, Candidate of Biological sciences, Department of science

АННОТАЦИЯ

Фаунистический состав и особенности распространения пядениц Республики Северная Осетия-Алания (РСО-А), до настоящего времени, изучены не достаточно. Целью исследования явилось составление возможно более полного списка пядениц РСО-А на основе уже опубликованных и оригинальных авторских данных.

ABSTRACT

The faunistic structure and distributions features of geometrids of the Republic Northern Ossetia-Alania, so far, are studied not enough. The research objective was writing perhaps more the complete of republics geometrids list on the basis of already published and original author's data.

Ключевые слова: Республика Северная Осетия-Алания, пяденицы, фаунистический список, особенности распространения.

Keywords: Republic Northern Ossetia-Alania, geometrids, faunistic list, features of distribution.

Пяденицы (Geometridae) – большое семейство бабочек, включающее более 23 тысяч видов, широко распространенных по всему миру. На долю этого семейства на территории Российской Федерации (РФ) приходится около 12% от общего числа видов чешуекрылых.

Для Северного Кавказа по данным В. Тихонова [1, 3] приводится 364 видов пядениц, относящихся к 155 родам.

Фаунистический состав и особенности распространения пядениц РСО-А, до настоящего времени были изучены не достаточно. Некоторые сведения по видовому составу и ландшафтно-биотопическому распределению бабочек содержатся в работах Р. Войтусяка и В. Нисиоловски [2, 1-74] и В. Тихонова [1]. Наиболее характерные виды пядениц республики (142 вида), с учетом особенностей их

распространения, были приведены в работе В. Доброносова [3, 337-352].

Целью настоящего исследования явилось составление возможно более полного списка пядениц РСО-А на основе уже опубликованных и оригинальных авторских данных.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) проведен анализ литературных данных; 2) проведены полевые сборы, камеральная обработка и фотофиксация собранного биоматериала (Рис. 1-4.).

Наши исследования проходили с 1986 по 2015 гг. в степном, лесо-лугостепном; нижнегорном, среднегорном, высокогорном лесных; субальпийском и альпийском поясах Северной Осетии, в диапазоне абсолютных высот 110 – 3200 м над ур. м. Были обследованы поlynно-злаковые

и разнотравно-злаковые степи, пойменные и суходольные луга, дубовые, дубово-грабовые, буковые, буково-грабовые, сосново-березовые леса и кленовые редколесья, рододендроновые стланики и субальпийское высокотравье,

альпийские пестроовсянничники и ковры. Сборы бабочек проводились также на участках скал, осыпей, пойменной и приречной растительности, в агро- и урбоценозах.



Рис. 1. *Camptogramma bilineata* L. Фото В. Доброносова



Рис. 2. *Biston betularia* L. Фото Ю. Комарова

Рис. 3. *Colotois pennaria* L. Фото В. Доброносова

Рис. 4. *Hypomecis roboraria* Den. et Schiff. Фото В. Доброносова

В работе применялись общепринятые методики сбора, препарирования и фотосъемки насекомых [4]: ручной

сбор бабочек на источниках света (лампы накаливания 100-250 Вт, люминесцентные лампы ДРЛ-125-700, ультра-



фиолетовые - ЛДЦУД-40), ловля воздушным сачком.

В общей сложности нами было обработано более 100 тыс. экземпляров пядениц. Собранные в разные годы ма-

ское), Национального музея РСО-А (г. Владикавказ), Национального парка «Алания» (г. Владикавказ).

Классификация пядениц до настоящего времени на-



териалы хранятся в коллекциях и фондах ВНИИ Горного и предгорного сельского хозяйства (РСО-А, с. Михайлов-

ходится в стадии становления. Объем и статус многих, как надвидовых таксонов, так и таксонов видового ранга,

являются спорными. В нашей работе мы взяли за основу систематический аппарат, предложенный: А. Каршольтом и Й. Разовски [5, 218-248], группой исследователей под руководством Ю. Синева [6, 190-226], P. Mazzei, D. Morel, R. Panfili [7], на сайте <http://insecta.pro>.

Определение биоматериала проводилось, в основном, по внешним признакам, но в ряде сомнительных случаев исследовались препараты гениталий.

Неоценимую помощь в определении и проверке пра-

вильности авторского определения бабочек оказал, известный специалист по этой группе чешуекрылых, И. Костюк (г. Киев), за что авторы выражают ему свою искреннюю благодарность.

Список, выявленных в результате работы с литературой и наших полевых исследований таксонов, географические пункты сборов и высотные пояса приведены в таблице.

Таблица

Список пядениц (Geometridae) Северной Осетии

№	Таксон	Место находки	Пояс
Подсемейство Archiearinae			
Род Archiearis Hübner, 1823			
1.	<i>Archiearis parthenias</i> (Linnaeus, 1761)	г. Моздок (пойменные леса)	Степной
2.	<i>Archiearis notha</i> (Hübner, 1803)	г. Владикавказ	Лесо-лугостепной
Подсемейство Ennominae			
Род Abraxas Leach, 1815			
3.	<i>Abraxas grossulariata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Беслан, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск), окр. с. В. Ларс	Лесо-лугостепной, Нижнегорный, Среднегорный лесные
4.	<i>Abraxas sylvata</i> (Scopoli, 1763)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
5.	<i>Abraxas pantaria</i> (Linnaeus, 1767)	г. Моздок (пойменные леса)	Степной
Род Lomaspilis Hübner, 1825			
6.	<i>Lomaspilis marginata</i> (Linnaeus, 1758)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род Ligdia Guenée, 1857			
7.	<i>Ligdia adustata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род Stegania Guenée, 1845			
8.	<i>Stegania dilectaria</i> (Hübner, 1790)	окр. с. Чми	Среднегорный лесной
Род Heliomata Grote et Robinson, 1866			
9.	<i>Heliomata glarearia</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род Macaria Curtis, 1826			
10.	<i>Macaria alternata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
11.	<i>Macaria notata</i> (Linnaeus, 1758)	- « -	- « -
12.	<i>Macaria wauraia</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Владикавказ, с. Дзинага	Нижнегорный, Среднегорный лесные
13.	<i>Macaria brunneata</i> (Thunberg, 1794)	окр. г. Владикавказ, г. Алагир	Нижнегорный лесной
14.	<i>Macaria liturata</i> (Clerck, 1759).	окр. г. Владикавказ, ущ. Цейское	Нижнегорный, Среднегорный лесные
15.	<i>Macaria signaria</i> (Hübner, 1809).	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род Chiasmia Hübner, 1823			
16.	<i>Chiasmia clathrata</i> (Linnaeus, 1758)	с. Дзинага, с. Кабата	Среднегорный лесной
Род Godonella Boisduval, 1840			
17.	<i>Godonella aestimaria</i> (Hübner, 1809).	окр. г. Моздока	Степной
Род Narraga Walker, 1861			

18.	<i>Narraga tessularia</i> (Metzner, 1845)	окр. г. Моздока	Степной
19.	<i>Narraga fasciolaria</i> (Hufnagel, 1767)	окр. г. Моздока окр. с. Чми	Степной, Среднегорный лесной
Род <i>Isturgia</i> Hübner, 1823			
20.	<i>Isturgia arenacearia</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. Карджина	Лесо-лугостепной
21.	<i>Isturgia murinaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	Окр. с. Брут	Лесо-лугостепной
Род <i>Gnopharmia</i> Staudinger, 1892			
22.	<i>Gnopharmia stevenaria</i> (Boisduval, 1840)	окр. Карджина	Лесо-лугостепной
Род <i>Phyllometra</i> Boisduval, 1840			
23.	<i>Phyllometra culminaria</i> (Eversmann, 1843)	окр. В. Бирагзанга	Нижнегорный лесной
Род <i>Heterolocha</i> Lederer, 1853			
24.	<i>Heterolocha laminaria</i> (Herrich-Schäffer, 1852).	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Petrophora</i> Hübner, 1811			
25.	<i>Petrophora chlorosata</i> (Scopoli, 1763).	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Lignyopectera</i> Lederer, 1853			
26.	<i>Lignyopectera fumidaria</i> (Hübner, 1825)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Plagodis</i> Hübner, 1823			
27.	<i>Plagodis dolabraria</i> (Linnaeus, 1767)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
28.	<i>Plagodis pulveraria</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Моздока	Степной
Род <i>Pachycnemia</i> Stephens, 1829			
29.	<i>Pachycnemia hippocastanaria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Брут, окр. с. Унал	Лесо-лугостепной, Среднегорный лесной
Род <i>Opisthograptis</i> Hübner, 1823			
30.	<i>Opisthograptis luteolata</i> (Linnaeus, 1758)	ущ. Цейское, окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Epione</i> Duponchel, 1829			
31.	<i>Epione vespertaria</i> (Linnaeus, 1767)	окр. В. Лезгора	Среднегорный лесной
32.	<i>Epione repandaria</i> (Hufnagel, 1767)	г. Алагир, пос. В. Фиагдон	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Therapis</i> Hübner, 1823			
33.	<i>Therapis flavicaria</i> (Denis and Schiffermüller, 1775).	окр. г. Владикавказ, окр. г. Алагир, с. Дзинага, с. Камата	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Pseudopanthera</i> Hübner, 1823			
34.	<i>Pseudopanthera macularia</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Горная Саниба, окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Eilicrinia</i> Hübner, 1823			
35.	<i>Eilicrinia cordiaria</i> (Hübner, 1790)	ущ. Закинское	Среднегорный лесной
36.	<i>Eilicrinia trinotata</i> (Metzner, 1845)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
Продолжение таблицы			
37.	<i>Eilicrinia subcordaria</i> (Herrich-Schäffer, 1852)	окр. г. Моздока	Степной
Род <i>Hypoxystis</i> Prout, 1915			
38.	<i>Hypoxystis pluviaria</i> (Fabricius, 1787)	окр. с. Калух	Нижнегорный лесной
Род <i>Apeira</i> Gistel, 1848			

39.	<i>Apeira syringaria</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Моздока	Степной
Род <i>Ennomos</i> Treitschke, 1825			
40.	<i>Ennomos quercinaria</i> (Hufnagel, 1767)	г. Владикавказ, г. Алагир	Нижнегорный лесной
41.	<i>Ennomos quercaria</i> (Hübner, 1813)	окр. с. Чми	Среднегорный лесной
42.	<i>Ennomos autumnaria</i> (Werneburg, 1859)	окр. г. Моздока	Степной
43.	<i>Ennomos erosaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. г. Владикавказ, окр. г. Алагир	Нижнегорный лесной
44.	<i>Ennomos fuscantaria</i> (Haworth, 1809)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род <i>Eumera</i> Staudinger, 1892			
45.	<i>Eumera hoferi</i> (Wehrli, 1934)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Selenia</i> Hübner, 1823			
46.	<i>Selenia lunularia</i> (Hübner, 1788)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
47.	<i>Selenia dentaria</i> (Fabricius, 1775)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
48.	<i>Selenia tetralunaria</i> (Hufnagel, 1767)	г. Алагир, с. Дзинага	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Artiora</i> Meyrick, 1892			
49.	<i>Artiora evonymaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. г. Моздока (пойменный лес)	Степной
Род <i>Odontopera</i> Stephens, 1831			
50.	<i>Odontopera bidentata</i> (Clerck, 1759)	окр. г. Моздока (пойменный лес)	Степной
Род <i>Crocallis</i> Treitschke, 1825			
51.	<i>Crocallis elinguarina</i> (Linnaeus, 1758)	г. Владикавказ, ущ. Цейское	Нижнегорный, Среднегорный лесные
52.	<i>Crocallis elingomorpha</i> (Stadie et Fiebig, 2014)*	с. Камата, с. Дзинага	Среднегорный лесной
53.	<i>Crocallis tusciaria</i> (Borkhausen, 1793)	окр. г. Моздока (пойменный лес)	Степной
Род <i>Ourapteryx</i> Leach, 1814			
54.	<i>Ourapteryx falciformis</i> (Inoue, 1993)*	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск), с. Дзинага	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Colotois</i> Hübner, 1823			
55.	<i>Colotois pennaria</i> (Linnaeus, 1761)	г. Владикавказ, г. Алагир, ущ. Цейское	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Angerona</i> Duponchel, 1829			
56.	<i>Angerona prunaria</i> (Linnaeus, 1758)	г. Владикавказ, г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род <i>Phigalia</i> Duponchel, 1829			
57.	<i>Phigalia pilosaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
Род <i>Apocheima</i> Hübner, 1825			
58.	<i>Apocheima hispidaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Владикавказ, г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род <i>Lycia</i> Hübner, 1825			
59.	<i>Lycia zonaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
60.	<i>Lycia hirtaria</i> (Clerck, 1759)	г. Владикавказ, г. Алагир	Нижнегорный лесной
61.	<i>Lycia pomonaria</i> (Hübner, 1790)	окр. г. Моздока	Степной
Род <i>Biston</i> Leach, 1815			

62.	<i>Biston betularia</i> (Linnaeus, 1758)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
63.	<i>Biston strataria</i> (Hufnagel, 1767)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Agriopis</i> Hübner, 1825			
64.	<i>Agriopis bajaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
65.	<i>Agriopis leucophaearia</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
66.	<i>Agriopis aurantiaria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
67.	<i>Agriopis marginaria</i> (Fabricius, 1776)	- « -	- « -
Род <i>Erannis</i> Hübner, 1825			
68.	<i>Erannis defoliaria</i> (Clerck, 1759)	г. Владикавказ, г. Алагир	Нижнегорный лесной
69.	<i>Erannis declinans</i> (Staudinger, 1879)	окр. г. Моздока	Степной
Род <i>Crocota</i> Hübner, 1823			
70.	<i>Crocota tinctoria</i> (Hübner, 1799)	с. Камага	Среднегорный лесной
Род <i>Synopsia</i> Hübner, 1825			
71.	<i>Synopsia sociaria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Майрамадаг	Нижнегорный лесной
Род <i>Peribatodes</i> Wehrli, 1943			
72.	<i>Peribatodes correptaria</i> (Zeller, 1847)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
73.	<i>Peribatodes rhomboidaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Карджин, г. Алагир	Лесо-лугостепной, Нижнегорный лесной
Род <i>Selidosema</i> Hübner, 1823			
74.	<i>Selidosema plumaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
Род <i>Cleora</i> Curtis, 1825			
75.	<i>Cleora cinctaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Alcis</i> Curtis, 1826			
76.	<i>Alcis repandata</i> (Linnaeus, 1758)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск), с. Дзинага	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Hypomecis</i> Hübner, 1821			
77.	<i>Hypomecis punctinalis</i> (Scopoli, 1763)	окр. с. Карджин, г. Алагир	Лесо-лугостепной, Нижнегорный лесной
78.	<i>Hypomecis roboraria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род <i>Cleorodes</i> Warren, 1894			
79.	<i>Cleorodes lichenaria</i> (Hufnagel, 1767)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Ascotis</i> Hübner, 1825			
80.	<i>Ascotis selenaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной

Род <i>Ectropis</i> Hübner, 1825			
81.	<i>Ectropis crepuscularia</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Камата	Среднегорный лесной
Род <i>Parectropis</i> Sato, 1980			
82.	<i>Parectropis extersaria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Aethalura</i> McDunnough, 1920			
83.	<i>Aethalura punctulata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Владикавказ	Лесо-лугостепной
Род <i>Phaselia</i> Guenee, 1858			
84.	<i>Phaselia serrularia</i> (Eversmann, 1847)	окр. г. Моздок	Степной
Род <i>Ematurga</i> Lederer, 1853			
85.	<i>Ematurga atomaria</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Сухотское, окр. с. Карджин, окр. с. В. Мизур	Степной, Лесо-лугостепной, Среднегорный лесной
Род <i>Tephronia</i> Hübner, 1825			
86.	<i>Tephronia sepiaria</i> (Hufnagel, 1767)	окр. с. Чми	Среднегорный лесной
Род <i>Bupalus</i> Leach, 1815			
87.	<i>Bupalus piniaria</i> (Linnaeus, 1758)	ущ. Караугомское	Среднегорный лесной
Род <i>Cabera</i> Treitschke, 1825			
88.	<i>Cabera exanthemata</i> (Scopoli, 1763)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
89.	<i>Cabera pusaria</i> (Linnaeus, 1758)	г. Алагир, окр. с. В. Бираганг, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Lomographa</i> Hübner, 1825			
90.	<i>Lomographa temerata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Владикавказ, г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
91.	<i>Lomographa bimaculata</i> (Fabricius, 1775)	г. Моздок	Степной
Род <i>Campaea</i> Lamarck, 1816			
92.	<i>Campaea margaritaria</i> (Linnaeus, 1761)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Hylaea</i> Hübner, 1822			
93.	<i>Hylaea fasciaria</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
Род <i>Gnophos</i> Treitschke, 1825			
94.	<i>Gnophos dumetata</i> (Treitschke, 1827)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
95.	<i>Gnophos zacharia</i> (Staudinger, 1879)	окр. с. Чми	Среднегорный лесной
96.	<i>Gnophos sartata</i> (Treitschke, 1825)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
97.	<i>Gnophos pseudosnelleni</i> (Rjabov, 1964)	ущ. Танадонское	Высокогорный лесной
98.	<i>Gnophos obfuscata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ущ. Билагидонское (выходы скальных пород)	Среднегорный лесной
Род <i>Charissa</i> Curtis, 1826			
99.	<i>Charissa mucidaria</i> (Hübner, 1799)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
100.	<i>Charissa variegata</i> (Duponchel, 1830)	- « -	- « -
101.	<i>Charissa onustaria</i> (Herrich-Schäffer, 1852)	окр. г. Моздок	Степной
102.	<i>Charissa obscurata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ущ. Караугомское	Среднегорный лесной
103.	<i>Charissa variegata</i> (Duponchel, 1830)	окр. г. Моздок	Степной

104.	<i>Charissa annubilata</i> (Christoph, 1885)	ущ. Кармадонское	Высокогорный лесной
105.	<i>Charissa rjabovi</i> (Wehrli, 1939)	- « -	- « -
106.	<i>Charissa anthina</i> (Wehrli, 1953)	ущ. Караугомское	Высокогорный лесной
107.	<i>Charissa adjectaria</i> (Staudinger, 1897)	- « -	- « -
108.	<i>Charissa difficilis</i> (Alphéraky, 1883)	ущ. Цейское	Высокогорный лесной
109.	<i>Charissa asymmetra</i> (Wehrli, 1939)	- « -	- « -
110.	<i>Charissa urmensis</i> (Wehrli, 1953)	ур. Баданта, (выходы скальных пород)	Высокогорный лесной
111.	<i>Charissa zejae</i> (Wehrli, 1953)	- « -	Среднегорный лесной
Род <i>Siona</i> Duponchel, 1829			
112.	<i>Siona lineata</i> (Scopoli, 1763)	окр. с. Горная Саниба, окр. с. Харисджин, окр. с. В. Мизур, окр. с. Ханаз	Среднегорный лесной
Род <i>Chariaspilates</i> Wehrli, 1953			
113.	<i>Chariaspilates formosaria</i> (Eversmann, 1837)	окр. с. Чми	Среднегорный лесной
Род <i>Megaspilates</i> Warren, 1894			
114.	<i>Megaspilates mundataria</i> (Stoll, 1782)	окр. с. Сухотское	Степной
Род <i>Aspitates</i> Treitschke, 1825			
115.	<i>Aspitates gilvaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Моска (у реки)	Среднегорный лесной
116.	<i>Aspitates acuminaria</i> (Eversmann, 1851)	ущ. Хилакское	Субальпийский
Род <i>Dyscia</i> Hübner, 1825			
117.	<i>Dyscia conspersaria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ущ. Куртатинское	Среднегорный лесной
118.	<i>Dyscia innocentaria</i> (Christoph, 1885)	- « -	- « -
Род <i>Perconia</i> Hübner, 1823			
119.	<i>Perconia strigillaria</i> (Hübner, 1787)	окр. с. В. Лезгор	Среднегорный лесной
Подсемейство <i>Oenochrominae</i>			
Род <i>Alsophila</i> Hübner, 1825			
120.	<i>Alsophila aceraria</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Владикавказ	Нижнегорный лесной
121.	<i>Alsophila aescularia</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	- « -	- « -
Род <i>Orthostixis</i> Hübner, 1823			
122.	<i>Orthostixis cribraria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Гулар	Среднегорный лесной
Род <i>Aplasta</i> Hübner, 1823			
123.	<i>Aplasta ononaria</i> (Fuessly, 1783)	г. Моздок, с. Брут	Степной, Лесо-лугостепной
Род <i>Pseudoterpna</i> Hübner, 1823			
124.	<i>Pseudoterpna pruinata</i> (Hufnagel, 1767)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Geometra</i> Linnaeus, 1758			
125.	<i>Geometra papilionaria</i> (Linnaeus, 1758)	г. Владикавказ, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Comibaena</i> Hübner, 1823			
126.	<i>Comibaena bajularia</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Владикавказ	Нижнегорный лесной
Род <i>Thetidia</i> Boisduval, 1840			
127.	<i>Thetidia smaragdaria</i> (Fabricius, 1787)	окр. с. Сухотское	Степной
128.	<i>Thetidia crucigerata</i> (Christoph, 1887)	- « -	- « -

Род <i>Hemithea</i> Duponchel, 1829			
129.	<i>Hemithea aestivaria</i> (Hübner, 1789)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Chlorissa</i> Stephens, 1831			
130.	<i>Chlorissa cloraria</i> (Hübner, [1813])	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
131.	<i>Chlorissa viridata</i> (Linnaeus, 1758)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
132.	<i>Chlorissa etruscaria</i> (Zeller, 1849)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
133.	<i>Chlorissa pretiosaria</i> (Staudinger, 1877)	г. Моздок	Степной
Род <i>Microloxia</i> Warren, 1893			
134.	<i>Microloxia herbaria</i> (Hübner, 1813)	г. Моздок	Степной
Род <i>Thalera</i> Hübner, 1823			
135.	<i>Thalera fimbrialis</i> (Scopoli, 1763)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
Род <i>Hemistola</i> Warren, 1893			
136.	<i>Hemistola chrysoprasaria</i> (Esper, 1795)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род <i>Jodis</i> Hübner, 1823			
137.	<i>Jodis lactearia</i> (Linnaeus, 1758)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
138.	<i>Jodis putata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Сухотское	Степной
Род <i>Gypsochroa</i> Hübner, 1825			
139.	<i>Gypsochroa renitidata</i> (Hübner, 1817)	окр. г. Моздок	Степной
Подсемейство <i>Sterrhinae</i>			
Род <i>Cyclophora</i> Hübner, 1822			
140.	<i>Cyclophora annularia</i> (Fabricius, 1775)	г. Владикавказ, г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
141.	<i>Cyclophora pendularia</i> (Clerck, 1759)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
142.	<i>Cyclophora linearia</i> (Hübner, 1799)	г. Алагир, с. Камата	Нижнегорный, Среднегорный лесные
143.	<i>Cyclophora porata</i> (Linnaeus, 1767)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
144.	<i>Cyclophora ruficiliaria</i> (Herrich-Schäffer, 1852)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
145.	<i>Cyclophora punctaria</i> (Linnaeus, 1758)	г. Владикавказ	Нижнегорный лесной
Род <i>Timandra</i> Duponchel, 1829			
146.	<i>Timandra comae</i> (A. Schmidt, 1931)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
147.	<i>Timandra griseata</i> (Petersen, 1902)	г. Моздок	Степной
Род <i>Scopula</i> Schrank, 1802			
148.	<i>Scopula nigropunctata</i> (Hufnagel, 1767)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
149.	<i>Scopula beckeraria</i> (Lederer, 1853)	г. Моздок	Степной
150.	<i>Scopula rubiginata</i> (Hufnagel, 1767)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
151.	<i>Scopula corrivalaria</i> (Kretschmar, 1862)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
152.	<i>Scopula submutata</i> (Treitschke, 1828).	г. Моздок	Степной
153.	<i>Scopula decorata</i> (Denis et Schiffermuller, 1775)	с. Камата	Среднегорный лесной
154.	<i>Scopula turbidaria</i> (Hübner, 1819)	окр. с. Сухотское	Степной
155.	<i>Scopula marginepunctata</i> (Goeze, 1781)	окр. с. Карджин, с. Дзинага, с. Камата	Лесо-лугостепной, Среднегорный лесной
156.	<i>Scopula flaccidaria</i> (Zeller, 1852)	окр. г. Владикавказ	Нижнегорный лесной

157.	<i>Scopula tessellaria</i> (Boisduval, 1840)	окр. с. Брут	Лесо-лугостепной
158.	<i>Scopula incanata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
159.	<i>Scopula immorata</i> (Linnaeus, 1758)	г. Алагир, с. Дзинага	Низнегорный, Среднегорный лесные
160.	<i>Scopula ornata</i> (Scopoli, 1763)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
161.	<i>Scopula subpunctaria</i> (Herrich-Schäffer, 1847)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Низнегорный лесной
162.	<i>Scopula nigropunctata</i> (Hufnagel, 1767)	г. Алагир	Низнегорный лесной
163.	<i>Scopula marginepunctata</i> (Goeze, 1781)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
164.	<i>Scopula immutata</i> (Linnaeus, 1758)	г. Алагир	Низнегорный лесной
165.	<i>Scopula virgulata</i> (Denis et Schiffermuller, 1775)	окр. с. Брут, окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
Род <i>Cinglis</i> Guenee, 1858			
166.	<i>Cinglis humifusaria</i> (Eversmann, 1837)	окр. с. Сухотское	Степной
Род <i>Idaea</i> Treitschke, 1825			
167.	<i>Idaea aureolaria</i> (Denis et Schiffermuller, 1775)	окр. с. Сухотское	Степной
168.	<i>Idaea ochrata</i> (Scopoli, 1763)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
169.	<i>Idaea rufaria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Брут, окр. с. Карджин, окр. с. Дзинага	Лесо-лугостепной, Среднегорный лесной
170.	<i>Idaea muricata</i> (Hufnagel, 1767)	г. Алагир	Низнегорный лесной
171.	<i>Idaea ossiculata</i> (Lederer, 1870)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
172.	<i>Idaea rusticata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
173.	<i>Idaea sericeata</i> (Hübner, 1813)	- « -	- « -
174.	<i>Idaea seriata</i> (Schrank, 1802)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
175.	<i>Idaea roseofasciata</i> (Christoph, 1882)	ущ. Закинское	Среднегорный лесной
176.	<i>Idaea aversata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Карджин, г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Лесо-лугостепной, Низнегорный лесной
177.	<i>Idaea degeneraria</i> (Hübner, 1799)	г. Алагир	Низнегорный лесной
178.	<i>Idaea trigeminata</i> (Haworth, 1809)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
179.	<i>Idaea mancipiata</i> (Staudinger, 1871)	окр. с. Сухотское	Степной
180.	<i>Idaea moniliata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
181.	<i>Idaea biselata</i> (Hufnagel, 1767)	окр. г. Владикавказ, г. Алагир	Низнегорный лесной
182.	<i>Idaea dimidiata</i> (Hufnagel, 1767)	г. Алагир	Низнегорный лесной
183.	<i>Idaea politaria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Карджин, окр. с. Дзинага	Лесо-лугостепной, Среднегорный лесной
184.	<i>Idaea straminata</i> (Borkhausen, 1794)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
185.	<i>Idaea humiliata</i> (Hufnagel, 1767)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
186.	<i>Idaea camparia</i> (Herrich-Schäffer, 1852)	окр. с. Дзинага, окр. с. Камата	Среднегорный лесной
187.	<i>Idaea obsoletaria</i> (Rambur, 1833)	- « -	- « -
188.	<i>Idaea inquinata</i> (Scopoli, 1763)	- « -	- « -

Продолжение таблицы

189.	<i>Idaea elongaria</i> (Rambur, 1833)	окр. с. Сухотское	Степной
190.	<i>Idaea fuscovenosa</i> (Goeze, 1781)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
191.	<i>Idaea dilutaria</i> (Hübner, 1799)	окр. с. Карджин	Лесо-лугостепной
192.	<i>Idaea serpentata</i> (Hufnagel, 1767)	окр. с. Сухотское	Степной
193.	<i>Idaea descitaria</i> (Christoph, 1893)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Rhodostrophia</i> Hübner, 1823			
194.	<i>Rhodostrophia badiaria</i> (Freyer, 1841)	г. Моздок	Степной
195.	<i>Rhodostrophia calabra</i> (Petagna, 1786)	- « -	- « -
196.	<i>Rhodostrophia auctata</i> (Staudinger, 1887)	- « -	- « -
197.	<i>Rhodostrophia sieversi</i> (Christoph, 1882)	- « -	- « -
198.	<i>Rhodostrophia cuprinaria</i> (Christoph, 1887)	- « -	- « -
199.	<i>Rhodostrophia vibicaria</i> (Clerck, 1759)	ущ. Закинское, окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Casilda</i> Agenjo, 1952			
200.	<i>Casilda antophilaria</i> (Hübner, 1813)	окр. с. Сухотское	Степной
Подсемейство Larentiinae			
Род <i>Ochodontia</i> Lederer, 1853			
201.	<i>Ochodontia adustaria</i> (Fischer von Waldheim, 1840)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род <i>Lythria</i> Hübner, 1823			
202.	<i>Lythria purpuraria</i> (Linnaeus, 1758)	пос. Тельман (Моздокский р-он), окр. с. Эльхотово, окр. г. Беслана	Степной, Лесо-лугостепной
203.	<i>Lythria cruentaria</i> (Hufnagel, 1767)	окр. с. Сухотское	Степной
Род <i>Cataclysmes</i> Hübner, 1825			
204.	<i>Cataclysmes riguada</i> (Hübner, 1813)	г. Алагир, ущ. Цейское	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Phibalapteryx</i> Stephens, 1829			
205.	<i>Phibalapteryx virgata</i> (Hufnagel, 1767)	окр. с. Брут	Лесо-лугостепной
Род <i>Scotopteryx</i> Hübner, 1825			
206.	<i>Scotopteryx bipunctaria</i> (Denis et Schiffmüller, 1775)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
207.	<i>Scotopteryx chenopodiata</i> (Linnaeus, 1758)	- « -	- « -
208.	<i>Scotopteryx octodurensis</i> (Favre, 1903)	- « -	- « -
209.	<i>Scotopteryx mucronata</i> (Scopoli, 1763)	окр. с. В. Лезгор	Среднегорный лесной
210.	<i>Scotopteryx perplexaria</i> (Staudinger, 1892)	окр. с. Чми (трагакантни-ки)	Среднегорный лесной
211.	<i>Scotopteryx junctata</i> (Staudinger, 1892)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
212.	<i>Scotopteryx alpherakii</i> (Erschoff, 1877)*	окр. ледн. Мосота (альпика)	Альпийский
213.	<i>Scotopteryx subvicinaria</i> (Staudinger, 1892)	ущ. Куртатинское	Среднегорный лесной
214.	<i>Scotopteryx pinnaria</i> (Christoph, 1888)	окр. ледн. Мосота (альпика)	Альпийский
Род <i>Orthonama</i> Hübner, 1825			
215.	<i>Orthonama obstipata</i> (Fabricius, 1794)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род <i>Xanthorhoe</i> Hübner, 1825			
216.	<i>Xanthorhoe biriviata</i> (Borkhausen, 1794)	г. Алагир, ущ. Закинское	Нижнегорный, Среднегорный лесные

217.	<i>Xanthorhoe designata</i> (Hufnagel, 1767)	г. Алагир, окр. с. В. Бираганг	Нижнегорный лесной
218.	<i>Xanthorhoe ferrugata</i> (Clerck, 1759)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
219.	<i>Xanthorhoe fluctuata</i> (Linnaeus, 1758)	- « -	- « -
220.	<i>Xanthorhoe montanata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Алагир, окр. с. Дзинага	Нижнегорный, Среднегорный лесные
221.	<i>Xanthorhoe quadrifasiata</i> (Clerck, 1759)	Окр. с. Брут, окр. с. Карджин, окр. с. Дзивгис	Лесо-лугоstepной, Среднегорный лесной
222.	<i>Xanthorhoe decoloraria</i> (Esper, 1806)	окр. ледн. Мосота (альпика)	Альпийский
223.	<i>Xanthorhoe rectifasciaria</i> (Lederer, 1853)	ущ. Хилакское	Субальпийский
224.	<i>Xanthorhoe bigeminata</i> (Christoph, 1885)	Ущ. Цейское (выходы скальных пород)	Среднегорный лесной
225.	<i>Xanthorhoe spadicearia</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род <i>Catarhoe</i> Herbulot, 1951			
226.	<i>Catarhoe cuculata</i> (Hufnagel, 1767)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
227.	<i>Catarhoe rubidata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	окр. г. Владикавказ, с. Дзинага	Нижнегорный, Среднегорный лесные
228.	<i>Catarhoe putridaria</i> (Herrich-Schäffer, 1852)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род <i>Epirrhoe</i> Hübner, 1825			
229.	<i>Epirrhoe alternata</i> (Müller, 1764)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
230.	<i>Epirrhoe galiata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
231.	<i>Epirrhoe rivata</i> (Hübner, 1813)	окр. с. Чми	Среднегорный лесной
232.	<i>Epirrhoe tristata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Камата	Среднегорный лесной
Род <i>Protorhoe</i> Herbulot, 1951			
233.	<i>Protorhoe unicata</i> (Guenee, 1858)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Costaconvexa</i> Agenjo, 1949			
234.	<i>Costaconvexa polygrammata</i> (Borkhausen, 1794)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род <i>Camptogramma</i> Stephens, 1831			
235.	<i>Camptogramma bilineata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Владикавказ, с. Дзинага, окр. с. Камата	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Entephria</i> Hübner, 1825			
236.	<i>Entephria ignorata</i> (Staudinger, 1892)	ущ. Цейское (выходы скальных пород)	Высокогорный лесной
237.	<i>Entephria muscosaria</i> (Christoph, 1893)	ущ. Куртатинское (выходы скальных пород)	Высокогорный лесной
238.	<i>Entephria calcephila</i> (Tikhonov, 1994)	ущ. Хилакское (выходы скальных пород)	Среднегорный лесной
Род <i>Larentia</i> Treitschke, 1825			
239.	<i>Larentia clavaria</i> (Haworth, 1809)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Anticlea</i> Stephens, 1831			
240.	<i>Anticlea badiata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
241.	<i>Anticlea derivata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	- « -	- « -

Род Mesoleuca Hübner, 1825			
242.	Mesoleuca albicillata (Linnaeus, 1758)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род Pelurga Hübner, 1825			
243.	Pelurga comitata (Linnaeus, 1758)	окр. с. Брут, окр. с. Дзинага	Лесо-лугостепной, Среднегорный лесной
Род Lampropteryx Stephens, 1831			
244.	Lampropteryx suffumata (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род Cosmorhoe Hübner, 1825			
245.	Cosmorhoe ocellata (Linnaeus, 1758)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
Род Nebula Bruand, 1846			
246.	Nebula senectaria (Herrich-Schäffer, 1852)	окр. г. Моздока	Степной
247.	Nebula nubulata (Treitschke, 1828)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
248.	Nebula approximata (Staudinger, 1879)	окр. г. Моздока	Степной
Род Eulithis Hübner, 1821			
249.	Eulithis prunata (Linnaeus, 1758)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
250.	Eulithis populata (Linnaeus, 1758)	окр. г. Моздока	Степной
251.	Eulithis mellinata (Fabricius, 1787)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род Ecliptopera Warren, 1894			
252.	Ecliptopera silaceata (Denis et Schiffermüller, 1775)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род Chloroclysta Hübner, 1825			
253.	Chloroclysta siterata (Hufnagel, 1767)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
254.	Chloroclysta miata (Linnaeus, 1758)	- « -	- « -
Род Cidaria Treitschke, 1825			
255.	Cidaria fulvata (Forster, 1771)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род Pennithera Viidalepp, 1980			
256.	Pennithera firmata (Hübner, 1822)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
Род Thera Stephens, 1831			
257.	Thera cognata (Thunberg, 1792)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
258.	Thera obeliscata (Hübner, 1787)	т/б. «Дзинага»	Среднегорный лесной
259.	Thera juniperata (Linnaeus, 1758)	окр. с. Зинцар	Среднегорный лесной
Род Electrophaes Prout, 1923			
260.	Electrophaes corylata (Thunberg, 1792)	окр. г. Моздока	Степной
Род Colostygia Hübner, 1825			
261.	Colostygia pectinataria (Knock, 1781)	г. Алагир, окр. с. В. Бираганг, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
262.	Colostygia olivata (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род Hydriomena Hübner, 1825			
263.	Hydriomena furcata (Thunberg, 1784)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
264.	Hydriomena impluviata (Denis et Schiffermüller, 1775)	- « -	- « -
265.	Hydriomena ruberata (Freyer, 1831)	- « -	- « -

Род <i>Dysstroma</i> Hübner, 1825			
266.	<i>Dysstroma citrata</i> (Linnaeus, 1761)	окр. с. Брут, г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Лесо-лугостепной, Нижнегорный лесной
Род <i>Coenocalpe</i> Hübner, 1825			
267.	<i>Coenocalpe lapidata</i> (Hübner, 1809)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Horisme</i> Hübner, 1825			
268.	<i>Horisme vitalbata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
269.	<i>Horisme calligraphata</i> (Herrich-Schäffer, 1839)	окр. с. Камата	Среднегорный лесной
270.	<i>Horisme tersata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Melanthia</i> Duponchel, 1829			
271.	<i>Melanthia procellata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род <i>Pareulype</i> Herbulot, 1951			
272.	<i>Pareulype berberata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Spargania</i> Guenée, 1857			
273.	<i>Spargania luctuata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Hydria</i> Hübner, 1822			
274.	<i>Hydria undulata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Владикавказ, окр. г. Алагир	Нижнегорный лесной
275.	<i>Hydria cervinalis</i> (Scopoli, 1763)	окр. г. Владикавказ, с. Дзинага	Нижнегорный, Среднегорный лесные
Род <i>Rheumaptera</i> Hübner, 1822			
276.	<i>Rheumaptera hastata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Гулар	Среднегорный лесной
Род <i>Triphosa</i> Stephens, 1829			
277.	<i>Triphosa dubitata</i> (Linnaeus, 1758)	г. Владикавказ, с. Дзинага, с. Камата	Нижнегорный, Среднегорный лесные
278.	<i>Triphosa sabaudiata</i> (Duponchel, 1830)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Philereme</i> Hübner, 1825			
279.	<i>Philereme transversata</i> (Hufnagel, 1767)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
280.	<i>Philereme vetulata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
Род <i>Stamnodes</i> Guenee, 1858			
281.	<i>Stamnodes depeculata</i> (Lederer, 1870)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
Род <i>Euphyia</i> Hübner, 1825			
282.	<i>Euphyia biangulata</i> (Haworth, 1809)	ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
283.	<i>Euphyia unangulata</i> (Haworth, 1809)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
284.	<i>Euphyia sintenisi</i> (Staudinger, 1892)	ущ. Цейское (выходы скальных пород)	Среднегорный лесной
285.	<i>Euphyia frustata</i> (Treitschke, 1828)	окр. В. Лезгора	Среднегорный лесной

Род Epirrita Hübner, 1822			
286.	<i>Epirrita autumnata</i> (Borkhausen, 1794)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
287.	<i>Epirrita christyi</i> (Allen, 1906)	окр. г. Моздока	Степной
288.	<i>Epirrita dilutata</i> (Denis et Schiffmüller, 1775)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род Operophtera Hübner, 1825			
289.	<i>Operophtera brumata</i> (Linnaeus, 1758)	г. Владикавказ, г. Алагир	Низнегорный лесной
290.	<i>Operophtera fagata</i> (Scharfenberg, 1805)	окр. г. Моздока	Степной
Род Perizoma Hübner, 1825			
291.	<i>Perizoma albulata</i> (Denis et Schiffmüller, 1775)	с. Камата	Среднегорный лесной
292.	<i>Perizoma alchemillata</i> (Linnaeus, 1758)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
293.	<i>Perizoma parahydrata</i> (Alberti 1969)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
294.	<i>Perizoma hydrata</i> (Treitschke, 1829)	г. Алагир	Низнегорный лесной
295.	<i>Perizoma minorata</i> (Treitschke, 1828)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
296.	<i>Perizoma flavofasciata</i> (Thunberg, 1792)	с. Камата	Среднегорный лесной
297.	<i>Perizoma saxicola</i> (Tikhonov, 1994)	ущ. Цейское (выходы скальных пород)	Среднегорный лесной
Род Mesotype Hübner, 1825			
298.	<i>Mesotype parallelolineata</i> (Retzius, 1783)	окр. г. Моздока	Степной
299.	<i>Mesotype verberata</i> (Scopoli, 1763)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род Eupithecia Curtis, 1825			
300.	<i>Eupithecia albidulata</i> (Staudinger, 1892)	ущ. Харесидонское	Субальпийский
301.	<i>Eupithecia abietaria</i> (Goeze, 1781)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
302.	<i>Eupithecia denticulata</i> (Treitschke, 1828)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
303.	<i>Eupithecia fuscicostata</i> (Christoph, 1887)	ущ. Караугомское	Среднегорный лесной
304.	<i>Eupithecia tenuiata</i> (Hübner, 1813)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
305.	<i>Eupithecia haworthiata</i> (Doubleday, 1856)	- « -	- « -
306.	<i>Eupithecia spissilineata</i> (Metzner, 1846)	- « -	- « -
307.	<i>Eupithecia linariata</i> (Denis et Schiffmüller, 1775)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
308.	<i>Eupithecia puengeleri</i> (Dietze, 1913)	ущ. Цейское (выходы скальных пород)	Среднегорный лесной
309.	<i>Eupithecia variostrigata</i> (Alpheraky, 1878)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
310.	<i>Eupithecia venosata</i> (Fabricius, 1787)	- « -	- « -
311.	<i>Eupithecia amasina</i> (Bohatsch, 1893)	- « -	- « -
312.	<i>Eupithecia centaureata</i> (Denis et Schiffmüller, 1775)	с. Камата	Среднегорный лесной
313.	<i>Eupithecia gratiosata</i> (Herrich-Schäffer, 1861)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
314.	<i>Eupithecia gueneata</i> (Milliere, 1862)	окр. г. Моздока	Степной
315.	<i>Eupithecia breviculata</i> (Donzel, 1837)	- « -	- « -
316.	<i>Eupithecia subfenestrata</i> (Staudinger, 1892)	окр. с. Гулар (ур. Баданта)	Субальпийский
317.	<i>Eupithecia vulgata</i> (Haworth, 1809)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
318.	<i>Eupithecia denotata</i> (Hübner, 1813)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
319.	<i>Eupithecia dodoneata</i> (Guenee, 1858)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
320.	<i>Eupithecia subfuscata</i> (Haworth, 1809)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
321.	<i>Eupithecia icterata</i> (Villers, 1789)	с. Дзинага	Среднегорный лесной

322.	<i>Eupithecia intricata</i> (Zetterstedt, 1839)	- « -	- « -
323.	<i>Eupithecia selinata</i> (Herrich-Schäffer, 1861)	- « -	- « -
324.	<i>Eupithecia succenturiata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Моздока	Степной
325.	<i>Eupithecia impurata</i> (Hübner, 1813)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
326.	<i>Eupithecia graphata</i> (Treitschke, 1828)	Ущ. Цейское (выходы скальных пород)	Среднегорный лесной
327.	<i>Eupithecia indigata</i> (Hübner, 1813)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
328.	<i>Eupithecia semigraphata</i> (Bruand, 1850)	ущ. Закинское	Среднегорный лесной
329.	<i>Eupithecia millefoliata</i> (Rössler, 1866)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
330.	<i>Eupithecia simpliciata</i> (Haworth, 1809)	- « -	- « -
331.	<i>Eupithecia marginata</i> (Staudinger 1892)	- « -	- « -
332.	<i>Eupithecia distinctaria</i> (Herrich-Schäffer, 1848)	- « -	- « -
333.	<i>Eupithecia pimpinellata</i> (Hübner, 1813)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
334.	<i>Eupithecia extensaria</i> (Freyer, 1844)	окр. с. Унал (трагакантни-ки)	Среднегорный лесной
335.	<i>Eupithecia lacteolata</i> (Dietze, 1906)	окр. с. Гулар (ур. Баданта)	Субальпийский
336.	<i>Eupithecia laquaearia</i> (Herrich-Schäffer, 1848)	ущ. Закинское	Среднегорный лесной
337.	<i>Eupithecia innotata</i> (Hufnagel, 1767)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
338.	<i>Eupithecia virgaureata</i> (Doubleday, 1861)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
339.	<i>Eupithecia minusculata</i> (Alpheraky, 1882)	- « -	- « -
340.	<i>Eupithecia inturbata</i> (Hübner, 1817)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
341.	<i>Eupithecia subumbrata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
342.	<i>Eupithecia absinthiata</i> (Clerck, 1759)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
343.	<i>Eupithecia tantillaria</i> (Boisduval, 1840)	- « -	- « -
Род <i>Gymnoscelis</i> Mabilie, 1868			
344.	<i>Gymnoscelis rufifasciata</i> (Haworth, 1809)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Chloroclystis</i> Hübner, 1825			
345.	<i>Chloroclystis v-ata</i> (Haworth, 1809)	г. Алагир	Низнегорный лесной
Род <i>Pasiphila</i> (Warren, 1895)			
346.	<i>Pasiphila chloerata</i> (Mabilie, 1870)	с. Дзинага, с. Камата	Среднегорный лесной
347.	<i>Pasiphila rectangulata</i> (Linnaeus, 1758)	- « -	- « -
348.	<i>Pasiphila debiliata</i> (Hübner, 1817)	окр. с. Сухотское	Степной
Род <i>Aplocera</i> Stephens, 1827			
349.	<i>Aplocera plagiata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. г. Беслан, г. Алагир, с. Дзинага	Лесо-лугостепной, Низнегорный, Среднегорный лесные
350.	<i>Aplocera praeformata</i> (Hübner, 1826)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
351.	<i>Aplocera columbata</i> (Metzner, 1845)	окр. ледн. Мосота	Субальпийский
352.	<i>Aplocera annexata</i> (Freyer, 1830)	окр. с. Дзинага	Среднегорный лесной
353.	<i>Aplocera uniformata</i> (Urbahn, 1971)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род <i>Odezia</i> Boisduval, 1840			
354.	<i>Odezia atrata</i> (Linnaeus, 1758)	окр. с. Харисджин, окр. с. Дзинага, окр. с. Гулар	Среднегорный лесной

Род Trichodezia Warren, 1895			
355.	<i>Trichodezia haberhaueri</i> (Lederer, 1864)*	окр. Владикавказа, окр. Алагир	Нижнегорный лесной
Род Schistostege Hübner, 1825			
356.	<i>Schistostege nubilaria</i> (Hübner, 1799)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род Lithostege Hübner, 1825			
357.	<i>Lithostege farinata</i> (Hufnagel, 1767)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
358.	<i>Lithostege griseata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	- « -	- « -
359.	<i>Lithostege infusata</i> (Eversmann, 1837)	окр. с. Лезгор	Среднегорный лесной
360.	<i>Lithostege coassata</i> (Hübner, 1825)	окр. г. Моздока	Степной
Род Gypsochroa Hübner, 1825			
361.	<i>Gypsochroa renitidata</i> (Hübner, 1817)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род Venusia Curtis, 1839			
362.	<i>Venusia blomeri</i> (Curtis, 1832)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род Euchoeca Hübner, 1825			
363.	<i>Euchoeca nebulata</i> (Scopoli, 1763)	с. Дзинага	Среднегорный лесной
Род Asthena Hübner, 1825			
364.	<i>Asthena albulata</i> (Hufnagel, 1767)	окр. г. Владикавказ	Нижнегорный лесной
365.	<i>Asthena anseraria</i> (Herrich-Schäffer, 1855)	г. Алагир	Нижнегорный лесной
Род Hydrelia Hübner, 1825			
366.	<i>Hydrelia flammeolaria</i> (Hufnagel, 1767)	г. Алагир, ур. Шуби (3 км к ЮВ от с. Тамиск)	Нижнегорный лесной
Род Minoa Treitschke, 1825			
367.	<i>Minoa murinata</i> (Scopoli, 1763)	окр. с. Лезгор	Среднегорный лесной
Род Lobophora Curtis, 1825			
368.	<i>Lobophora halterata</i> (Hufnagel, 1767)	ущ. Караугомское	Среднегорный лесной
Род Epilobophora Inoue, 1943			
369.	<i>Epilobophora kostjuki</i> (Tikhonov, 1994)*	окр. с. Дзинага, ур. Баданта	Среднегорный, Высокогорный лесные
Род Trichopteryx Hübner, 1825			
370.	<i>Trichopteryx polycommata</i> (Denis et Schiffermüller, 1775)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
371.	<i>Trichopteryx carpinata</i> (Borkhausen, 1794)	ущ. Караугомское	Среднегорный лесной
Род Nothocasis Prout, 1936			
372.	<i>Nothocasis sertata</i> (Hübner, 1817)	ущ. Цейское	Среднегорный лесной
Род Acasis Duponchel, 1845			
373.	<i>Acasis viretata</i> (Hübner, 1799)	ущ. Караугомское	Среднегорный лесной

В результате проведенных исследований нами был составлен список из 373 видов пядениц, относящихся к 153 родам и 5 подсемействам, являющийся на сегодняшний день самой полной фаунистической сводкой по этой группе чешуекрылых для РСО-А.

Мы впервые привели для фауны республики таксоны

Crocallis elingomorpha (Stadie et Fiebig, 2014) (Рис. 5.), сведения, о котором имеются в работе Д. Стади и Р. Фибига [8, 225-254] и *Ourapteryx falciformis* (Inoue, 1993) (Рис. 6.), который (а не *Ourapteryx sambucaria* (Linnaeus, 1758)), по данным Х. Иноэ [9, 81-84] населяет весь Северный Кавказ.



Рис. 5. *Crocallis elingomorpha* Stadie et Fiebig Фото В. Доброносова

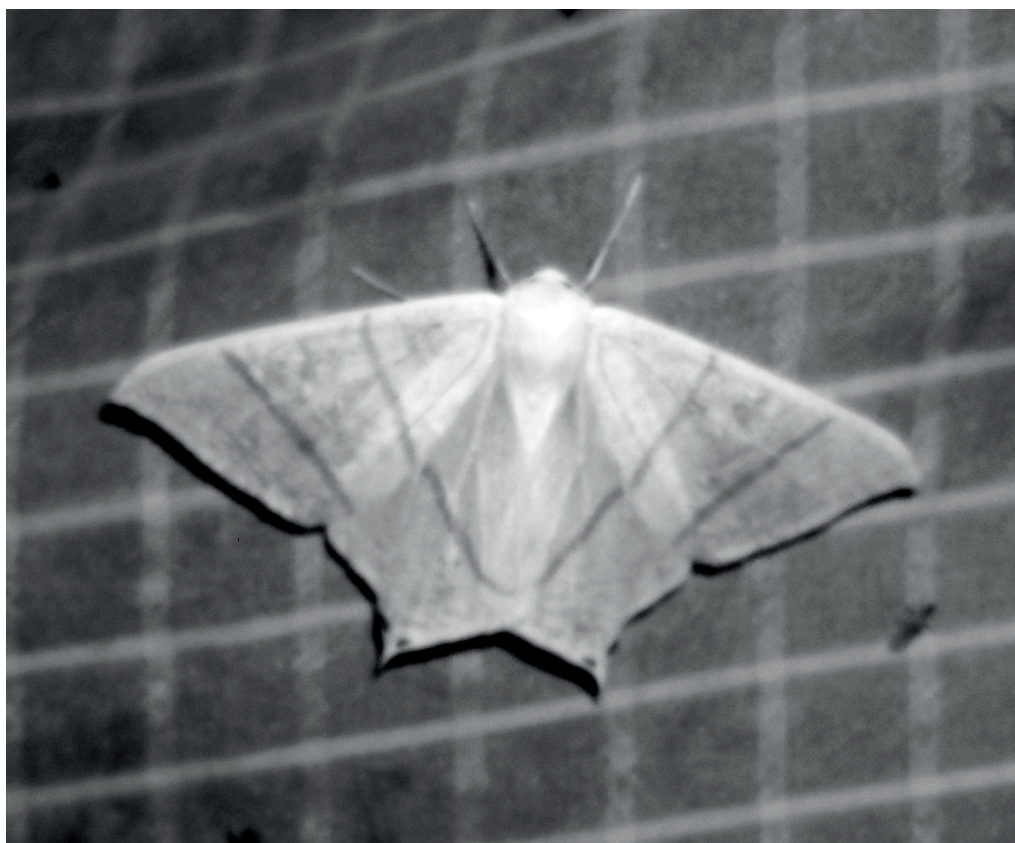


Рис. 6. *Ourapteryx falciformis* Inoue Фото В. Доброносова

Распределение пядениц по высотным поясам следующее: степной – 56, лесо-лугостепной – 34, нижнегорный лесной – 95, среднегорный лесной – 205, высокогорный лесной – 11, субальпийский – 6, альпийском – 3 вида.

В фауне пядениц РСО-А отмечено 3 палеоэндемичных вида: *Trichodezia haberhaueri* Led., *Epilobophora kostjuki* Tikh. и *Scotopteryx alpherakii* Ersch. Бабочки первого вида

встречаются под пологом широколиственных буково-грабовых лесов, второго – сосновых, дубовых и дубово-грабовых лесов, третьего – на альпийских лугах.

По всей видимости, установлен видовой состав наиболее широко распространенных видов и работы по изучению этой группы бабочек будут продолжены нами далее.

Ссылки:

1. Тихонов В.В. Пяденицы (Lepidoptera, Geometridae) Северного Кавказа: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Спб.: Санкт-Петербургский гос. ун-т, 1993. 17 с.
2. Wojtusiak R., Niesiolowski W. Lepidoptera of the Central Caucasus, collected during the Polish alpine expedition in 1935, with ecological and zoogeographical remarks. I Part. Macrolepidoptera // Prace Muz. przyrodn. Pol. Akad. Umiejętn. 1947. P.1-74.
3. Добронос В.В. Фаунистический список чешуекрылых Северной Осетии. Животный мир РСО-Алания. Владикавказ: Проект-Пресс, 2000. С. 314-364.
4. Фасулати К.К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. Изд. 2. М.: Высшая школа, 1971. 424 с.
5. The Lepidoptera of Europe. A Distributional Checklist / [ed. O. Karsholt, J. Razowski]. Stenstrup: Apollo Books, 1996. P. 251-295.
6. Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России / Под ред. С.Ю. Синева. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 424 с.
7. Mazzei P., Morel D., Panfili R. Moths and Butterflies of Europe and North Africa, 1999. 7 July. [Digital Resource]. URL: <http://www.leps.it> (date of the address: 19.02.2016).
8. Stadie D., Fiebig R. Taxonomic notes on the morphology, ecology and distribution of the *Crocallis elinguarina* (Linnaeus, 1758) species lineage of Asia Minor and the eastern adjacent territories with description of five new species and one new subspecies (Lep. Geometridae) / Esperiana. 2014. № 10. P. 225-254.
9. Inoue H. On *Ourmpteryx persica*-complex, with descriptions of three new species (Geometridae, Ennominae) / The Lepidopterological Society of Japan. August 1993. № 44(2). P. 81-88.

УСТАНОВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИСХОДА ОСТРОГО ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ ОВЕЦ

Епимахов Вадим Геннадьевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ)

Козьмин Геннадий Васильевич

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ)

THE ESTABLISHING QUANTITATIVE LAWS OF THE ACUTE RADIATION INJURY OF SHEEPS

Epimakhov V.G., candidate of biological Sciences, senior researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology

Koz'min G.V., candidate of biological Sciences, leading researcher,

Russian Institute of Radiology and Agroecology

АННОТАЦИЯ

Для установления количественных закономерностей формирования зависимостей «доза-эффект» разработана модель острого лучевого поражения овец. Основной обмен рассматривается как комплексный показатель, отражающий степень влияния радиационного фактора на течение и исход острой лучевой болезни животных. Описана методика и представлены результаты исследований, полученные при проведении опытов на модели.

ABSTRACT

To establish quantitative laws of formation of dependence «dose-response» model of the acute radiation injury of sheeps is developed. The main exchange is regarded as a comprehensive indicator of the degree of influence of radiation factor on the outcome of acute radiation sickness in animals. Description of the methodology is given and the results of research obtained in experiments on the model are presented.

Ключевые слова: радиационное воздействие, зависимость «доза-эффект», основной обмен, модель, количественные закономерности, живая масса, кормление, энергетический баланс с окружающей средой.

Keywords: radiation exposure, the dependence «dose-response», the main exchange, model, quantitative relationships, live weight, feeding, energy balance with the environment.

К настоящему времени радиобиология располагает достаточно обширными материалами по особенностям течения и исхода различных форм лучевого поражения у млекопитающих. В результате проведения многочисленных исследований получены экспериментальные данные о радиационных изменениях на разных уровнях биологической интеграции организма [1,2].

Вместе с тем решение ряда вопросов теоретического и прикладного характера связанных, прежде всего, с защитой животных и человека от вредного воздействия ионизирующей радиации до сих пор затруднено из-за неполноты сведений о конкретных путях, этапах и закономерностях формирования радиационного поражения. Анализ и обобщение накопленных экспериментальных

данных об особенностях радиационного поражения организма животных создает необходимые предпосылки для теоретического анализа формирования конечных эффектов воздействия радиационного фактора от дозы облучения.

Цель исследования. Целью настоящей работы является установление закономерностей формирования зависимостей «доза-эффект» при острой лучевой болезни овец. Для этих животных качественная характеристика эффектов острой лучевой болезни достаточно хорошо изучена и представлена во многих книгах и обзорах, а результаты многолетних исследований клинической картины остро протекающей лучевой болезни нашли отражение в отдельных монографиях и статьях. Анализ и обобщение накопленного экспериментального материала позволяет установить закономерности формирования зависимостей «доза-эффект».

Методика. Методика оценки отклика организма овец на острое облучение основана на биоэнергетическом подходе к оценке воздействия ионизирующей радиации [3,4]. Он позволяет оценить вклад исходного физиологического состояния животных (возраст и живая масса), их содержания в постлучевой период (рацион и уровень кормления), дозы облучения в формирование зависимости «доза-эффект» [4].

С использованием биоэнергетического подхода разработана биолого-математическая модель. В качестве комплексного показателя, отражающего нарушение гомеостаза в результате воздействия ионизирующей радиации, рассматривается основной обмен [1,4].

Модель является стохастической. В ней характер формирования радиобиологических эффектов, отражающий нарушение гомеостаза на фоне энергетического обмена с окружающей средой, рассматривается не только как результат вероятностного распределения поглощенной энергии, но и объясняется биологической вариабельностью животных по живой массе и возрасту. Учитываются вариации основного обмена от животного к животному при данном физиологическом состоянии, калорийности тела, величины энергетических ресурсов, расходуемых организмом на поддержание своего энергетического статуса, а также стохастический характер потребления корма. Для

обеспечения вариабельности животных по данным параметрам использовался генератор псевдослучайных чисел. Коэффициент вариации принят равным 10% от среднего значения.

Порядок выполнения методики заключается в задании начальных условий для проведения экспериментов на модели (возраст и живая масса животных, рацион кормления, доза острого облучения) и установлении расчётным путём исхода лучевой болезни овец. Шаг моделирования по времени принят равным 1 сутки. Он совпадает с соответствующим для большинства животных циркадианным (суточным) ритмом, который обуславливает баланс основных веществ и энергии во временном промежутке равном 24 ч. Численность животных при проведении опытов на модели составляла 25 голов в каждой исследуемой группе. Для статистической оценки полученных результатов каждый эксперимент имел десятикратную повторяемость.

В методике для количественного учета потребления питательных веществ корма выбрана система оценки кормов по обменной энергии [5]. Согласно этой системе, потребность животных в энергии выражается в форме обменной энергии, а эффективность ее использования зависит от живой массы, возраста, продуктивности животного и концентрации обменной энергии в 1 кг сухого вещества рациона.

Результаты исследований и обсуждение.

а) изменение живой массы в постлучевой период

Для установления влияния степени тяжести лучевого поражения на изменение живой массы овец в постлучевой период на модели были проведены следующие исследования. Животные в возрасте 2-3-х лет со средней живой массой 40 кг были разделены на 7 групп, включая контроль. Уровень кормления животных соответствовал обеспечению среднесуточного привеса 150 г. Калорийность рациона составляла 2,6 Мкал/кг сухого вещества. Мощность дозы облучения составляла 1Гр/ч. Длительность облучения шести опытных групп проводилась в течении 1, 2, 3, 4, 5 и 6 часов.

В результате проведенных опытов была установлена динамика живой массы овец в процентах от ее значения на момент облучения (рисунок 1).

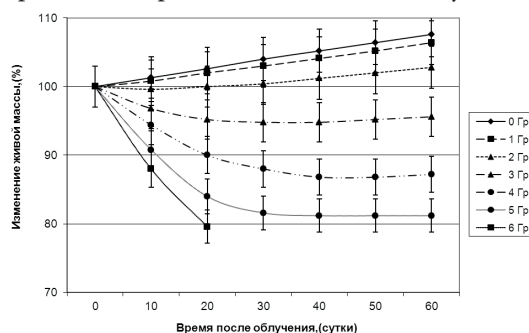


Рисунок 1 - Результаты проведения опытов на модели изменения живой массы овец в возрасте 2-3-х лет со средней живой массой 40 кг в зависимости от дозы облучения в постлучевой период.

Полученные кривые достаточно хорошо согласуются с обобщенными экспериментальными данными при острой лучевой болезни овец [1,2]. Так при лучевой болезни легкой степени тяжести (дозы 1-2 Гр) происходит незначительное снижение привесов, выздоровление овец наступа-

ет на 30 – 45-е сутки. При острой лучевой болезни средней степени тяжести (3-4 Гр) угнетение общего состояния овец сопровождается существенным снижением живой массы. Овцы начинают постепенно выздоравливать через 6-8 недель после начала заболевания. Выздоровление характе-

ризуется постепенным восстановлением привесов. Облучение в дозах 5-6 Гр сопровождается снижением живой массы на 15-20%. Гибель наступает на 20-30-е сутки; для некоторых овец на 16-18-е сутки после облучения [6].

б) выживаемость подсосных ягнят

В публикации [7] приведено, что для новорожденных подсосных ягнят LD50/30 составляет ≈ 9 Гр, т.е. значительно превосходит таковую для взрослых животных. Выдвигаются различные предположения такой низкой подверженности острому летальному облучению: влияние возраста на радиочувствительность клеток; присутствие патогенов в микрофлоре; иммуноспособностью новорожденных животных и др.

Нами был рассмотрен данный «феномен» пониженной чувствительности молодых ягнят к летальному облучению. Для этого на модели были воспроизведены условия эксперимента [7]: мощность дозы облучения подсосных ягнят составляла 2 Гр/ч. Животные имели возраст 2-4 дня

и среднюю живую массу от 3.5 до 4.5 кг.

Дополнительно при проведении экспериментов на модели животные были разбиты на три группы по величине молочности маток. Первая группа соответствовала уровню молочности, обеспечивающей ~ 200 г среднесуточного привеса ягнят, вторая группа уровню молочности, обеспечивающей ~ 250 г среднесуточного привеса и 3-ья группа, соответственно, ~ 300 г/сутки.

В результате исследований получены, примерно те же значения LD50/30, что и в указанных выше работах. Оценка соответствия экспериментальных и полученных на модели данных по критерию Тейла составила 0,075 [8]. Кривые гибели подсосных ягнят представлены на рисунке 2.

Модель позволила дать своё объяснение данному «феномену». Оно состоит в том, что овечье молоко является высококалорийным (≈ 6 Мкал на 1 кг сухого вещества) и его энергия позволяет компенсировать затраты растущего организма на восстановление нарушенного в результате облучения энергетического баланса [9].

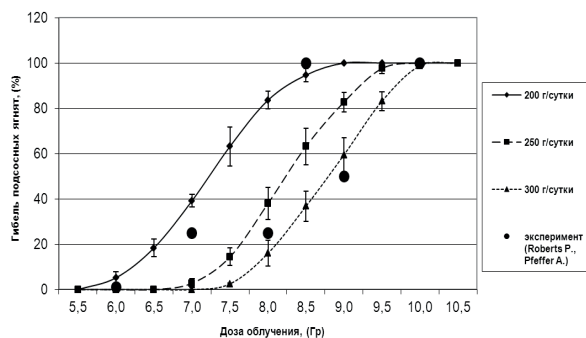


Рисунок 2 - Динамика гибели облученных подсосных ягнят в зависимости от молочнойности маток, обеспечивающих различный суточный привес ягнят (результаты исследований на модели).

в) оценка радиочувствительности разных возрастных групп животных

Для установления закономерностей изменения радиочувствительности овец, принадлежащим разным возрастным группам, на модели был выполнен ряд опытов по изучению действия острого облучения на исход лучевой болезни животных. Рассматривались три группы овец: растущие овцы в возрасте 2-х месяцев со средней живой массы 20 кг, овцы в возрасте 8-ми месяцев со средней живой массой 40 кг и взрослые овцы в возрасте 2-х лет со средней живой массой 60 кг. Рацион составлен с расчетом, что он удовлетворяет потребность животных на поддержание жизни. Концентрация обменной энергии в

сухом веществе рациона составляла $- 2.6$ Мкал/кг. Мощность дозы облучения - 1 Гр/ч.

На рисунке 3 представлены полученные результаты численных экспериментов. Если для взрослых овец LD50/30 составляет $\approx 4,25$ Гр, то для 8-ми и 2-х месячных овец LD50/30 $\approx 2,7$ Гр и $\approx 1,9$ Гр, соответственно.

С позиций биоэнергетического подхода [4], большая радиочувствительность растущих овец объясняется тем, что с уменьшением живой массы калорийность тела снижается и недостаток энергии потребляемого корма не позволяет компенсировать затраты облученного организма связанные с поддержанием его энергетического статуса.

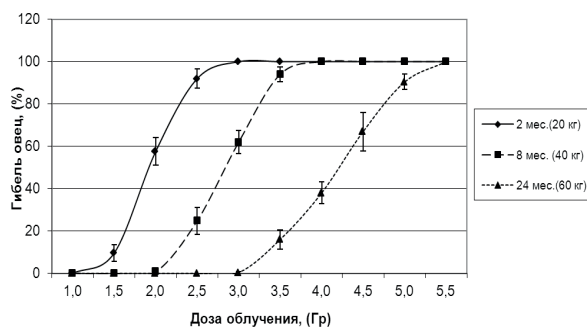


Рисунок 3 - Результаты проведения опытов на модели установления гибели овец разных возрастных групп в зависимости от дозы облучения, (%)

г) влияние типа рациона на радиочувствительность овец
 Результаты исследований на модели по установлению закономерностей радиочувствительности овец в зависимости от скармливания различных типов рационов отражены на рисунке 4.

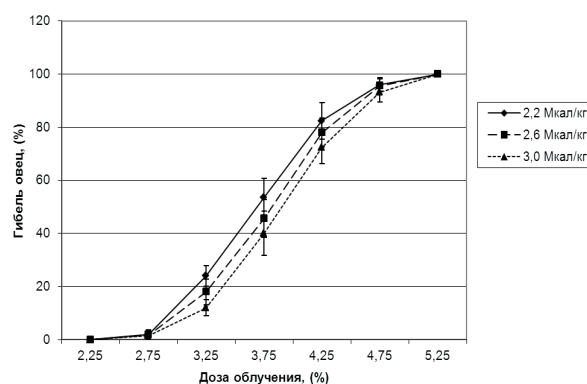


Рисунок 4 - Установленные при проведении опытов на модели кривые «доза-эффект» в зависимости от типа рациона (овцы со средней живой массой 50 кг).

При проведении экспериментов животные были разделены на три группы по типу рациона. Рационы кормления характеризовались различной концентрацией обменной энергией на 1 кг сухого вещества: 1-ая группа животных - 2.2 Мкал/кг (грубые корма), 2-ая группа животных - 2.6 Мкал/кг (приблизительно 50% грубых корма и 50% концентрированных кормов) и 3-ья группа - 3 Мкал/кг (концентрированные корма). Потребление сухого вещества рационов удовлетворяло потребность животных в энергии на поддержание жизни. Острому облучению подвергались взрослые овцы в возрасте 2,5 года со средней живой массой 50 кг.

Анализ полученных данных показывает, что при одинаковом уровне кормления тип скармливаемого облученным животным рациона не приводит к существенному изменению LD50/30. Отличия не значимы (доверительные интервалы перекрываются).

д) влияние уровня кормления на радиочувствительность овец

При изучении влияния уровня кормления на исход острой лучевой болезни при проведении исследований на модели рассматривались три группы овец: уровень кормления первой группы взят поддерживающий, второй – обеспечивающий 100 г привеса в сутки, третьей – 200 г в сутки. Возраст овец соответствовал 2-м месяцам со средней живой массой 20 кг. Содержание обменной энергии в сухом веществе рациона составляло 2.6 Мкал/кг.

Полученные в результате опытов данные показывают, что при более высоком уровне кормления у облученных овец процент гибели животных значительно меньше, а при некоторых дозах животные даже выживают. С позиций биоэнергетического подхода это объясняется тем, что при кормлении, обеспечивающем более высокий привес, энергия потребляемых питательных веществ корма в большей степени позволяет компенсировать затраты облученного организма на поддержание жизни. Результаты исследований представлены на рисунке 5.

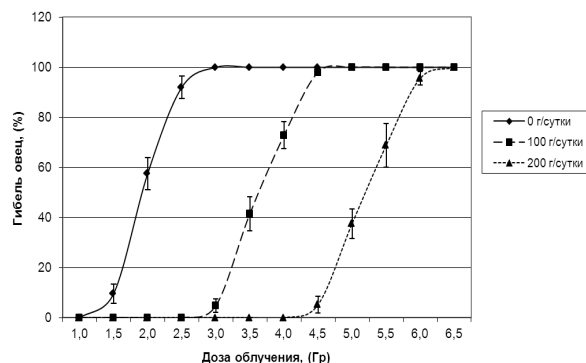


Рисунок 5 - Результаты проведения опытов на модели установления гибели облученных растущих овец в возрасте 2-х месяцев в зависимости от уровня кормления

Выводы

Область применения полученных результатов связана с вопросами радиобиологии и радиоэкологии животных. Без представления возможных масштабов последствий воздействия на организм ионизирующего излучения нельзя организовать должным образом и вести борьбу за снижение степени небезопасных уровней радиационного фактора.

Значимость настоящей работы обусловлена новизной информации, которую в реальной действительности путем проведения дополнительных экспериментов получить проблематично. Это дорого и проведение подобных экспериментов в таком количестве практически невозможно. Также это позволяет существенно сократить расходы на проведение специальных экспериментальных исследований на крупных сельскохозяйственных животных, которые отличаются значительной степенью чрезвычайной трудоемкости исследований и сложностью соблюдения требований радиационной безопасности.

Установленные с помощью модельных опытов закономерности течения и исхода острой лучевой болезни овец служат обоснованием принципиальной возможности использования биолого-математической модели для прогнозирования острого лучевого поражения животных, вероятностной оценки величины возможного материального ущерба и решения задач в направлении повышения эффективности защитных мероприятий при различных сценариях воздействия радиационного фактора.

Список литературы:

1. Сироткин А.Н., Ильязов Р.Г. Радиоэкология сельскохозяйственных животных. Казань: Изд-во «Фэн», 2000. 381 с.
2. Анненков Б.Н. Радиационные катастрофы: последствия и контрмеры в сельском хозяйстве. М.: Санэпидмедиа, 2008. 372 с.
3. Епимахов В.Г. К вопросу нормирования воздействия ионизирующей радиации на организм овец и их продуктивность // Медико-биологические проблемы токсикологии и радиобиологии: Рос. науч. конф. с межд. участ. (Санкт-Петербург, 4 июня - 6 июня 2015). Санкт-Петербург: Изд-во «Фолиант», 2015. С.29-30
4. Епимахов В.Г. Биоэнергетический подход к оценке радиочувствительности овец: Дис. ... к-та биол. наук. Обнинск, 1990. 103 с.
5. Потребность жвачных животных в питательных веществах и энергии. Под ред. Дмитроченко А.П. М.: Колос, 1968. 415 с.
6. Караваев В.М., Коляков В.Л., Коржевенко Г.Н., Ильин В.Г. Защита животных от поражения ядерным оружием. М.: Колос, 1970. 400 с.
7. Roberts P., Pfeffer A. Evidence for a decreased susceptibility to acute lethality in young lambs. // Health Physics, 1980, 39(2), pp 225-229
8. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. - М.: Статистика, 1971. 488 с.
9. Николаевская Н.Г. Современные методы выращивания и откорма ягнят. М.: ЕНШТЗИсельхоз МСХ СССР, 1973. - 68 с.

БАКТЕРІАЛЬНИЙ РАК ВИНОГРАДУ І БІОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ЗАХИСТУ ВІД НЬОГО

Власов В.В.

доктор сільськогосподарських наук, директор
Національний науковий центр

«Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є. Таїрова, Одеса, Україна

Конуп Л.О.

кандидат біологічних наук, завідувач лабораторією вірусології і мікробіології
Національний науковий центр

«Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є. Таїрова, Одеса, Україна

CROWN GALL OF GRAPE AND BIOLOGICAL AGENTS AGAINST OF THEM

Vlasov V.V., doctor of agricultural sciences, director National Scientific Centre "Institute of Viticulture and Wine Making named after V.Ye. Tairov", Odessa, Ukraine

Konup L.A., Ph.D., Head of the Laboratory of Virology and Microbiology National Scientific Centre "Institute of Viticulture and Wine Making named after V.Ye. Tairov", Odessa, Ukraine

АНОТАЦІЯ

За допомогою методу полімеразної ланцюгової реакції отримані дані про ступінь інфікованості ґрунту ризосфери, міжрядь виноградників, а також коренів кущів винограду опухолообразуючого штамами агробактерій. Встановлено, що патогенні агробактерії зберігалися в ґрунті досліджуваної ділянки протягом двох років. За допомогою полімеразної ланцюгової реакції з використанням пар праймерів до послідовностей *vir D2* і *ipt* *Ti*-плазмиди проведено тестування 171 штаму агробактерій, виділених з лози винограду і ґрунту виноградника. Отримано дані про кількість *vir D2* - і *ipt* - позитивних штамів. Вивчено їх антагоністичні властивості щодо збудника бактеріального раку винограду. Виділені штами *Rhizobium vitis* проявили бактеріоциногенну активність по відношенню до близькоспоріднених штамів.

ABSTRACT

The data about contamination of soil from rhizosphere, soil between the rows and the grapevine roots with the tumorigenic agrobacteria strains were obtained by the help of polymerase chain reaction method. It was established that pathogenic agrobacteria survived in soil of the investigated plot during the period of two years. 171 agrobacteria strains isolated from grapevine cuttings and vineyard soil were tested by the polymerase chain reaction with primers based on the *vir D2* and *ipt* genes. The data about quantity of *vir D2* – and *ipt* – positive strains were obtained. Examine their antagonistic properties against the crown gall of grape. Isolated *Rhizobium vitis* strains showed bacteriocinogenic activity against closely related strains.

Ключові слова: *Agrobacterium vitis*, ґрунт, полімеразна ланцюгова реакція, бактеріальний рак винограду.

Keywords: *Agrobacterium vitis*, soil, polymerase chain reaction (PCR), crown gall of grape.

Rhizobium (*Agrobacterium*) *tumefaciens* (*vitis*), *Agrobacterium tumefaciens* біовар 3, або згідно нової номенклатури, *Agrobacterium vitis* [1], є збудником бактеріального раку винограду - захворювання, яке призводить до значних втрат як на молодих насадженнях, так і на виноградниках, що плодоносять. Бактеріальний рак - системне захворювання; збудник розповсюджується по судинній системі рослини, виділяється зі здерев'янілих пагонів та коріння [2]. Інфікована рослина може не проявляти симптомів захворювання і при вегетативному розмноженні бути джерелом розповсюдження *A. vitis* на значній території [3].

Джерелом інфекції у ґрунті є коріння, яке залишається після видалення інфікованих кущів, а також самі хворі рослини [4, 5]. З інфікованого ґрунту патоген може проникати у здорову рослину [6]. Факторами, що сприяють розвитку бактеріального раку на винограднику, постають вологість, холодні зими [3, 4, 7]. Бактеріальний рак - це ранева інфекція, і збудник попадає до рослинних тканин крізь пошкодження [8].

Как правило, боротьба з бактеріальним раком має певні труднощі і наявність патогенної бактерії у ґрунті ви-

ноградника дуже небезпечно, тому що вона легко розповсюджується на інші рослини. Аналіз втрати врожаю від збудника бактеріального раку показав, що *A. tumefaciens* займає третє місце серед бактеріальних патогенів рослин. Третій біовар *A. tumefaciens*, який вражає в основному виноград і виділяється із ґрунту винограднику, але з ризосфери винограду можна виділити й інші види агробактерій. На теперішній час бактеріальний рак, що розповсюджений у всьому світі є одним з найбільш шкочинних хвороб винограду. При цьому збитки від цієї хвороби досягають 75-80 % [7].

Відкритим залишається питання про те, який строк є необхідним для оздоровлення ґрунту від *A. vitis*. За даними дослідників, на різних ділянках збудник може виділятися з ґрунту навіть через 16 років після видалення хворих рослин, а може не виявлятися вже через рік, що свідчить про природну елімінацію патогена [9, 10].

Важливою проблемою перед закладанням винограднику є вибір ділянки, вільної від *A. vitis* [6, 11]. Тестування ґрунту на присутність патогенних агробактерій дозволяє не тільки виявити заражені та вільні від збудника ділянки, але також сприяє вивченню екології збудника, розробці

профілактичних заходів, направлених на боротьбу з бактеріальним раком.

На теперішній час немає ефективних засобів щодо захисту винограду від цієї хвороби, за винятком обмеження поширення хвороби з садивним матеріалом.

Актуальність даної роботи визначалась в виявленні біологічних заходів боротьби із збудником бактеріального раку винограду.

Мета досліджень полягала в виділенні, ідентифікації непатогенних агробактерій, що мали антагоністичні властивості по відношенню до патогенних штамів збудника бактеріального раку винограду та розробити технологію їх застосування при виробництві щеп, на шкільках та маточних насадженнях.

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалом для проведення досліджень були: чубуки виноградної лози сортів Каберне Совіньйон, Піно чорний, Мерло зовнішньо здорові, без симптомів бактеріального раку винограду; підщепи і прищепи при виробництві щеп садивного матеріалу винограду; шкільки і маточні насадження прищепних сортів винограду; ґрунт у ризосфері виноградних кущів та міжряддях винограднику.

При проведенні досліджень були використані мікробіологічні методи виділення агробактерій на напівселективне поживне середовище Рой і Сассера з послідуємим пересівом виділених бактерій на картопляний агар. Досліджувані бактерії діагностували і ідентифікували за допомогою методу ПЛР-діагностики.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Обстеження виноградників Одеської, Миколаївської

і Херсонської областей показало, ураження кущів бактеріальним раком значне. Бактеріальним раком уражуються як молоді насадження, так і багаторічні плодоносні виноградники. Збитки від цієї хвороби великі. Сорти винограду чутливі до бактеріального раку у різній мірі. Серед підщепних сортів більш чутливими до зараження *A. vitis* є *V. berlandieri* x *V. riparia* Кобера 5ББ, *V. berlandieri* x *V. riparia* СО4 (табл.1). Пухлини виявляються на цих сортах частіше, ніж на сортах *V. riparia* x *V. rupestris* 101 – 14 і *V. riparia* x *V. rupestris* 3309. Згідно дослідженням, підщепні сорти *V. riparia* і *V. rupestris* загалом більш резистентні до ураження бактеріальним раком, ніж сорти *V. vinifera*. Високочутливими прищепними сортами винограду є Каберне Совіньйон, Мерло, Ріслінг рейнський. Ступінь ураження певного сорту залежить від кліматичної зони культивування винограду.

В результаті фітосанітарного обстеження виноградників Одеської, Миколаївської і Херсонської областей на загальній площі 150 га на ураження бактеріальним раком встановлено, що у різних господарствах Одеської області ураження бактеріальним раком становить від 5 до 25 %; у господарстві Миколаївської області – від 2 до 10 %; у господарствах Херсонської області – від 5 до 20 %.

Візуальний фітосанітарний контроль не дозволяє розпізнати кущі з латентною інфекцією і запобігти заготовленню з них лози для вегетативного розмноження рослин.

В результаті ПЛР діагностики виноградної лози і ґрунту було виділено значну кількість непатогенних агробактерій (рис. 1, рис. 2), які були використані для подальшого дослідження їхніх антагоністичних властивостей.

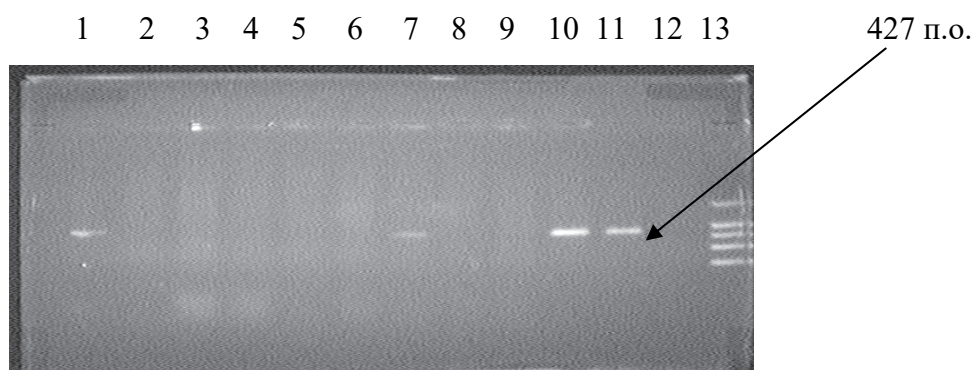


Рис. 1. Електрофорез продуктів ампліфікації ДНК штамів агробактерій з праймерами ірт в агарозному гелі 1, 7, 11 – ірт – позитивні штами *Agrobacterium* sp., виділені із виноградної лози; 2 – 6, 8, 9, 12 – зразки винограду, що не містили ірт – позитивних штамів агробактерій; 10 – патогенний штам *Agrobacterium tumefacens* Fa2; 13 – маркер молекулярної ваги (200 – 800 пар основ, “Амплісенс”, Росія).

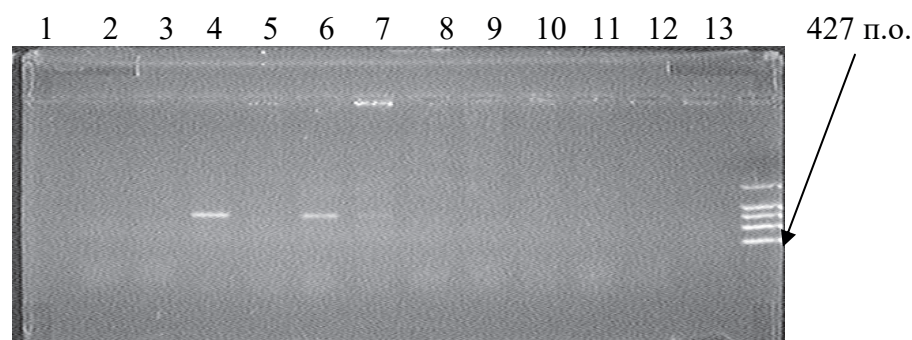


Рис. 2. Электрофорез продуктів ампліфікації ДНК штамів агробактерій з праймерами ipt в агарозному гелі 3, 6 - ipt – позитивні штами *Agrobacterium* sp., виділені із ґрунту винограднику; 1, 2, 4, 7 – зразки винограду, що не містили ipt – позитивних штамів агробактерій; 5 – патогенний штам *Agrobacterium tumefacens* Fa2; 13 – маркер молекулярної ваги (200 – 800 пар основ, “Амплісенс”, Росія).

Штами *Agrobacterium* sp. були виділені із ґрунту винограднику, ідентифіковані по морфології згідно визначника Бергі (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльні біохімічні і фізіологічні характеристики ізолятів *Agrobacterium* sp. і референтного штаму *Agrobacterium rhizogenes* K 84

Біохімічні і фізіологічні властивості ізолятів	<i>Agrobacterium</i> sp.	<i>Agrobacterium rhizogenes</i> K 84
Розмір клітин, мкм	0,6 x 1,5-3	0,8 x 1.5-3 мкм
Забарвлення за Грамом	-	-
Оптимальна температура росту, °C	25-27	25-27
Рухомість	+	+
Аероби	+	+
Спори	-	-
Утворення 3-кетолактози	+	+
Гідроліз крохмалу	-	-
Розжиження желатину	-	-
Утворення кислоти на джерелах вуглецю:		
глюкоза	+	+
фруктоза	+	+
арабіноза	+	+
галактоза	+	+
маніт	+	+
Утворення аміаку	+	+

Примітка: «+» - позитивна реакція; «-» - негативна реакція.

Колонії на штучному м'ясо-пептонному і картопляному агарі після двох діб інкубації при 25-27 °C мали розміри 2-4 мм у діаметрі, слизькі, незабарвлені. Поверхня колоній гладка. Характер росту м'ясо-пептоному бульйоні – помутніння й утворення осаду після 2-х діб інкубації при 25 - 27 °C. Оптимум рН середовища – нейтральний 6,0 – 7,3. Для встановлення антагоністичних властивостей ізолятів *Agrobacterium* sp. спочатку культуру нарощували у 2 мл середовища D наступного складу в г на 1 літр дистильованої води: K_2HPO_4 – 0,1; KH_2PO_4 – 0,4; NaCl – 0,1; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,2; $CaCl_2$ – 0,02; $FeCl_3$ – 0,01; $NaMoO_4 \cdot 2H_2O$ – 0,002; малат

натрію – 5; дріжджовий екстракт – 5; гідролізат казеїну – 5; рН 6,8. Інкубували при 25-27 °C протягом 2-х діб. Бактеріальну культуру розводили у 100 разів у середовищі D (0,2 мл зависі + 9,8 мл середовища) і інкубували при струшуванні при 25-27 °C протягом 24 годин. Отриману завись, яка мала концентрацію 10⁹ бактеріальних клітин на 1 мл, використовували для нанесення на штучно уражені ділянки рослин. Антагоністичні властивості ізолятів непатогенних бактерій досліджували на виноградних кущах у полі та в лабораторних умовах на виноградних рослинах *in vitro* та тест-рослинах каланхое. Для зараження ізолятами

використовували п'яти- семирічні кущі винограду сортів Каберне Совін'йон і Мерло рожеве, найбільш чутливі до ураження збудником бактеріального раку винограду, місячного строку рослини *in vitro* та річні тест-рослини каланхое. В досліді використовували по 10 рослин. Для цього на зелених пагонах винограду і каланхое на рівні 3-5 міжвузля робили скальпелем надріз, на рослинах *in vitro* – голкою і вносили бактеріальною петлею завись бактеріальних клітин в концентрації 109 КУО/мл виділених агробактерій. Через час після нанесення непатогенних бактерій

в той самий надріз вносили таку ж кількість вірулентного референтного штаму *Agrobacterium tumefaciens* Fa2. Водночас таким самим чином на інших рослинах вносили непатогенний штам *Agrobacterium rhizogenes* HLB-2, що має антагоністичні властивості по відношенню до збудника бактеріального раку і *A. tumefaciens* Fa2. Місце надрізу закривали плівкою Parafilm щоб бактеріальна плівка не висихала. Облік результатів проводили через 25-30 діб по наявності або відсутності пухлин на рослинах (табл. 2).

Таблиця 2

Результати дослідження антагоністичних властивостей ізолятів агробактерій по відношенню до збудника бактеріального раку винограду *A. tumefaciens* Fa2.

№ п/п	Тест-культура	Кількість заражених рослин, шт.	Пухлиноутворення на пагонах рослин при ураженні інокулятом	Пухлиноутворення на пагонах рослин при ураженні <i>A. rhizogenes</i> HLB-2
1.	Виноград сорт Каберне Совін'йон	10	3	0
2.	Виноград сорт Мерло рожеве	10	2	0
3.	Контроль, без зараження антагоністами	10	9	10
4.	Виноград <i>in vitro</i> сорт Каберне Совін'йон	10	1	0
5.	Виноград <i>in vitro</i> сорт Мерло рожеве	10	0	0
6.	Контроль, без зараження антагоністами	10	10	10
7.	Тест-рослина каланхое	10	0	0
8.	Контроль, без зараження антагоністами	10	10	10

На теперішній час є цілий ряд штамів *A. vitis*, *A. tumefaciens* и *A. radiobacter*, які успішно використовуються для попередження вторинного ураження здорових рослин винограду з ґрунту. Цей метод представляється нам дуже важливим і повинен бути включено до технології посадки саджанців винограду на постійне місце.

ВИСНОВКИ

1. Проведена лабораторна діагностика латентного ураження збудником бактеріального раку виноградників і ґрунту у ризосфері і міжрядді.
2. Для виявлення непатогенних агробактерій було протестовано 157 чубуків виноградної лози, 58 зразків ризосфери і 34 зразка міжряддя ґрунту виноградників.
3. Встановлено, що із всієї кількості протестованих зразків виділено 208 непатогенних штамів агробактерій і 2 з них мали антагоністичні властивості, що було перевірено в лабораторних і польових умовах.
4. На основі отриманих даних розроблена технологія застосування мікробів-антагоністів проти збудника бактеріального раку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ophel K., Kerr A. *Agrobacterium vitis*, new species for strains of *Agrobacterium* biovar 3 from grapevines// Int. J. Syst. Bacteriol. – 1990. – 40. – P. 236 – 241.
2. Lehoczky J. Root system of the grapevine as a reservoir of *Agrobacterium tumefaciens* cells// Proc. 4 th Int. Conf. Plant Pathol. Bacteriol. (Angers, France, 1978). – Angers, 1978. – P. 239 – 243.
3. Burr T.J., Katz B.H. Grapevine cuttings as potential sites of survival and means of dissemination of *Agrobacterium tumefaciens* // Plant Dis. – 1984. – 68. – P. 976 – 978.
4. Burr T.J., Katz B.H. Isolation of *Agrobacterium tumefaciens* biovar 3 from grapevine galls and sap, and from vineyard soil// Phytopathology. – 1983. – 73. – P. 163 – 165.
5. Lehoczky J. Root system of the grapevine as a reservoir of *Agrobacterium tumefaciens* cells// Proc. 4 th Int. Conf. Plant Pathol. Bacteriol. (Angers, France, 1978). – Angers, 1978. – P. 239 – 243.
6. Burr T.J., Katz B.H., Bishop A.L. Population of *Agrobacterium* in vineyard and nonvineyard soils and grape roots in vineyards and nurseries// Plant Dis. – 1987. – 71. – P. 617 – 620.

7. Burr T.J., Bazzi C., Süle S., Otten L. Crown gall of grape: biology of *Agrobacterium vitis* and the development of disease control strategies// *Plant Dis.* – 1998. – 82. – P. 1288 – 1297.
8. Байдербек Р. Опухоли растений. – М.: Колос, 1981. – С. 114.
9. Bouzar H., Oudah D., Krimi Z., Jones J.B., Trovato M., Petit A., Dessaux Y. Correlative association between resident plasmids and the host chromosome in a diverse *Agrobacterium* soil population// *Appl. Environm. Microbiol.* – 1993. – 59. – P. 1310 – 1317.
10. Krimi Z., Petit A., Mougel P., Dessaux Y., Nesme X. Seasonal fluctuations and long-term persistence of pathogenic populations of *Agrobacterium* spp. in soils// *Appl. Environm. Microbiol.* – 2002. – 68, № 7. – P. 3358 – 3365.
11. Haas J.H., Moore L.W., Ream W., Manulis S. Universal PCR primers for detection of phytopathogenic *Agrobacterium* strains// *Appl. Environm. Microbiol.* – 1995. – 61, №8. – P. 2879 – 2884.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕГОЧНОЙ ТКАНИ С ТУБЕРКУЛЕМОЙ В ФАЗЕ ПРОГРЕССИРОВАНИЯ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ВОСПАЛЕНИЯ

Лискина И.В.

доктор медицинских наук, старший научный сотрудник
заведующая лабораторией патоморфологии

Мельник О.А.

младший научный сотрудник
лаборатории патоморфологии

ГУ «Национальный институт фтизиатрии и пульмонологии
им. Ф.Г. Яновского НАМН Украины», г. Киев

MORPHOLOGICAL FEATURES OF LUNG TISSUE WITH TUBERCULOMA AT THE PROGRESSION OF SPECIFIC INFLAMMATION

Liskina I.V.

*Doctor of Medical Science, senior researcher,
the Head of the laboratory of pathomorphology*

Melnyk O.A.

junior researcher of the laboratory of pathomorphology

SO «National institute of phthisiology and pulmonology named after F.G. Yanovsky National academy of medical sciences of Ukraine», Kiev

АННОТАЦИЯ

Подробно представлены цитологические и гистологические особенности легочной ткани с наличием туберкулемы в условиях прогрессирования специфического туберкулезного воспаления, изученные на резекционном материале человека. Контролем служили случаи туберкулемы легких с низкой активностью туберкулезного воспаления. Представлены иллюстрации некоторых гистологических признаков. Предложен ряд цитологических и гистологических признаков, которые достоверно характеризуют прогрессирование туберкулезного воспаления при туберкулемах легких.

ABSTRACT

Cytological and histological peculiarities of lung tissue with tuberculoma are presented in detail in the progression phase of tuberculosis inflammation. Surgical resections of human lung were used as a material. Cases of pulmonary tuberculomas with a low activity of tuberculosis inflammation served as a control. Some histological signs are illustrated. A number of important cytological and histological signs are proposed for an objective estimation of the progression phase of tuberculosis inflammation at pulmonary tuberculomas.

Ключевые слова: туберкулема легких, цитологические и гистологические признаки, прогрессирование туберкулезного процесса.

Keywords: pulmonary tuberculoma, cytologic and histological signs, progression of tuberculosis process.

Актуальность работы. В настоящее время среди всех клинично-морфологических форм туберкулеза легких туберкулема остается актуальной и недостаточно изученной проблемой фтизиатрии. Это, в частности, связано со значительным удельным весом случаев туберкулем в структуре современного легочного туберкулеза, длительностью эпидемии туберкулеза в странах постсоветского пространства (России, Украине) и его негативным пато-

морфозом [6, 7, 9, 16]. Еще в 60-80-е годы прошлого века проводился ряд исследований с целью выяснения активности специфического воспалительного процесса при туберкулемах легких. В работах определяли выраженность специфических клеточных реакций легочной ткани в сопоставлении с биохимическим исследованием белкового спектра казеозных масс из туберкулем и туберкулезных очагов; сопоставляли результаты рентгенологического

исследования легких с иммунологическим состоянием периферической крови, а также проводились сравнения результатов морфологического исследования туберкулем с клиничко-рентгенологическими данными и общепринятыми лабораторными показателями [5, 12, 14]. В этих исследованиях было установлено, что отдельные результаты клиничко-рентгенологического исследования, лабораторные и иммунологические показатели не могут дать полной объективной оценки активности воспалительного процесса в очаге поражения и только морфологический анализ туберкулем легких позволяет наиболее точно установить степень его активности. Однако не решен ряд вопросов, касающихся непосредственного определения морфологической активности специфического воспалительного процесса при оперативных вмешательствах по поводу туберкулем легких, в частности, не определен набор конкретных морфологических признаков, характеризующих различную активность.

Туберкулема – это особая форма-фаза туберкулеза легких, характеризующаяся наличием в легком округлого образования, представляющего собой очаг инкапсулированного казеоза, величиной более 1 см [16]. Как правило, туберкулема легкого является результатом инволюции очага казеозной пневмонии, который впоследствии инкапсулируется [11, 18]. По структуре различают гомогенные (казеомы), слоистые и туберкулемы конгломеративного типа. В зависимости от количества они бывают солитарные или множественные. В классической работе М. М. Авербаха [1] достаточно подробно описана классическая морфология туберкулем, кроме того, данная патология определена автором как преимущественно хирургическая форма заболевания.

В современных работах Винокурова И. И., Краснова В. А. и соавт. [2, 3, 8] изучены частота выявления и профиль резистентности микобактерий туберкулеза (МБТ) в мокроте и операционном материале в зависимости от типа туберкулем. Сообщается, что чаще всего МБТ в мокроте выявляли при наличии туберкулем типа заполненной каверны. Кроме того, установлено, что в резецированных препаратах преобладали туберкулемы гомогенного типа, и в этих случаях значительно (в 3,8 раза) преобладала частота выявления лекарственно-устойчивых штаммов МБТ по сравнению с туберкулемами слоистого и инфильтративно-пневмонического типов. Изучены патогенез и клиничко-морфологические особенности туберкулем легких в условиях Крайнего Севера [3, 4, 8]. Авторы установили, что особенностью является развитие туберкулем преимущественно гомогенного типа в глубоких участках легких на фоне своеобразного сочетания очагов острой специфической пневмонии с общим торпидным течением процесса, что способствует формированию множественных и крупных очагов казеоза на фоне выраженного пневмосклероза. Лискиной И. В. [9] проведен ретроспективный анализ резецированных туберкулем легких за 10-летний период по данным высокоспециализированного медицинского учреждения в Украине. Среди 317 туберкулем преобладали туберкулемы гомогенного типа (227 пациентов, 71,6%), причем в 66 случаях (20,8%) отмечено прогрессирование специфического воспалительного процесса по

данным морфологического исследования. Изучению непосредственно морфологических особенностей туберкулем легких в фазе прогрессирования специфического воспалительного процесса посвящена работа Холодок О. А. и Черемсина М. И. [15]. Авторы провели структурный анализ капсулы и внутреннего казеоза туберкулем, а также окружающей легочной ткани, проанализировали основные этапы формирования туберкулем. Установлено, что при прогрессировании или обострении хронического процесса наблюдается инфильтрация сегментоядерными лейкоцитами, как казеозных масс, так и капсулы. Кроме того, авторы выяснили, что из 100 проведенных оперативных вмешательств по поводу туберкулем легких лишь в 10,0% случаев они были неактивными по данным морфологического исследования, хотя в большинстве наблюдений клиничко-рентгенологические данные были в пользу стабильности специфического процесса.

Таким образом, проведение только рентгенологического и/или лабораторного контроля в случаях туберкулем легких не обеспечивает достоверной оценки уровня активности специфического процесса. Именно морфологический анализ позволяет наиболее достоверно и четко определить степень активности процесса как непосредственно в туберкулемах легкого, так в прилежащей легочной паренхиме.

Цель исследования – изучение морфологических особенностей туберкулезного воспалительного процесса с высокой степенью его активности при туберкулемах легких.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В ретроспективное морфологическое исследование включено 35 случаев туберкулем легких в фазе прогрессирования специфического воспалительного процесса, что составило 19,7% от общего количества оперативных вмешательств, выполненных по поводу туберкулем за 2010-2012 годы. Операции выполнялись в клинике ГУ «Национальный институт фтизиатрии и пульмонологии им. Ф.Г. Яновского НАМН Украины», г. Киев. Среди пациентов было 15 мужчин (42,9%) и 20 женщин (57,1%), средний возраст пациентов составил 27,9±2,3 и 28,7±2,7 лет соответственно.

Во всех случаях изначально двумя независимыми опытными патологоанатомами проведена гистологическая верификация, как формы туберкулезного процесса, так и его степени активности. Установлен диагноз туберкулезного воспалительного процесса с высокой степенью активности по морфологическим признакам [13].

Материал исследования включал также ряд клиничко-лабораторных показателей и результаты гистологического исследования легких с использованием традиционной обзорной методики окраски препаратов гематоксилином и эозином. В работе использованы световые микроскопы Olympus CX21, Olympus BX51 с фото-приставкой Olympus DP73, рабочие увеличения x100, x200 и x400.

При микроскопическом исследовании проводили изучение внутреннего содержимого туберкулемы, клеточного состава ее капсулы, а также прилежащей легочной паренхимы. Была принята условная рабочая количественная градация количества клеток, обнаруженных в воспали-

тельно-клеточных инфильтратах: значительное количество – более 20 клеток в поле зрения, умеренное количество – 10-20 и малое – до 9 клеток, при рабочем увеличении х 400. В среднем, в каждом гистопрепарате просматривали 10-15 полей зрения микроскопа.

Микробиологическое исследование биологического материала (мокроты и/или фрагментов операционного материала) по МБТ проводилось с использованием различных методов, регламентированных Приказом МОЗ Украины № 45 [10].

Статистическая обработка данных проводилась с помощью лицензионных программных продуктов, которые входят в пакет Microsoft Office Professional 2000 (Excel). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

За период наблюдения при гистологическом исследовании всех резектатов легких по поводу туберкулем в 35 случаях была установлена морфологически высокая степень активности воспалительного процесса. Ряд анатомических характеристик этих наблюдений представлен в

таблице.

Установлено, что среди случаев оперативных вмешательств по поводу туберкулем легких с морфологическими признаками высокой активности специфического воспалительного процесса достоверно преобладали солитарные туберкулемы-казеомы, удельный вес которых составил (62,9%) по сравнению со множественными (37,1%). Полученные данные сопоставимы с результатами российских коллег [4], определивших на материале 302 случаев формирование преимущественно солитарных туберкулем с признаками активности воспалительного процесса в 70,5% случаев. В работе Диденко Г. В [6] на материале 653 оперативных вмешательств по поводу туберкулем легкого в 56,0% случаев при проведении морфологического исследования были диагностированы туберкулемы солитарного типа, множественные – в 44,0% случаев.

Уточнены топографо-анатомические особенности туберкулем легких в группе наблюдения. Как правило, имеет место одностороннее поражение легких, причем достоверно чаще оно локализуется справа, 60,0% случаев, слева

Таблица

Анатомическая характеристика туберкулем легких с высокой активностью специфического воспаления, абс., (M ± m, %)

Показатель	Годы			Общее количество
	2010	2011	2012	
Количество туберкулем по рентгенологическим данным				
– солитарные	6 (66,7±15,7)	5 (60,0±21,9)	11 (61,1±11,5)	22 (62,9±8,2) *
– множественные	3 (33,3±15,7)	3 (40,0±17,9)	7 (38,9±11,5)	13 (37,1±8,2) *
Сторона поражения				
– правая	5 (55,6±16,6)	7 (87,5±11,7)	9 (50,0±11,8)	21 (60,0±8,3) *
– левая	3 (33,3±15,7)	1 (12,5±11,7)	8 (44,4±11,7)	12 (34,3±8,0) *
– оба легких	1 (11,1±10,5)	–	1 (5,6±5,4)	2 (5,7±3,9)
Распространенность поражения				
– сегмент	5 (55,6±16,6)	1 (12,5±11,7)	5 (27,8±10,6)	11 (31,4±7,8)
– несколько сегментов	–	2 (25,0±15,3)	5 (27,8±10,6)	7 (20,0±7,8)
– доля легкого	4 (44,4±16,6)	5 (60,0±21,9)	8 (44,4±11,7)	17 (48,6±8,4)
– легкое	–	–	–	–

Примечание: * – достоверная разница показателя между группами сравнения в исследовании ($p < 0,05$).

– в 34,3% соответственно ($p < 0,05$). Только в 2-х случаях (5,7%) процесс имел двусторонний характер поражения. Изучение распространенности туберкулезного процесса показало, что приблизительно с одинаковой частотой процесс охватывает сегмент или несколько сегментов легкого, однако, чаще всего поражается доля. Полученные данные вполне согласуются с результатами более ранних исследований [1, 9].

Результаты микробиологического исследования мокроты и операционного материала в группе исследования по выявлению МБТ и последующего теста медикаментозной чувствительности (ТМЧ) для выяснения профиля их резистентности были следующими. МТБ в мокроте и/или операционном материале были обнаружены только в 10 случаях (28,6±7,6%). Методом микроскопии мокроты МБТ

были выявлены в 9 случаях (25,7±7,4%), в операционном материале они определялись только в единичных наблюдениях – 3 случая (8,6±4,7%). В 2-х случаях МБТ были выявлены как в мокроте, так и в операционном материале. Результаты ТМЧ при туберкулезе легких с признаками активности: монорезистентные МБТ в биоматериале высеяны в 2-х случаях (5,7±3,9 %), мультирезистентные – в 4 (11,4±5,4 %) и штаммы с расширенной резистентностью – в 2 (5,7±3,9 %). В 2-х случаях, когда были обнаружены МБТ в мокроте и операционном материале, ТМЧ не проводили. Достаточно низкий показатель выявления МТБ можно объяснить, во-первых, тем, что у большинства пациентов с туберкулемами МБТ в мокроте отсутствуют или больные вообще не выделяют мокроту. Во-вторых, при проведении оперативного вмешательства для культураль-

ного исследования производят забор внутреннего содержимого туберкулем случайным образом, что, очевидно, влияет на результаты исследования. Еще Авербах М.М. [1] в своей работе отмечал, что МБТ чаще обнаруживаются в расплавленном казеозном некрозе и крайне редко – в плотном.

Гистологическое исследование включало 25 случаев туберкулем. Тип туберкулем определяли по клинко-анатомической классификации, предложенной М.М. Авербахом [1]. В 22 случаях (88,0%) имели место туберкулемы типа казеом, туберкулемы инфильтративно-пневмонического типа наблюдали только в 3 случаях (12,0%). В 10 случаях (45,5%) из 22 наблюдали туберкулемы-казеомы конгломеративного типа, причем в 8 случаях они были множественные. Реже наблюдали солитарные гомогенные туберкулемы и туберкулемы-казеомы слоистого типа – в 8 и 4 случаях соответственно (36,4 % и 18,2 %). Полученные нами результаты вполне сопоставимы с аналогичными результатами других исследований [2, 4, 15].

При гистологическом исследовании почти во всех случаях (24 наблюдения) капсула туберкулемы имела двухслойное строение. В 19 случаях (76,0%), слои капсулы были неравномерными по толщине, причем, отмече-

но существенное преобладание по толщине внутреннего слоя, представленного преимущественно разрастаниями специфических грануляций, над толщиной внешнего, фиброзного слоя.

Внутренний слой капсулы, как правило, был представлен массивными скоплениями эпителиоидных клеток, ориентированных в сторону казеозных масс в виде частоты, кнаружи от него располагались достаточно хорошо представленные очаговые или диффузные скопления клеток воспалительного ряда: лимфоидных клеток, незначительная примесь плазматических клеток, макрофагов, различного количества эозинофилов и гистиоцитов (рис. 1). В большинстве случаев количество эозинофилов было значительным или умеренным. В 9 случаях (36,0%) среди специфических грануляций обнаружены сформированные типичные эпителиоидно-клеточные гранулемы с многочисленными гигантскими клетками типа Пирогова-Лангханса, в некоторых из этих гранул присутствовал центральный казеозный некроз. Типичным наблюдением было присутствие многочисленных фибробластов, которые обнаруживались по всей толщине капсулы туберкулемы.

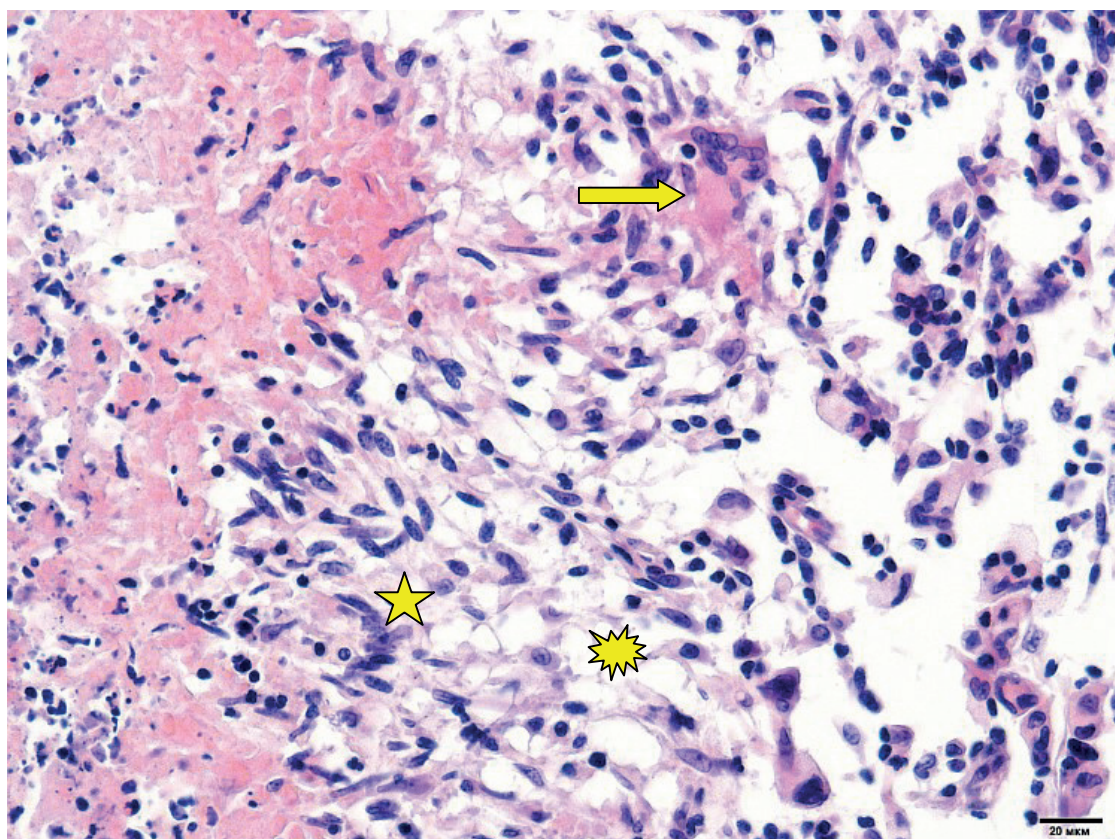


Рис. 1. Граница внутреннего содержимого и грануляционного слоя капсулы туберкулемы при активном специфическом процессе. Состав грануляционного слоя: многочисленные эпителиоидные клетки (звездочка), пенные макрофаги (пятно), лимфоциты и единичная гигантская многоядерная клетка (стрелка). Окраска гематоксилином и эозином. Ув.: x200.

В наружном слое капсулы в 11 случаях (44,0%) наблюдали малое количество плазматических клеток и эозинофилов среди более многочисленных фибробластов и фиброцитов. Наиболее яркой морфологической характе-

ристикой фиброзного слоя служили разрастания коллагеновых волокон. В 8 случаях (32,0%) обнаружены зрелые гранулемы, которые плотно прилегали к наружному слою капсулы. По типу это были эпителиоидно-клеточные гра-

нулемы с небольшой примесью лимфоцитов и наличием многоядерных гигантских клеток типа Пирогова-Лангханса, причем такие гранулемы, как правило, были окружены фиброзной капсулой.

Известно, что наличие воспалительно-клеточной инфильтрации в капсуле туберкулем является характерным признаком сохраняющейся или наступившей активности воспалительного процесса [15]. По нашему мнению, само наличие сформированного фиброзного слоя капсулы туберкулемы является признаком ее зрелости, и прямо не связано с активностью воспалительного процесса на момент исследования. Отсутствие отчетливого слоя фиброзной ткани свидетельствует, скорее всего, о том, что туберкулема находится в состоянии ее формирования.

В 22 случаях (88,0%) отмечена воспалительно-клеточная инфильтрация особого характера, расположенная на границе внутреннего слоя капсулы и некротических масс, с ее очаговым проникновением в казеозные массы. Такие инфильтраты состояли преимущественно из клеточно-ядерного детрита, вперемешку с лейкоцитами, немногочисленных эпителиоидных клеток, последние – преимущественно с дегенеративно-дистрофическими изменениями. В единичных наблюдениях наблюдалась незначительная примесь эозинофилов. Такие признаки как очаговый гиалиноз, незначительный отек капсулы наблюдали в небольшом числе случаев – 20,0% и 16,0% соответственно. Очевидно, что отек характеризует активность воспалительного процесса, тогда как очаги гиалиноза являются признаком длительно протекающего хронического специфического процесса, в виде туберкулемы.

В 15 случаях (60,0%) внутреннее содержимое тубер-

кулем было представлено «чистыми» казеозными массами. В 10 случаях (40,0%) наблюдали небольшие очаговые скопления сегментоядерных лейкоцитов и клеточного детрита, которые были расположены среди казеозных масс. Данное наблюдение можно связать с незавершенностью процессов заживления, а, следовательно, этот признак также является свидетельством активности воспалительного процесса. На границе внутреннего слоя капсулы с казеозными массами в 12 случаях (48,0 %) определялась зона деструкции. В 5 случаях (20,0%) в центральной зоне казеозного некроза наблюдалось отложение солей кальция, что характеризует длительное существование туберкулем. Кроме того, в единичных наблюдениях отмечены очаговые отложения угольной пыли, ближе к капсуле – контуры кристаллов холестерина и жирных кислот.

В сохранных альвеолах, непосредственно прилежащих к капсуле туберкулемы, в 21 случае (84,0%) наблюдали интенсивное скопление так называемых «пенистых макрофагов» (рис. 2). В последние годы установлено, что пенистые макрофаги, как правило, являются инфицированными клетками, то есть они содержат МБТ в неактивном состоянии, но которые не теряют своей жизнеспособности и способности к размножению. Кроме того, установлены провоспалительные функции таких клеток, вследствие продукции ими лейкотриенов и простагландина E2 [17]. Наличие и количество этих клеток во многом определяют риск прогрессирования заболевания в дальнейшем, а процесс их выраженного скопления в альвеолах может являться предвестником новой вспышки активности специфического процесса.

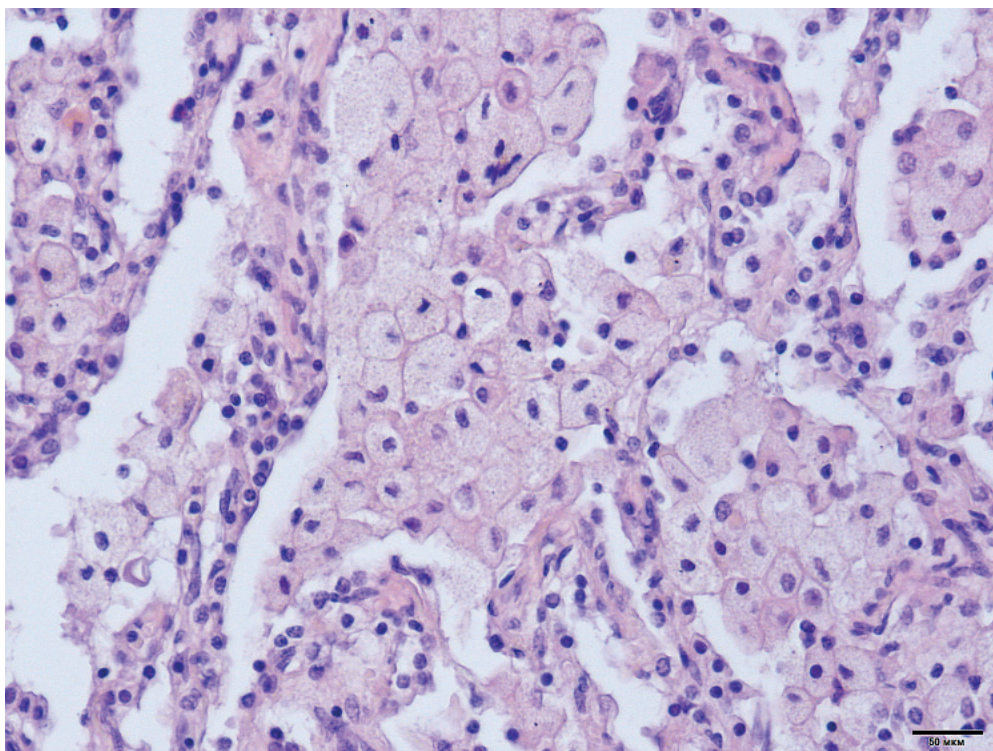


Рис. 2. Альвеолы вблизи туберкулемы с признаками специфической активности. В альвеолярных пространствах наблюдаются значительные скопления пенистых макрофагов. Окраска гематоксилином и эозином. Ув.: x200.

При изучении прилежащей к туберкулезе легочной паренхимы в 21 случае (84,0%) выявлены различной величины фокусы специфической пневмонии, причем они находились на разных стадиях своего развития. В 7 случаях (33,4%) это были фокусы ацинозных и лобулярных очагов специфической пневмонии в острой стадии, о чем свидетельствовали очаговые скопления фибринозного экссудата в альвеолах, часто – с включением клеток воспалительного ряда. Кроме того, во всех этих случаях выявлены различные по количеству скопления нейтрофилов в таких очагах. В 10 случаях (47,6 %) наблюдали участки специфической пневмонии на стадии пролиферации, которые характеризовались значительным скоплением эпителиоидных клеток, макрофагов, гистиоцитов среди лимфоидных клеток, часто присутствовали гигантские многоядерные макрофаги, а также сформированные гранулемы. Иногда наблюдали значительную эозинофильную инфильтрацию вышеописанных воспалительных инфильтратов.

В 8 случаях (38,1%) фокусы специфической пневмонии представляли собой так называемые «очаги отсева» с наличием крупной зоны центрального казеозного некроза, отграниченного от окружающей паренхимы легкого соединительнотканной капсулой. Между некрозом и фиброзной капсулой располагались типичные эпителиоидно-клеточные гранулемы с наличием в них гигантских многоядерных клеток, и центральным некрозом в некоторых из них. Часто такие очаги были расположены среди достаточно плотного лимфоидно-клеточного инфильтрата. Данный факт, согласно классическим представлениям, свидетельствует о волнообразном характере протекания туберкулезного процесса.

Наряду с фокусами специфического воспаления в легочной паренхиме вблизи туберкулемы определяли фокус/фокусы неспецифического воспалительного процесса (9 случаев, 36,0%). Фокусы были единичными и находились, как правило, на стадии пролиферации воспалительного процесса. Экссудативная реакция в них была представлена слабо. В клеточном составе воспалительных инфильтратов определяли в умеренном количестве гистиоциты, эозинофилы, фибробласты и пенные макрофаги. Только в 2 случаях (8,0%) несколько фокусов неспецифической пневмонии находились в острой стадии развития, о чем свидетельствовали наличие экссудата в альвеолах, отек межальвеолярных перегородок.

Характерным гистологическим признаком было формирование значительного количества лимфоидно-клеточных скоплений, но без формирования структур типа истинных лимфонодул. В значительном количестве на-

блюдений, 21 случай (84,0%), большинство лимфоидных скоплений располагались вплотную к фиброзу слою капсулы туберкулемы (по 10 и больше скоплений на препарат). Гораздо меньшее их количество обнаруживали в соединительно-тканых тяжах, отходящих от капсулы туберкулемы, возле сосудов крупного калибра, вблизи очаговых соединительно-тканых разрастаний, участков специфической пневмонии и возле отдельно расположенных гранул. Указанный признак, вероятно, характеризует один из видов клеточных иммунных реакций на персистенцию специфических антигенов (микобактериальной природы). Непосредственно в лимфоидных скоплениях в единичных случаях наблюдались эпителиоидно-лимфоидные гранулемы без некротических изменений, с многоядерными гигантскими клетками типа Пирогова-Лангханса.

Нарушения тканевых механизмов иммунобиологической регуляции и восстановительно-репаративных процессов приводят к усиленному образованию волокнистой соединительной ткани – как в самой капсуле туберкулемы, так и отдаленных участках легочной паренхимы. Изучение характера разрастаний соединительной ткани вблизи туберкулем показало, что в 17 случаях (70,8%) из 24-х такие разрастания отходили от внешнего слоя капсулы в виде тяжелей неправильной формы, и имели различную степень выраженности. Также присутствовали отдельные очаговые разрастания грубо-волокнистой ткани, скорее всего, это так называемые рубцы – итог заживления ранее существовавших очагов воспаления. Такой характер пневмофиброза весьма характерен для хронического рецидивирующего течения легочного туберкулеза в форме туберкулем.

Оценивали вовлечение в процесс бронхов различного калибра. В 10 случаях (40,0%) отмечено очень близкое расположение туберкулемы к мелкому бронху, наличие отчетливых признаков гранулематозного воспаления в его стенке, с развитием казеозного эндобронхита и постепенным вовлечением в патологический процесс всей стенки бронха. В 4-х наблюдениях из 10 (40,0%) был отчетливо представлен уже непосредственный прорыв капсулы туберкулемы с выходом некротических (казеозных) масс в просвет бронха (рис. 3). Последнее наблюдение характеризует кавернизацию туберкулем с элементами ее секвестрации, описанную еще Авербахом М. М. [1]. В 14 случаях (56,0%) вне туберкулемы наблюдались морфологические признаки специфического бронхита/бронхиолита с различной степенью его активности.

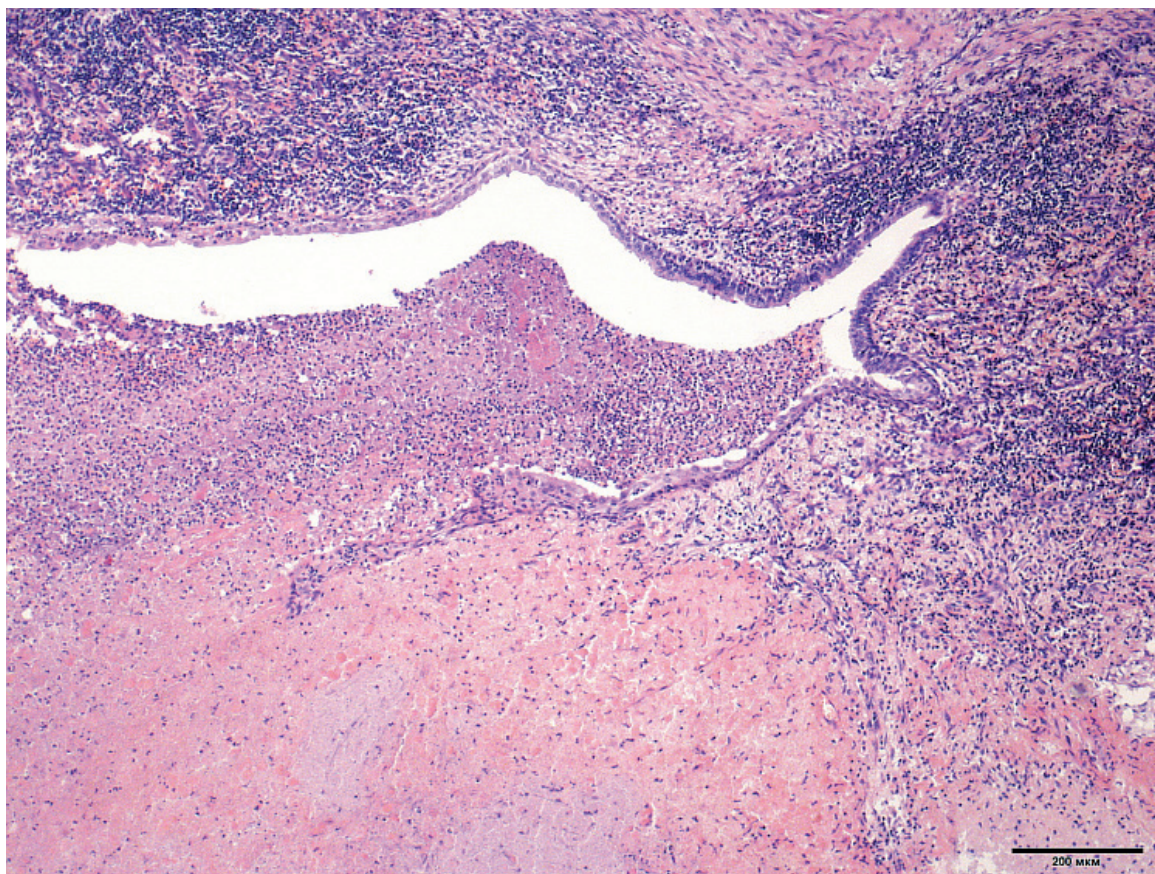


Рис. 3. Явление кавернизации туберкулемы – частичная деструкция стенки бронха с вовлечением его в структуру туберкулемы. Окраска гематоксилином и эозином. Ув.: х 40.

Изучение состояния сосудов микроциркуляторного русла вблизи туберкулем показало, что в большинстве наблюдений преобладают процессы склерозирования сосудистых стенок. Наблюдался склероз преимущественно сосудов среднего и мелкого калибра, умеренной выраженности. Явления микроваскулитов наблюдали в 10 случаях (40,0%), причем такого рода изменения наблюдались только непосредственно в очагах экссудативно-пролиферативной воспалительной реакции.

ВЫВОДЫ

На момент выполнения оперативного вмешательства по поводу туберкулем легких с морфологическими признаками высокой степени активности специфического воспалительного процесса по количеству достоверно преобладали солитарные туберкулемы-казеомы по сравнению со множественными – 62,9 % и 37,1 % соответственно. Согласно анатомическому подтипу, преобладали туберкулемы-казеомы конгломеративного типа (45,5 %). Как правило, имело место одностороннее поражение легких, причем достоверно чаще оно локализовалось в правом легком, (60,0 %) случаев, по сравнению с левым – 34,3 %.

Установлены следующие морфологические признаки, типичные для фазы прогрессирования специфического воспалительного процесса в случаях туберкулем легких:

- двухслойное строение капсулы туберкулемы с преобладающим по толщине внутренним слоем, представленным участками специфических грануляций и массивными скоплениями эпителиоидных клеток, ориентированных в сторону казеозных масс в виде частокола;

- наличие очаговой воспалительно-клеточной инфильтрации на границе внутреннего слоя капсулы и периферической зоны некротического содержимого туберкулем, представленной клеточным и ядерным детритом, лейкоцитами и немногочисленными эпителиоидными клетками;

- частое формирование зоны деструкции на границе внутреннего слоя капсулы с казеозными массами;

- интенсивное скопление пенистых макрофагов в сохранившихся альвеолах, непосредственно прилежащих к капсуле туберкулем;

- частое наличие очагов специфической пневмонии на разных стадиях развития в одном и том же наблюдении;

- хорошо выраженные клеточные иммунные реакции в виде очаговых скоплений лимфоидных клеток непосредственно вблизи капсулы туберкулемы;

- частое вовлечение структур бронхиального дерева с развитием в них специфического гранулематозного воспаления (56,0 % случаев).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авербах М.М. Туберкулемы легкого / М.М. Авербах. – М.: Медгиз, 1962. – 344 с.
2. Винокуров И.И. Клинико-морфологическое обоснование хирургического лечения туберкулем легких / И.И. Винокуров // Проблемы туберкулеза и болезней легких. – 2009. – № 4. – С. 28–31.
3. Винокуров И.И. Патогенез туберкулем легких в условиях Крайнего Севера / И.И. Винокуров // Туберкулез и болезни легких. – 2010. – № 2. – С. 24–27.

4. Винокуров И.И. Особенности морфологических проявлений туберкулем легких в условиях региона Крайнего Севера / И.И. Винокуров // Бюллетень СО РАМН. – 2010. – Т. 30, № 1. – С. 83–87.
5. Гудзь Е.А. Определение активности туберкулем легкого / Е.А. Гудзь // Врачебное дело. – 1985. – № 6. – С. 44–46.
6. Диденко Г.В. Результаты хирургического лечения больных туберкулемой легкого / Г.В. Диденко // Проблемы туберкулеза. – 2007. – № 11. – С. 26–28.
7. Кошечкин В.А. Туберкулез / В.А. Кошечкин, З.А. Иванова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 304 с.
8. Краснов В.А. Особенности патоморфоза и тактики лечения туберкулем легких в условиях региона крайнего Севера / В.А. Краснов, Т.А. Колпакова, И.И. Винокуров // Туберкулез и болезни легких. – 2011. – № 4. – С. 217–218.
9. Лискина И.В. Туберкулемы легких: клинико-анатомическая характеристика в период эпидемии / И.В. Лискина // Туберкулез. Легеневі хвороби. ВІЛ-інфекція. – 2012. – № 1 (08). – С. 38–44.
10. Наказ МОЗ України № 45 від 06.02.02. «Про затвердження Інструкції з бактеріологічної діагностики туберкульозної інфекції»: Київ : [б. в.], 2002. – 75 с.
11. Пальцев М.А. Патологическая анатомия: национальное руководство / гл. ред. М.А. Пальцев, Л.В. Кактуровский, О.В. Зайратьянц. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 1264 с.
12. Попова Э.М. Биохимическая и гистологическая характеристика очагов и туберкулем различной степени активности / Э.М. Попова, А.П. Ильиных // Проблемы туберкулема. – 1977. – №. 6. – С. 68–72.
13. Сучасні гістологічні особливості туберкульом легень при різному ступені активності специфічного запального процесу / І.В. Ліскіна, С.Д. Кузовкова, Л.М. Загаба, В.Г. Лук'янчук // Сучасні інфекції. – 2010. – № 1. – С. 65–72.
14. Трушкевич Л.И. Определение активности туберкулем легких / Л.И. Трушкевич, Т.А. Лурье // Врачебное дело. – 1967. – № 11. – С. 92–95.
15. Холодок О.А. Морфологические аспекты активности туберкулем легких / О. А. Холодок, М. И. Черемсин // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2013. – № 49. – С. 51–54.
16. Холодок О.А. Туберкулема легкого как форма туберкулезного процесса / О.А. Холодок, А.А. Григоренко, М.И. Черемкин // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2014. – № 53. – С. 126–131.
17. Foamy macrophages and the progression of the human TB granuloma / D.G. Russell1, P-J Cardona, M-J Kim [et al.] // Nat Immunol. – 2009. – Vol.10, № 9. – P. 943–948.
18. Hunter R.L. Pathology of post primary tuberculosis of the lung: an illustrated critical review / R.L. Hunter // Tuberculosis (Edinb). – 2011. – Vol. 91(6). – P. 497–509.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БАЗИДИАЛЬНЫХ ГРИБОВ КАРАТАУСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЫРДАРЬИНСКОГО КАРАТАУ

Рахимова Елена Владимировна

доктор биологических наук,

Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

Нам Галина Алексеевна

кандидат биологических наук,

Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

Ермекова Бигатша Дуйсенбаевна

доктор биологических наук,

Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

Джетигенова Улдай Конуровна

кандидат биологических наук,

Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан

Сакауова Гульжахан Батыевна

кандидат биологических наук,

Каратауский государственный природный заповедник

DIVERSITY OF BASIDIOMYCETES IN KARATAU RESERVE AND ADJACENT TERRITORIES OF SYRDARYA KARATAU

Rakhimova Y.V., doctor of Biological Sciences, Institute of Botany & Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

Nam G.A., candidate of Biological Sciences, Institute of Botany & Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

Yermekova B.D., doctor of Biological Sciences, Institute of Botany & Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

Jetigenova U.K., candidate of Biological Sciences, Institute of Botany & Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

Sakauiova G.B., candidate of Biological Sciences, Karatau State Nature Reserve

АННОТАЦИЯ

Базидиальные грибы (подцарство Basidiomycota) на территории Сырдарьинского Алатау представлены 76 видами из 59 родов, 20 семейств, 12 порядков и 3 классов. Наибольшее количество видов (35) обнаружено из класса Urediniomycetes. В четырех различных точках на территории Каратауского заповедника зарегистрирован вид *Agaricus tabularis*, занесенный в Красную книгу Казахстана. Впервые в Казахстане обнаружен *Leccinum duriusculum*. На 6 редких видах сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Казахстана, отмечено 7 видов грибов.

ABSTRACT

Basidiomycetes (subkingdom Basidiomycota) in the territory of Syrdarya Alatau are represented by 76 species from 59 genera, 20 families, 12 orders and 3 classes. The greatest number of species (35) was found from the class Urediniomycetes. Agaricus tabularis, listed in the Red Book of Kazakhstan, was registered in four different points in the territory of the Karatau Reserve. Leccinum duriusculum was found for the first time in Kazakhstan. On 6 rare species of vascular plants listed in the Red Book of Kazakhstan, 7 species of fungi were noted.

Ключевые слова: Базидиомицеты, Сырдарьинский Каратау, микобиота, редкие растения, эндемизм, телия, эция, спора.

Keywords: Basidiomycetes, Syrdarya Karatau, mycobiota, rare plants, endemism, telium, aecium, spore.

Предлагаемая статья является второй частью исследований видовой разнообразия грибов Сырдарьинского Каратау [1] и посвящена представителям базидиальных грибов.

Микобиота Сырдарьинского Каратау чрезвычайно интересна и богата, наибольшей встречаемостью характеризуются группы ржавчинных, головневых, мучнисторосяных и несовершенных грибов [2]. В связи с тем, Каратау относится к аридным и субаридным среднегорьям, шляпочные грибы представлены слабо. На территории исследования описан ряд эндемичных видов, однако эндемизм микобиоты, по-видимому, не столь ярок, как у покрытосеменных растений [3]. По мнению некоторых авторов [4], процентное соотношение эндемизма среди грибов составляет 11,3%. Однако, если учесть, что список видов мико-

биоты Сырдарьинского Каратау до сих пор далеко не полный, то вероятнее всего, процентное соотношение будет несколько ниже.

Цель работы - установление видовой разнообразия базидиальных грибов Каратауского заповедника и сопредельных территорий Сырдарьинского Каратау.

Материалы и методы.

Обследование территории Сырдарьинского Каратау проводилось маршрутным методом и включало сбор гербарного материала для исследований, описание симптомов поражения, микологическое исследование, проведение учета болезней [5].

В приведенный ниже список грибов, расположенных по системе Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi [6], включены виды из сборов маршрутных экспедиций авто-

ров по Каратау и из литературных источников [7-14]. В списке указаны места сбора (Каратауский заповедник обозначен КГПЗ) и питающие растения для каждого вида. Для ржавчинных грибов после названия в скобках римскими цифрами указаны стадии развития. Виды грибов, новые для территории Сырдарьинского Каратау, отмечены знаком «*», виды сосудистых растений, впервые зарегистрированные как питающие, отмечены знаком «**»

Результаты работы.

В настоящее время на территории Сырдарьинского Каратау обнаружено 76 видов базидиальных грибов.

Подцарство Basidiomycota

Класс Basidiomycetes
Подкласс Agaricomycetidae
Порядок Agaricales
Семейство Agaricaceae

**Agaricus tabularis* Peck (Рис. 1) - КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 910 м над ур. моря, N43°51.496', E068°32.222', 22.05.2013, Г.А. Нам; там же, склон за кордоном Дулатбек, выс. 768 м над ур. моря, N43°52.959', E068°30.234', 22.05.2013, Б.Е. Джунусканова; 774 м над ур. моря, N43°52.897', E068°30.231', 22.05.2013, Г.А. Нам; там же, ущ. Улькен-Каракуыз, выс. 920 м над ур. моря, N43°51.365', E068°29.824', 21.05.2013, С.Б. Нурашов.



Рисунок 1 - *Agaricus tabularis*

Macrolepiota campestris Lebedeva ex Samgina - ущ. Байжансай, разнотравный участок степи, 20.04.1974. Ф.И. Камалетдинова.

Leucosporinus birnbaumii (Corda) Singer - ущ. Байжансай, остепненный участок, 10.06.1974, Б.А. Быков.

Leucoagaricus serenus (Fr.) Bon & Boiffard - ущ. Байжансай, в ложине, на сыром участке, 20.04.1974. Ф.И. Камалетдинова.

Семейство *Bolbitiaceae*

**Agrocybe pediades* (Fr.) Fayod - КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 910 м над ур. моря, N43°51.496', E068°32.222', 22.05.2013, Г.А. Нам; там же, ущ. Улькен-Каракуыз, выс. 922 м над ур. моря, N43°51.413', E068°29.859', 21.05.2013, Г.А. Нам; там же, склон за кордоном Дулатбек, выс. 768 м над

ур. моря, N43°52.959', E068°30.234', 22.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Agrocybe praesox* (Pers.) Fayod - пойма р. Коктал, выс. 624 м над ур. моря, N43°14.866', E070°14.255', 18.05.2013, С.Б. Нурашов; КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 914 м над ур. моря, N43°51.495', E068°32.239', 22.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Sonocybe apala* (Fr.) Arnolds - КГПЗ, ущ. Улькен-Каракуыз, выс. 941 м над ур. моря, N43°51.396', E068°29.707', 21.05.2013, Г.А. Нам.

Семейство *Coprinaceae*

**Coprinopsis nivea* (Pers.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo (Рис. 2) - КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 914 м над ур. моря, N43°51.495', E068°32.239', 22.05.2013, Г.А. Нам.



Рисунок 2 - *Coprinopsis nivea*

**Montagnea arenaria* (DC.) Zeller - пойма р. Коктал, выс. 635 м над ур. моря, N43°14.667', E070°14.191', 18.05.2013, Г.А. Нам

**Panaeolus fimicola* (Pers.) Gillet - на конском навозе, КГПЗ, ущ. Улькен-Каракуыз, выс. 922 м над ур. моря, N43°51.413', E068°29.859', 21.05.2013, У.К. Джетигенова.

Семейство Lycoperdaceae

**Lycoperdon utriforme* Bull. (Рис. 3) - КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 959 м над ур. моря, N43°51.11', E068°32.277', 22.05.2013, С.Б. Нурашов; ущ. Улькен-Каракуыз, выс. 922 м над ур. моря, N43°51.413', E068°29.859', 21.05.2013, С.Б. Нурашов.



Рисунок 3 - *Lycoperdon utriforme*

**Bovista* sp. - КГПЗ, ущ. Улькен-Каракуыз, выс. 922 м над ур. моря, N43°51.346', E068°29.797', 21.05.2013, Г.А. Нам. Семейство Strophariaceae

Bogbodia uda (Pers.) Redhead – ущ. Киши-Каржантау, у

ручья, во мху, 31.05.1961, М.П. Васягина.

**Psilocybe sorrophila* (Bull.) P. Kumm. - на конском навозе, КГПЗ, ущ. Улькен-Каракуыз, выс. 910 м над ур. моря, N43°51.656', E068°29.821', 21.05.2013, С.Б. Нурашов; там же,

ущ. Киши-Каракуыз, выс. 917 м над ур. моря, N43°51.400', E068°32.235', 22.05.2013, Г.А. Нам.

Порядок Boletales
Семейство Boletaceae

**Leccinum duriusculum* (Schulzer ex Kalchbr.) Singer (Рис. 4) – пойма р. Коктал, под осинами, 17.05.2013, С.Б. Нурашов.



Рисунок 4 - *Leccinum duriusculum*

Порядок Hymenochaetales
Семейство Hymenochaetaceae
Fuscoporia torulosa (Pers.) T. Wagner & M. Fisch. – на *Celtis caucasica* Willd., хр. Боролдай, 12.08.1959, И.В. Архипова, Г.К. Жирова.

Phellinus pomaceus (Pers.) Maire – на *Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz., ур. Кок-Булак, 13. 08.1949, С.Р. Шварцман.

Phellinus rimosus (Berk.) Pilát – на *Pistacea vera* L., ущ. р. Большой Боролдай, 23.08.1960, В.И. Терехов.

Phylloporia ribis (Schumach.) Ryvarden – на *Crataegus pontica* K. Koch, ур. Кок-Булак, 13. 08.1949, С.Р. Шварцман.

Порядок Polyporales

Семейство Polyporaceae
Cerrena unicolor (Bull.) Murrill - на *Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz., берег р. Кок-Булак, 13. 08.1949, С.Р. Шварцман.

Laetiporus sulphureus (Bull.) Murrill – на *Populus alba* L., с. Ванновка, 14.08.1949, С.Р. Шварцман.

Lentinus brumalis (Pers.) Zmitr. - на *Celtis caucasica* Willd., р. Кок-Булак, 13.08.1949, С.Р. Шварцман; скалистое ущелье, 12.07.1948, С.Р. Шварцман.

**Lentinus tigrinus* (Bull.) Fr. (Рис. 5) – пойма р. Коктал, на валеже тополя, выс. 624 м над ур. моря, N43°14.866', E070°14.255', 18.05.2013, С.В. Макриди.



Рисунок 5 - *Lentinus tigrinus*

Polyporus squamosus (Huds.) Fr. – на *Populus pilosa* Rehder, 10-13.08. 1949, С.Р. Шварцман, 11, 31.05.1957. М.П. Васягина.

Порядок Tricholomatales
Семейство Tricholomataceae

**Clitocybe dealbata* (Sowerby) P. Kumm. - КГПЗ, ущ. Итмурын, выс. 1134 м над ур. моря, N43°49.903', E068°40.855', 23.05.2013, У.К. Джетиенова.

**Marasmius oreades* (Bolton) Fr. – КГПЗ, ущ. Улькен Каракуыз, выс. 960 м над ур. моря, N43°51.294', E068°29.753', 21.05.2013, Г.А. Нам.

Семейство Tulostomataceae

**Tulostoma* sp. (Рис. 6) - КГПЗ, ущ. Итмурын, выс. 1132 м над ур. моря, N43°49.952', E068°41.055', 23.05.2013, Е.В. Рахимова.



Рисунок 6 - *Tulostoma* sp.

Класс Urediniomycetes
Порядок Microbotryales
Семейство Ustilentylomataceae
Ustilentyloma brefeldii (Krieg.) Vánky – на *Leymus aemulans* (Nevski) Tzvelev, пер. Байжансай, 16.07.1949, С.Р. Шварцман.

Порядок Platygliales
Семейство Platyglaceae

Helicobasidium purpureum (Tul.) Pat. – на *Medicago sativa* L., с. Ванновка, [15].

Порядок Uredinales
Семейство Melampsoraceae

Melampsora apocyni Tranzschel (II, III) – на *Trachomitum lancifolium* (Russanov) Pobed., пер. Байжансай, 15.07.1949, С. Р. Шварцман.

**Melampsora epitea* Thüm. (I) - на *Salix* sp., ущ. Байжансай, Алмалы, выс. 618 м над ур. моря, N43°04'01.8", E069°53'15.9", 26.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Melampsora euphorbiae* (Ficinus & C. Schub.) Castagne (I, II, III) - на *Euphorbia* sp., КГПЗ, ущ. Итмурын, выс. 1140 м над ур. моря, N43°49.922', E068°40.912', 23.05.2013, У.К. Джетиенова.

Melampsora lini (Ehrenb.) Thüm. (II, III) – на *Linum catharticum* Rchb., пер. Байжансай, влажные лужки,

15.07.1949, С.Р. Шварцман.

**Melampsora salicina* Desm. (I) – на *Salix* sp., КГПЗ, ущ. Узын-Каракуыз, выс. 917 м над ур. моря, N43°51'36.7", E068°29'84.4", 21.05.2013, Б.Е. Джунусканова; там же, выс. 774 м над ур. моря, N43°52'89.7", E068°30'23.1", 22.05.2013, Е.В. Рахимова.

Семейство Phragmidiaceae

**Phragmidium bulbosum* (Fr.) Schltdl. (II, III) - на *Rubus caesius* L., ущ. Байжансай, Алмалы, выс. 739 м над ур. моря, N43°07.147', E069°55.392', 27.05.2013, Г.А. Нам.

Phragmidium circumvallatum Magnus (II, III) – на *Orthurus heterocarpus* (Boiss.) Juz., р. Бель-Булак, В. Траншель; на ***Geum urbanum* L., КГПЗ, ущ. Итмурын, выс. 1156 м над ур. моря, N43°49'901, E068°40'873, 23.05.2013, Г.А. Нам.

**Phragmidium devastatrix* Sorokin (II, III) - на *Rosa* sp., КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 925 м над ур. моря, N43°51.357', E068°29.863', 21.05.2013, Б.Е. Джунусканова; там же, ущ. Итмурын, выс. 1140 м над ур. моря, N43°49.922', E068°40.912', 23.05.2013, У.К. Джетиенова.

**Phragmidium fusiforme* J. Schröt. (II, III) - на *Rosa kokanica* (Regel) Juz., хр. Боролдайтау, ущелье напротив горы Букейтау, выс. 1207 м над ур. моря, N42°42.357', E070°22.988', 28.05.2013, Б.Е. Джунусканова; на *Rosa* sp.,

КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 925 м над ур. моря, N43°51.357', E068°29.863', 21.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Phragmidium potentillae* (Pers.) P. Karst. (II, III) – на *Potentilla* sp. (Рис. 7, 8), хр. Боролдайтау, ущелье напро-

тив горы Букейтау, выс. 1207 м над ур. моря, N42°42.354', E070°22.988', 28.05.2013, Б.Е. Джунусканова; ущ. Байжансай, Алмалы, выс. 620 м над ур. моря, N43°04.388', E069°54.046', 26.05.2013, Е.В. Рахимова.



Рисунок 7 – Телии *Phragmidium potentillae* на *Potentilla* sp.

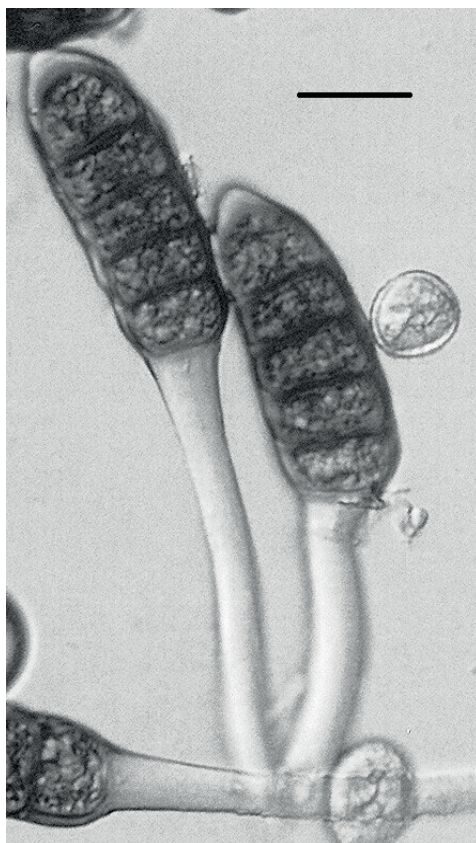


Рисунок 8 – Телио-споры *Phragmidium potentillae*, шкала 25 мкм

**Phragmidium sanguisorbae* (DC.) J. Schröt. (II, III) – на *Poterium* sp., ущ. Байжансай, Алмалы, выс. 616 м над ур. моря, N43°04.491', E069°54.075', 26.05.2013, Е.В. Рахимова; КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 947 м над ур. моря, N43°51.187', E068°32.264', 22.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Phragmidium tuberculatum* Jul. Müll. (II, III) – на *Rosa* sp., ущ. Байжансай, Алмалы, выс. 620 м над ур. моря, N43°04.388', E069°54.046', 26.05.2013, Б.Е. Джунусканова.; КГПЗ, ущ. Киши-Каракуыз, выс. 933 м над ур. моря, N43°51.347', E068°29.911', 21.05.2013, Е.В. Рахимова; на *Hulthemia* sp., дорога Ащисай-Кентау, выс. 778 м над ур. моря, N43°35.742', E069°01.526', 19.05.2013, Г.А. Нам.

Семейство Pucciniaceae

**Puccinia aegilopis* Maire (I) – на *Solenanthus circinnatus* Ledeb., КГПЗ, ущ. Узын-Каракуыз, выс. 779 м над ур. моря, N43°52.843', E068°30.331', 21.05.13, Б.Е. Джунусканова; ущ. Байжансай, Алмалы, выс. 618 м над ур. моря, N43°04.018', E069°53.159', 26.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Puccinia carthami* Corda (II, III) – на *Centaurea* sp., хр. Боролдайтау, ущелье напротив горы Букейтау, выс. 1167 м над ур. моря, N42°42.716', E070°23.233', 28.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

Puccinia chondrilla Bubák & Syd. (II, III) – на *Chondrilla juncea* L., пер. Байжансай, 15.07.1949, С.Р. Шварцман, берег р. Бос-Торгай, 12.08.1949, С.Р. Шварцман, Кулан-Асу, 15.08.1949, С.Р. Шварцман.

Puccinia cinae Tranzschel & Kuprev. (II, III) – на *Artemisia cina* Berg ex Poljakov, ур. Красный мост, 27.10.1949, А. Гамаюнова.

**Puccinia coronifera* Kleb. (II, III) – на *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, ущ. Байжансай, Алмалы, выс. 739 м над ур. моря, N43°07'14.7", E069°55'39.2", 27.05.2013, У.К. Джетиенова; там же, выс. 627 м над ур. моря, N43°04'53.5", E069°54'33.2", 26.05.2013, У.К. Джетиенова.

**Puccinia cousiniae* P. Syd. & Syd. (II, III) – на *Cousinia pseudomollis* C. Winkl., дорога Ащисай-Кентау, выс. 717 м над ур. моря, N43°30.026', E068°50.257', 24.05.2013, Е.В. Рахимова.

**Puccinia echinopis* DC. (II, III) – на *Echinops* sp., хр. Боролдайтау, ущелье напротив горы Букейтау, выс. 1207 м над ур. моря, N42°42.354', E070°22.988', 28.05.2013, Е.В. Рахимова.

Puccinia graminis Pers. (II, III) – на *Bromus squarrosus* L., берег р. Кулан, 15.08.1949, С.Р. Шварцман, на *Elytrigia intermedia* (Host) Nevski, ур. Бос-Торгай, 12.08.1949, С.Р. Шварцман, на *Elytrigia trichophora* (Link) Nevski, берег р.

Кулан, 15.08.1949, С.Р. Шварцман.

Puccinia isiacae (Thüm.) G. Winter (III) – на *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., ущ. Ак-Тогай, 13.07.1949, С.Р. Шварцман.

**Puccinia libani* Magnus (III) – на *Prangos* sp., ущелье р. Кошкарата, выс. 637 м над ур. моря, N42°56.079', E069°58.712', 28.05.2013, У.К. Джетиенова.

**Puccinia menthae* Pers. (II, III) – на *Mentha* sp., ущ. Байжансай, выс. 622 м над ур. моря, N43°04.504', E069°54.232', 26.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Puccinia phlomidis* Thüm. (II, III) – на *Phlomis salicifolia* Regel, ущ. Байжансай, выс. 618 м над ур. моря, N43°04.018', E069°53.159', 26.05.2013, Б.Е. Джунусканова; дорога Ащисай-Кентау, выс. 730 м над ур. моря, N43°29.992', E068°50.098', 24.05.2012, Е.В. Рахимова.

Puccinia phragmitis Tul. (III) – на *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., ущ. Ак-Тогай, 14.07.1949, С.Р. Шварцман.

Puccinia porri (Sowerby) G. Winter (III) – на *Allium longispis* Regel, ущ. Ак-Тогай, 14.07.1949, С.Р. Шварцман, ур. Кок-Булак, 13.08.1949, С.Р. Шварцман.

**Puccinia punctata* Link (I, II) – на *Galium verum* L., дорога Ащисай-Кентау, выс. 724 м над ур. моря, N43°29.821', E068°49.926', 24.05.2013, Е.В. Рахимова.

Puccinia recondita Dietel & Holw. (II, III) – на *Elytrigia trichophora* (Link) Nevski, берег р. Кулан, 15.08.1949, С.Р. Шварцман, Бос-Торгай, 12.08.1949, С.Р. Шварцман, ущ. Ак-Тогай, 13.07.1949, С.Р. Шварцман; ущ. Байжансай, выс. 644 м над ур. моря, N43°04'65.9", E069°54'82.9", 27.05.2013, Б.Е. Джунусканова; выс. 733 м над ур. моря, N43°06'77.9", E069°55'25.8", 27.05.2013, У.К. Джетиенова; ущелье р. Кошкарата, выс. 637 м над ур. моря, N42°56.079', E069°58.712', 28.05.2013, Е.В. Рахимова; дорога Ащисай-Кентау, выс. 716 м над ур. моря, N43°30'013", E068°50'235", 24.05.2013, С.Б. Нурашов; на *Elytrigia* sp., КГПЗ, ущ. Узын-Каракуыз, выс. 774 м над ур. моря, N43°52'89.7", E068°30'23.1", 22.05.2013, Е.В. Рахимова; на ***Agropyron rectiniforme* Roemer & Schultes, дорога Ащисай-Кентау, выс. 778 м над ур. моря, N43°35.742', E069°01.526', 19.05.2013, Б.Е. Джунусканова.

**Puccinia scorzonerae* (Schumach.) Jacky (I) – на *Scorzonera* sp. (Рис. 9, 10), ущелье р. Коктал, выс. 631 м над ур. моря, N43°014'56.4", E070°14'00.0", 18.05.2013, Е.В. Рахимова; КГПЗ, ущ. Узын-Каракуыз, выс. 925 м над ур. моря, N43°51.464', E068°29.833', 21.05.2013, Б.Е. Джунусканова; там же, ущ. Итмурын, выс. 1156 м над ур. моря, N43°49.901', E068°40.873', 23.05.2013, Г.А. Нам.



Рисунок 9 – Эции *Puccinia scorzonerae* на *Scorzonera* sp.

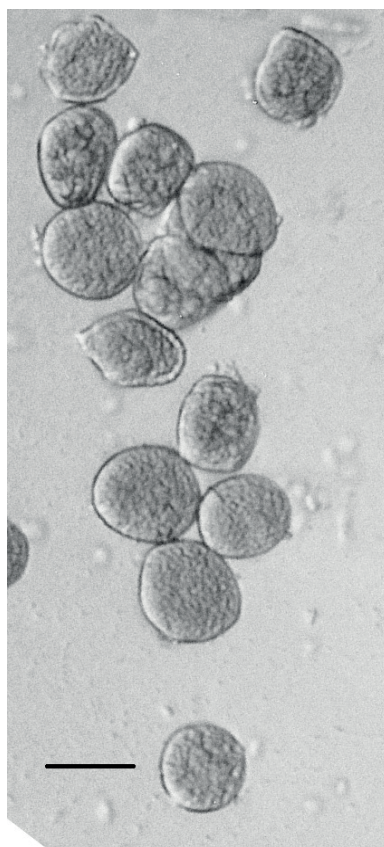


Рисунок 10 – Эцио-споры *Puccinia scorzonerae*, шкала 20 мкм

**Uromyces aecidiiformis* (F. Strauss) C.C. Rees (II, III) - Б.Е. Джунусканова; на *Korolkowia sewerzowii* Regel (Рис. 11, на *Tulipa korolkowii* Regel, хр. Боролдайтау, Букейтау, выс. 1203 м над ур. моря, N42°42'41.4", E070°23'06.5", 28.05.2013, 12) [14].



Рисунок 11 - *Uromyces aecidiiformis* на *Korolkowia sewerzowii*

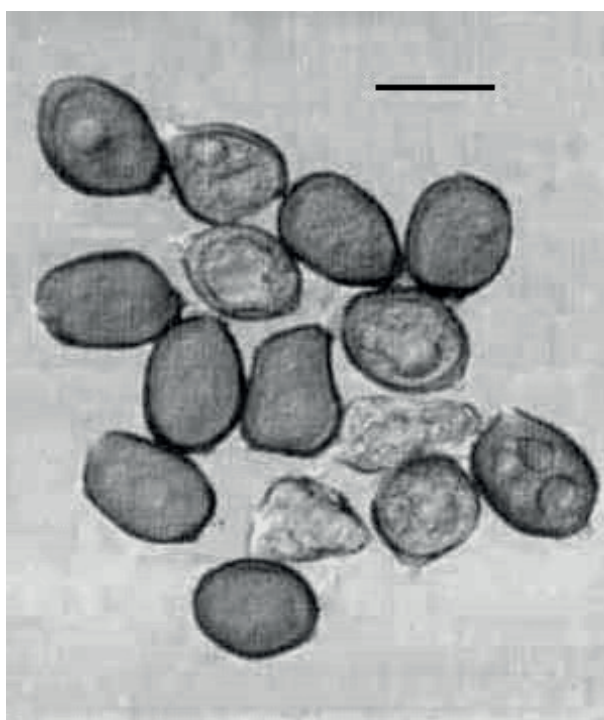


Рисунок 12 – Телиоспоры *Uromyces aecidiiformis*, шкала 25 мкм

**Uromyces kalmusii* Sacc. (III) - на *Euphorbia* sp., КГПЗ, ущ. Узын-Каракуыз, выс. 779 м над ур. моря, N43°52.843', E068°30.331', 21.05.2013, Е.В. Рахимова.

Uromyces schroeteri De Toni (II, III) – на *Acanthophyllum pungens* (Bunge) Voiss., ущ. Ак-Тогай, 15.07.1949, С.Р. Шварцман.

**Uromyces trifolii-repentis* Liro (II, III) - на *Amoria repens* (L) C. Presl, КГПЗ, ущ. Итмурын, выс. 1132 м над ур. моря, N43°49.952', E068°41.055', 23.05.2013, Е.В. Рахимова.

Класс Ustilaginomycetes
Подкласс Exobasidiomycetidae
Порядок Entylomatales

Семейство Entylomataceae
Entyloma semenoviana (Lavrov) Gutner – на *Polypogon maritimus* Willd. и *P. monspeliensis* (L.) Desf., пер. Байжансай, 15.07.1949, С.Р. Шварцман.
Порядок Microstromatales
Семейство Microstromataceae
Microstroma juglandis (Bérenger) Sacc. – с. Ванновка, 14.08.1949, С.Р. Шварцман.
Порядок Tilletiales
Семейство Tilletiaceae
Tilletia bornmuelleri Magnus – на *Taeniatherum crinitum* (Schreb.) Nevski, отроги Боролдайтау, 31.05.1947, Б.А. Быков, пер. Байжансай, 15.07.1949, С.Р. Шварцман.
Подкласс Ustilaginomycetidae
Порядок Ustilaginales
Семейство Anthracoidaceae
Anthracoidea caricis (Pers.) Bref. – на *Carex melanostachya* M. Bieb. ex Willd., ущ. Беркара, 15.08.1946, П. Поляков.
Portalia uljanishcheviana (Schwarzman) V. González, Vánky & Platas – на *Scirpoides holoschoenus* (L.) Sojak, Улькен-Бурул, 12.07.1949, С. Р. Шварцман.
Семейство Ustilaginaceae
Sporisorium andropogonis (Opiz) Vánky – на *Bothriochloa*

ischaemum (L.) Keng., Бестогай, в долине реки, 12.07.1949, С.Р. Шварцман.

Tranzscheliella otophora Lavrov – на *Stipa karataviensis* Roshev., ущ. Ак-Тогай, 15.07.1949, С.Р. Шварцман.

Ustilago agrestis Syd. & P. Syd. – на *Elytrigia repens* Nevski, пер. Байжансай, 15.07.1949, С.Р. Шварцман; на *Elytrigia trichophora* (Link) Nevski, Бестогай, у реки, 12.08.1949, С.Р. Шварцман, на *Leymus aemulans* (Nevski) Tzvelev, с. Корниловка, 11.08.1949, С.Р. Шварцман.

Ustilago bullata Berk. – на *Agropyron* sp., Куюкский пер., 10.08.1949, С.Р. Шварцман; на *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, Куюкский пер., 10.08.1949, С.Р. Шварцман, Бестогай, 12.08.1949, С.Р. Шварцман; на *Bromus oxypod* Schrenk, Бестогай, 12.08.1949, С.Р. Шварцман, на *Elytrigia trichophora* (Link) Nevski, Куюкский пер., 18.08.1949, С.Р. Шварцман.

Ustilago cynodontis (Pass.) Henn. (Рис. 13) – на *Cynodon dactylon* (L.) Pers., ур. Кок-Булак, 13.08.1949, С.Р. Шварцман; ущелье р. Кошкар-ата, выс. 632 м над ур. моря, N43°56.067', E069°53.655', 28.05.2013, Е.В. Рахимова; ущ. Байжансай, выс. 609 м над ур. моря, N43°03.864', E069°53.837', 26.05.2013, Е.В. Рахимова; г. Кентау, офис КГПЗ, 24.05.2013, Г.А. Нам.



Рисунок 13 - *Ustilago cynodontis* на *Cynodon dactylon*

Ustilago hordei (Pers.) Lagerh. – на *Hordeum vulgare* L., ур. Кок-Булак, правый берег реки, 13.08.1949, С.Р. Шварцман.

Ustilago lepyroclididis Schwarzman – на *Lepyroclidus stellarioides* Schrenk, Боролдайтау, степные склоны, 30.05.1947, Б.А. Быков.

Ustilago phrygica Magnus – на *Taeniatherum crinitum*

(Schreb.) Nevski, Боролдайтау, 31.05.1947, Б.А. Быков, Куюкский пер., 18.08.1949, С.Р. Шварцман.

**Vankya heufleri* (Fuckel) Ershad (Рис. 14, 15) – на *Tulipa greigii* Regel, КППЗ, ущ. Узын-Каракуыз, выс. 908 м над ур. моря, N43°51'54.9", E068°29'81.4", 21.05.2013, Е.В. Рахимова; ущ. Киши-Каракуыз, выс. 917 м над ур. моря, N43°51.400', E068°32.235', 22.05.2013, Е.В. Рахимова.



Рисунок 14 - *Vankya heufleri* на *Tulipa greigii*

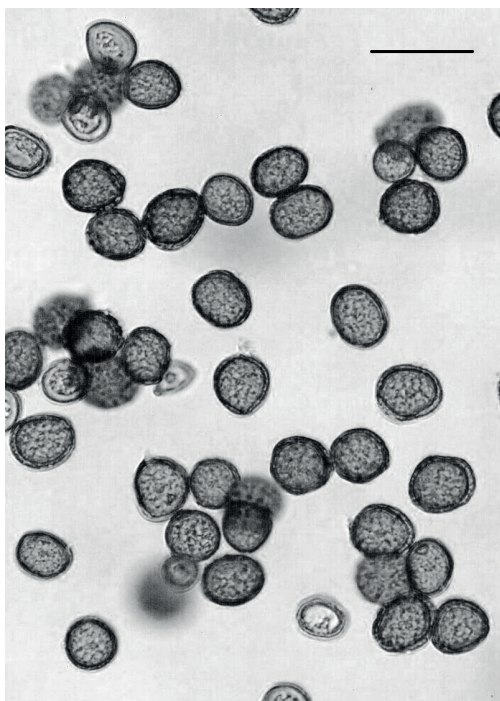


Рисунок 15 – Споры *Vankya heufleri*, шкала 40 мкм

Базидиальные грибы (подцарство Basidiomycota) на территории Сырдарьинского Алатау представлены 3 классами. Класс Basidiomycetes насчитывает 27 видов из 24 родов, 10 порядков и 5 семейств. Из класса Urediniomycetes

обнаружено 35 видов из 6 родов, 5 семейств и 3 порядков. Класс Ustilaginomycetes на территории исследований представлен 14 видами из 9 родов, 5 семейств, 4 порядков и 2 подклассов. Все представители двух последних классов

являются облигатными паразитами. Из 76 представителей базидиальных грибов 38 видов обнаружены нами впервые для Сырдарьинского Каратау. В качестве новых питающих растений для данной территории отмечены 2 вида.

Редкий вид *Agaricus tabularis*, занесенный в Красную книгу Казахстана [16, 17], встречается на территории Каратауского заповедника в четырех различных точках. Впервые в Казахстане в Каратау обнаружен *Leccinum duriusculum*.

На 6 редких видах сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Казахстана [16, 17], отмечено 7 видов грибов. Наиболее вредоносны *Fuscororia torulosa* и *Lentinus brumalis* на *Celtis caucasica* и *Phellinus rimosus* на *Pistacea vera*, вызывающие ствольные гнили хозяев. Возбудители ржавчины *Puccinia cinae* и *Uromyces aecidiiformis* обнаружены на *Artemisia cina* и *Tulipa korolkowii*, соответственно. Отдельные экземпляры *Stipa karataviensis* и *Tulipa greigii* значительно поражаются головней (возбудители - *Tranzscheliella otophora* и *Vankyа heufleri*, соответственно).

Список литературы

1. Рахимова Е.В., Ермакова Б.Д., Нам Г.А., Сакауова Г.Б. Видовое разнообразие сумчатых грибов Каратауского заповедника и сопредельных территорий Сырдарьинского Каратау // *East European Scientific Journal*. – 2015. – Vol. 4, №3. – P. 145-153.
2. Шварцман С.Р. Материалы к истории микофлоры Казахстана. - Алма-Ата, 1962. - 182с.
3. Камелин Р.В. Флора Сырдарьинского Каратау. Материалы к флористическому районированию Средней Азии. - Л.: Наука, 1990. - 146с.
4. Сакауова Г.Б. Организация ботанических исследований в Каратауском заповеднике и степень изученности флоры // Материалы международной научно-практической конференции «Успехи формирования и функционирования сети особо охраняемых природных территорий и изучение биологического разнообразия. - Костанай, 2014. – С.171-175.
5. Дудка И.А., Вассер С.П., Элланская И.А., и др. Методы экспериментальной микологии (Справочник). – Киев, 1982. - 549 с.
6. Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi (eds. Kirk P.M., Cannon P.F., David J.C., Stalpers J.A.). 9th ed. - CABI, 2001. - 655 p.
7. Неводовский Г.С. Флора споровых растений Казахстана. Ржавчинные грибы. Том 1. – Алма-Ата, 1956. – 432 с.
8. Шварцман С.Р. Флора споровых растений Казахстана. Головневые грибы. Том 2. – Алма-Ата, 1960. – 368 с.
9. Шварцман С.Р. Флора споровых растений Казахстана. Гетеробазидиальные и автобазидиальные грибы. Том 4. – Алма-Ата, 1964. – 714 с.
10. Самгина Д.И. Флора споровых растений Казахстана. Агариковые грибы. Том 13, кн 1. - Алма-Ата, 1981. - 272 с.
11. Самгина Д.И. Флора споровых растений Казахстана. Агариковые грибы. Том 13, кн. 2. – Алма-Ата, 1985. - 272 с.
12. Рахимова Е.В., Нам Г.А. Грибы на редких и эндемичных растениях Каратау // Современная ботаника в России. Труды XIII съезда Русского ботанического общества и конференции «Научные основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна».Т.1. - Тольятти, 2013. – С.171-172.
13. Рахимова Е.В., Нам Г.А. К изученности микобиоты Каратау // В сб.: «Каратау корагы он жыл». – Алматы, 2013. – С.43-47.
14. Жахан Н., Рахимова Е.В. Первая находка возбудителя ржавчины на *Korolkowia sewerzowii* Regel // Материалы III (V) Всероссийской молодежной конференции с участием иностранных ученых «Перспективы развития и проблемы современной ботаники». – Новосибирск, 2014. – С.61-62.
15. Казенас Л.Д. Болезни сельскохозяйственных растений Казахстана. - Алма-Ата, 1974. - 368 с.
16. Красная книга Казахской ССР. Ч. 2. - Алма-Ата: Наука, 1981. - 262с.
17. Красная книга Казахстана (издание 2-ое, исправленное и дополненное). Том 2, Ч. 1. - Астана, 2014. - 452с.

АСПЕКТЫ ЭМБРИОЛОГИИ АПОМИКСИСА У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ВЕТА

Сейлова Лаура Баймурзаевна

доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и общей биологии,
Казахский национальный педагогический университет им. Абая

Иманкулова Софья Копесбаевна

зав. кафедрой ботаники и общей биологии,
Казахский национальный педагогический университет им. Абая

Джексембиев Рысман Кобырович

зав. кафедрой общей биологии,
Казахский государственный женский педагогический университет

ASPECTS OF APOMIXIS EMBRYOLOGY FOR THE REPRESENTATIVES OF THE GENUS BETA

Seilova L.B., doctor of biology, professor, Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Almaty

Imankulova S.K., professor, Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Almaty

Djeksembiev R.K., professor, Kazakh State woman Pedagogical University, Almaty

АННОТАЦИЯ

У диплоидной сахарной свеклы с факультативным апомиксисом выявлены все известные механизмы – диплоспория, апоспория, апогаметия, адвентивная эмбриония. Описана специфика их проявления и структура основных элементов. Установлено, что только апоспория является реально работающей моделью, когда хромосомно нередуцированные зародышевые мешки развиваются из соматических клеток семяпочки и формируют полноценное семенное потомство.

ABSTRACT

In diploid sugar beet with facultative apomixis all known embryology mechanisms are revealed – diplospory, apogamety, apospory, adventitious embryony. It is described the peculiarities of embryonal development and structure the main elements. Only apospory is really working model, when chromosomally unreduced embryo sacs are developed from somatic cells of ovule and it formed the valuable seed progeny.

Ключевые слова: апомиксис, диплоспория, апоспория, апогаметия, адвентивная эмбриония.

Keywords: apomixis, diplospory, apospory, apogamety, adventitious embryony.

Среди форм размножения покрытосеменных апомиксис (агамоспермия) является наиболее своеобразным, поскольку у обладающих им растений слияние гамет при образовании семян не является обязательным. Осуществляется апомиксис на базе тех же морфологических структурах цветка, что и обычный половой процесс – амфимиксис, но репродуктивный процесс при этом коренным образом меняется: в отсутствие сингамии и, следовательно рекомбинации, возникает единообразное по фенотипу, генетически стабильное потомство, называемое матроклинным. На его генотип существенное влияние оказывает структурно-функциональная организация зародышевого мешка, который в норме является гаплоидным (n) и приспособлен для реализации двойного оплодотворения, у растений-апомиктов женский гаметофит всегда диплоидный ($2n$) в силу специфических преобразований в процессе его становления [1].

Сфера влияния апомиксиса распространяется не только на женский гаметофит, где он проявляется в форме диплоспории, апоспории и апогаметии, но и на спорофитные ткани семяпочки (семязачатка), порождающие адвентивную эмбрионию. Диплоспорию и апоспорию объединяет термин «апомейоз», подразумевающий отсутствие механизма оплодотворения яйцеклетки, которая приобретает способность развиваться далее партеногенетически. В первых двух случаях апомиктическое потомство формируется путем самостоятельного деления яйцеклетки в нередуцированных зародышевых мешках, образующихся митотически из археспориальных (Antennaria-тип) либо соматических (Hieracium-тип) клеток семяпочки. При

адвентивной эмбрионии зародыши дифференцируются в соматических тканях семязачатка (нуцеллусе либо интегументах), продуцируя материнские клоны.

Апомиксис широко распространен в природе и к настоящему времени обнаружен в более чем 126 родах, относящихся к 33 семействам одно- и двудольных растений [2]. Наиболее процветающими апомиктами являются агамокомплексы, у представителей которых апомиксис и амфимиксис находятся в динамическом равновесии.

Эволюция взглядов на суть апомиксиса как такового достаточно подробно отражена в ряде современных обзоров, рассматривающих, не только теоретические аспекты проблемы, но и вопросы практического применения этого типа репродукции [3,4,5,6,7]. Что касается сахарной свеклы, то на сегодняшний день у этой культуры выявлены все известные апомиктические механизмы и четко определена их значимость для целей селекции [8,9,10,11,12]. В то же время у сахарной свеклы и сейчас остаются слабо изученными некоторые аспекты цитоэмбриологии этого явления, анализу которых и посвящена данная публикация.

Объектом исследований послужила диплоидная ($2n=18$) факультативно апомиктическая линия сахарной свеклы (*Beta vulgaris*), завязывающая в беспыльцевом варианте, т.е. в отсутствие опыления, до 60% полноценных семян. Эмбриогенез ее растений изучали на интактных семяпочках, фиксированных в растворе Карнуа (этанол+ледяная уксусная кислота, 3:1) и спирт-хлороформенной смеси (2:1), начиная с 1-2 суток до и в течение последующих 10-20 дней после кастрации цветков. Постоянные препараты готовили по общепринятой методике, в

качестве красителя использовали пиронин, приготовленный по Треванну и Шарокко [13].

Сахарная свекла является двухлетним перекрестно-опыляющимся растением, у которого механизмом поддержания ксеногамии (аллогамии) является генетически обусловленная самонесовместимость (СН) – неспособность растений с функциональными гаметами завязывать семена от самоопыления.

Семяпочка этого растения – амфитропная битегмальная, с мощно развитым нуцеллусом. Ее субэпидермальный археспорий может быть одно- либо многоклеточным, формирующийся из него путем мейоза зародышевый мешок относится к Polygonum-типу, в микропилярном конце которого располагается яйцевой аппарат, в центре – два полярных ядра, в халазальной части развиваются три крупные ромбовидные антиподы. Для представителей рода Beta, к которым относится сахарная свекла, характерно особое развитие нуцеллуса, который по мере накопления в его клетках крахмала превращается в перисперм – специфическую питательную ткань, имеющую равный с эндоспермом статус.

Эмбриогенез у нормальных диплоидных растений протекает по типу маревых (Chenopodiaceae), образующаяся в результате сингамии зигота развивается лишь при наличии в зародышевом мешке нескольких ядер эндосперма. Терминальная и базальная клетки, являющиеся результатом первого деления зиготы, дают начало подвеску-суспензору и собственно зародышу, проходящему затем обычные для морфогенеза стадии – булавовидную, шаровидную, сердцевидную, «торпеды» и далее – полной зрелости.

У изученной линии свеклы апомиксис проявлялся во всех известных его формах, включающих диплоспорию, апоспорию, апогаметию и адвентивную эмбрионию (интегументальную и нуцеллярную).

Диплоспория. Этот механизм образования апомиктического потомства до сих пор остается практически неизученным. По данным некоторых авторов, у диких сородичей свеклы диплоспория развивается по Antennaria-типу, когда материнская клетка споры не входит в мейоз, но после трех митотических делений дает нередуцированный 8-ядерный зародышевый мешок, или женский гаметофит. Слияние в нем полярных ядер ведет к образованию центральной клетки, эндосперм развивается автономно, зародыш – партеногенетически, т.е. путем обычного митоза [14].

Согласно другому мнению, археспорий свеклы представляет собой конгломерат из диплоидных и тетраплоидных клеток: именно последние при наличии определенных условий могут стать источниками диплоспории [15]. Оба вывода очевидны, однако на практике идентификация диплоспории затруднена тем, что зародышевые мешки этого типа морфологически и позиционно неотличимы от нормальных гаплоидных (n), а данных по цитологии этого явления на сегодняшний день явно недостаточно.

Начальные этапы формирования диплоспорических гаметофитов нами не зафиксированы, но в закрытых бутонах в микропилярной зоне семязачатка были замечены лишённые подвеску-суспензоров партеногенетические

проэмбрионы, имевшие на 2-4 сутки после кастрации многоклеточное строение. Слияния полярных ядер также не наблюдали, однако имели место случаи самостоятельного деления каждого из них с образованием эмбриональной массы из небольшого числа клеток, в случаях же слияния полярных ядер с образованием центральной клетки, последняя проявляла тенденцию к эндомитотическому делению.

Эндоспермальная ткань в диплоспорических зародышевых мешках не формировалась, что стало вероятной причиной гибели возникающих из яйцеклетки партеногенетических зародышей, не развивавшихся далее булавовидной стадии. Другим подтверждением неполноценности дипло-спорических проэмбрионов явилось отсутствие триплоидов в потомствах от скрещивания растений изученной линии с диплоидными красностными маркерами.

Апогаметия. Известно, что синергиды и антиподы являются потенциальными после яйцеклетки гаметами, способными развиваться, как и она, партеногенетически [16]. Образование из этих структур зародышей называется апогаметией (апогамией), которая достаточно широко распространена в природе [17]. У изученной линии апогаметия (синергидная и антиподальная) проявлялась крайне редко: проэмбрионы из синергид иногда возникали в районе яйцевого аппарата, митотическая активность антипод приводила к образованию неорганизованной клеточной массы.

Последующие этапы становления зародышей при апогаметии нами не наблюдались, но в отдельных зародышевых мешках были замечены многоклеточные структуры с гигантскими ядрами. Развивались они в нижней части женского гаметофита всегда с проэмбрионами других типов и часто служили источниками полиэмбрионии.

Апоспория. Как оказалось, у растений изученной линии апоспория стала единственным, реально работающим, механизмом формирования полноценного семенного потомства. Апоспорические зародышевые мешки возникали, как правило, в середине микропилярного района семязачатка, несколько под углом к его продольной оси. Более тонкую структуру этих гаметофитов выявить не удалось, но поскольку ни в одном из них мы не наблюдали наличия антипод, можно предположить их развитие по Eragrostis-типу, когда материнская клетка споры не вступает в мейоз, но делится путем митоза двукратно с последующим образованием 4-ядерного диплоидного зародышевого мешка, что является частным случаем Antennaria-типа [18].

При наличии в одном и том же семязачатке нормальных мейотических и апоспорических женских гаметофитов последние подавляли развитие первых и развивались далее весьма интенсивно. Зародыши в них формировались партеногенетически, проходя обычные стадии морфогенеза. В то же время при анализе начальных этапов их роста было замечено существенное отклонение. Так, у нормальной свеклы при образовании гибридных проэмбрионов базальная и терминальная клетки – результат первого деления зиготы – развиваются далее по строго определенной схеме: базальная путем поперечных делений дает начало подвеску-суспензору, другая делится взаимно перпенди-

кулярными перегородками.

В наших исследованиях на ранних этапах эмбриогенеза у апоспорических зародышей не наблюдалось строго определенной закономерности в направленности и последовательности клеточных делений, поэтому подвесок мог и не формироваться. В других случаях зародыши приобретали обычную булавовидную форму, но с мощно развитым многоклеточным суспензором. Формирующиеся проэмбрионы были окружены целлюлярным эндоспермом, клетки которого имели необычайно крупные ядра, превышающие величину ядер собственно зародыша в несколько раз. Не вызывает сомнения автономное происхождение эндоспермальной ткани, равно как и эндомитотический путь развития ее ядер, приводящий в конечном итоге к полиплоидии. Потомство данной линии всегда было диплоидным, отличалось интенсивным начальным ростом и последующим мощным развитием, проявляя фенотип исходной материнской формы.

Адвентивная эмбриония, или спорофитное почкование, связано с прямым развитием зародышей из соматических тканей женского гаметофита. При интегументальной эмбрионии зародыши возникали из клеток внутреннего покрова и затем, активно делясь митотически, как бы «вращались» в полость зародышевого мешка по направлению к центру. Обладали они массивными (из нескольких цепочек клеток) суспензорами, помогающими по мере роста продвижению зародышей в свободное пространство семязачатка.

Начало нуцеллярным зародышам давали инициальные мелкоклеточные меристематические комплексы, закладывающиеся вблизи зародышевого мешка. Возникающие из них проэмбрионы в своем большинстве проникали в женский гаметофит в любой его части – микропиллярной, средней либо халазальной, причем деление клеток происходило вначале хаотично. Позднее очертания зародышей становились более четкими и даже симметричными, но в любом случае признаки их последующей дифференциации и нормального морфогенеза отсутствовали.

Отсутствие эндосперма в раннем эмбриогенезе других растений-апомиктов компенсируется наличием в их гаметофитах таких источников питания, как дезинтегрирующие синергиды и антиподы. У апомиктической свеклы спустя неделю от начала цветения названные источники уже не обнаруживались, однако нуцеллярные зародыши нормально росли и развивались. Столь неординарное явление объясняется наличием у сахарной свеклы специфической питательной ткани – перисперма, характерного не только для маревых (*Chenopodiaceae*), к которым принадлежит эта культура, но и для 10 других семейств цветковых растений, объединенных в порядок Центросперменные (*Centrospermae*) – перечных (*Piperaceae*), гвоздичных (*Carugophyllaceae*), крапивных (*Urticaceae*), имеющих в красинуцеллярных семяпочках мощно развитый нуцеллус.

Превращение нуцеллуса в перисперм начиналось с накопления крахмальных зерен в периферической зоне с постепенным охватом всех клеток данной ткани на 7-8 день после начала цветения. Именно в это время в семяпочках растений сахарной свеклы было отмечено массовое появ-

ление нуцеллярных зародышей, часто достигающих значительных размеров. Вместе с с таковыми другого происхождения они служили источником полиэмбрионии, т.е. многозародышевости.

Визуальным проявлением полиэмбрионии стали проростки с несколькими точками роста, а выросшие из них растения формировали так называемые «многоголовчатые» корнеплоды, имевшие на каждом по 2-4 головки, но не точки роста. Эти растения и послужили исходным материалом при создании соответствующей маркерной линии.

Обобщая полученные результаты и данные литературы можно констатировать, что апомиксис у сахарной свеклы относится не к случайным, спонтанно возникающим явлениям, а существует на равных с присущими этому растению аллогамией (ксеногамией, перекрестным оплодотворением) и аутогамией (самооплодотворением). Эмбриологические исследования выявили у линейной сахарной свеклы все известные типы апомиксиса – диплоспорию, апоспорию, апогаметию, адвентивную эмбрионию, из которых лишь апоспория является реально работающим механизмом, приводящим к полноценному семенному потомству материнского типа. Привлечение в селекционный процесс подобных материалов весьма перспективно, поскольку позволяет:

- 1) фиксировать у перекрестноопыляющейся свеклы эффект гетерозиса;
- 2) копировать ценные генотипы;
- 3) получать нерасщепляющееся потомство от гибридов с уникальными признаками родительских форм;
- 4) создавать устойчивые высокопродуктивные сорта как прямым использованием нужных генотипов, так и их гибридизацией с апомиктически размножающимися материнскими.

Исследования на фундаментальном уровне апомиктического и полового размножения в соответствующих растительных системах и ныне остаются приоритетными. Апомиксис как уникальный репродуктивный механизм в сочетании с классическими приемами селекции способен обеспечить разработку новых оригинальных методов, позволяющих создавать высокопродуктивные сорта в более короткие сроки и с гораздо лучшими качественными характеристиками.

Список литературы:

1. Bicknell R.A., Koltunov A.M. Understanding Apomixis: recent advances and remaining conundrums // *Plant Cell*. – 2004. – V.16, n.1. – P.228-245.
2. Carman J.G. The evolution of gametophytic apomixis // *Эмбриология цветковых растений: терминология и концепции*. Т.3. Системы репродукции. – СПб.: Мир и семья, 2000. – С.218-245
3. Savidan Y. Apomixis: Genetics and Breeding // *Plant Breed. Rev.* – 2000. – Vol.18. – P.13-86.
4. Батыгина Т.Б. Васильев В.Е. Размножение растений. – СПб.: СПбГУ, 2002. – 232 с.
5. Наумова Т.Н. Апомиксис и амфимиксис у цветковых растений // *Цитология и генетика*. – 2008. – Т.42, № 3. – С. 51-63.
6. Кашин А.С., Куприянов П.Г. Эволюция агамных ком-

- плексов у цветковых // Известия Саратовского ун-та. – 2009. – Т.9, вып.1. – С.41-47.
7. Сейлова Л.Б. Эволюция способов размножения растений. Deutschland. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2012. – 201 с.
8. Сейлова Л.Б. Апомиксис: структура, использование в практической селекции. Deutschland. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 170 с.
9. Asker S., Jerling L. Apomixis in Plant. CRC Press, Boca Raton. – 1992. – 298 p.
10. Hanna W.W. Use of apomixes in cultivar development // Advances in Agronomy. – 1995. – V.54. – P.333-350.
11. Seilova L.B., Sedlovskii A.I. Apomixis in diploid sugar beet and its use in breeding // Sugar tech (India). – 2000. – V. 2, n.4. – P.31-32.
12. Богомолов М.А. Апомиксис и его роль в селекции сахарной свеклы // Сахарная свекла. – 2005, № 8. – С.19-21.
13. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. – М.: Колос, 1982. – 256 с
14. Jassem B. Apomixis in the genus Beta // Apomixis Newsletter. – 1990, n.19. – P.7-23.
15. Малецкий С.И., Малецкая У.И., Юданова С.С. Апоизоготический способ репродукции семян в системе рода Beta (Chenopodiaceae) и гомологические ряды Н.И.Вавилова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2011. – Т.15, № 1. – С.66-78.
16. Сейлова Л.Б., Джексембиев Р.К. Апомиксис: аспекты эмбриологии у сахарной свеклы // Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. – 2012, № 2. – С.99-106.
17. Сейлова Л.Б., Джексембиев Р.К. Апогаметия у растений-апомиктов сахарной свеклы // Kluczowe aspekty naukowe dzialalnosci. Polska, Przemysl, – 2009. – С.34-39.
18. Szkutnik T. Apomixis in the Sugar beet reproduction system // Acta biologica. Series Botanica. – 2010. – V.52, n.1. – P.87-96.

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)

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

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

East European Scientific Journal

(Warsaw, Poland)

The journal is registered and published in Poland.

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

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

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)

Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)

Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)

Kehan Schreiner (Hebrew University)

Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Anthony Maverick (Bar-Ilan University)

Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)

Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)

Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)

Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe — 178 st.

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska

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