



#3(55), 2020 część 1

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.

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)

#3(55), 2020 part 1

East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)

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

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

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

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

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

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

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

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

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

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

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

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

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Editor in chief - Adam Barczuk

1000 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/>

1000 copies.

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-
001 Warsaw, Poland»**

East European Scientific Journal

**Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw,
Poland**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА

Moradi Pour Omid

PRINCIPLES OF FORMATION OF ARCHITECTURE OF ENERGY EFFICIENT RESIDENTIAL BUILDINGS OF AVERAGE HEIGHT4

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

Кацова Г.Б., Малеева Н.П., Дмитриева М.К., Попова Л.В.

ОСОБЕННОСТИ МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УЧАЩИХСЯ КОЛЛЕДЖА-ИНТЕРНАТА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ9

Kostenko E., Petrova L., Rylsky A., Eneeva M., Ivanov A.

MODERN REHABILITATION STRATEGIES OF POST-STROKE MOTOR DISFUNCTIONS: FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION AND BIOFEEDBACK-STABILOMETRIC POSTURAL TRAINING.13

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Дубей Н.В.

ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ НАПРЯМКИ «ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОГЕОЛОГІЇ»17

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Qurbonalizoda S.S., Gulakhmadov A.A., Kobuliev Z.V., Kholmuhamadzoda S.A.

ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE FLOW IN HIGH PRESSURE HYDRAULIC TURBINES.....21

Маршак О.І.

СИСТЕМНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ КОЛЕДЖУ КОРАБЕЛІВ У ПРОСТОРІ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ30

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Григорьев-Фридман С.Н.

НОВЫЙ ВЗГЛЯД И ПОДХОД НА ФИЗИЧЕСКИЕ И КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА ФОТОНА37

Зейналлы С.М., Мамедова Ш.Н., Аббасова С.В., Гурбанова А.Г.

ВВЕДЕНИЕ СХЕМ ПОНЯТИЙ ПРЕДЕЛА И НЕПРЕРЫВНОСТИ.49

Краус Я., Соколовский С.

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНА В КРИСТАЛЛЕ И ОБОЩЕНИЕ МЕТОДА ЧЕПМЕНА-ЭНСКОГА51

Краус Я., Соколовский С.

ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ЧЕПМЕНА-ЭНСКОГА В ТЕОРИИ ДИФфуЗИИ ЭЛЕКТРОНА В КРИСТАЛЛЕ56

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ziyadullaev A.E., Nurmonov S.E., Parmonov A.B., Jumartova U.U., Mavloniy M.I.

MATHEMATICAL PROCESSING OF THE RESULTS OF SYNTHESIS OF VINYL ETHERS OF CYANURIC ACID61

Usmonov M.B.

PHASE EQUILIBRIA IN THE Na, Ca// SO₄, F– H₂O SYSTEM AT 75°C70

Moradi Pour Omid

postgraduate student degree

*Department of Fundamentals of Architecture and Architectural Design,
Kiev National University of Construction and Architecture*

PRINCIPLES OF FORMATION OF ARCHITECTURE OF ENERGY EFFICIENT RESIDENTIAL BUILDINGS OF AVERAGE HEIGHT

Summary. The principles of formation of energy-efficient systems of heating, ventilation and air conditioning of residential buildings of medium height are considered. The analysis of basic requirements to modern systems of climate control of premises is carried out, technical means of their organization and management are defined. The model of control of parameters of heating, ventilation and air conditioning system which includes the analysis of temperature, level of humidity and level of air pollution in a premise is offered. The mathematical apparatus is developed and the basic scheme of cooling and heating of air in the building, which is based on the ideal Carnot cycle, is constructed. The basic approaches of development and adaptation of the model for solving actual problems are indicated.

Keywords: *energy efficiency, residential building, heating, ventilation, air-conditioning, mathematical model, Carnot cycle.*

1. Introduction

The formation of energy-efficient heating, ventilation and air conditioning systems of buildings, which allow to maintain optimal conditions of microclimate in the room, necessary for the stay of people, placement of technological equipment and storage of products is based on the classification of the type of building and external climatic conditions. **The analysis of the literature sources** devoted to this topic showed that within the framework of the standard methodology, heating, ventilation and air conditioning systems can be divided into complexes intended for residential premises [1-3], public buildings [4, 5], industrial premises [6, 7] and medical institutions [8, 9].

To date, there is an increase in requirements for maintaining climate control in the premises when designing heating, ventilation and air conditioning systems. First of all, this is a tightening of safety standards, comfortable organization of work and rest, storage conditions of food products, maintenance of the so-called "clean room" and keeping animals. This is partially offset by the growth of opportunities for the organization of heating, ventilation and air conditioning systems, both heating, air conditioning and ventilation, and automatic control systems in the "smart house" mode [10-12]. However, it should be noted that the problem of optimization of heating, ventilation and air conditioning from the point of view of the need to build energy-efficient systems is a complex and non-trivial task.

Also, important factors influencing the choice of the optimal organization of the heating, ventilation and air conditioning system are the height of the floor and the total number of storeys of the building [13-15]. In the case of heating systems, the highest energy consumption, which can be calculated by determining the specific consumption of thermal energy, it is associated with the height of the floor of the building. The number of storeys of the building is important in

establishing the ventilation system, which is based on the construction of common sectional exhaust shafts — this approach allows to reduce heat loss through the ceiling of the upper floor, as well as to reduce the resistance to heat transfer of the attic coating. It is characteristic that in general, these factors have mutual influence, which further complicates the task. Accordingly, when building the basic model of heating, ventilation and air conditioning, it becomes necessary to choose typical options, leaving the possibility of expanding the mathematical apparatus for a wider class of problems.

Thus, in this work it is proposed to confine the study to the construction of the methodological framework that includes the development of principles of formation of architecture and organization in heating, ventilation and air conditioning systems of energy-efficient residential mid-rise buildings, which can be represented as **the objective of the work**.

2. Basic approaches to energy efficiency of the heating, ventilation and air conditioning system

Assessment of energy efficiency of heating, ventilation and air conditioning systems involves the construction of the mathematical model and the introduction of the following indicators:

- the acceptable temperature range of indoor air;
- the temperature of the air outside ;
- permissible air flow rate in the room ;
- the allowable humidity level for indoor air, according to the air temperature;
- the level of indoor air pollution, which can be expressed in terms of volume fraction, according to typical chemical pollution agent s .

In addition, the temperature level in the premises of the residential complex is correlated with climatic conditions, a significant difference between the indoor temperature and outdoor temperature does not meet both medical standards and energy-efficient approach to heating, ventilation and air conditioning. Thus, an additional standard can be introduced for, which

corresponds to the permissible temperature range of the indoor air .

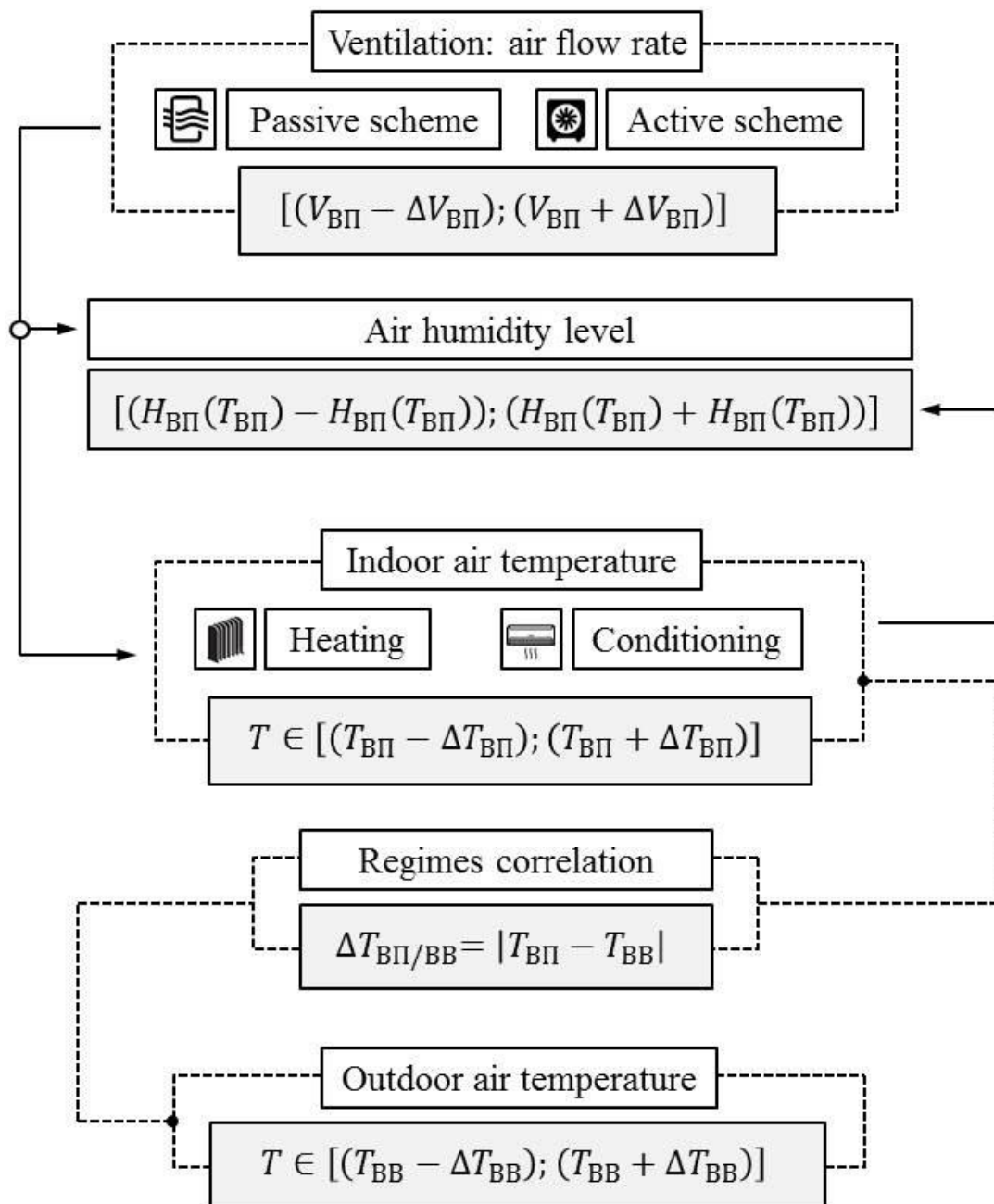


Fig. 1. The basic model of control of heating, ventilation and air conditioning system parameters.

At the level of construction of the mathematical apparatus, the definition of energy efficiency of residential premises can base the concept of heat load for the ideal process of heating and air conditioning. At the same time, in the framework of this study, in order to build a basic model, it is proposed to consider the processes of air conditioning and heating of premises with the possibility of further supplementing the mathematical apparatus with algorithms for controlling humidity and the presence of typical air pollution agents.

3. Modeling of the heating, ventilation and air conditioning system of the premise

The simplified mathematical model of the system maintaining the set temperature mode in premises, which are using the processing mechanisms of ambient air at the level of the Carnot cycle, but does not take into account the energy consumption during transportation and distribution of the coolant and the heat transfer area in the model is considered unbounded, is based on analysis of heat sources (appliances, building residents, etc.), their parameters and the mutual arrangement (Fig. 2).

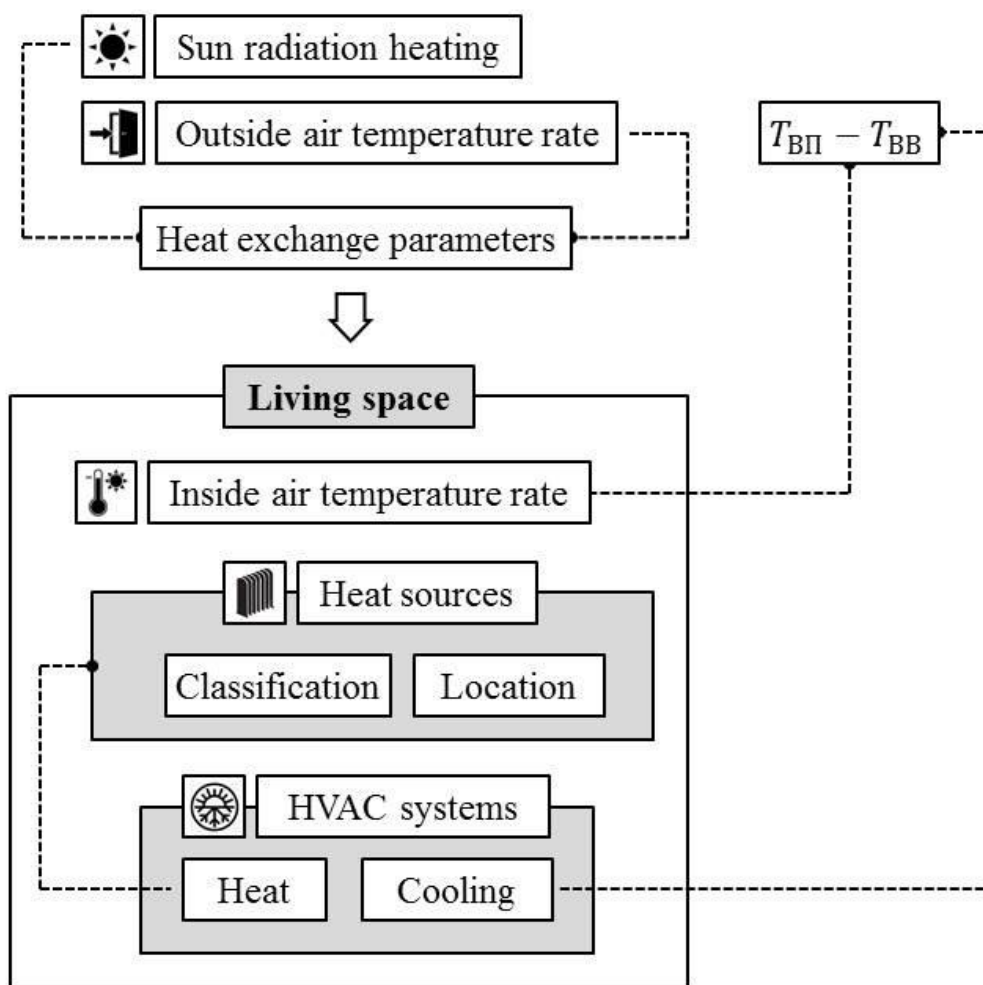


Fig. 2. The basic scheme of cooling and heating of air in the premises.

Under the present scheme it is necessary to introduce variables for temperature heat sources that are present in the premises as a one-dimensional matrix. Calculating the difference of and allows selecting the operating mode of the heating, ventilation and air conditioning system in which the external environment can be used to cool the heat source or the heat source be taken into account when heating the premise. For the temperature difference the air conditioning system is activated, which can be described on the basis of the Carnot engine model. Its description considers the absorption of heat load for temperature through power consumption.

Heat load absorption [15-17] is calculated through the total heat dissipation from all sources according to the temperature difference:

moreover, it should be noted that in this case the Signum function should be defined as follows:

To calculate the power consumed by the heating, ventilation and air conditioning system in relation to a

single heat source it is necessary to enter the efficiency factor :

and total power consumption calculated for all heat sources:

where

Calculation of energy-efficient heating, ventilation and air conditioning system can be based on obtaining the maximum efficiency in the framework of the developed mathematical model. At the mathematical level this can be formulated as follows:

Substituting in equation (6) the value for the total heat output from (1) and the total power consumption from (4), the following expression can be obtained:

The development of the model implies its adaptation to solve a wide range of urgent problems. Therefore, in the future it is proposed to carry out the stages of the study presented in Fig. 3, with correlation of modeling results [18].

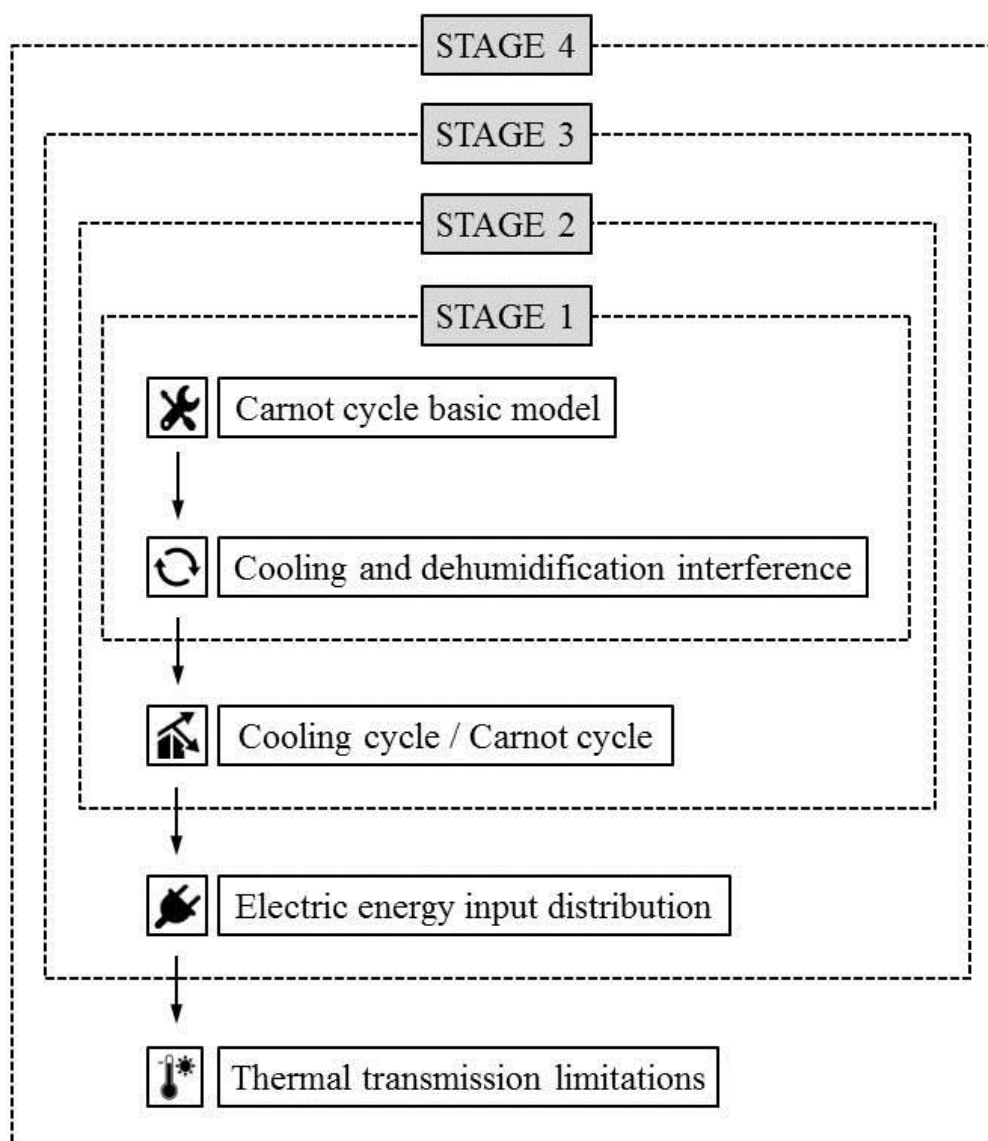


Fig. 3. Stages of development of the mathematical model of heating, ventilation and air conditioning.

This approach to the development and adaptation of the proposed mathematical apparatus allows developing a holistic methodology for the construction of a mathematical model used in the calculation of energy-efficient heating, ventilation and air conditioning systems.

4. Summary

In the course of the study, the principles of formation of energy-efficient heating, ventilation and air conditioning systems were considered and the classification of requirements for these systems was carried out. The model of control of parameters of heating, ventilation and air conditioning system which includes the analysis of temperature, level of humidity and level of air pollution in a premise is offered. The mathematical apparatus is developed and the basic scheme of cooling and heating of air in the building, which is based on the ideal Carnot cycle, is constructed. It is shown that the calculation of energy-efficient heating, ventilation and air conditioning system can be based on obtaining the maximum efficiency, taking into account the consideration of all heat sources located in

the premise. The basic approaches of development and adaptation of the model for solving actual problems are indicated.

References

1. Yoon, S., Yu, Y., Wang, J., & Wang, P. (2018). Impacts of HVACR temperature sensor offsets on building energy performance and occupant thermal comfort. *Building Simulation*, 12(2), 259–271. doi: 10.1007/s12273-018-0475-3.
2. Abramski, M., Friedrich, T., Kurz, W., & Schnell, J. (2011). Innovative Shear Connectors for a New Prestressed Composite Slab System for Buildings with Multiple HVACR Installations. *Composite Construction in Steel and Concrete VI*. doi: 10.1061/41142(396)9.
3. Hernandez, A. (2012). HVAC & Building Management Control System Energy Efficiency Replacements. doi: 10.2172/1063877.
4. Schijndel, A. W. M. V., & Schellen, H. L. (2006). Application of a Combined Indoor Climate and HVAC Model for the Indoor Climate Performance of a

- Museum / Anwendung eines Modells für die Kombination des Innen klimas mit dem Heizungs-, Belüftungs- und Temperatur kontroll system (HBT; HVAC) zur Simulation des Raumklimas in einem IVIuseum. *Restoration of Buildings and Monuments*, 12(3). doi: 10.1515/rbm-2006-6052.
5. Wright, J., & Zhang, Y. (2008). Evolutionary Synthesis of HVAC System Configurations: Experimental Results. *HVAC&R Research*, 14(1), 57–72. doi: 10.1080/10789669.2008.10390993.
 6. Silberstein, E. (2012). Residential construction academy: HVAC. Clifton Park, NY: Cengage Learning.
 7. Muthuraman, S. (2016). Careers in HVACR: heating, ventilation, air conditioning, refrigeration. Chicago: Institute for Career Research.
 8. Sezdi, M., & Uzcan, Y. (2016). Clean room classification in the operating room. 2016 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO). doi: 10.1109/tiptekno.2016.7863107.
 9. Varghese, A. C., & Palmer, G. (2016). Chapter 23 Clean room technology for low resource IVF units. *Clean Room Technology in ART Clinics*, 345–352. doi: 10.1201/9781315372464-24.
 10. Domb, M. (2019). Smart Home Systems Based on Internet of Things. IoT and Smart Home Automation [Working Title]. doi: 10.5772/intechopen.84894.
 11. Balasubramanian, K., & Cellatoglu, A. (2010). Selected Home Automation and Home Security Realizations: An Improved Architecture. *Smart Home Systems*. doi: 10.5772/8408.
 12. Saito, N. (2015). The concept of an ecological smart home network. *Ecological Design of Smart Home Networks*, 3–16. doi: 10.1016/b978-1-78242-119-1.00001-1.
 13. Abad, J. M. N., & Soleimani, A. (2016). A neuro-fuzzy fan speed controller for dynamic management of processor fan power consumption. 2016 1st Conference on Swarm Intelligence and Evolutionary Computation (CSIEC). doi: 10.1109/csiec.2016.7482121.
 14. Li, Y. L., Zhao, C. L., Liu, Y. Y., Peng, Q., & Li, C. J. (2014). The Research of the Power Capsule Fan Energy Consumption in Thermal Balance Test Method. *Applied Mechanics and Materials*, 490-491, 902–909. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.490-491.902.
 15. Simic, D., Kral, C., & Pirker, F. (2005). Simulation of the cooling circuit with an electrically operated water pump. 2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. doi: 10.1109/vppc.2005.1554567.
 16. Quan, H. T. (2014). Maximum efficiency of ideal heat engines based on a small system: Correction to the Carnot efficiency at the nanoscale. *Physical Review E*, 89(6). doi: 10.1103/physreve.89.062134.
 17. Feidt, M. (2017). From Carnot Cycle to Carnot Heat Engine: A Case Study. *Finite Physical Dimensions Optimal Thermodynamics 1*, 75–97. doi: 10.1016/b978-1-78548-232-8.50003-0.
 18. Liu, X., Jiang, Y., & Zhang, T. (2016). Temperature and Humidity Independent Control (Thic) of Air-conditioning System. Berlin: Springer Berlin.

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

УДК 616-082-057.87-056.24:377.5

Кацова Г.Б., Малеева Н.П., Дмитриева М.К., Попова Л.В.

ОСОБЕННОСТИ МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УЧАЩИХСЯ КОЛЛЕДЖА-ИНТЕРНАТА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Katsova G. B., Maleyeva N.P., Dmitriyeva M. K., Popova L. V.

FEATURES OF MEDICAL CARE FOR STUDENTS OF A BOARDING COLLEGE FOR THE DISABLED AND PEOPLE WITH DISABILITIES

Аннотация. Образовательное учреждение «Оренбургский государственный экономический колледж-интернат» осуществляет образовательную, реабилитационную, лечебно-профилактическую, воспитательную деятельность в сфере профессионального образования. Особенностью деятельности медицинских работников колледжа является штатное расписание медицинского пункта и объем деятельности его сотрудников, направленный на улучшение состояния здоровья студентов для обеспечения полноценной образовательной деятельности.

Annotation. Educational institution "Orenburg State Economic Boarding College" carries out educational, rehabilitation, medical and preventive, educational activities in the field of professional education. A special feature of the College's medical staff is the staff schedule of the medical center and the volume of activities of its employees aimed at improving the health of students to ensuring complete educational activities.

Ключевые слова: инвалиды; люди с ограниченными возможностями здоровья, медицинское обслуживание.

Keywords: the disabled, people with disabilities, medical care.

Федеральное казенное профессиональное образовательное учреждение «Оренбургский государственный экономический колледж-интернат» (далее колледж-интернат) является учреждением, осуществляющим образовательную, реабилитационную, воспитательную, культурно-просветительскую и иную деятельность в сфере среднего профессионального образования. Свою историю колледж ведет с 1951 года, когда было создано первое образовательное учреждение для людей с ограниченными возможностями [1, 2].

Финансирование колледжа-интерната производится из федерального бюджета. В

реализации программы общего медицинского страхования колледж не участвует, платные медицинские услуги не предоставляют [3].

Медицинская помощь студентам оказывается в медицинском пункте колледжа-интерната. В соответствии со штатным расписанием здесь утверждено 13 штатных единиц (табл. 1). Особенностью штатного расписания является обязательное наличие в штате профильных специалистов, способных осуществлять не только профилактические мероприятия, но и лечебно-реабилитационную помощь обучающимся [5].

Таблица 1

Штатный состав медицинского пункта

Должность (специальность, профессия), разряд, класс (категория) квалификации	Количество штатных единиц	Число занятых должностей	Физические лица
Врач-невролог	0,75	-	-
Врач-педиатр	1,00	1,00	1
Врач-терапевт	1,00	-	-
Заведующий медицинским пунктом	0,25	0,25	1
Стоматолог	1,00	0,50	1
Медицинская сестра	2,00	-	-
Медицинская сестра диетическая	1,00	1,00	1
Медицинская сестра по физиотерапии	1,00	0,50	1
Медицинская сестра процедурная	1,00	1,00	1
Старшая медицинская сестра	1,00	1,00	1
Фельдшер	3,00	3,00	3
Итого:	13,00	8,25	10

Как видно из таблицы, укомплектованность медицинскими кадрами – 46%, средним медицинским

персоналом – 70%. За последние 3 года отмечается положительная динамика укомплектованности

врачебными кадрами. Однако она остается низкой, в связи с чем возникает необходимость привлечения внешних совместителей. Коэффициент совместительства врачей равняется 1, среднего медицинского персонала – 1,1. Коллектив средних медицинских работников относительно стабилен. Все фельдшера и медицинские сестры имеют большой опыт работы по данной специальности – более 10 лет. Так как колледж-интернат имеет статус образовательного учреждения, отсутствует финансирование статьи

расходов на обучение медицинского персонала, которое невозможно осуществить по месту нахождения колледжа. Это создает проблему получения категорий для сотрудников медицинского пункта.

Количество обучающихся в колледже составляет 486 человек, из них на бюджетной основе – 269 человек: 139 (51,7 %) являются инвалидами, 108 (40,1 %) – дети сироты и 22 человека (8,2 %) имеют статус ОВЗ (рис. 1).

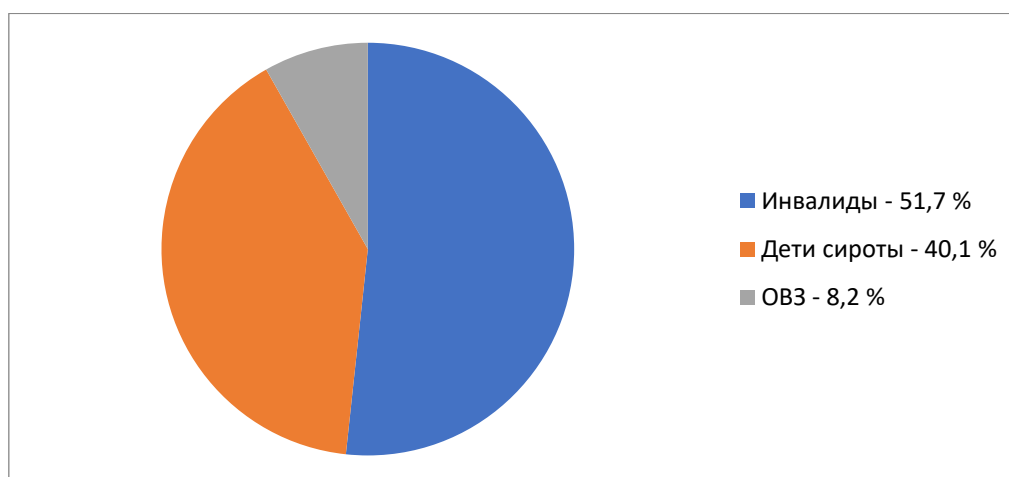


Рис. 1. Категории студентов, обучающихся на бюджетной основе

Контингент обучающихся колледжа-интерната стабилен. Движение учащихся происходит по объективным причинам и не вносит дестабилизации в процесс развития учреждения.

Распределение обучающихся по гендерному признаку в абсолютных цифрах отображен на рисунке 2.

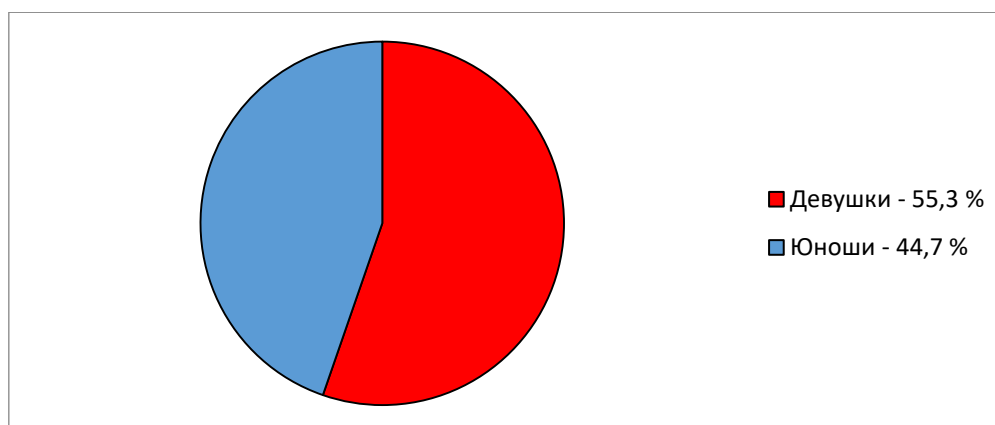


Рис. 2. Гендерный состав обучающихся в колледже-интернате

Анализ возрастного состава студентов представлен в таблице 2.

Таблица 2

Возрастной состав учащихся на очной основе ОГЭКИ в 2019г.

Возраст	До 14 лет	От 15 до 17 лет	Старше 18 лет
Численность, чел.	0	194	228
%	-	45,97	54,03

Всего в колледже-интернате обучается 132 человека, имеющих инвалидность, из них под категорию ребенок-инвалид попадают 56 человек (42,4%).

Студенты, имеющие инвалидность III группы составляют 47.7% (63 человека), II группы – 9,8% (13 человек) (рис. 3).

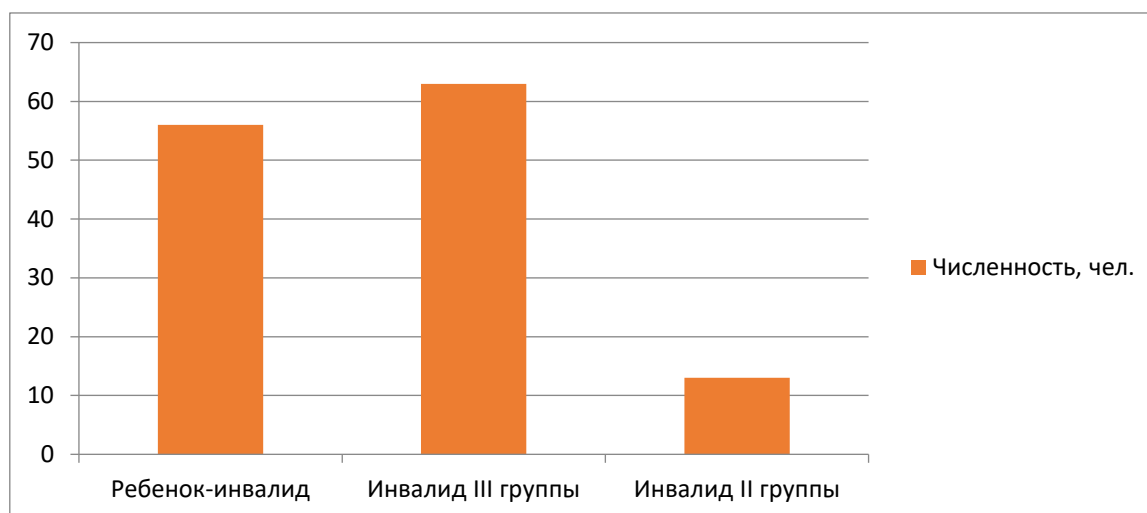


Рис. 3. Категории инвалидности студентов

В колледже-интернате обучаются 23 человека с ограниченными возможностями здоровья.

Медицинская деятельность в медпункте осуществляется на основании лицензии с номенклатурой работ и услуг:

1. Оказании первичной доврачебной медико-санитарной помощи в амбулаторных условиях по сестринскому делу, стоматологии, лечебному делу, физиотерапии.

2. Оказании первичной врачебной медико-санитарной помощи в амбулаторных условиях по педиатрии, терапии, организации здравоохранения и общественному здоровью.

3. Оказании первичной специализированной медико-санитарной помощи в амбулаторных условиях по организации здравоохранения и общественному здоровью.

4. Проведении медицинских осмотров.

Работа медицинского пункта ведется по 6 направлениям:

1. Организационно-методическая работа.

2. Лечебно-профилактическая работа.

3. Медико-реабилитационные мероприятия, включающие.

4. Санитарно-гигиенические мероприятия.

5. Санитарно-просветительская работа.

6. Повышение квалификации персонала, направленное на прохождение курсовой подготовки с целью повышения профессиональной компетентности.

Деятельность медицинского пункта подразумевает системную работу нескольких специалистов. Работа врача-педиатра заключается в составлении плана на текущий учебный год (помесячно) и в проведении медицинского освидетельствования абитуриентов, поступающих в колледж-интернат.

Профилактический осмотр учащихся педиатром проходят в первом семестре. На основании данных осмотра формируются план работы. Заполняется журнал учета диспансеризации студентов. Всего на диспансерном учете в 2018-2019 учебном году состояло 314 человек. Распределение по группам здоровья представлено в таблице 3.

Таблица 3

Распределение по группам здоровья

Группа здоровья	Численность, чел.	%
I	-	-
II	108	25,59
III	97	22,99
IV	78	18,48
V	139	32,94
Итого:	422	

Среди заболеваний первое место занимают болезни нервной системы (24,2%), второе – болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (8,92%), третье – болезни эндокринной системы и кровообращения (7,96% и 6,69% соответственно). На диспансерном учете с

социально-значимыми заболеваниями состоит 29 человек, из них 15 (51,72%) страдают сахарным диабетом, 14 (48,28%) – злокачественными новообразованиями.

Локализация злокачественных образований представлена в таблице 4.

Локализация злокачественных новообразований

Локализация	Количество, чел.	%
Заболевания крови и кроветворных органов	8	57,14
Злокачественные новообразования глаза и его придаточного аппарата	2	14,29
Злокачественные новообразования головного мозга	2	14,29
Злокачественные новообразования щитовидной железы	1	7,14
Злокачественные новообразования костно-суставной системы	1	7,14
Итого:	14	

Прием студентов с острой патологией необходимости вызывается бригада скорой проводится педиатром круглосуточно. При медицинской помощи.

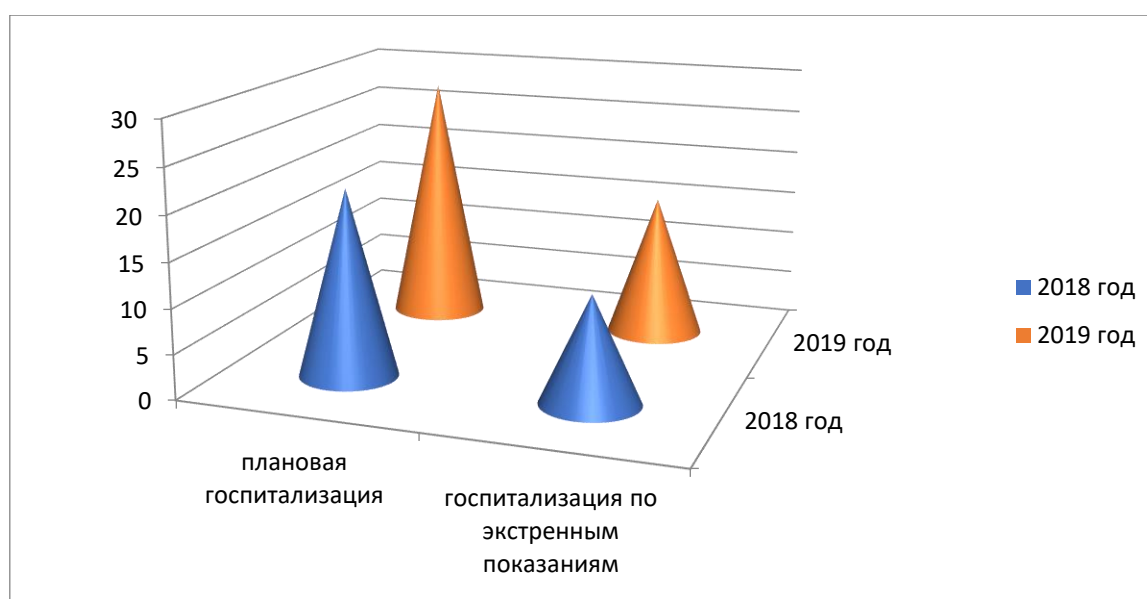


Рис. 4. Показатели госпитализации

Важными разделами работы медпункта являются планирование и проведение флюорографии студентов, прививочная работа.

Ежегодно соответственно составленному графику проводится переосвидетельствование на МСЭ.

Инвалиды, не подтвердившие инвалидность, получают статус ОВЗ (ограниченные возможности здоровья). Это дает им возможность продолжить образование на бюджетной основе.

С начала учебного года учащиеся распределяются по группам для занятий физкультурой. Занятия проводят малыми группами. В течение учебного года неоднократно на базе колледжа организуются соревнования среди учащихся. На соревнованиях присутствуют врач и медицинская сестра.

Для организации питания обучающихся функционирует столовая на 120 посадочных мест. Студенты обеспечиваются питанием за счет бюджетных ассигнований из федерального бюджета. Данный раздел работы контролируется медицинской сестрой, прошедшей обучение по

вопросам диетологии. В колледже работает комиссия по питанию, основным направлением работы которой, является формирование списка на питание обучающихся. В состав комиссии входят директор, заместитель директора, медицинские работники (врач и старшая медсестра). Ежеквартально проводится мониторинг удовлетворенности качеством питания среди студентов колледжа-интерната.

Важным направлением работы медицинского коллектива колледжа является медико-социальная реабилитация, которая включает организацию и проведение программ реабилитации совместно с реабилитологом, психологом, преподавателем ЛФК, организацию и проведение ежегодного осмотра врачами узких специальностей, обследование учащихся для организации реабилитационных медицинских мероприятий. В колледже-интернате действует совет по реабилитации, в обязанности которого входит координация деятельности всех подразделений и служб по созданию специальных условий для получения среднего профессионального

образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья, определения оптимальной траектории реабилитации и абилитации обучающихся. Совет по реабилитации утверждается локальным приказом директора сроком на один год. План работы совета по реабилитации разрабатывается на каждый учебный год и после рассмотрения его на заседании педагогического совета утверждается директором колледжа-интерната. При необходимости заседания совета могут проводиться вне плана. Учитывая контингент студентов колледжа-интерната, полноценное медицинское обслуживание не возможно без осуществления тесной связи с сотрудниками социальной службы.

Таким образом, организация медицинского обслуживания колледжа-интерната позволяет в полной мере осуществлять лечебно-профилактическую и реабилитационную помощь студентам-инвалидам и студентам с ограниченными возможностями здоровья.

Список использованной литературы

Оренбургский государственный экономический колледж-интернат (ОГЭКИ): [Электронный ресурс] <http://www.ogek-i.ru>.

Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29.12.2012 г.;

Государственная программа «Доступная среда» на 2011-2020 годы, утвержденная постановлением Правительства РФ от 01.12.2015 г. № 1297;

Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 30.07.2015 г. № 527н «Об утверждении Порядка обеспечения доступности для инвалидов объектов и предоставляемых услуг в сфере труда, занятости и социальной защиты населения, а также оказания им при этом необходимой помощи»;

Постановление Правительства РФ от 10.07.2013 № 582 «Об утверждении Правил размещения на официальном сайте образовательной организации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и обновления информации об образовательной организации».

¹E. Kostenko, ²L. Petrova, ²A. Rylsky, ²M. Eneeva, ²A. Ivanov

¹Pirogov Russian National Research Medical University

²Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of Moscow Healthcare Department

MODERN REHABILITATION STRATEGIES OF POST-STROKE MOTOR DISFUNCTIONS: FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION AND BIOFEEDBACK-STABILOMETRIC POSTURAL TRAINING.

More than 80% of patients after a stroke have limited daily activity due to a complex polymorphic motor deficiency of various nature and severity, which leads to postural disorders (PD) [1]. Because of paresis develop different changes in the musculoskeletal system (MSS) such as PD, restrictions of movements in the joints, impaired relationships of links and levers of the motor-biomechanical system of the human body, balance disorders [2], that increase the risk of falls, lead to a low level of activity and participation, reduce the quality of life of patients with stroke [3-8].

In case of dysfunction of the lower extremities, the locomotor process splits, which normally provides simultaneous performance of the main functions: movement and balance (postural control - PC). Human supportability is determined by two components: the state of the MSS and balance through the friendly activity of proprioceptive, visual, vestibular analyzers with the coordinating role of the cerebellum. The balance function is directly related to the ability to move and is a predictor of achieving the ability to walk [8-10], and is also among the factors potentially modified by physical activity [11].

The after stroke patient's gait acquires a peculiar pattern, is characterized by a decrease in speed, violation of kinetic and kinematic profiles, pathological asymmetry, mediolateral deviation towards the unaffected lower limb, a greater instability of the center

of pressure (COP) and an increase in the energy consumption of the motor act [12-14]. The asymmetry of the step parameters depends on the formed differences in spatio-temporal and kinematic characteristics between the affected and healthy side; muscle strength and support stability of the paretic limb [15]. The Cochrane review data on monitoring of the objective activity demonstrated the passivity of the lifestyle of post-stroke patients compared to age-comparable healthy individuals [16]. These patients spend more than 80% of the time on a sedentary lifestyle [17], which leads to a further decrease in cardiorespiratory reserves and overall endurance.

Thus, it is important to include in the program of rehabilitation of patients with stroke different physical factors, which, acting directly on the central nervous system (CNS), and on the segmental and peripheral structures of the neuromuscular apparatus, contribute to the restoration of motor functions.

Despite significant advances in the treatment of acute stroke, to date, evidence-based studies in the field of rehabilitation have not yet been conducted. Leading experts still recommend the available rehabilitation measures (physiotherapy, ergotherapy, kinesiotherapy, acupuncture, etc.), though the low class of recommendations [18]. There is no single methodology for the use of physiotherapeutic methods with proven effectiveness (functional electromyostimulation (FES),

electrostimulation (ES), kinesiotherapy, etc.). Their effectiveness is not clear depending on the period of the stroke, the characteristics of the defeat of the dominant and subdominant hemispheres. There are open questions about the duration and frequency of procedures, the duration of therapy, periodicity and the combination of techniques.

In 2019, a group of scientists from different countries conducted a systematic review and meta-analysis of the effectiveness of various types of physical therapy (PT) on balance function and PC in patients with stroke [19].

In the described meta-analysis, both balance and PC were studied. Based on the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF), balance considered as a level of activity reflecting functional abilities, and postural control as a body structure function reflecting both orientation and stabilization body. Therefore, the primary outcomes were: balance measured by the Berg Balance Scale (BBS) or the Postural Assessment Scale for Stroke (PASS); postural deviation measured by the weight bearing asymmetry (WBA) on lower limbs or the mediolateral and anteroposterior position of the center of pressure (COP); and postural stability measured by all COP sway or limit of stability (LOS) parameters. The secondary result was an indicator of independence according to the scales: Barthel, functional independence, daily activity scale.

Of the 13,123 identified studies, 145 studies were selected with a total of 5912 patients; 18 had a crossover design and 127 parallel groups. The number of patients included in the study is from 7 to 408 people aged 46.9–78.5. A total of 91 studies with PT versus 76 studies without PT (NT) were analyzed; and 81 studies with PT compared with 70 studies that conducted standard therapy (ST). Meta-analyses were performed with subgroups: PT categories, time after a stroke and localization of the lesion; and meta-regression (duration of PT).

The efficacy of PT immediately after the course of treatment has been proved compared to NT in relation to balance, mediolateral postural disturbances in EO and postural stability (PS); and compared with ST groups - the benefits for balance and PS (with EO and EC) after a stroke. Functional task-training, musculoskeletal interventions (MSI) and/or cardiopulmonary intervention, MSI using ES were more effective than NT in improving balance immediately after the procedure (). It is confirmed that only functional task-training had a beneficial effect on improving the balance compared to NT.

Significant positive results were obtained for constraint-induced therapy; of functional task-training, of musculoskeletal intervention with body awareness therapy and of musculoskeletal intervention by active strengthening. There were no significant improvements for acupuncture, sensory and other interventions ($p=0.29$). There was a significant positive results for the subgroup of chronic stroke patients and a non-significant results for the subgroup of acute-subacute stroke patients, without significant difference between

subgroups ($p = 0.64$). In a subgroup of studies that included only patients with supratentorial stroke, a significant positive result was found.

It is interesting, that there was no statistically significant long-term effect of PT on the balance compared to ST in patients with stroke. Assistive devices were found to be more effective than NT relation to PS in EC; and functional training tasks and sensory interventions were more effective than NT and ST in improving orthostatic stability.

Thus, it is shown that the functional task-training associated with MMS and / or cardiopulmonary training and sensory interventions, affects the improvement of balance and PS. However, these results should be interpreted with caution due to the small number of studies, participants, or heterogeneity within subgroups.

Disturbances of sensory input and afferentation from a paretic limb both to the side of insufficiency and to the side of redundancy (spasticity) alter the activity of the motor centers and deform the static and dynamic motor program in patients with stroke. Obtaining information about the position of the COP, the inclusion of visual and auditory analyzers in training using biological feedback methods (BFB), along with the active effect on muscle conditions and impaired motor act, contribute to the accelerated formation of new functional connections at the CNS level, the development of a new functionally adapted stereotype movements, movement control and balance.

The comprehensive use of the FES and BFB-stabilometric training methods [20], which have a high safety profile, including in old age and high comorbidity, makes it possible to implement such a program.

A recently published randomized comparative study [20] involved 67 patients (mean age 58.4 ± 6.4 years) in the late recovery period of stroke who received a course of comprehensive rehabilitation for 5 weeks. By the end of the observation in the main group of patients (FES+BFB) statistically significantly increased walking speed (from 73.6 ± 5.7 sec in the usual pace to 56.2 ± 6.7 sec); COP leveled in both groups (significantly along the X-axis; $p < 0.05$), decreased length of statokinesigram by an average of 27.4% at EO and 30% to the EC (596.77 ± 89.6); the deviation of total COP in the sagittal plane decreased, that can be considered as an objective increase in patient resistance.

The Romberg coefficient improved (from 55.8 ± 6.81 to 95.2 ± 6.47 ; $p < 0.05$), which indicated the restoration of deep proprioceptive sensitivity and an increase in its share of information in standing control. In patients with paresis of the limbs, the index of the position of total COP in the frontal plane ($p < 0.05$) improved when performing functional tests (regression of paresis and posture asymmetry). There was a tendency towards a decrease in the rate of movement of the central nervous system (an indicator of overall stability). As a result, the patient has an earlier motor and social adaptation (changes on the Barthel scale from 58.2 ± 2.8 to 75.5 ± 3.7 points; $p < 0.001$),

restoration of impaired balance function, and improvement of quality of life (46.3 ± 2.3 versus 61.2 ± 3.0 at the end of the study; $p < 0.05$).

It is necessary to emphasize the importance of a positive emotional reaction to physical activity during biofeedback training on the platform (impact on the mental component of motor deficiency; increased sensory input). The restructuring of the stabilogram coincided with clinical regression of statolocomotor disturbances. Thus, the inclusion in the rehabilitation process of a combination of methods of FES and biofeedback stabilometric training, makes a beneficial contribution to motor training and neuroplastic changes in the CNS. It provides long-term improvement of motor control, balance of muscle activation, quality, efficiency and ergonomics of walking [20].

Our center continues the development and scientific substantiation of individual comprehensive rehabilitation strategies to improve motor functions and balance, taking into account the neuropsychological and chronobiological status of post-stroke patients. This will allow to fully realize the patient's functional reserve and achieve maximum effectiveness of the activities.

References

1. Alexander LD, Black SE, Patterson KK, Gao F, Danells CJ, McIlroy WE. Association between gait asymmetry and brain lesion location in stroke patients. *Stroke* 2009; 40:537–44. doi: 10.1161/STROKEAHA.108.527374;
2. Geneva World Health Organization, editor. *Global Health Estimates 2015: Burden of disease by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000–2015*. 2016.
3. Geurts ACH, de Haart M, van Nes IJW, Duysens J. A review of standing balance recovery from stroke. *Gait Posture* 2005; 22:267–81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.10.002> PMID: 16214666
4. Genthon N, Rougier P, Gissot A-S, Froger J, Pe 'lissier J, Pe 'rennou D. Contribution of Each Lower Limb to Upright Standing in Stroke Patients. *Stroke* 2008; 39:1793–9. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.107.497701> PMID: 18369174
5. Ishii F, Matsukawa N, Horiba M, Yamanaka T, Hattori M, Wada I, et al. Impaired ability to shift weight onto the non-paretic leg in right-cortical brain-damaged patients. *Clin Neurol Neurosurg* 2010; 112:406–
12. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2010.02.006> PMID: 20227176
6. Dickstein R, Abulaffio N. Postural sway of the affected and nonaffected pelvis and leg in stance of hemiparetic patients. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81:364–7. PMID: 10724084
7. Bonan IV, Colle FM, Guichard JP, Vicaut E, Eisenfisz M, Tran Ba Huy P, et al. Reliance on visual information after stroke. Part I: balance on dynamic posturography 1 *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85:268–73.

<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.017> PMID: 14966712

8. Fulk GD, Reynolds C, Mondal S, Deutsch JE. Predicting home and community walking activity in people with stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2010; 91:1582–1586.

<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.07.005> PMID: 20875518

9. Lee KB, Lim SH, Ko EH, Kim YS, Lee KS, Hwang BY. Factors related to community ambulation in patients with chronic stroke. *Top Stroke Rehabil* 2015; 22:63–71. <https://doi.org/10.1179/1074935714Z.0000000001> PMID: 25776122 21.

10. Louie D, Eng J. Berg Balance Scale score at admission can predict walking suitable for community ambulation at discharge from inpatient stroke rehabilitation. *J Rehabil Med* 2018; 50:37–44. <https://doi.org/10.2340/16501977-2280> PMID: 29068037

11. Thilarajah S, Mentiplay BF, Bower KJ, Tan D, Pua YH, Williams G, et al. Factors Associated With PostStroke Physical Activity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2018; 99:1876–89.

<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.09.117> PMID: 29056502

12. C Maria Kim, Eng JJ. Magnitude and pattern of 3D kinematic and kinetic gait profiles in persons with stroke: Relationship to walking speed. *Gait Posture* 2004; 20(2): 140–146. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2003.07.002;

13. Stanhope VA, Knarr BA, Reisman DS, Higginson JS. Frontal plane compensatory strategies associated with self-selected walking speed in individuals post-stroke. *HHS Author Manuscripts* 2014; 29(5): 518–522. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2014.03.013;

14. Dawes H, Enzinger C, Johansen-Berg H, Bogdanovic M, Guy C, Collett J, Izadi H, Stagg C, Wade D, Matthews PM. Walking performance and its recovery in chronic stroke in relation to extent of lesion overlap with the descending motor tract. *Experimental Brain Research*. 2008; 186 (2): 325–333. DOI: 10.1007/s00221-007-1237-0]

15. Patterson KK, Gage WH, Brooks D, Black SE, McIlroy WE. Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture* 2010;31:241–6. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.10.014].

16. Lynch EA, Jones TM, Simpson DB, Fini NA, Kuys S, Borschmann K, Kramer S, Johnson L, Callisaya ML, Mahendran N, Janssen H, English C2. Activity monitors for increasing physical activity in adult stroke survivors. *Cochrane Systematic Review*. *Stroke* 2018; 21: STROKEAHA118023088. doi: 10.1161/STROKEAHA.118.023088.]

17. Veerbeek JM, van Wegen E, van Peppen R, van der Wees PJ, Hendriks E, Rietberg M, Kwakkel G. What is the evidence for physical therapy poststroke? A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2014; 4;9(2):e87987. doi: 10.1371/journal.pone.0087987.

18. New edition of recommendations for treatment and prevention of stroke and transient ischemic attacks (TIA), 2018 http://doctorspb.ru/articles.php?article_id=557
19. Hugues A, Di Marco J, Ribault S, Ardaillon H, Janiaud P, Xue Y, et al. (2019) Limited evidence of physical therapy on balance after stroke: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE 14(8):e0221700. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221700>
20. Kostenko EV, Petrova LV, Rylsky AV, Eneeva MA. Effectiveness of correction of post-stroke motor disorders using the methods of functional electrostimulation and BFB-stabilometric postural control. Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova. 2019;119(1):23-30. doi: 10.17116/jnevro201911901123

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Dubei N.V.

PhD, associate professor,
Ivano-Frankivsk National Technical University of oil and gas

HYDROGEOLOGICAL DIRECTIONS OF "APPLIED HYDROGEOLOGY"

Дубей Наталія Володимирівна

кандидат геолого-мінералогічних наук,
доцент кафедри геології та розвідки нафтових і газових родовищ,
Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ НАПРЯМКИ «ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОГЕОЛОГІЇ»

Annotation. The article describes various hydrogeological directions, which are designed to solve a number of practical problems in different sectors of the economy. They can be combined into a single cycle of Applied Hydrogeology. The role and significance of theoretical and practical bases of hydrogeochemistry, groundwater filtration, hydrogeological modeling, methods of pilot-filtration tests and processing of their results, hydrogeology of mineral deposits, medical, reclamation, regional and ecological hydrogeology are revealed.

Анотація. В статті описані різноманітні гідрогеологічні напрямки, які покликані вирішувати ряд практичних завдань в різних галузях народного господарства. Їх можна об'єднати в єдиний цикл «Прикладна гідрогеологія». Розкриті роль і значення теоретичних і практичних основ гідрогеохімії, фільтрації підземних вод, гідрогеологічного моделювання, методики проведення дослідно-фільтраційних випробувань і обробки їх результатів, гідрогеології родовищ корисних копалин, медичної, меліоративної, регіональної та екологічної гідрогеології.

Keywords: applied hydrogeology, groundwater, hydrogeochemistry, hydrogeological modeling, filtration, research.

Ключові слова: прикладна гідрогеологія, підземні води, гідрогеохімія, гідрогеологічне моделювання, фільтрація, дослідження.

Постановка проблеми. З кожним роком значення підземних вод і гідрогеологічних досліджень зростає. Прісні підземні води широко використовуються з метою водопостачання більшості населених пунктів, промисловості і сільського господарства; мінеральні води - з лікувальними цілями; високомінералізовані води глибоких горизонтів - для видобування рідкісних і розсіяних елементів (бору, йоду, літію, радію та ін.). Термальні підземні води використовуються для бальнеологічних цілей та з метою теплофікації житлових будинків, промислових підприємств і сільськогосподарських об'єктів, перегріті води - для вироблення електроенергії.

Гідрогеологічні дослідження виконуються при будівництві заводів, міст, гідротехнічних споруд, рудників, залізниць. Особливого значення вони набули у зв'язку з питаннями охорони та раціонального і комплексного використання водних, земельних, мінерально-сировинних та інших природних ресурсів.

На сучасному етапі у зв'язку із широким використанням підземних вод у різних галузях народного господарства та необхідністю врахування їх позитивного та негативного впливу сформувався цілий ряд гідрогеологічних напрямів зі своїми конкретними практичними завданнями та методичними прийомами їх вирішення, які можна об'єднати в одну окрему науку «Прикладна

гідрогеологія». Для вирішення практичних питань серед наук про підземні води вагоме значення мають: гідрогеохімія, динаміка підземних вод, методика гідрогеологічних досліджень, моделювання фільтраційних процесів та багато інших.

Метою даної роботи є розширення компетенцій щодо сучасних методів вивчення прикладних аспектів гідрогеології з ціллю практичного їх застосування в різних галузях народного господарства, зокрема в будівництві.

Аналіз досліджень та публікацій. Гідрогеологія як наука виникла порівняно недавно. Питання водопостачання, зрошування, використання мінеральних та промислових вод здійснювалося на основі досвіду, інтуїтивно. Велика заслуга у вивченні природних вод земної кори належить академіку В.І. Вернадському, який звернув увагу на значення переходу води з одного фізичного стану в інший і обґрунтував вплив цих переходів на хімічний склад підземних вод. В. І. Вернадський - один з основоположників гідрогеохімії - науки про хімічний склад підземних вод і гідрогеохімічні процеси, які відбуваються в надрах Землі.

Провідну роль в організації й проведенні гідрогеологічних досліджень зіграли О.К. Ланге, В. С. Ільїн, Ф. П. Саваренський, О. М. Мазарович, Б.

Л. Лічков, О. С. Федоровський, Г. М. Каменський, Ф. А. Руденко.

Початок вивченню законів руху підземних вод був покладений працями французького гідраліка Г. Дарсі у 1856 році, який встановив основний лінійний закон фільтрації. Розвитку теорії фільтрації і динаміки підземних вод присвячені роботи В.І.Аравіна, Ф. М. Бочерева, М. К. Гринського, В. Д. Бабушкіна, В. Н. Щелкачева, В. М. Шестакова та ін. Питання меліоративної гідрогеології розвинуті в роботах Д. М. Каца, І. Є Цирогова, М. М. Крилова.

У зв'язку з широким використанням підземних вод на території України для питного, господарського, бальнеологічного, промислового та інших видів водопостачання в сучасних умовах дуже актуальною стає проблема оцінки їхніх експлуатаційних запасів і, як показує досвід останніх років, вона має включати не тільки гідрогеологічні дослідження і техніко-економічні зіставлення, але й екологічне обґрунтування можливості й доцільності залучення підземних вод у сферу господарської діяльності людини. Екологічне обґрунтування використання підземних вод включає оцінку негативного і позитивного впливу експлуатації їх на компоненти навколишнього середовища.

Сучасні уявлення про підземну гідросферу, концепції новітніх методів вирішення гідрогеологічних питань розроблені і викладені у наукових працях М.В. Седенко, Ж.С. Камзіста, О. Л. Шевченко, В. М. Шестопалова, Н. М. Фролова, Я. М. Семчука, В. В. Колодія, Н.В. Дубей, І.Е. Жернова, О.Є. Кошлякова, Г.І. Рудько [1-5].

Викладення основного матеріалу.

Гідрогеологія – це наука про підземні води. Вона вивчає процеси формування, умови залягання, руху, фізичні та хімічні властивості підземних вод. Гідрогеологія є однією із основних галузей геології і відноситься до циклу природничо-історичних наук.

Гідрогеологія вирішує дуже обширне коло різних питань, тому поділяється на ряд розділів. Ядром її і теоретичною основою є загальна гідрогеологія.

На сучасному етапі у зв'язку з широким використанням підземних вод у різних галузях народного господарства сформувався цілий ряд гідрогеологічних напрямів зі своїми конкретними практичними завданнями та методичними прийомами їх вирішення, які можна об'єднати в один цикл «Прикладна гідрогеологія». Для вирішення практичних питань серед наук про підземні води вагоме значення мають: гідрогеохімія, динаміка підземних вод, методика гідрогеологічних досліджень, гідрогеологія родовищ корисних копалин, регіональна гідрогеологія, меліоративна гідрогеологія, радіогідрогеологія, моделювання фільтраційних процесів, оцінка запасів підземних вод, медична гідрогеологія, екологічна гідрогеологія.

«Гідрогеохімія» вивчає речовинний склад підземних вод, процеси їх формування, історію і міграцію хімічних елементів у підземній гідросфері.

Роль гідрогеохімії при вирішенні наукових і народногосподарських задач:

- дає об'єктивну оцінку хімічного складу та якості підземних вод з погляду їх цільового використання - для водопостачання населених пунктів, сільського господарства, промисловості;

- вивчає мінеральні лікувальні води;

- геохімічні аспекти видобутку цінних компонентів з підземних вод розглядаються в геохімії промислових підземних вод;

- вивчає підземні води як критерій пошуку родовищ різних корисних копалин – кольорових і рідкісних металів, нафти, газу тощо, а також їх формування та руйнування; напрям у гідрогеохімії, що стосується гідрогеохімічних методів пошуків корисних копалин, одержав назву рудопошукової та нафтогазопошукової гідрогеохімії.

- є фактором, що визначає інженерно-геологічні властивості гірських порід і середовище перебування інженерних споруд.

- відіграє важливу роль у розв'язанні проблем екології при оцінці ступеня забруднення геологічного середовища та його охорони [4].

Наука **«Динаміка підземних вод»** вивчає основні математичні моделі руху води по порах та тріщинах гірських порід, закони фільтрації, класифікацію та структуру потоків підземних вод, базові рівняння геофільтрації та методи їх розв'язання, основні аналітичні розрахунки природних та штучних потоків підземних вод, основи визначення гідрогеологічних параметрів за даними дослідно-фільтраційних досліджень, міграцію у підземних водах та перенесення вологи в зоні аерації [2].

«Дослідно-фільтраційні роботи» як важливий розділ «Динаміки підземних вод» заслуговує на окреме виділення. Його вивчення дозволяє ознайомитись з видами й цільовим призначенням випробувань (передусім відкачувань); опанувати методику проведення дослідно-фільтраційних робіт і обробку їх результатів; на базі даних натурних польових досліджень (випробування водоносних горизонтів та комплексів) виконувати розрахунки основних геофільтраційних параметрів, використовуючи базові теоретичні рівняння геофільтрації та методику їх обробки із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

«Оцінка запасів і ресурсів підземних вод» дає можливість засвоїти необхідні знання з концептуальних положень, принципів, методичних підходів вивчення виконання оцінки запасів підземних вод; оцінювати динамічні ресурси підземних вод різними методами; оцінювати експлуатаційні запаси підземних вод різними методами; оцінювати вплив видобутку підземних вод на оточуюче навколишнє середовище; проводити комплекс робіт з

мінімізації антропогенного впливу на підземні води.

«**Медична гідрогеологія**» дає знання щодо впливу хімічних, фізичних та біологічних чинників формування складу підземних вод на здоров'я людини і тварин та практичні навички з оцінки ризиків хімічного забруднення води на здоров'я населення.

Напрямок «**Мінеральні води**» надає базові знання щодо закономірностей та особливостей формування різноманітних видів мінеральних, термальних і промислових вод на Україні; ознайомлює із методами пошуку, консервації, оцінки їх якісного складу, ресурсів, експлуатаційних запасів, поширення в геосфері, ступеню захищеності, виснаження, економічної доцільності видобутку та використання, виходячи із сучасних вимог ПКУ та інструктивно-законодавчої бази.

«**Регіональна гідрогеологія**» ознайомлює із закономірностями накопичення природних ресурсів підземних вод в типових гідрогеологічних структурах та в регіональних структурах України, із принципами районування, історією розвитку гідрогеологічних структур; особливостями зональності, водообміну, формування якісного складу підземних вод.

«**Гідрогеологія родовищ корисних копалин**» вивчає гідрогеологічні критерії пошуку, умови формування, руйнування та збереження родовищ рудних, нерудних корисних копалин, нафти і газу.

«**Меліоративна гідрогеологія**» - прикладна галузь гідрогеології, що вивчає гідрогеологічні умови стосовно до водних меліорацій, а саме: питання доцільності поповнення нестатку або видалення надміру вологи в ґрунтах, промивання засоленних земель, обводнювання пасовищ. До її завдань входить також складання прогнозів зміни умов формування і режиму підземних (ґрунтових) вод; передбачення заходів по регулюванню водно-сольового балансу ґрунтів і фізико-хімічних процесів у них.

«**Екологічна гідрогеологія**» розглядає вплив природних та техногенно змінених гідрогеологічних умов на біосферу та перш за все на людину, гідрогеологічні аспекти зміни властивостей геологічного середовища під впливом людської діяльності, принципи прогнозування та профілактичні заходи впливу на підземні води, принципи охорони та раціонального використання підземної гідросфери, стратегію геологічного вивчення та використання питних підземних вод для водопостачання населення тощо.

Моделювання в гідрогеології досить широко використовується при розв'язку конкретних задач інженерного та пошуково-розвідувального змісту. Крім того, моделювання використовують при вирішенні загальнотеоретичних та регіональних задач. Методологія та методика гідрогеологічного моделювання найбільш повно розроблені стосовно процесів фільтрації, але застосовуються також для розв'язку задач міграції підземних вод та

вологопереносу. Гідрогеологічне моделювання це відтворення на спеціальних моделях гідрогеологічних об'єктів з метою їх вивчення. Таке вивчення можна здійснити за допомогою моделей, які створюються в лабораторних умовах, а також моделей, які вибрані у природних умовах (так звані моделі-аналоги). При моделюванні процесів фільтрації головним чином застосовуються математичні моделі. Застосування математичних моделей в гідрогеології веде до широкого використання обчислювальної математики, теорії інформації, теорії управління і таке ін. Реалізація математичних моделей потребує від гідрогеолога комплексних знань, в тому числі і умінь працювати на ЕОМ. Таким чином, гідрогеологічне моделювання має тісний зв'язок з різними науковими та технічними дисциплінами і являє собою перспективний метод досліджень в гідрогеології.

Головні гідрогеологічні задачі, які зараз вирішуються за допомогою моделювання, такі:

- 1) оцінка ресурсів і експлуатаційних запасів підземних вод;
- 2) прогноз гідрогеологічних умов на зрешувальних територіях;
- 3) оцінка припливів до кар'єрів і шахт;
- 4) вивчення гідрогеологічних процесів в зоні аерації;
- 5) вивчення процесів забруднення підземних вод;
- 6) оптимізація умов експлуатації водозаборів та дренажних споруд;
- 7) визначення параметрів фільтрації та міграції підземних вод;
- 8) побудова постійно діючих гідрогеологічних моделей крупних регіонів з метою управління водними ресурсами.

Головною метою гідрогеологічного моделювання є розробка прогнозу поведінки гідрогеологічної системи у майбутньому. Прогнозування може виконуватися або у реальному часі (власне прогнозування), або без конкретної прив'язки до часу (передбачення).

Прикладна гідрогеологія тісно пов'язана з багатьма науками геологічного та негеологічного циклів і широко використовує їх методи досліджень. З геологічних наук це: загальна геологія, історична геологія, структурна геологія, геотектоніка, мінералогія, петрографія, геохімія, інженерна геологія, гідрологія, метеорологія, геофізика, гірнича справа. З негеологічних наук це: математика, фізика, хімія, гідравліка, гідродинаміка, гідротехніка.

Висновок. В статті описані різноманітні гідрогеологічні напрямки, які покликані вирішувати ряд практичних завдань в різних галузях народного господарства і які можна об'єднати в єдиний цикл «Прикладна гідрогеологія».

Розкриті роль і значення теоретичних і практичних основ гідрогеохімії, фільтрації підземних вод, гідрогеологічного моделювання,

графо-аналітичних і розрахункових методів визначення гідрогеологічних параметрів, методики проведення дослідно-фільтраційних випробувань і обробки їх результатів, медичної, меліоративної гідрогеології та ін. Застосування сучасних методів вивчення підземних вод є надзвичайно важливим для водопостачання населення та вирішення практичних задач в різних галузях промисловості і сільського господарства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубей Н.В. Гідрогеологія та інженерна геологія: Навчальний посібник. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. –262с.
2. Жернов И.Е. Динамика подземных вод.– Киев: Вища школа. Главное изд-во, 1982. - 324 с.
3. Кошляков О.Є. Гідрогеологічне моделювання: Підручник – К.: ВПЦ «Київський університет», 2003. – 79с.
4. Рудько Г.І. Гідрогеохімія: Підручник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. – 255с.
5. Седенко М. В. Гидрогеология и инженерная геология. – М.: изд-во «Недра», 1971.- 272с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Qurbonalizoda S.S.

*Dr., Deputy Director of cascade
Varzob's HPPs OSHC «Barqi Tojik», Tajikistan*

Gulakhmadov A.A.

*Dr. Chief specialist of energy department
Ministry of energy and water resources
of the Republic of Tajikistan*

Kobuliev Z.V.

*Dr., professor, corresponding-member,
Director Institute of water problems,
hydropower and ecology of Academy
of sciences of the Republic of Tajikistan*

Kholmuhamadzoda S.A.

*PhD student, Head of energy department
Ministry of energy and water resources
of the Republic of Tajikistan*

ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE FLOW IN HIGH PRESSURE HYDRAULIC TURBINES

Summary. The article discusses the study of the velocity field and pressure conducting on the hydraulic turbine type RO500 (Francis turbine radial-axial 500 pressure) and the basic hydrodynamic equations used in the process of mathematical modeling of turbulent flow are based on the fundamental laws of conservation: mass, momentum, energy. This paper presents the distribution of flow rates before and after the impeller of high-pressure RO500, as well as the loss of flow energy in the spiral chamber and guide vanes.

Key words: HPP, hydraulic turbine, spiral chamber, impeller, Francis turbine, energy.

Introduction

In the 1950s and 1960s of the last century, in connection with the widespread development of Siberian rivers, as well as the construction of a cascade of hydro power stations in Ukraine, Central Asia, the Caucasus and the Baltic states, the development of experimental and computational-theoretical works in the development of flowing parts and impellers received a great impetus hydraulic turbines of various speeds.

During these years, the domestic nomenclature (industry standard) was developed. The efficiency level of the developed model hydraulic turbines reached 87–89% at the optimum.

With the development of two-dimensional and three-dimensional methods for calculating blade systems in the years 70–80, it was possible to increase the efficiency to 91–92%.

But still, as in the 50–60 years, for example, when developing the impellers of the Krasnoyarsk or Sayano-Shushenskaya hydro power plants, up to 20 impellers and their modifications were tested on a model installation, the experimental refinement of the flow parts and impellers was the main and most laborious part of the job [9–11].

With the widespread introduction of mathematical modeling based on computer technologies into the process, which made it possible to increase the level of optimal efficiency to 93 ÷ 94% (with $D_{1mod} = 0.5$ m), doubts arose about the importance and need for further experimental studies of the flow structure [2,7].

The paper substantiates the feasibility of experimental studies and their importance for improving the mathematical models used in computer technology.

The relevance of the study

The basic equations of hydrodynamics used in the process of mathematical modeling are based on the fundamental laws of conservation: mass, momentum, angular momentum, energy.

In the process of developing methods for mathematical modeling of turbulent flows, simplifications are introduced into the process which is under consideration.

First, diffusion and convective transport is carried out as the simultaneous transfer of mass, energy, momentum and angular momentum.

Naturally, the desire to take into account in the process of mathematical modeling this complex transfer process. However, it is known that the Navier-Stokes equation is a differential analog of the momentum conservation law, and the continuity equation is a differential analog of the mass conservation law. The law of conservation and transfer of angular momentum are not directly applied in mathematical modeling.

Secondly, a system of time-averaged Reynolds and continuity equations is used to describe the behavior of a turbulent flow.

Averaging the flow over a selected cross section or over a time interval can be carried out in various ways:

For example, when determining the average speed, you can set the task **a)** average speed should provide the same flow rate that occurs in a real stream, or **b)** same amount of movement (momentum), or **c)** same moment of momentum (angular momentum), or **d)** the same kinetic energy.

Of course, these will be different values of the averaged speeds.

Averaging the Navier-Stokes equations (equations of momenta), we obtain an adequate model of force interaction on an elementary liquid volume with a violation of the energy balance and the balance of the angular momentum as applied to this liquid volume.

An attempt to clarify the problem is to use the mathematical modeling of the equations of balance and dissipation of turbulent kinetic energy (the κ - ε model of turbulence).

As known, writing the Navier-Stokes equations in a conservative (energy) form by multiplying term by term (the tensor form of each term) is averaged over energy.

Furthermore, the equation of balance of the total kinetic energy is obtained, and the equation of balance of the averaged kinetic energy is subtracted from this equation.

The influence of the angular momentum on the process, as a rule, is not taken into account.

Subsequent, in the process of implementing the calculation on a computer, the simplifications of the mathematical model are not amenable to complete analysis from the point of view of the introduced errors and the accuracy of the results obtained.

Thirdly, the influence of the boundary conditions is so significant on the results obtained, both in terms of the accuracy of the averaged flow parameters specified in the input section and in terms of such turbulence characteristics as scale, intensity, and other parameters [1].

As a result of the above mentioned, the experimental verification of the flow parameters obtained as a result of mathematical modeling, as well as the verification of the accuracy of setting the boundary conditions, is the main criterion for the accuracy of the calculated results.

Flow structure analysis

In the case of solving the direct problem of the flow around the impeller blades, the actual flow form at the entrance to the blade system, and for some (channel) methods and at the exit from it, it is necessary to know in order to set the boundary conditions. With the known of the distribution of velocities and pressures in the characteristic sections of the turbine cavity, one can find the corresponding averaged characteristics, which is primarily necessary for determining the energy balance of the hydraulic turbine.

The analysis of the energy balance thus compiled allows us to study a number of important issues in the theory of the working process: the degree of influence of individual elements of the flow part and the establishment of the most effective ways to increase speed, energy and cavitation indicators.

The study of the velocity and pressure fields was carried out on a hydraulic turbine bench in the flow part of the radial-axial turbine model with impellers Francis turbine RO500 I-2b and RO500/683 (Russian standard PO500 I-26 и PO500/683) [3-6]. The main elements of a hydraulic turbine model are characterized by the following parameters:

1) Circular spiral camera with a coverage angle in plan $\varphi=345^\circ$ and the radius of the input section $\rho=133\text{mm}$ ($\alpha_{\text{rated}} \frac{v}{\sqrt{H_p}} = 0.6$), right rotation calculated by law $v_u r = \text{const}$;

2) Stator with 13 profiled columns (including spiral tooth);

3) Profile of guide vanes normalized, asymmetric, positive curvature, $\frac{D_0}{D_1} = 1.2$; $\frac{b_0}{D_1} = 0.08$; $z_0 = 24$;

4) Impellers ($D_I=400\text{ mm}$): RO500 I-2b (Francis turbine), $z = 17$, $\frac{D_2}{D_1} = 0.686$; RO500/683, $z = 19$, $\frac{D_2}{D_1} = 0.686$;

5) Suction pipe (draft tube) - straight conical with a taper angle 5° , height $h = 3.18D_1$.

The velocity and pressure field in the turbine cavity was measured in two sections: before of the impeller (section I-I) (fig.1) and after it (section II-II).

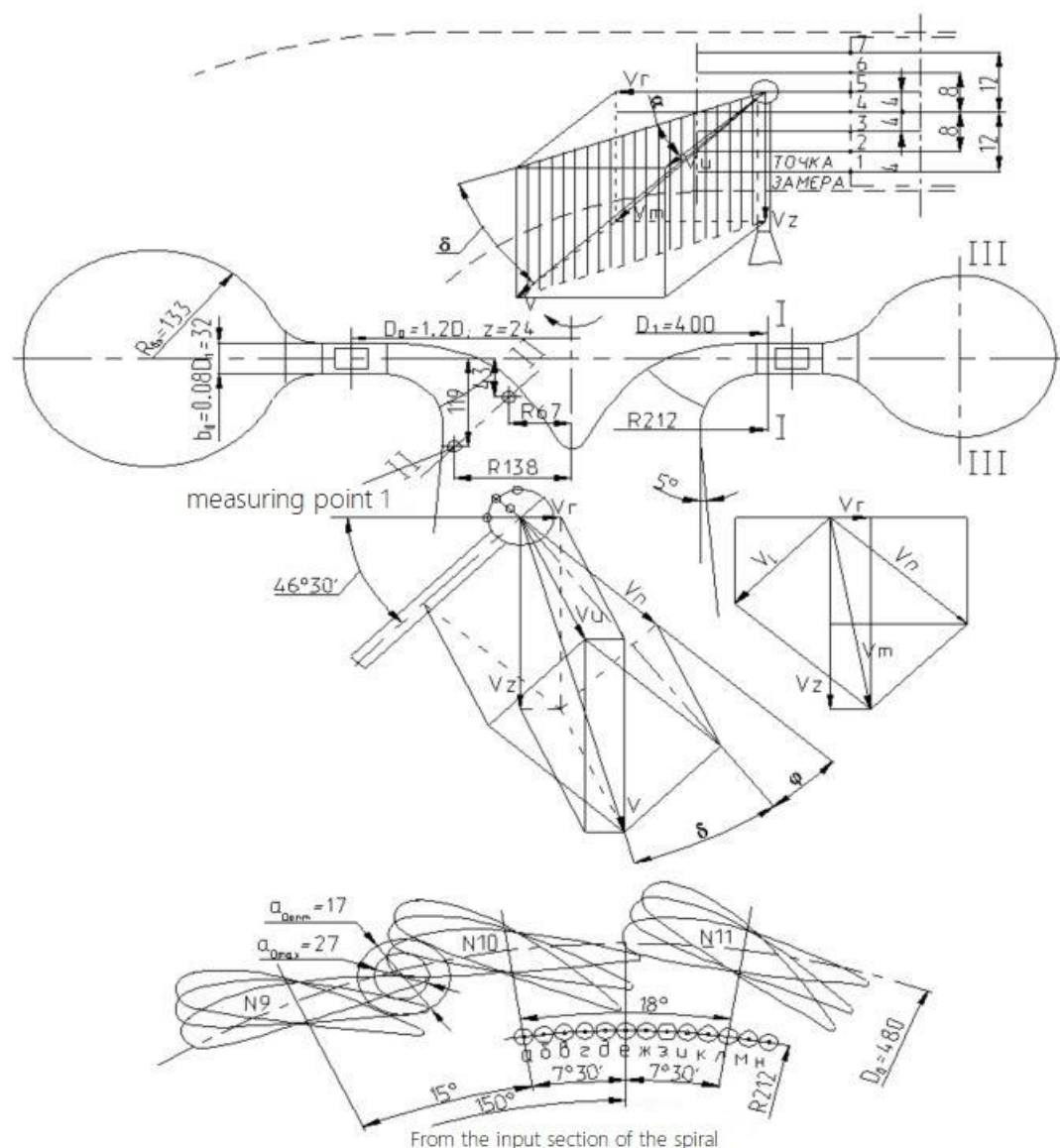


Figure 1. The location of the dimensional sections in the turbine cavity and the decomposition scheme of the absolute velocity vector

In the plan, the cylindrical section I-I is located to the output section of the spiral (in the direction of rotation of the impeller) at an angle $\varphi=142^{\circ}30' \div 160^{\circ}30'$ ($\Delta\varphi = 18^{\circ}$) at the impeller RO500 I-2b and at an angle $\varphi=142^{\circ}30' \div 162^{\circ}$ ($\Delta\varphi = 19^{\circ}30'$) at the impeller RO500/683. Section II-II in plan is at an angle $\varphi=276^{\circ}$ to the output section of the spiral.

When assessing the influence of the shape of the flow in a spiral on its structure in front of the impeller, it became necessary to additionally study the flow in section III-III, which is located at an angle $\varphi=112^{\circ}30'$ to the input section of the spiral and passes through the center of the circle of the section. The flow was studied using probes in the cavity of a hydraulic turbine with an impeller PO500I-2b in 22 heads of pressure, and with the impeller RO500/683 (Francis turbine) – in six heads of pressure $H = 4.5 \div 5.5$ m.

The following can be cited as the main regularities of the structure of the averaged flow (Fig. 2 - 6):

1. The energy loss of the flow in the spiral chamber and the guiding vanes for the studied zone of regimes does not significantly depend on the regime of operation of the turbine and amount to about $2 \div 3.5\%$. At the upper and lower rings of the guide vane, the total energy is $1 \div 2\%$ less than in the central part.

2. The nature of the unevenness in height of the guide vane averaged in the circumferential direction of the flow velocity is determined primarily by the value of a_0 and does not depend on the number of rotations of the impeller. This is indicated by dependency matching $\frac{\bar{v}_{uI}(\phi)}{Q'_I}, \frac{\bar{v}_{rI}(\phi)}{Q'_I}, \frac{\bar{v}_{zI}(\phi)}{Q'_I}$ (given to 1 m head and averaged in the circumferential direction) at $a_0 = 17$ mm and differences n'_I ($n'_I = 80; 75; 65; 55$ and 46.5 min^{-1}).

By comparing these graphs with similar ones in the case of a cavity without an impeller or with other impellers, it was established that the pattern of change in speed before of the impeller along the height of the

guide vanes is specific for hydraulic turbines of this speed. With increase a_0 , uneven values $\frac{\bar{V}_{uI(\phi)}}{Q'_I}$; $\frac{\bar{V}_{rI(\phi)}}{Q'_I}$; $\frac{\bar{V}_{zI(\phi)}}{Q'_I}$ the height of the guide vane is leveled.

3. When n'_I changes over a wide range (from values $n'_I = 80 \text{ min}^{-1}$ until $n'_I = 46.5 \text{ min}^{-1}$) the angle change graph $\bar{\alpha}_{(\phi)}$ (between the direction of absolute speed and its peripheral component) the height of the guide vane practically does not change and only at changing a_0 angle $\bar{\alpha}_{(\phi)}$ is changing, increase with increasing a_0 .

If we compare the nature of the change in the angle α with the same openings a_0 for the case with an impeller of RO500 $n'_I = 65 \text{ min}^{-1}$ and without an impeller, we find that in the absence of an impeller, the angle α is less in $2^\circ \div 4^\circ$.

Thus, the influence of the lattice of the impeller blades on the flow behind the guide vanes is established. This influence consists in some equalization of the flow unevenness in the circumferential direction and in the height of the guide vanes and in an increase (by $2^\circ \div 4^\circ$) of the angle.

It was found that uneven flow patterns ($\bar{V}_{uI(\phi)}/Q'_I$; $\frac{\bar{V}_{rI(\phi)}}{Q'_I}$; $\frac{\bar{V}_{zI(\phi)}}{Q'_I}$) is a function of the angle $\bar{\alpha}$ flow averaged over the entire cylindrical surface and the dependence is obtained $\bar{\alpha}$ from opening the guide vane.

Thus, in advance, when profiling a new impeller, it is possible to take into account the uneven flow along the height of the guide vane.

4. As a result of the analysis of graphs of changes in the angle $\bar{\beta}_{(\phi)}$ flow (between relative and peripheral speed) height of the guide vane for various a_0 and n'_I we can conclude that when changing n'_I ranging from $n'_I = 80 \text{ min}^{-1}$ until $n'_I = 46.5 \text{ min}^{-1}$ angle β varies accordingly from the values 22° at the bottom ring of the guide vane, 20° in the central part and 27° at the upper ring when $n'_I = 80 \text{ min}^{-1}$ until 112° at the lower ring, 133° in the central part and 122° at the upper ring when $n'_I = 46.5 \text{ min}^{-1}$.

Thus, at turbine operating conditions other than optimal, the flow can flow onto the impeller blade system at angles of attack varying from $-50^\circ \div -60^\circ$ до $50^\circ \div 60^\circ$. In all likelihood, this is one of the main reasons for the sharp change in efficiency when changing n'_I at $a_0 = \text{const}$. Such unfavorable conditions of flow inflow limit the possibility of installing high-pressure hydraulic turbines at hydro power plants with significant pressure fluctuations, as well as their operation at starting (low) pressures.

At $n'_I = \text{const}$ ($n'_I = 65 \text{ min}^{-1}$) when it changes a_0 (from $a_0 = 9 \text{ mm}$ until $a_0 = 29 \text{ mm}$) angle β from $59^\circ \div 78^\circ$ until $43^\circ \div 47^\circ$. Smaller values β occur at the lower ring of the guide vane, and larger values at the upper.

5. Vortex flow structure determined by $\bar{\Omega}_{r(\phi)}$, $\bar{\Omega}_{u(\phi)}$, $\bar{\Omega}_{z(\phi)}$, does not change significantly when changing the opening of the guide vane ($n'_I = \text{const}$) and almost does not change at $a_0 = \text{const}$ and variable n'_I .

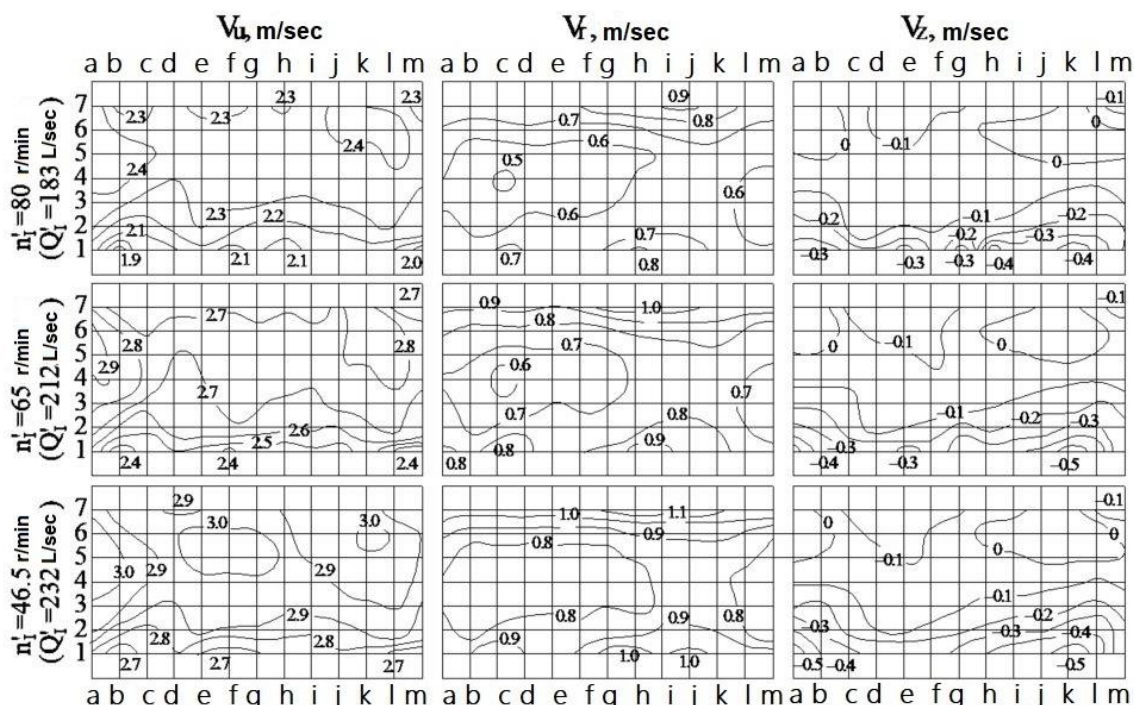


Figure 2. The distribution of flow rates in front of the impeller Francis turbine RO500I-2b ($D_1 = 400 \text{ mm}$, $n'_I = 65 \text{ min}^{-1}$)

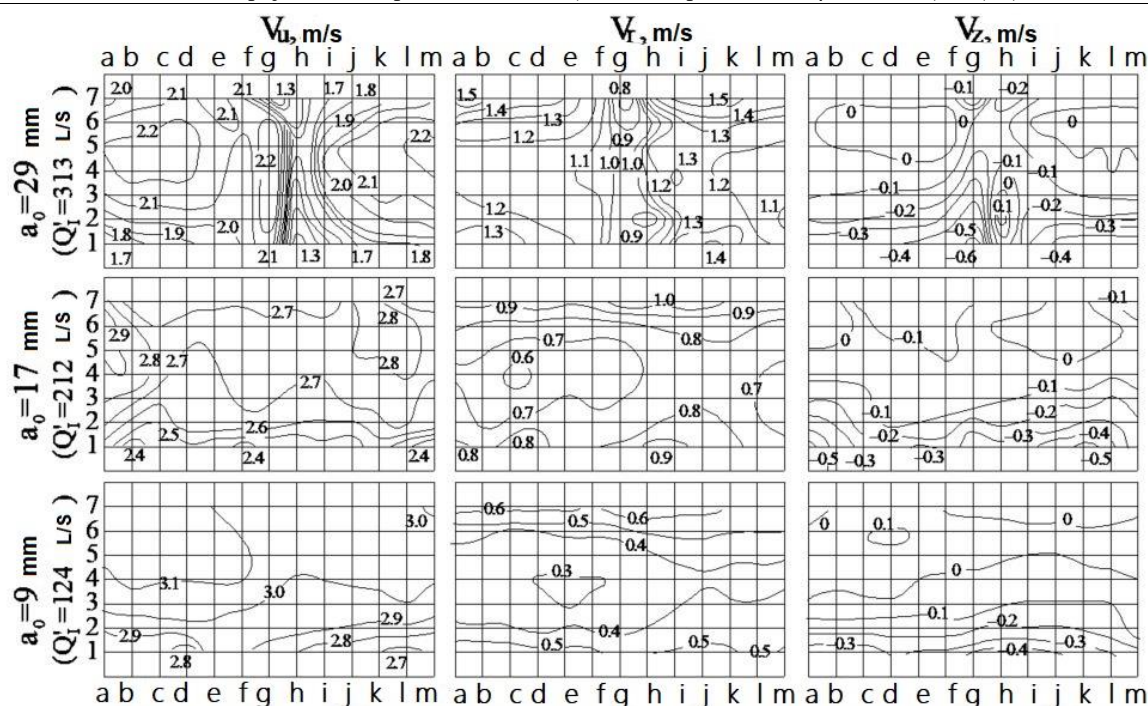


Figure 3. The distribution of flow rates in front of the impeller Francis turbine (Russian standard RO500I-2b) ($D_1 = 400\text{mm}$, $a_0 = 17\text{mm}$)

As a result of the analysis of the parameters of the stream averaged over the cylindrical surface in front of the impeller, the following regularities were established.

1) Lines $\bar{\alpha} = \text{const}$ coincide with the lines $a_0 = \text{const}$ and the difference between $\bar{\alpha}$ flow and $\alpha_{n.a.}$ (angle of the midline of the profile of the blade on the output edge), almost equal to zero ($0^\circ \div 0.5^\circ$).

2) In the studied area of the turbine, the angle $\bar{\beta}$ varies within $30^\circ \div 120^\circ$.

3) The energy loss in the spiral chamber and guide vane varies slightly (from 2% to 3.5%) when changing the turbine operating regime from $a_0 = 9\text{ mm}$ to $a_0 = 29\text{ mm}$ and from $n'_l = 46.5\text{ min}^{-1}$ to $n'_l = 80\text{ min}^{-1}$ and are less important at large values n'_l .

4) For small values n'_l ($n'_l = 46.5 \div 55\text{ min}^{-1}$) $E_k \approx E_n \approx 50\%$, for large values n'_l and Q'_l $E_k \approx 30\%$ and $E_n \approx 70\%$ from full energy.

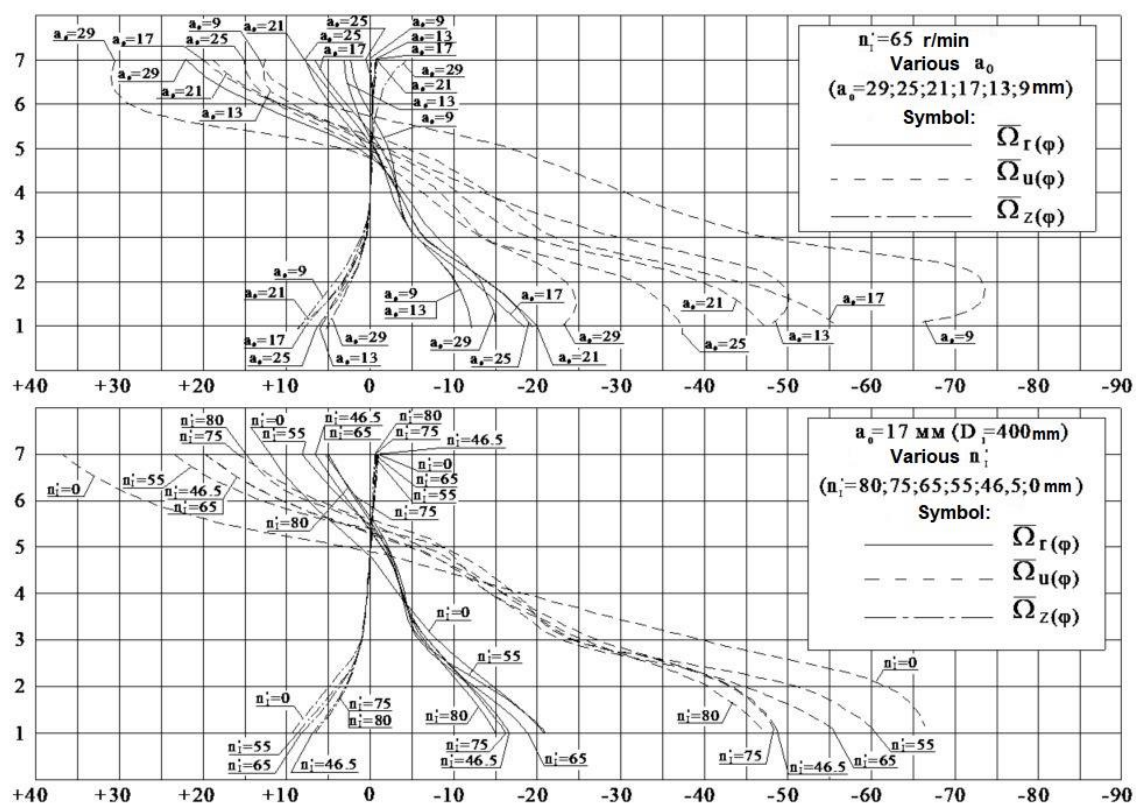


Figure 4. Flow characteristic in section I-I before the impeller Francis turbine
(Russian standard RO500I-2b) ($D_1 = 400\text{mm}$)

- 5) Quantities $(\overline{v_u r})_I'$ decrease with increasing n_i' and Q_I' from $(\overline{v_u r})_I' = 1.6$ to $(\overline{v_u r})_I' = 1.05$ in the study area of the turbine ($9\text{mm} \leq a_0 \leq 29\text{mm}$; $46.5 \text{ min}^{-1} \leq n_i' \leq 80 \text{ min}^{-1}$).

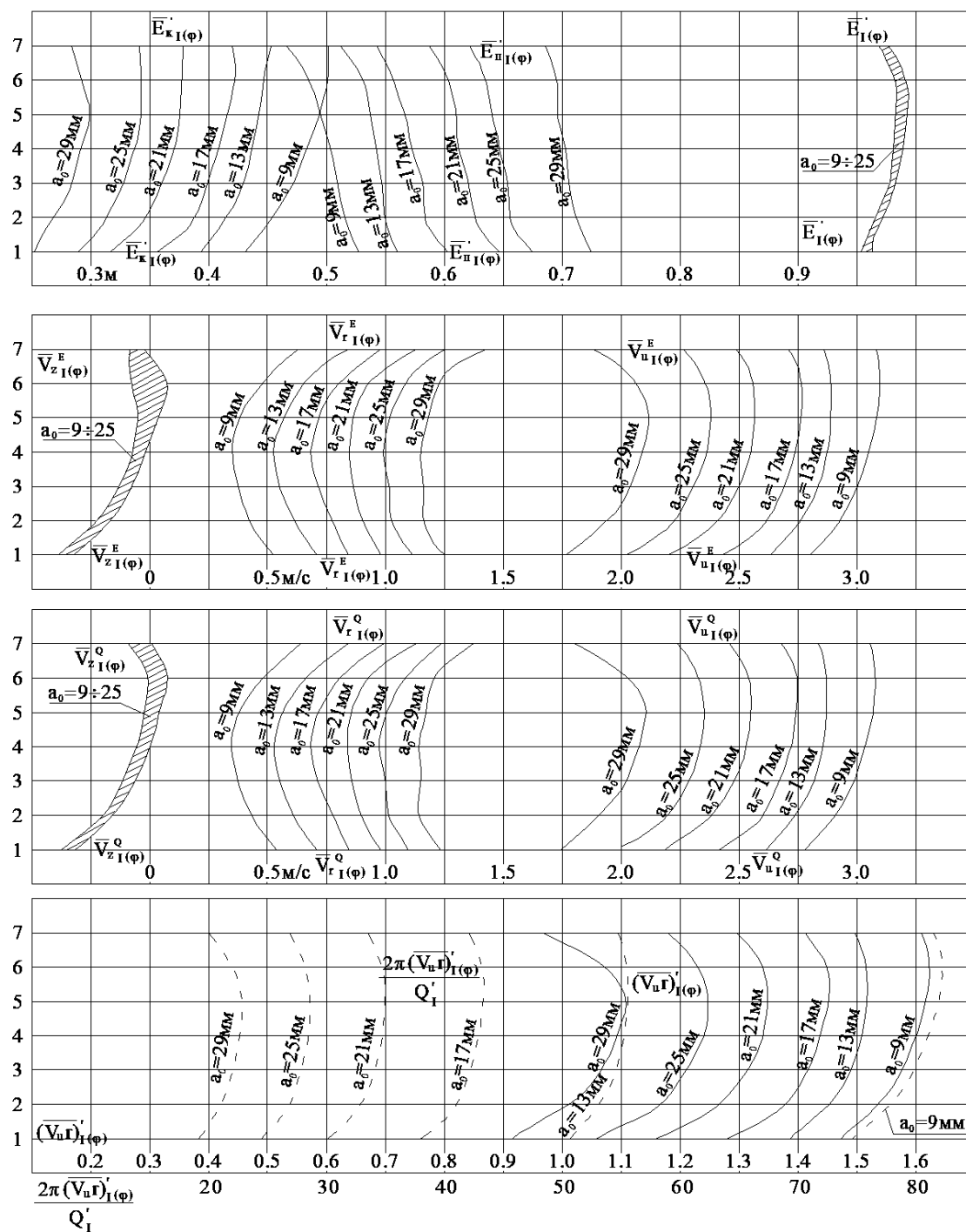


Figure 5. Average flow parameters in front of the impeller Francis turbine (Russian standard RO500I-2b)

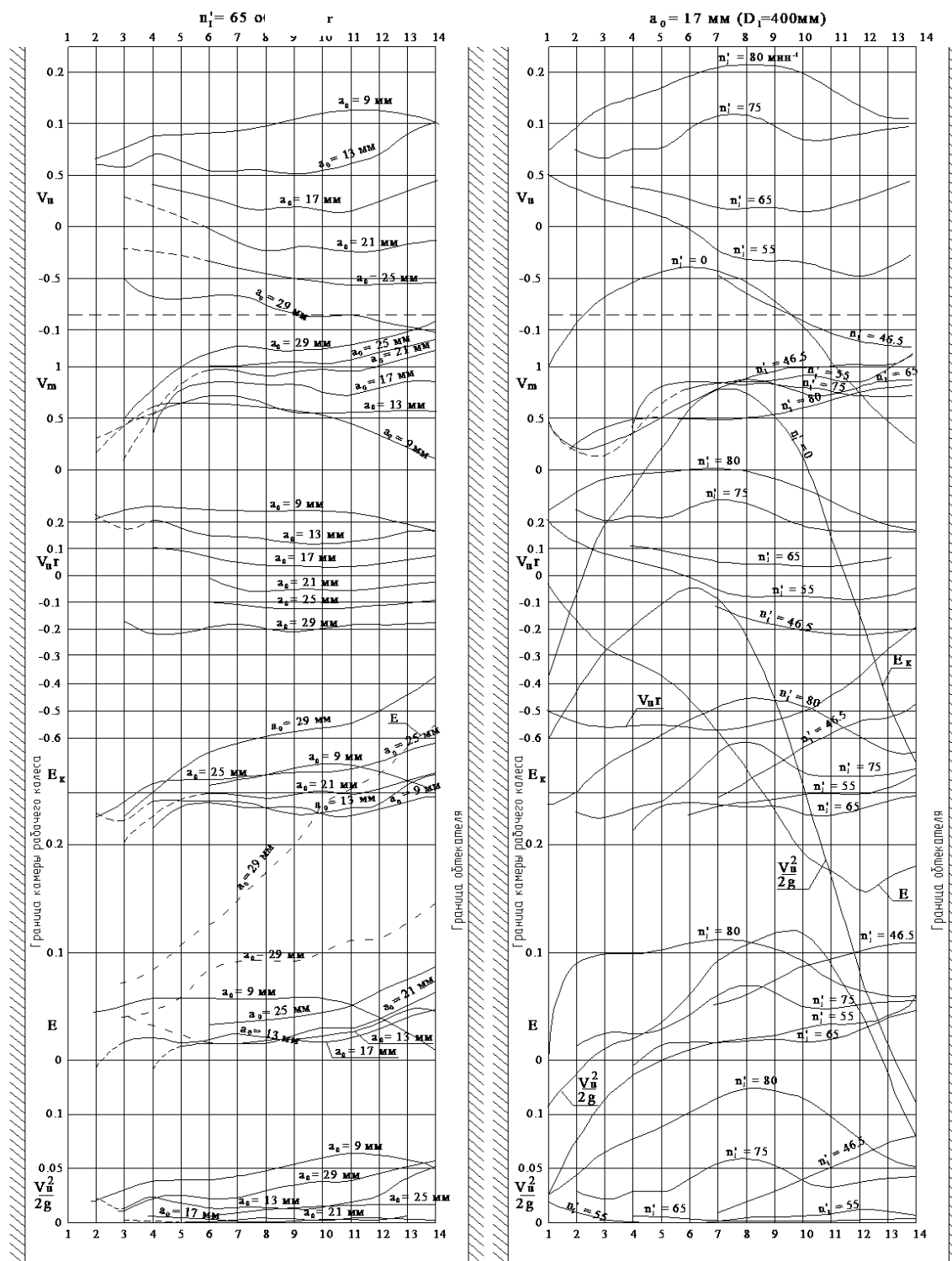


Figure 6. Flow parameters behind the impeller Francis turbine
(Russian standard RO500I-2b)

In the optimal regime, there is a minimum value of the kinetic energy of the flow in the suction pipe of the order of 3-4%. At the $a_0=9$ mm and $a_0=25$ mm, $n'_1 = 65$ min⁻¹, $E_k \approx 7\%$, and at the $a_0=29$ mm, $n'_1 = 65$ min⁻¹, the kinetic energy of the flow reaches 10-12% of the energy of the input streamflow.

The potential energy of the flow in the suction pipe changes insignificantly when the turbine operating regime changes (n'_1 and Q'_1), as a rule, it has a negative

value (pressure is less than atmospheric) and in the optimal regime $E_{n'_1}$ is about 1-2%.

Thus, the energy loss of the flow in the suction pipe at the optimum regime is equal to 1÷2% and increase to 4% at $a_0=25$ mm and $n'_1 = 65$ min⁻¹, and to $\approx 8\div 9\%$ at the $a_0=29$ mm, $n'_1 = 65$ min⁻¹; also to $\approx 9\div 10\%$ at $a_0=17$ mm and $n'_1 = 80$ min⁻¹. Basically, these losses are associated with the energy of the

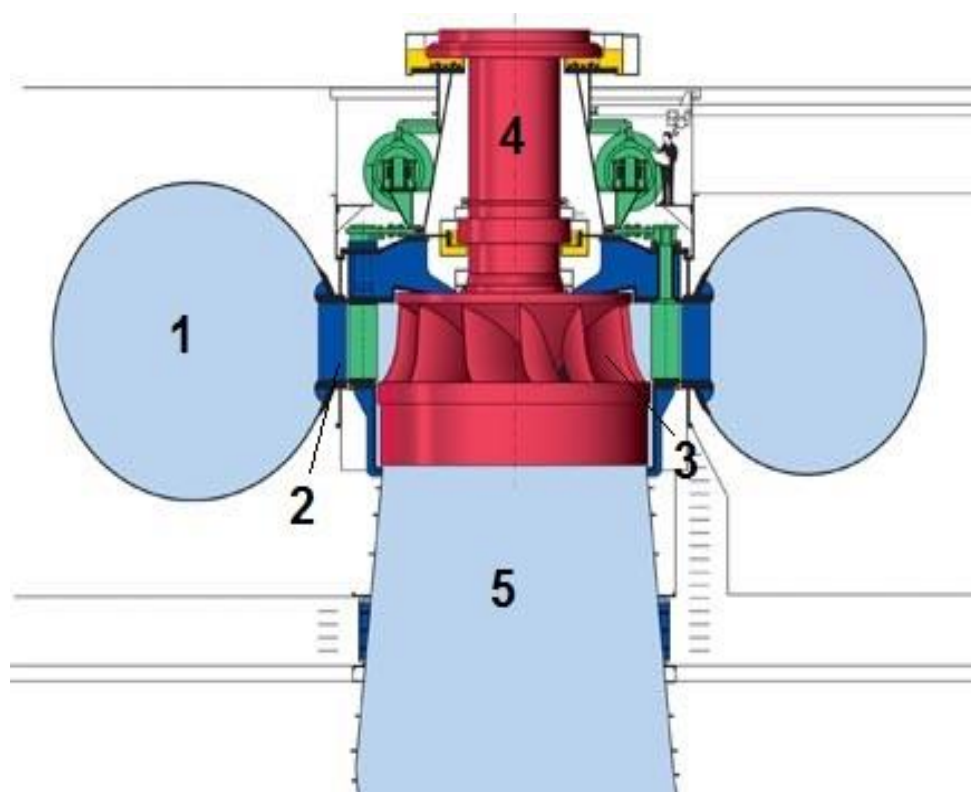
circulation component of the velocity $\frac{(v_{u1})^2}{2g}$, which at the optimum regime is close to zero.

The optimum universal characteristics of the best impellers are achieved with a positive, close to zero, value of the averaged circulation at the exit of the impeller.

The presented on figures 2-4 graphs of the distribution of flow parameters in a cylindrical section $R=212$ mm (for $D_1=400$ mm) impeller Francis turbine RO500I-2b (modification PO400I-2b – stock number

3515) can be used in the development of new blade systems for pressure 400÷500 m, as well as for mathematical modeling of the flow as boundary conditions.

It should be noted that the use of modern three-dimensional methods of mathematical modeling of the flow, based on rather complex and rigorous turbulence models, requires the same high degree of accuracy of the task, as the averaged flow parameters, and the characteristics of the flowing turbulence as boundary conditions. in the input section.



1 – spiral chamber; 2 – guiding vanes; 3 – impeller; 4 – shaft; 5 – draft tube
Figure 7. General view of a section along a radial-axial hydraulic turbine

Conclusions

This article was concluded by the process of developing methods for mathematical modeling of turbulent flows. Firstly, diffusion and convective transport as the transfer of mass, energy, momentum and angular momentum. In the process of mathematical modeling is this complex transfer process. However, it is known that the Navier-Stokes equation is a differential analog of the momentum conservation law, and the continuity equation is a differential analog of the mass conservation law. The law of conservation and transfer of angular momentum are not directly applied in mathematical modeling. Also in the optimal regime, the minimum kinetic energy of the flow in the draft tube and the flow behind the impeller in the spiral chamber and the guide vanes changes slightly (from 2% to 3.5%) with a change in the turbine operating regime.

References

1. Barlit V.V. // Gidravlicheskiye turbiny (Hydraulic turbines). - Kiev, Vishcha school, 1977.

2. Barlit V.V., Borodayevskiy V.V., Yakovleva L.K. // Metodicheskiye ukazaniya k kursovoy rabote, k kursovomu i diplomnomu proyektam po gidroturbinam i obratimym gidromashinam «Vybor tipa gidroturbiny, nasos-turbiny pri pomoshchi universal'nykh kharakteristik, opredeleniye osnovnykh parametrov i postroyeniye yeye ekspluatatsionnoy kharakteristiki s ispol'zovaniyem EVM», (Methodical instructions for the term paper, for the term and graduation projects on hydraulic turbines and reversible hydraulic machines “Choosing the type of hydraulic turbine, pump-turbine using universal characteristics, determining the main parameters and constructing its operational characteristics using computers”). - Khar'kov, KHGPU, 1994.

3. Barlit V.V., Borodayevskiy V.V., Yakovleva L.K. // Metodicheskiye ukazaniya k kursovoy rabote, k kursovomu i diplomnomu proyektam po gidroturbinam i obratimym gidromashinam «Raschet i postroyeniye ravnoskorostnogo meridional'nogo potoka v polosti lopastnoy (RO, DPL, PL) gidromashiny pri pomoshchi EVM», (Methodical instructions for the term paper, for

the term and graduation projects on hydraulic turbines and reversible hydraulic machines "Calculation and construction of an equal-speed meridional flow in the cavity of the blade (RO, DPL, PL) hydraulic machines using a computer"). - Khar'kov, KHGPU, 1994.

4. Kovaleva. L. // *Spravochnik po gidroturbinam* (Handbook of hydraulic turbines) Mashinostroyeniye, 1984.

5. Borodayevskiy V.V., Yakovleva L.K. // *Metodicheskiye ukazaniya k kursovoy rabote, k kursovomu i diplomnomu proyektam po gidroturbinam i obratimym gidromashinam «Raschet na prochnost' lopatki napravlyayushchego apparata»*, (Methodical instructions to the term paper, to the term and graduation projects on hydraulic turbines and reversible hydraulic machines "Strength calculation of the blades of the guide vanes"). - Khar'kov, KHGPU, 1994.

6. Mironov K.A. Yakovleva L.K., Gulakhmadov A.A. // *Vybor tipa gidroturbiny pri proyektirovanii vysokonapornoy GES* (The choice of the type of hydraulic turbine when designing a high-pressure hydro power plant). - *Promislova gidravlika i pnevmatika*. – Vinnitsya: VNAU. – №1 (43). – 2014. – p. 51-54.

7. Mironov K.A. Yakovleva L.K., Gulakhmadov A.A. // *Uskoreniye protsedury proyektirovaniya i rascheta rabochikh koles radial'no-osevykh gidroturbin* (Speeding up the design and calculation of impellers for radial-axis hydraulic turbines). *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. – Odessa – 2013. – Tom 6. – p. 23-27.

8. Potetenko O.V., Drankovskiy V.E. Krupa Ye.S., Vakhrusheva O.S., Gulakhmadov A.A. // *Vikhrevaya struktura potoka i analiza razlichnykh matematicheskikh modeley potoka v kanalakh vysokonapornykh radial'no-osevykh gidroturbin RO 400, RO 500 i RO 600* (Vortex structure of the flow and analysis of various mathematical models of flow in the channels of high-pressure radial-axis hydraulic turbines RO 400, RO 500 and RO 600). *Skhidno-Evropeys'kiy zhurnal peredovikh tekhnologiy*. – Kharkiv, 2012. – № 3/8 (57). – p. 50–57.

9. Bryzgalov V.I. // *Iz opyta sozdaniya i osvoyeniya Krasnoyarskoy i Sayano-Shushenskoy gidroelektrostantsiy* (From the experience of creating and developing the Krasnoyarsk and Sayano-Shushenskaya hydro power plants). *Proizvodstvennoye izdaniye*. — Krasnoyarsk: Sibirskiy ID «Surikov», 1999. — 560 p.

10. Yefimenko A.I., Rubinshteyn G.L. // *Vodobrosnyye sooruzheniya Sayano-Shushenskoy GES* (Spillway facilities of the Sayano-Shushenskaya hydro power plant). SPb.: Izdatel'stvo OAO «VNIIG im. B. Ye. Vedeneyeva», 2008. — 511 p.

11. Dvoret'skaya M.I., Zhdanova A.P., Lushnikov O.G., Sliva I.V. // *Vozobnovlyayemaya energiya. Gidroelektrostantsii Rossii* (Renewable energy. Hydro Power Plants of Russia SPb.: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo politekhnicheskogo universiteta Petra Velikogo, 2018. — 224 p.

УДК 005.8:004.73

Marshak O. I.

*Head of Department of Information Technologies of
Shipbuilders College of the
Admiral Makarov National
University of Shipbuilding*

SYSTEMATIC RESEARCH FOR ENHANCEMENT OF COMPETITIVENESS OF SHIPBUILDERS COLLEGE IN THE SPACE OF PROFESSIONAL PRE-HIGHER EDUCATION.

Маршак Олена Іллівна

*завідувач відділення інформаційних технологій
Коледжу корабелів
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова*

СИСТЕМНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ КОЛЕДЖУ КОРАБЕЛІВ У ПРОСТОРІ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ

Summary. This work is dedicated to solving an important scientific and practical task of analytical forecasting of processes of professional pre-higher education development. For this matter a system-analytical research has been made. This research includes formulation of criteria for improving efficiency of innovational and research activities of Information technology department of Shipbuilders Collage of National university of shipbuilding and building cause and effect diagrams for the matter of situation forecast.

Анотація. Робота присвячена вирішенню важливої науково-прикладної задачі аналітичного прогнозування процесів розвитку фахової передвищої освіти, для чого виконано системно-аналітичне дослідження, яке включатиме у себе формулювання критеріїв підвищення ефективності інноваційної та дослідницької діяльності відділення інформаційних технологій Коледжу корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) з побудовою для прогнозу ситуації причинно-наслідкових діаграм.

Keywords: professional pre-higher education, Shipbuilders collage, enhancement of competitiveness, system analysis, cause and affect diagrams.

Ключові слова: фахова передвища освіта, Коледж корабелів, підвищення конкурентоспроможності, системний аналіз, причинно-наслідкові діаграми.

Постановка проблеми.

Єдиним в Україні закладом вищої освіти, що здійснює підготовку інженерних і наукових кадрів високої кваліфікації (молодших спеціалістів, бакалаврів, магістрів, PhD, кандидатів і докторів наук) для суднобудівного, кораблебудівного, машинобудівного, енергетичного, морегосподарського комплексів України та інших країн світу за міжнародними нормами і вимогами є Національний університет кораблебудування (НУК) імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) [1]. Коледж корабелів створено Наказом № 157 від 05.02.2013 р. МОН України як окремий підрозділ НУК, який включатиме у себе відділення морської техніки, енергетики і електричних систем, інформаційних технологій, економіки і менеджменту, екологічної безпеки [2]. Відділення інформаційних технологій здійснює підготовку молодших спеціалістів за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки, які працюють на посадах техніка-програміста, техніка інформаційно-обчислювального центра, операторів комп'ютерного набору та верстання та продовжують навчання за кваліфікаційним рівнем бакалавр на кафедрі інформаційних управляючих систем і технологій. Динамічні перетворення вищої школи в умовах швидкозмінливих економічних умов, підвищення вимог до якості фахової передвищої освіти, посилення конкуренції на ринку освітніх послуг ставлять проблеми пошуку джерел сталого розвитку для забезпечення життєстійкості.

Підвищення конкурентоспроможності закладів фахової передвищої освіти є важливим аспектом соціального та науково-технічного розвитку України. Згідно з Законом України про фахову передвищу освіту [3] невід'ємною складовою вважаються дослідницька та інноваційна діяльність закладів, що безпосередньо пов'язано з проведенням наукових досліджень, результатом якої є отримання та використання знань та здійснення технічних і науково-технічних розробок. Інноваційна діяльність Коледжу корабелів пов'язана зі створенням та удосконаленням інформаційних технологій, спрямованих на підвищення конкурентоспроможності, з їх наступною адаптацією до потреб ринку праці та суспільства. Адекватне проведення аналітичних прогнозів є необхідною науковою складовою при побудові моделі навчального процесу на шляху підвищення конкурентоспроможності закладу.

Аналіз останніх публікацій досліджень та виділення невирішених раніш частин загальної проблеми.

Проблематику підвищення якості освітніх послуг у закладах вищої освіти висвітлено у роботах П. І. Сікорського, О. В. Співаковського, В.

В. Ягупова та інших вчених [4-6]. В роботах І. Ю. Потаї [7], О. С. Рижкова [8] ці питання розглянуті саме для освітнього процесу Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, у тому числі для проєктів українсько-китайського співробітництва. Проте підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів у Всеукраїнському освітньому просторі закладів передвищої фахової освіти потребує становлення та розвитку дослідницької та інноваційної складових, для стратегічного оцінювання яких необхідно введення, формалізація та уточнення критеріїв.

Для системно-аналітичного дослідження навчальних закладів, як правило, застосовуються інформаційно-аналітичні системи (ІАС), технологічна платформа яких дає змогу навчальним закладам координувати процеси управління, ефективно зберігати, обробляти та аналізувати дані. За думкою автора роботи [9] основними недоліками існуючих ІАС є недостатньо ефективне використання узагальненої інформації при підготовці фахівців та при управлінні навчально-виховним процесом, недосконале адміністративне функціонування, недостатньо розкриті можливості оперативного аналізу даних, а головне – що при підготовці фахівців часто не враховується специфіка галузі.

Підготовка фахівців у вітчизняних закладах фахової передвищої освіти (ЗФПО) зумовлена суспільними запитами щодо професійних навичок молоді. Проте відповідність вимогам часу потребує від фахівців з комп'ютерних наук набуття аналітично-дослідницьких навичок в області інноваційних комп'ютерних технологій.

Мета роботи – системно-аналітичне дослідження підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова як процесу розвитку інноваційної та дослідницької складової передвищої технічної освіти.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні **завдання**:

- 1) аналіз сучасних підходів і інформаційно-аналітичних систем при постановці і розв'язанні задач підвищення конкурентоспроможності навчальних закладів;
- 2) вибір методології системно-аналітичного дослідження Коледжу корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (далі Коледж корабелів);
- 3) обґрунтування та вибір критеріїв підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів;
- 4) системно-аналітичний прогноз динаміки розвитку Коледжу корабелів як складної системи;

Об'єкт досліджень – процеси управління підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Предмет досліджень – моделі методи системного аналізу та інформаційно-аналітичного забезпечення процесами управління інноваційної та дослідницької діяльності Коледжу корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Виклад основного матеріалу.

Процес підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів в статті розглянуто на прикладі роботи відділення інформаційних технологій, життєдіяльність якого являє собою складну систему, до характерних ознак якої відносяться відкритість, здатність до самоорганізації, ієрархічність та поліструктурність [10]. Інноваційну та дослідницьку складові діяльності відділення можна розглядати як підсистеми, які не можуть існувати окремо одна від іншої. На підставі Закону [3] інноваційна діяльність – це діяльність, що «спрямована на використання і комерціалізацію результатів наукових досліджень та розробок і зумовлює випуск на ринок нових конкурентоздатних товарів і послуг». Дослідницька діяльність Коледжу корабелів полягатиме в участі здобувачів разом із викладачами в процесі розробки нових програмних продуктів з використанням сучасних інформаційних технологій, аналізі одержаних результатів та складанні подальших рекомендацій щодо доцільності їх застосування у промисловості. Таким чином, кожен з цих складових можна розглядати як складну динамічну систему [11, 12].

Поняття «Складна система» широко використовується; у системотехніці, системному аналізі, при дослідженні операцій і системному підході в різних галузях науки, техніки та народного господарства [12]. Динамічні системи являють собою системи, в яких відбуваються будь-які зміни з часом, при цьому відокремлюють два типи динаміки систем: функціонування та розвиток. У багатьох публікаціях, зокрема [12-14], функціонування системи розглядаються як процеси, що відбуваються як у самій системі та навколишньому середовищі, стабільно реалізуючи фіксовані цілі. Розвиток системи відбувається в системі при зміні її цілей: існуюча структура перестає відповідати новій меті. Провідною операцією при цьому є прийняття рішення – формалізований та неформалізований вибір, який дає змогу досягти фіксованої мети або просунутися у її напрямку.

Процес підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів в роботі розглядається як розвиток складної динамічної системи.

Вибір методології системно-аналітичного дослідження Коледжу корабелів. В системному аналізі існує безліч методів [12-16], за допомогою яких можна ефективно побудувати та дослідити модель складної системи. Найбільш ефективні для побудови системно-аналітичного прогнозу підвищення конкурентоспроможності проаналізовано у таблиці 1. Експериментальною базою досліджень є інноваційні проєкти та навчальні програми підготовки молодших спеціалістів зі спеціальності 122 – Комп'ютерні науки, який здійснюється у Коледжі Корабелів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Таблиця 1.

Аналіз переваг і недоліків методів, які можна застосовувати для побудови системно-аналітичного прогнозу
[складено автором]

Тип причинно-наслідкової діаграми	Переваги	Недоліки
Swot-аналіз	Систематизація знань про внутрішні й зовнішні фактори, що впливають на процес стратегічного планування. Визначення конкурентних переваг та формування стратегічних пріоритетів. Застосовується у практиці аналізу ситуації розвитку міжнародних освітніх проєктів.	Критерії Swot-аналізу повинні мати синергетичний ефект. Не дає динаміки розвитку ситуації
Діаграма Ісікави (риб'яча кістка)	Діаграма надає наочне уявлення не тільки про фактори, які впливають на об'єкт, який вивчають, але і про причинно-наслідкові зв'язки цих факторів	Діаграма не дає відповіді на питання про ступінь впливу різних причин на виникнення проблеми. Причини проблем не носять кількісний характер
Діаграма Парето (стовпчикова діаграма)	Діаграма дає можливість працювати з чисельними даними, дозволяє розподілити зусилля для вирішення виникаючих проблем і виявити головні причини, з яких треба починати діяти	Вимагає знань основ статистики, зростатиме ймовірність помилок при збиранні статистичних даних
Діаграма стратифікації	Використання діаграми забезпечує більшу точність при дослідженні	Побудова діаграми вимагає значних зусиль для виділення і

Тип причинно-наслідкової діаграми	Переваги	Недоліки
	вибірки, дозволяє заощадити трудові та грошові витрати в силу дослідження меншої вибірки.	аналізу недоліків, можливий невірне виділення страт, що тягне за собою подальшу помилку в дослідженні
Діаграма розсіювання	Діаграма дозволяє визначити вид і тісноту зв'язку між парами відповідних змінних. Переваги: наочність і простота оцінки зв'язків між двома змінними	При побудові діаграми слід залучати тих, хто володіє інформацією про продукцію, щоб виключити неправильне використання цього інструменту.

За результатами аналізу в роботі для аналізу прогнозу розвитку ситуації щодо підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів обрано метод побудови діаграми Ісікави.

Обґрунтування та вибір критеріїв підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів. Ефективність інноваційних проєктів являє собою складну систему, для оцінки комерційної та бюджетної складової якої поряд з традиційними показниками (річними витратами, рентабельністю інвестицій, терміном окупності тощо) застосовуються дисконтовані та інтегральні показники ефективності, а також оцінювання ліквідності і фінансової стійкості, ділової активності, ефективності діяльності, використання ресурсів, ризиків [14]. У світовій практиці

результати фундаментальних наукових досліджень набувають економічної чинності, що відкриває шляхи занесення інтелектуальних розробок до статусного капіталу, який сприяє створенню позитивного іміджу та ділової репутації. У зв'язку з цим наукові результати робіт та особисті авторські розробки мають не тільки теоретичне, а й певне прикладне значення. Результати проведеного аналізу наукових джерел показали необхідність застосування одночасно декількох методів для визначення подальших шляхів інноваційного розвитку Коледжу корабелів. Для оцінювання дослідницької діяльності як складної системи в статті введено критерії, сутність яких наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.

**Критерії оцінювання дослідницької діяльності
Коледжу корабелів**

Показники	Критерії оцінювання	Припущення та обмеженості моделі
Термін окупності науково-дослідних і методичних розробок	$T_0 = \frac{B}{D}$ де B – загальні інноваційні витрати; D – загальний результат інноваційної діяльності (дисконтовані доходи)	Термін впровадження науково-дослідних і методичних розробок не повинен перевищувати 10 років.
Зведена вартість	$Ц = B \cdot a_t + C,$ де B – загальні інноваційні витрати; a_t – коефіцієнт дисконтування, який у розрахунках береться як $a_t = 0,15 \dots 0,2$; C – поточні витрати	Загальні інноваційні витрати визначаються через інтелектуальний капітал
Індекс рентабельності впровадження науково-дослідних і методичних розробок	$I_p = \frac{\sum_{t=0}^T D_t \cdot a_t}{\sum_{t=0}^T B_t \cdot a_t}$ де B_t – загальні інноваційні витрати за певний термін часу t ; a_t – коефіцієнт дисконтування; D_t – результат впровадження розробки.	Термін окупності розробок дорівнюється співвідноситься з коефіцієнтом рентабельності

Побудова моделі ґрунтується на введених у роботу критеріях інтелектуального капіталу та соціального ефекту. Саме ці показники характеризують розвиток інноваційної та дослідницької діяльності Коледжу корабелів. Поняття «інтелектуальний капітал» було введено у міжнародну практику ще на початку 90-х років минулого століття як сума знань всіх працівників підприємства та с часом набуло нових значень.

Тепер це є наукоємним поняттям, яке включає у себе патентно-інформаційну базу; технічну документацію; матеріально-технічну продукцію у вигляді програмних продуктів, інформаційних систем тощо. Критерії інтелектуального капіталу та соціального ефекту для обраної системи оцінювання конкурентоспроможності науково-дослідних і методичних розробок, здійснених на базі Коледжу корабелів, наведено у таблиці 3.

**Критерії інтелектуального капіталу та соціального ефекту
науково-дослідних і методичних розробок коледжу**

Критерій	Індекс	Припущення та обмеженості моделі
Інтелектуальний капітал	Індекс впровадження розроблених інформаційних систем у бізнес-сферу м. Миколаєва	Розробки впроваджуються виключно у бізнес-сферу м. Миколаєва
	Індекс впровадження розроблених інформаційних систем у промислові підприємства м. Миколаєва	Розробки впроваджуються виключно у промислові підприємства м. Миколаєва
	Індекс впровадження розроблених інформаційних систем у бізнес-сферу Миколаївської області	Розробки впроваджуються виключно у бізнес-сферу Миколаївської області
	Індекс впровадження розроблених інформаційних систем у бізнес-сфери України	Розробки впроваджуються виключно у бізнес-сферу України за винятком Миколаївської області
	Індекс впровадження розроблених інформаційних систем у промислові підприємства України	Розробки впроваджуються виключно у промислові підприємства України за винятком Миколаївської області
Соціальний ефект	Впровадження нових механізмів управління проектами у процес розвитку фахової передвищої освіти	Впровадження дворівневої моделі
	Рівень освіти	Розглядається виключно освітня платформа фахової передвищої підготовки інженерних кадрів

Системно-аналітичний прогноз динаміки розвитку Коледжу корабелів як складної системи виконано за допомогою побудови діаграми Ісікави (рис.1).

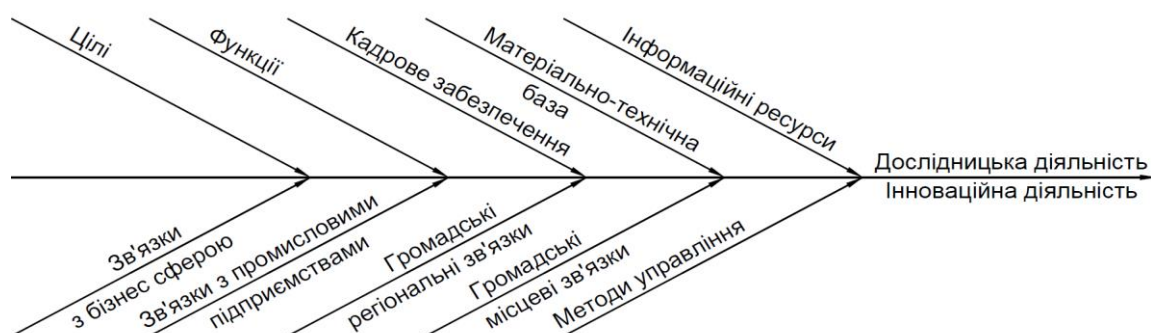


Рис. 1. Діаграма Ісікави прогнозування підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів

Дослідницька і інноваційна види діяльності Коледжу корабелів об'єднано складатимуть цільову функцію, яку можна поділити на наступні групи:

- соціально-політична група: визначається соціальною політикою держави, регіону, області та міста;
- фактори другої групи пов'язані з динамікою росту основних економічних критеріїв та визначають зв'язок з промисловістю та бізнесом;
- третя група факторів стосується внутрішньої структури роботи Коледжу корабелів: це кадрове забезпечення та матеріально-технічна база;
- четверта – функції і цілі являють собою комплекс відособлених і водночас пов'язаних між собою видів діяльності, це: планування, мотивація, контроль, а також ряд допоміжних чинників, які

забезпечують діяльність і виконання основних функцій.

- окрему групу складатимуть методи управління та інформаційні ресурси.

Стисло охарактеризуємо кожну з «риб'ячих кісток» діаграми Ісікави.

«Цілі». Ця складова розвитку включатиме у себе: мету функціонування системи у масштабному просторі, цілі та інтереси об'єкту управління, настанови загальної діяльності Коледжу корабелів.

«Функції» – являє собою інструментарій «методів управління», який предписує кожному актору сценарію розвитку подій повноваження та функціональні обов'язки.

«Кадри» – потужна складова системи, визначатиме одну з головних ролей, які впливатимуть на інноваційну та дослідницьку діяльність Коледжу корабелів.

«Матеріально-технічна база» Коледжу корабелів безпосередньо ґрунтується на лабораторному оснащенні та матеріально-технічному забезпеченні Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, включаючи базу кафедр Інформаційних управляючих систем та технологій, Програмного забезпечення автоматизованих систем, Управління проектами та інших кафедр Навчально-наукового Інституту комп'ютерних наук і управління проектами.

«Інформаційні ресурси» – характеризують інформаційний простір як самого Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, так і Коледжу корабелів НУК, зокрема відділення інформаційних технологій. Включає у себе сукупність технічних засобів, що використовуються для зв'язку, обробки інформації, організації управлінського процесу. Визначатимуть характер зав'язків об'єкта із елементами зовнішнього середовища.

«Методи управління» – включають у себе цілі, функції і структуру системи управління, а також методи взаємодії об'єкта з елементами зовнішнього середовища, технології діяльності об'єкта управління, стиль та методи керування як засоби впливу на підсистему а підлеглих у керуючі підсистемі у адміністративному, організаційному, правовому, економічному, соціально-психологічному аспектах. Є характеристикою організаційної культури Коледжу корабелів як складної системи.

«Громадські місцеві зв'язки», «Громадські регіональні зв'язки», «Зв'язки з промисловими підприємствами», «Зв'язки з бізнес-сферою» – саме ці функції визначатимуть соціальний простір інноваційної діяльності Коледжу корабелів.

Результатом проведеного системно-аналітичного прогнозу є складання комплексу заходів щодо покращення якості освітніх послуг та підвищення конкурентоспроможності (рис. 2).



Рис. 2. Комплекс заходів щодо покращення якості освітніх послуг та підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що за допомогою вперше сформульованих для закладу фахової передвищої освіти критеріїв інтелектуального капіталу та соціального ефекту одержано прогноз динаміки розвитку Коледжу корабелів як складної системи. Науково-практичне значення роботи полягає у тому, що започатковано **новий** напрям управління проектами у фаховій передвищій освіті в галузі 12 – Інформаційні технології.

Висновки і пропозиції

1. Процес підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів розглянуто на прикладі відділення інформаційних технологій як складну систему, у якій інноваційна і дослідницька складові діяльності представлені як

взаємодіючі підсистеми, для дослідження яких обрано метод системно-динамічного моделювання.

2. Для оцінювання конкурентоспроможності науково-дослідницьких і методичних розробок сформульовано і уточнено критерії інтелектуального капіталу і соціального ефекту, які визначатимуть ступінь впровадження та рентабельність розробок у соціальній, промисловій і бізнес-сфері.

3. Системно-аналітичний прогноз динаміки розвитку Коледжу корабелів наведено у вигляді побудованої причинно-наслідкової діаграми Ісікави, яка у графічному вигляді показує вплив соціальних, економічних, структурних і функціональних чинників, методів управління і інформаційних ресурсів на інноваційну і

дослідницьку види діяльності. За результатами досліджень висунуті пропозиції складання комплексу покращення освітніх послуг та підвищення конкурентоспроможності Коледжу корабелів.

Література

1. Имени адмирала: университет, музей, фонд ценной книги / [ред. В. В. Мацкевича]. – Николаев : Торубара Е. С., 2011. – 126 с.

2. Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова / пред. редкол. С. С. Рыжков. – Киев : Логос Украина, 2015. – 320 с.

3. Закон України про фахову передвищу освіту // Відомості Верховної Ради. – 2019. – № 30. – ст. 119.

4. Сікорський П. І. Теоретико-методологічні засади підготовки викладачів вищої школи в контексті європейської інтеграції / П. І. Сікорський // Вісник Львів. ун-ту. Сер. : Пед. Науки. – 2009. – С. 3-8.

5. Попело О. В. Фундаментальні дослідження як ядро інноваційного розвитку регіонів України / О. В. Попело // Сталий розвиток економіки, 2015. – № 3 (28). – С. 153–160.

6. Ягунов В. В. Методологія діагностування інформаційно-аналітичної компетентності керівників професійних навчальних закладів / В. В. Ягунов // Науковий часопис Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова : зб. наук. праць. Сер. № 5 : Педагогічні науки : перспективи та реалії. – 2013. – № 12 (39). – С. 274-279.

7. Потай И. Ю. Разработка функциональной модели системы управления качеством подготовки специалистов в вузе // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – Миколаїв, 2006. – № 6 (411). – С.72-81.

8. Рижков О. С. Управление проектами и программами спільної підготовки фахівців міжнародного рівня / О. С. Рижков : дис. докт. техн. наук. 05.13.22. – Одеса : ОНПУ, 2018. – 390 с.

9. Савкова В. П. Розробка підходів щодо розробки методу оцінки якості організації і проведення підготовки фахівців в інтегрованій системі вищого навчального закладу / В. П. Савкова // Вісник Київського університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Фізико-математичні науки. – 2014. – №4. – С.219–224.

10. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 207 с.

11. Рач, В. А. Модель системної динаміки як основа побудови інструменту процесу моніторингу якості освітніх проєктів / В. А. Рач, А. Ю. Борзенко-Мирошніченко // Управління проєктами та розвиток виробництва. – 2006. – № 3 (19). – С. 1-12.

12. Соколовська З. М. Приклади і моделі системної динаміки : монографія / З. М. Соколовська, О. А. Клепікова. – Одеса : Астопринт, 2015. – 308.

13. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень / В. Ф. Ситник. – К. : КНЕУ, 2004. – 614 с.

14. Фоміцька Н. В. Теорія систем для менеджерів : навч. пос. / Н. В. Фоміцька, В. В. Єганов. – Х. : Вид-во Хар. РІ НАДУ «Магістр», 2013. – 248 с.

15. Математичні методи дослідження операцій : підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Щендрик [та ін.] – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 212 с.

16. Иммитационное моделирование. Классика CS :Пер с англ. / Аверилл М. Лау, В. Дэвид Кельтон. – 3-е изд. – Киев : Издательская группа ВНУ, 2004. – 847 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.122.2

Григорьев-Фридман С.Н.

(НИИРФИ при ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород)

НОВЫЙ ВЗГЛЯД И ПОДХОД НА ФИЗИЧЕСКИЕ И КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА ФОТОНА

UDK 539.122.2

Grigoryev-Fridman S.N.

(Nizhny Novgorod research radiophysical institute
at the Nizhny Novgorod state university named after Nikolai Ivanovich Lobachevsky,
Nizhny Novgorod-city)

NEW LOOK AND APPROACH TO PHYSICAL AND QUANTUM PROPERTIES OF PHOTON

Аннотация. Выявлены новые физические свойства фотона, как квазинейтральной элементарной частицы, на атомно-молекулярном уровне взаимодействия излучения и поглощения фотонов при переходе электронов с внешних, удалённых орбит атомов вещества на более низкую орбиту вращения вокруг ядра атомов. Опытным путём обнаружен быстроменяющийся во времени и в пространстве, собственный орбитальный отрицательный и положительный заряды фотона. Рассмотрено использование идеи российских учёных о наличии постоянно изменяющегося во времени и в пространстве собственного орбитального заряда фотона при создании сверхмощного и дальнего боевого лазера.

Abstract. New physical properties of photon as quasineutral elementary particle were revealed at the atomic-molecular level of interaction of radiation and photon absorption during the transition of electrons from external, remote orbits atoms of matter to lower orbit of rotation around the nucleus of atoms. Empirically discovered rapidly changing in time and space, its own orbital negative and positive charges of photon. The use of the idea of Russian scientists about the presence of photon its own orbital charge constantly changing in time and space when creating super-powerful and long-range combat laser is considered.

Ключевые слова: фотон; электрон; позитрон; калибровочный бозон; фермион; синхротрон; адронный коллайдер; лазер; спин; собственный орбитальный момент фотона; инерция орбитального вращения фотона; собственный орбитальный заряд фотона; модулированный лазерный луч; электромагнитная волна; лазерное излучение; длина волны; частота сигнала; квант; когерентность; масса фотона; скорость фотона; период; импульс фотона; энергия фотона; оператор Гамильтона; оператор возмущения; теорема У. Фарри; принципа дополнительности Н. Бора; неопределённость Гейзенберга.

Keywords: photon; electron; positron; calibration boson; fermion; synchrophasotron; hadron collider; laser; spin; intrinsic orbital moment of photon; inertia orbital rotation of photon; intrinsic orbital charge of photon; modulated laser beam; electromagnetic wave; laser radiation; wavelength; signal frequency; quantum; coherence mass of photon; photon speed; period; photon momentum; photon energy; Hamilton operator; disturbance operator; theorem of Wendell Farry; principle complementarity of Niels Bohr's; Heisenberg uncertainty.

Введение. Основным проблемам квантовой механики и элементарным частицам в отечественной литературе [1–13] и в иностранных изданиях [14–17] посвящён достаточно обширный материал. В этой связи необходимо отметить, что все предыдущие исследования основывались лишь на классическом, академическом уровне развития современной квантовой теории излучения, поглощения, отражения и распространения фотонов, в представлении устаревшей точки зрения, что фотон представляет из себя лишь плоскую, поперечную электромагнитную волну, в оптическом диапазоне, распространяющейся в открытом пространстве со скоростью света. При этом у отечественных и зарубежных учёных в этой области знания, накопилась обширная информация на основе лабораторно-экспериментальных исследований об характере и механизме поведения

известных науке элементарных частиц в открытом пространстве и при взаимодействии с физическим веществом, с учётом распределения электромагнитного и гравитационного полей, в частности же выявлены более новые физические свойства фотона, на атомно-молекулярном уровне взаимодействия излучения и поглощения фотонов при переходе электронов с внешней, удалённой орбиты атомов вещества на более низкую орбиту вращения вокруг ядра атомов.

В свете последующих теоретических исследований и их экспериментальных подтверждений на экспериментальном полигоне, в адронном коллайдере Лос-Аламосской национальной лаборатории министерства энергетики США (Los-Alamos National Laboratory USA), в интервале времени, доступном для обнаружения, фиксации и изучения самой

квантовой природы существования, быстроменяющегося во времени и в пространстве, собственного орбитального отрицательного и положительного заряда фотона, как наподобие у электрона и его античастицы — позитрона.

Если на более ранних этапах исследования фотон изучался в камере Вильсона-Скобельцына, счётчике Гейгера-Мюллера, пузырьковой камере Глейзера, счётчике Черенкова, в виде трековых траекторий движения и фиксации всего этого на фотоэмульсионной плёнке, когда время наблюдения за самими экспериментами определялось в интервале $\tau = 1 \cdot (10^{-12} \dots 10^{-15})$ с. Тогда как, при взаимодействии двух встречных потоков фотонов, в адронновском коллайдере время наблюдения физических процессов ещё более уменьшается до интервала $\tau = 1 \cdot (10^{-18} \dots 10^{-20})$ с. В этом случае наличие быстроменяющегося собственного орбитального заряда у фотонов следует объяснить не только влиянием переменных электромагнитных полей, в частности же сильного электрического поля, но и возрастающим влиянием общего гравитационного поля в период взаимодействия физического вещества с излучающим, узкокогерентным пучком фотонов, его частичным поглощением и отражением, при квантовом переходе электрона с одного уровня на другой вокруг ядра атома [4–9, 11–17].

Если же в ускорителе элементарных частиц в подмосковном г. Серпухове и в синхрофазотроне на экспериментальном полигоне в Объединённом институте ядерных исследований в подмосковном г. Дубне, использовался принцип взаимодействия потока элементарных частиц, как электрон, позитрон, протон, нейтрон, фотон и др. в ускоряющем электромагнитном поле с материалом физического вещества, то в американском адронновском коллайдере Лос-Аламосской национальной лаборатории использовался принцип взаимодействия двух встречных ускоряющихся потоков элементарных частиц, например, пучков фотонов друг с другом, также в ускоряющем электромагнитном поле, но при этом мощность физического взаимодействия встречных ускоренных потоков частиц (фотонов) будет приблизительно в 2,5 раза больше, чем по сравнению с серпуховской или дубненской российскими конструкциями ускорителя движения элементарных частиц, как основы оснастки и общей технологии в современных ядерных исследованиях по мирному использованию выделяемой огромной энергии при прохождении управляемой термоядерной реакции расщепления изотопов урана U_{92}^{235} и U_{92}^{238} , в обогащениях изотопов плутония Pu_{94}^{239} в современных ядерных реакторах.

Теоретические основы на классический взгляд природы частицы фотон. В конце 2019 г. учёные из Лос-Аламосской национальной

лаборатории — Томас и Эдвард Ли Янг (Thomas and Advard Lee Yung) на одном из современных испытательных полигонах с синхрофазотроном и ускорителем элементарных частиц, типа адронновского коллайдера, провели ряд опытов и наглядных физических экспериментов в области обнаружения и фиксации собственного, постоянно изменяющегося во времени и в пространстве, орбитального заряда у квазинейтральной элементарной частицы фотона.

Фотоны разгоняются, во внутренней структуре инвертирующего кристалла, до больших значений их кинетической энергии, согласно квантовой теории и формуле (1):

$$\overline{E}_{\phi} = m_{\phi} c^2, \quad (1)$$

где m_{ϕ} — релятивистская масса фотона; $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек — скорость света в свободном (воздушном) пространстве или в вакууме.

Часто применяется величина — приведённая постоянная М. Планка, описываемая выражением (2):

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \text{const}. \quad (2)$$

С другой стороны, электрон, переходящий из верхнего, удалённого уровня своей орбиты, на более низкую, излучает фотон. При этом происходит дискретное излучение энергии узконаправленным пучком фотонов, так называемыми порциями кванта, согласно формуле М. Планка (3):

$$\overline{E}_{\phi} = h\nu = \hbar\omega, \quad (3)$$

где $h = 6,626070040(81) \cdot 10^{-34}$ Дж·с ($\hbar = 1,054571800(13) \cdot 10^{-34}$ Дж·с) — постоянная М. Планка; ω , МГц — циклическая (угловая) частота входного сигнала; T , с — период колебания волны; ν , МГц — частота входного сигнала.

Приравнявая оба значения энергии излучающего фотона получаем (4):

$$\overline{E}_{\phi} = m_{\phi} c^2 = h\nu = \hbar\omega. \quad (4)$$

Откуда, точное релятивистское значение массы фотона, при его движение в открытом воздушном пространстве или вакууме определяется из выражения (4), согласно формуле (5):

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2}. \quad (5)$$

Из курса классической электродинамики известно, что фазовая скорость волны сигнала в обычной оптически более плотной среде определяется через скорость света, согласно выражения (6):

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0} \sqrt{\mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_a} \sqrt{\mu_a}} = \left(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_a \cdot \mu_a}} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \right)}{\sqrt{\varepsilon_a \cdot \mu_a}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_a \cdot \mu_a}}, \quad (6)$$

где $v = f(\varepsilon_a, \mu_a) \Big|_{\substack{\varepsilon_a \geq \varepsilon_0 \approx 1; \\ \mu_a \geq \mu_0 \approx 1}} \leq c$ — фазовая

скорость плоской, монохроматической, электромагнитной волны в оптически плотной среде (газы, жидкости, твёрдые тела); $\varepsilon_a \geq \varepsilon_0 \approx 1$ и $\mu_a \geq \mu_0 \approx 1$ — относительные соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости оптически плотной среды; $\varepsilon_0 \approx 1$ и $\mu_0 \approx 1$ — относительные соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости свободного воздушного пространства (вакуума).

Откуда получаем скорость плоской, монохроматической, электромагнитной волны в оптически плотной среде, согласно выражения (7):

$$c = v \sqrt{\varepsilon_a \cdot \mu_a}. \quad (7)$$

Окончательно, точное релятивистское значение массы фотона, при его движение в оптически плотной среде определяется из выражения (7), согласно формуле (8):

$$m_{\phi} = \frac{\hbar \omega}{v^2 \varepsilon_a \mu_a}. \quad (8)$$

Следует заметить, что масса самого электрона — есть величина квазистатическая, не зависящая от частоты сигнала на входе, тогда как у фотона масса полностью зависит от частоты входного сигнала, то есть масса фотона будет для каждой частоты, своего диапазона, отдельная, отличающаяся друг от друга. Следовательно, интенсивность, инверсность, мощность и сила лазерного излучения сильно

зависят от диапазона рабочих частот входного сигнала.

Необходимо помнить, что действительная (реальная) масса фотона, в состоянии покоя равна нулю $m_{\phi 0} = 0$, то есть у фотона существует только так называемая релятивистская масса, отличная от нуля. Таким же образом обстоит дело и со скоростью фотона, которая в состоянии покоя отсутствует $v_{\phi 0} = 0$ и существует лишь тогда, когда фотон движется со скоростью света как поперечная электромагнитная волна, в определённой среде.

Также следует учесть, что собственный спин фотона равен: $S_{\phi} = 1\hbar$. Спиральность фотона равна $H_{\phi} = \pm 1$. Количество спиновых состояний фотона равно $Q_{S\phi} = 2$. Зарядовая чётность фотона отрицательная — $Chi_{\phi} = -1$.

Общий, суммарный заряд фотона всегда равен нулю за полный период времени $T = 2\pi$: $\sum_{\phi} Q_{2\pi} = Q_{1+} + Q_{2+} + Q_{3-} + Q_{4-} = 1^+ + 0^+ + 1^- + 0^- = +1e + 0 - 1e - 0 = 0$. Согласно рис. 1, за первую четверть своего периода $0 \leq T_1 \leq \frac{\pi}{2}$ собственно говоря заряд квазинейтральной частицы начинает по экспоненциальному закону огибающей функции (описывающей векторный потенциал фотона: $\vec{A}_n(\vec{r}, t) = A_0(\vec{r}) \cdot e^{-i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega \cdot t)} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{\ell} \cdot \vec{r}\right)$, где радиус-вектор определяется как $\vec{r} = r(x, y, z)$) увеличиваться $Q_{1+} > 0^+ = +0e$. При этом сам заряд фотона имеет своё максимальное положительное значение, равное заряду позитрона (античастицы электрона, со спином $S_{p+} = \frac{1}{2}\hbar$): $Q_{1+} = 1^+ = +1e$, в своей точке при $T_{1max} = \frac{\pi}{2}$. Необходимо заметить, что в этой точке собственный орбитальный момент

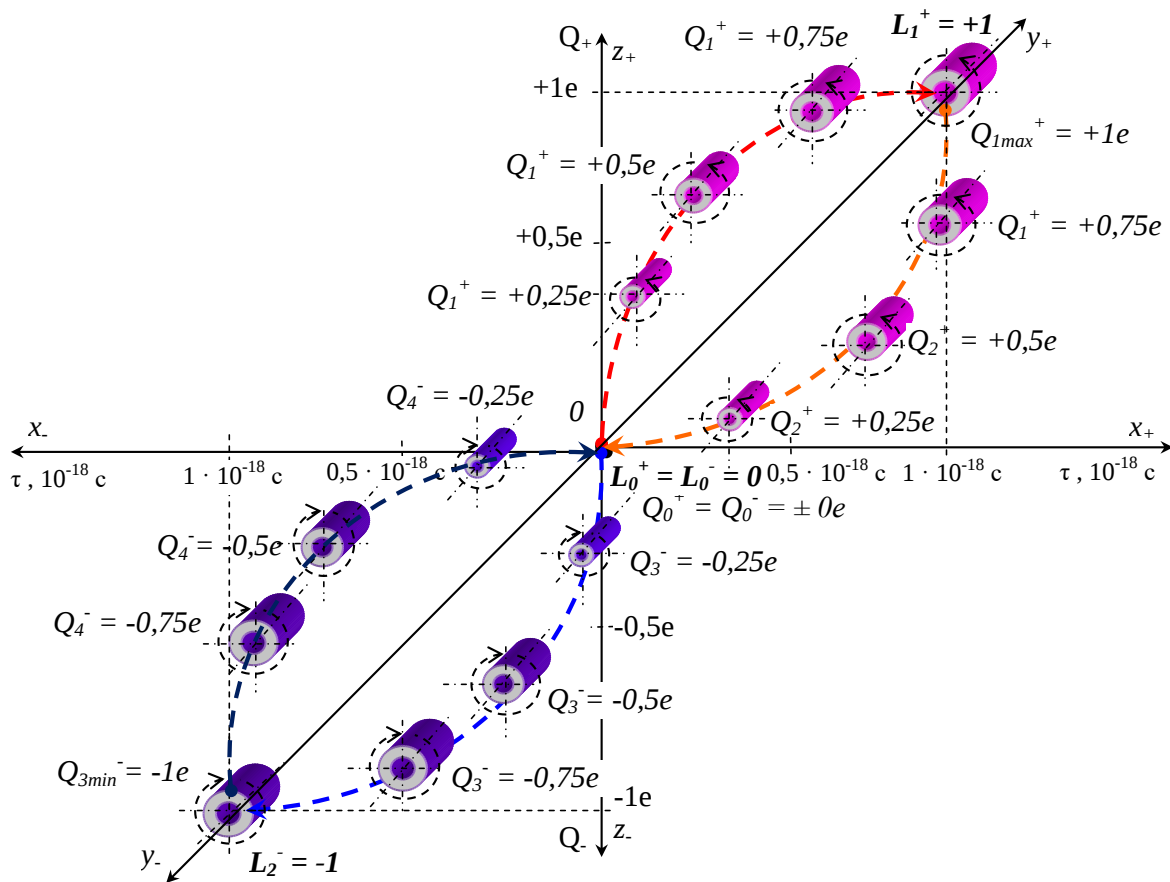


Рис. 1. Спинно-орбитальная модель существования фотона и изменение его собственного орбитального заряда за время наблюдения $\tau = 2 \cdot 10^{-18}$ с.

вращения фотона вокруг своей оси равен: $L_1^+ = +1$. За следующую, вторую четверть своего периода, при $\frac{\pi}{2} \leq T_2 \leq \pi$, значение заряда фотона начинает уменьшаться по экспоненте со своего максимального значения $Q_{1+} = 1^+ = +1e$, до нуля $Q_{2+} = 0^+ = +0e$, то есть поперечная, монохроматическая, электромагнитная волна проходит через своё первое нулевое значение, когда сам фотон практически теряет свою скорость, останавливается, имеет практически свою нулевую массу покоя, при этом у фотона, в этот момент времени, также отсутствуют энергия и импульс движения. Согласно рис. 1, в этой точке собственный орбитальный момент вращения фотона относительно своей оси равен: $L_0^+ = L_0^- = 0$. Проскакивая через нулевую точку, заряд фотона начинает по модулю снова увеличиваться, также по экспоненциальному закону от нуля $Q_{3-} = 0^- = -0e$ до $Q_{3-} = 1^- = -1e$, за период $\pi \leq T_2 \leq \frac{3\pi}{2}$. При этом сам заряд фотона имеет своё максимальное отрицательное значение, равное заряду электрона (со спином $S_e = \frac{1}{2} \hbar$): $Q_{3-} = 1^- = -1e$, за последующую третью четверть периода электромагнитной волны, при $T_{3min} = \frac{3\pi}{2}$.

Стоит отметить, что в этой точке собственный орбитальный момент вращения фотона вокруг своей оси равен: $L_2^- = -1$. После этого, за

следующую, четвёртую четверть своего периода, при $\frac{3\pi}{2} \leq T_4 \leq 2\pi$, значение заряда фотона по модулю начинает уменьшаться по экспоненте со своего максимального отрицательного значения $Q_{3-} = 1^- = -1e$, до нуля $Q_{4-} = 0^- = -0e$, то есть поперечная, монохроматическая, электромагнитная волна проходит через своё второе нулевое значение, когда фотон так же снова теряет свою скорость, останавливается, имеет практически свою нулевую массу покоя, при этом у фотона также, в этот момент времени, отсутствуют энергия и импульс движения.

Вследствие закона сохранения зарядовой чётности и её мультипликативности, в электромагнитных явлениях невозможно превращение чётного числа фотонов в нечётное и наоборот, исходя из теоремы У. Фарри, так как фотон относится к так называемым калибровочным бозонам, где он участвует в электромагнитном и гравитационном взаимо-действии с веществом в природе. Причём часть своего активного времени фотон проводит в качестве виртуальной частицы — векторного мезона или же как виртуальной пары — адрон-антиадрон. Все атомы в природе состоят из протонов и нейтронов, которые называются адронами.

Необходимо особо подчеркнуть, что фазовый переход в изменении заряда фотона, например, из состояния $Q_{1max}^+ = +1e$, равного заряду позитрона, в

$Q_{3min} = -1e$, равного элементарному заряду электрона, в своём принципе невозможен, из-за нарушения хотя бы, принятого в квантовой механике, принципа дополнительности Н. Бора [5-11]. Возможны переходы из состояния $Q_{1max}^+ = +1e$, в состояние $Q_0^+ = +0e$, и обратно — $(Q_{1max}^+ = +1e) \leftrightarrow (Q_0^+ = +0e)$, а также из состояния $Q_{3min}^- = -1e$, в состояние $Q_0^- = -0e$, и обратно — $(Q_{3min}^- = -1e) \leftrightarrow (Q_0^- = -0e)$. Дело в том, что собственные орбитальные моменты вращения фотона вокруг своей оси взаимно противоположны, в силу того, что в квантовой механике за положительное направление вращения собственного орбитального момента вращения фотона относительно своей оси принято направление против часовой стрелки, и он равен: $L_1^+ = J_1 \cdot \omega = +1$. Если же направление вращения собственного орбитального момента вращения фотона относительно своей оси будет по часовой стрелке, то оно будет считаться отрицательным и, следовательно, его значение в этом случае равно $L_2^- = J_2 \cdot \omega = -1$. Причём $J_1 = -J_2$ представляют собой противоположно направленные инерции вращения самого фотона относительно орбитальной оси вращения, при различных переходах. За весь минимальный период $T_{min} = 2\pi$ фотон характеризуется изменением своего заряда от «+1e» до «-1e», при этом проходя через свою характерную нулевую точку «±0e» где электрический заряд в ней также равен нулю.

Общее время изменения собственного заряда фотона равно в среднем $\tau \approx 2 \cdot 10^{-18}$ с. Время существования положительного или отрицательного собственного заряда фотона равно $\tau \approx 0,2 \cdot 10^{-18}$ с, когда величина положительного заряда равна $Q^+ = +0,8e \dots +1e$ и отрицательного заряда равна $Q^- = -0,8e \dots -1e$.

Фотон представляет собой своеобразный энергетический электромагнитный диполь, постоянно меняющийся во времени и в пространстве, тем самым подчиняясь, квантовому принципу неопределённости Гейзенберга (9):

$$(\Delta x \cdot \Delta p) \geq \frac{\hbar}{2}, \quad (9)$$

Измеряя величину среднеквадратического отклонения координаты Δx и среднеквадратического отклонения импульса Δp , и при этом, обладая известной скоростью света, фотон допускает неограниченную точность измерения своих координат во времени и в пространстве, а

значит и своего, изменяющегося собственного орбитального заряда.

При отражении от зеркальной поверхности или при прохождении сред с градиентом плотности, то есть при явлениях абберации, опытным путём обнаруживается изменение направления движения фотона [5]. Во всех этих приведённых случаях фотоны не поглощаются веществом, и явно не входят с носителями вещества в контактное взаимодействие, то есть в формате элементарных частиц среды. Однако при этом происходит смена направления и поляризации фотона [7]. Такое поведение фотона, как фермион-частицы, возможно только под действием постоянных электрических полей, формируемых электронами и протонами среды. Анализ множества экспериментов указывает, что действенным фактором при этих взаимодействиях является не только величина поля, но ещё и градиент, следовательно, фотон является отличным квантовым детектором градиента электрического поля [9].

Нестационарная теория возмущений. Пусть H_0 — так называемый оператор спокойствия, представляющий из себя, не зависящий от времени гамильтониан квантовой системы в отсутствие внешних электрических и магнитных полей. Для этого гамильтониана уравнение Шрёдингера допускает своё точное решение. Тогда полный гамильтониан H этой системы в присутствии нестационарного внешнего поля [8, 11, 12–17] имеет классический вид (10):

$$H = H_0 + V(\vec{r}, t), \quad (10)$$

где $V(\vec{r}, t)$ — оператор возмущения, описывающий взаимодействие внешнего электромагнитного поля с квантовой системой. Теория возмущений используется при выполнении следующего условия (11):

$$V(\vec{r}, t) \ll H_0. \quad (11)$$

Пусть квантовая система находится в поле падающей, монохроматической электромагнитной волны, характеристики которого периодически меняются со временем с частотой ω . Тогда оператор возмущения $V(\vec{r}, t)$ также будет периодически меняться со временем с той же частотой ω , следовательно, он может быть записан в виде (12):

$$V(\vec{r}, t) = 2 \gamma(\vec{r}) \cos \omega t = \gamma(\vec{r}) e^{i\omega t} + \gamma(\vec{r}) e^{-i\omega t}. \quad (12)$$

Введём обозначение $V^\pm(\vec{r}, t) = \gamma(\vec{r}) e^{\pm i\omega t}$, тогда оператор возмущения $V(\vec{r}, t)$ принимает следующий вид (13):

$$V(\vec{r}, t) = V^+(\vec{r}, t) + V^-(\vec{r}, t). \quad (13)$$

В первом порядке, зависящей от времени теории возмущений вероятность перехода

«w» квантовой системы в единицу времени из состояния, описываемого волновой функцией Ψ_i , в состояние, описываемое волновой функцией Ψ_f (Ψ_i и Ψ_f — собственные функции оператора H_0) под действием возмущения $\gamma(\vec{r}) e^{\pm i\omega t}$, задаётся выражением (14):

$$w = \frac{2\pi}{\hbar} \left| \int \Psi_f^* v(\mathbf{r}) \Psi_i d\mathbf{r} \right|^2 \rho_f(E_f) = \frac{2\pi}{\hbar} \left| \langle f | v(\mathbf{r}) | i \rangle \right|^2 \rho_f(E_f) \quad (14)$$

Причём переходы происходят в состояния, обладающие энергией $E_f = E_i \pm \hbar\omega$ и плотностью $\rho_f(E_f)$ (E_i и E_f — собственные значения оператора H_0 , отвечающие собственным функциям Ψ_i и Ψ_f).

Возмущение $V^+(\vec{r}, t)$ приводит к тому, что квантовая система теряет энергию $\hbar\omega$ путём вынужденного испускания, $E_f = E_i - \hbar\omega$. Под действием возмущения $V^-(\vec{r}, t)$ система приобретает энергию $\hbar\omega$ и $E_f = E_i + \hbar\omega$. Мы будем рассматривать лишь последний случай, соответствующий поглощению энергии электромагнитного поля, оставляя в операторе возмущения $V(\vec{r}, t)$ лишь второе слагаемое $V^-(\vec{r}, t)$, которое зависит от времени как $e^{-i\omega t}$.

Квантовая система в поле плоской электромагнитной волны. Рассмотрим случай, когда на квантовую систему падает плоская монохроматическая электромагнитная волна. Тогда полный гамильтониан H системы частиц и электромагнитного поля [4, 6, 11–17] имеет вид (15):

$$H = H_0 + H_{el} + V(\vec{r}, t), \quad (15)$$

где H_0 — гамильтониан системы в отсутствие внешних электрических и магнитных полей,

H_{el} — гамильтониан электромагнитного поля и $V(\vec{r}, t)$ — гамильтониан взаимодействия системы с электромагнитным полем, представляющий собой оператор возмущения.

В дальнейшем под системой будем понимать совокупность $\vec{A}$ нерелятивистских частиц. Тогда отсюда имеем выражение (16):

$$H_0 = \sum_{a=1}^A \frac{\mathbf{p}_a^2}{2m_a} + \sum_{a \ll b} W_{ab} \quad (16)$$

где $\mathbf{p}_a$ и m_a — оператор импульса и масса частиц системы, W_{ab} — энергия взаимодействия частиц «a» и «b». H_{el} — энергия электромагнитного поля. Классическое выражение для энергии электромагнитного поля [11, 12] принимает вид (17):

$$H_{el} = \frac{1}{8\pi} \int (\vec{E}^2 + \vec{H}^2) dx dy dz = \frac{1}{8\pi} \int (\vec{E}^2 + \vec{H}^2) d\vec{r}, \quad (17)$$

где $\vec{E}$ и $\vec{H}$ — напряжённости электрического и магнитного полей.

Если поле квантовано и представляет собой совокупность n фотонов энергии $\hbar\omega$, то тогда энергия такого электромагнитного поля определяется выражением (18):

$$H_{el} = n\hbar\omega. \quad (18)$$

Выражение для оператора $V(\vec{r}, t)$ имеет в случае бесспиновых частиц вид (19):

$$V(\mathbf{r}, t) = -\frac{1}{c} \sum_{a=1}^A \frac{e_a}{m_a} \mathbf{A} \mathbf{p}_a, \quad (19)$$

где e_a — электрические заряды частиц системы, m_a — масса частиц системы, $\vec{A}$ — векторный потенциал электромагнитной волны в той точке, где находится частица «a».

Конкретизируем это выражение для случая, когда система поглощает падающую на неё плоскую монохроматическую электромагнитную волну. Векторный потенциал $\vec{A}$ такой волны [11, 12] можно записать в виде (20):

$$\vec{A}(\vec{r}, t) = 2A_0 \varepsilon \cos(\vec{k}\vec{r} - \omega t) = A_0 \varepsilon e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} + A_0 \varepsilon e^{-i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} \quad (20)$$

где $\vec{k}$ — волновой вектор, направление которого определяет направление распространения волны (где $\vec{k} = \frac{\omega}{c} \cdot \vec{n}$, а $\vec{n}$ — единичный вектор в направлении $\vec{k}$), и $\vec{\varepsilon}$ — единичный вектор поляризации излучения.

Векторный потенциал $\vec{A}$ должен удовлетворять условию (21):

$$\text{div} \vec{A} = 0. \quad (21)$$

Для плоской, поперечной, электромагнитной волны, поляризованной перпендикулярно направлению распространения, условие (21) равносильно требованию (22):

$$(\vec{k}\vec{\varepsilon}) = 0, \quad (22)$$

Подставляя в формулу (19) для $V(\vec{r}, t)$ лишь первый член из выражения (20) для векторного

потенциала плоской волны, который имеет отрицательную частоту и, следовательно, отвечает за поглощение излучения, получаем (23):

$$V(\mathbf{r}, t) = v(\mathbf{r})e^{-i\omega t} = -A_0 e^{-i\omega t} \cdot \frac{1}{c} \sum_{a=1}^A \frac{e_a}{m_a} e^{i\mathbf{k}_a \cdot \mathbf{r}} \mathbf{p}_a. \quad (23)$$

Причём из материального уравнения (24):

$$\vec{A}_0 = A_0 \vec{e}. \quad (24)$$

$$A_0 = \sqrt{\frac{2\pi\hbar n}{\omega}} \cdot c. \quad (32)$$

Для оператора возмущения $v(\vec{r})$ имеем в итоге выражение (25):

$$v(\mathbf{r}) = -\frac{1}{c} A_0 \sum_{a=1}^A \frac{e_a}{m_a} e^{i\mathbf{k}_a \cdot \mathbf{r}} \mathbf{p}_a. \quad (25)$$

Классическое представление излучения и фотоны. Выше было указано, что электромагнитное поле излучения фотона представлено в классической форме ($\text{div} \vec{A} = 0$) плоской поперечной монохроматической электромагнитной волны (21). Из курса квантовой механики известно, что электромагнитная волна, состоящая из фотонов, не может иметь любую интенсивность [4, 6, 11-15, 17]. Для этого амплитуду векторного потенциала A_0 нормируем так, чтобы она соответствовала n фотонам в единице объёма. В этом случае усреднённая по времени плотность энергии электромагнитной волны будет равна энергии n фотонов, согласно выражению (26):

$$\frac{1}{8\pi} \langle \mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2 \rangle = n\hbar\omega, \quad (26)$$

Используя выражения (27)...(29):

$$\langle \vec{E}^2 \rangle = \langle \vec{H}^2 \rangle, \quad (27)$$

$$\vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}, \quad (28)$$

$$\langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2}, \quad (29)$$

получаем значение усреднённой по времени плотности энергии электромагнитной волны для n фотонов, согласно выражению (30):

$$\frac{1}{8\pi} \langle \mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2 \rangle = \frac{A_0^2 \omega^2}{2\pi c^2}. \quad (30)$$

Приравняв между собой два выражения (26) и (30), получаем равенство (31):

$$\frac{A_0^2 \omega^2}{2\pi c^2} = n\hbar\omega. \quad (31)$$

Откуда получаем значение нормированной амплитуды векторного потенциала A_0 для n фотонов в единице объёма, в соответствие с выражением (32):

Так как нам важен только процесс поглощения излучения фотонов, то в дальнейшем для плоской электромагнитной волны используем следующее выражение (33)

$$\vec{A}(\vec{r}, t) = \sqrt{\frac{2\pi\hbar n}{\omega}} c e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}. \quad (33)$$

Нормируем плоскую волну так, чтобы она давала один фотон в единице объёма, тогда в конечном итоге получаем выражение (34):

$$\vec{A}(\vec{r}, t) = \sqrt{\frac{2\pi\hbar}{\omega}} c e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}. \quad (34)$$

Классификация фотонов и мультипольные волны. Состояния квантовых систем (атома и ядра) характеризуются определёнными значениями момента количества движения J и чётности P . Поэтому в любом процессе, в котором такие квантовые системы переходят из одного состояния в другое, должны учитываться правила отбора по моменту и чётности. Если атом или ядро переходят из одного состояния в другое в результате поглощения электромагнитного излучения, то законы сохранения момента количества движения и чётности требуют, чтобы поглощенное излучение также имело определённые значения J и P . Поэтому участвовать в атомных и ядерных процессах может лишь такое электромагнитное излучение, волновая функция которого — собственная функция операторов момента и чётности [4, 6, 11–15, 17].

Векторный потенциал $\vec{A}(\vec{r}, t)$ плоской электромагнитной волны не имеющей определённого момента и чётности, разлагается в ряд по состояниям с определёнными значениями момента количества движения J и чётности P по мультипольным волнам или мультиполям [4, 6, 11–15, 17]. Отдельные члены такого разложения будут отвечать электромагнитным волнам (фотонам) с определёнными значениями момента и чётности, которые могут быть поглощены атомами и ядрами. Наша задача состоит в том, чтобы перейти от поля фотонов с определённым значением импульса $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ к полю фотонов с определёнными значениями момента количества движения J и чётности P .

Полный момент количества движения фотона J принимает целочисленные значения, начиная с единицы: $J = 1, 2, 3, \dots$ Невозможность для фотона

$J = 0$ следует из того, что электромагнитная волна поперечна и поэтому не может быть описана сферически симметричной волновой функцией.

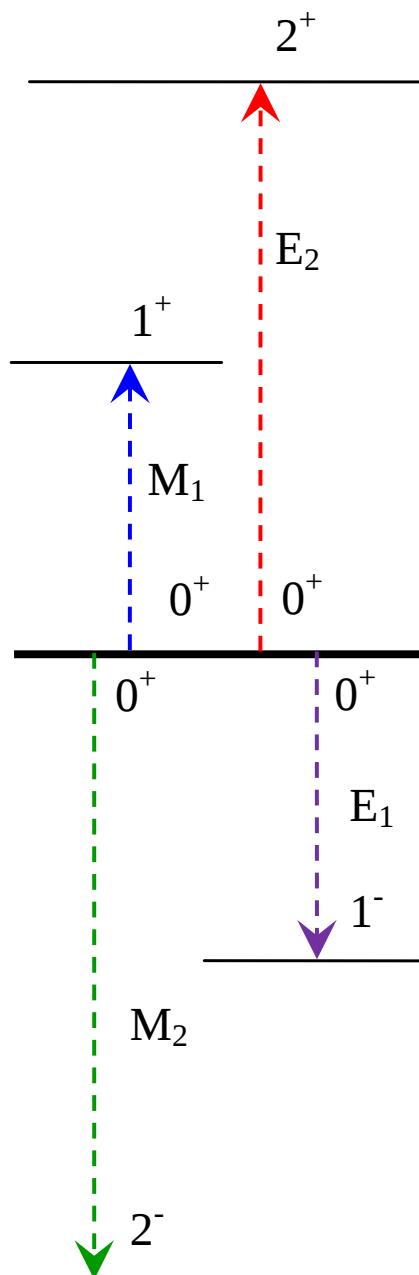


Рис. 2. Спинно-орбитальная модель функционирования конечного состояния электрических и магнитных переходов в квантовой системе фотона за время наблюдения $\tau \approx 10^{-18}$ сек, при нулевом спине $S = 0$ и уровне отсчёта, определяемом положительной чётностью $JP_i = 0^+$.

К фотону неприменимо обычное определение спина как момента количества движения в системе покоя, так как такой системы для фотона не существует. Поскольку, фотон — квант векторного поля, а любое векторное поле пригодно для описания частицы со спином 1, рассматривая свойства векторного поля по отношению к вращениям системы координат, то фотону удобно приписать спин $S = 1$. Из этого следует, что полный момент фотона $\vec{J}$ можно формально рассматривать

как векторную сумму спинового $\vec{S}$ и орбитального $\vec{L}$ моментов — $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, причём орбитальный момент L в данном случае не что иное, как ранг сферических функций Y_{Lm} , входящих в состав волновой функции фотона [4–12].

Фотоны с определённым значением J называются $2J$ -польными (дипольными, если $J = 1$; квадрупольными, если $J = 2$; октупольными, если $J = 3$ и т.д.). Для данного J квантовое число

орбитального момента L может принимать три значения: $L = J+1$, J , $J-1$ так как спин фотона $S = 1$.

Чётность фотона P_ϕ определяется правилом, согласно выражению (35):

$$P_\phi = (-1)^{L+1}. \quad (35)$$

Поэтому фотоны с одинаковым J могут иметь различные значения орбитального момента, а следовательно, и чётности. Фотоны, для которых орбитальный момент совпадает с полным — $L = J$, имеют чётность $(-1)^{J+1}$ и называются магнитными M_J -фотонами. Фотоны, для которых $L = J \pm 1$, имеют чётность $(-1)^J$ и называются электрическими E_J -фотонами. Таким образом, фотоны электрического типа, в отличие от фотонов магнитного типа, не имеют определённого значения орбитального момента. Их волновая функция является линейной комбинацией состояний с $L = J \pm 1$ [4–17].

Для описания электрического (EJ) и магнитного (MJ) излучений используются электрические и магнитные

потенциалы A_{JM}^E и A_{JM}^M , которые можно рассматривать как собственные функции E_J и M_J излучений, имеющих проекцию полного момента, равную M . Разложение плоской электромагнитной волны по мультиполям есть разложение по характеристическим функциям A_{JM}^E и A_{JM}^M [4–17].

Наиболее простой вид это разложение имеет тогда, когда плоская электромагнитная волна поляризована по кругу и её волновой вектор $\vec{k}$ направлен вдоль оси Oz [4–9, 11–17]. В этом частном случае разложение по мультиполям имеет вид (36):

$$A(\mathbf{r}, t) = A_0 \mathbf{e}_p e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)} = A_0 e^{i\omega t} \sum_{J=1}^{\infty} i^J \sqrt{2\pi(2J+1)} (iA_{Jp}^E + pA_{Jp}^M) \quad (36)$$

где $\vec{e}_p$ — базисные векторы комплексной циркулярной системы координат, причём левой круговой поляризации отвечает $p = +1$, а правой $p = -1$. В соответствии с этим проекция полного момента фотона принимает значения $M = \pm 1$.

Для наиболее простого случая, когда начальное состояние квантовой системы имеет нулевой спин $S = 0$ и положительную чётность $J^P_i = 0^+$, возможные конечные состояния (J^P_f) системы, возникающие при поглощении

дипольных и квадрупольных фотонов электрического и магнитного типа, показаны на рис. 2.

Если волновой вектор $\vec{k}$ имеет произвольное направление, то разложение по мультиполям [4–9, 11–17] представляет собой более сложное выражение (37):

$$A(\mathbf{r}, t) = A_0 \mathbf{e}_p e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)} = A_0 e^{i\omega t} \sum_{J=1}^{\infty} \sum_{M=-J}^J i^J \sqrt{2\pi(2J+1)} D_{Mp}^J(\varphi, \theta, 0) (iA_{Jp}^E + pA_{Jp}^M) \quad (37)$$

где $p = \pm 1$, D_{Mp}^J — матрица вращений, зависящая от углов $\hat{\theta}$ и $\hat{\varphi}$, которые определяют направление волнового вектора $\vec{k}$ в полярной системе координат. В этом случае проекция полного момента фотона M принимает все возможные значения: $M = +J, \pm(J-1), \dots$

Практическое применение новых квантовых свойств фотона. В последнее время началось массовое, серийное производство квантовых генераторов и источников лазерного излучения, а также микропроцессоров на квантовых началах с использованием понятия наличия и изменения собственного орбитального заряда у фотона при серийном производстве мощных, высокопроизводительных и сверхбыстродействующих современных компьютеров. Использование идеи российских учёных о наличии постоянно изменяющегося во времени и в пространстве собственного

орбитального заряда фотона легло фундаментальной основой при создании сверхмощного (до 1 МВт) и дальнего действующего боевого лазера (до 220 км), используемого в ограниченном контингенте ВКС РФ в Сирии. Скорость передачи узкокогерентным пучком фотонов модулированной бит-информации в 10^{10} раз больше, чем при передаче аналогичной цифровой информации с использованием электронов в качестве основных носителей заряда и переносчиков информации от источника (передатчика) к своим потребителям (приёмнику).

В этой связи необходимо отметить, что боевой лазер, установленный на эсминцы “Ross” и “Donald Cook” ВМС США имеют мощность до 100 кВт при эффективной дальности поражения цели и противника на расстояние до 30 км. Причём, если на американских военных кораблях лазерная установка работает на полную мощность, то сам корабль или же боевой автомобиль останавливаются и не имеют возможность идти

своим ходом, т.к. не хватает необходимой проектной мощности, тем самым представляя из себя прекрасную неподвижную цель для торпедно-ракетных атак противника с подводных атомных подводных лодок или же надводных кораблей, с береговых ПЗРК, типа С-400 “Триумф”, а также с воздуха, используя истребители-бомбардировщики. Российский же боевой лазер состоит из одного рабочего, боевого реактора, одного резервного, контрольного реактора и одного реактора для необходимой начально-ускоряющей подкачки. Первые два (боевых) реактора работают на быстрых нейтронах, с использованием собственного, орбитального заряда у узконаправленного, когерентного пучка фотонов, летящих на обнаруженную цель или противника, а третий реактор подкачки функционирует на медленных (тепловых) нейтронах.

Российский боевой лазер работает совершенно автономно, независимо от функционирования энергетической установки военного корабля. Что является большим достижением российской военной инженерной мысли. Российская лазерная установка имеет три автономных, независимых уровня охлаждения рабочего тела — квантового автогенератора непрерывного и импульсного типа генерации фотонного пучка с выхода боевого лазера.

Выводы:

1. Выявлены более новые физические свойства фотона, на атомно-молекулярном уровне взаимодействия излучения и поглощения фотонов при переходе электронов с внешних, удалённых орбит атомов вещества на более низкую орбиту вращения вокруг ядра атомов.

2. Опытным путём обнаружен быстроменяющийся во времени и в пространстве, собственный орбитальный отрицательный и положительный заряды фотона.

3. Фотон — квазинейтральная элементарная частица в природе, обладающая быстроменяющимся во времени и в пространстве зарядом от «-1e» — отрицательный заряд, численно равный заряду элементарного электрона и до «+1e» — положительный заряд, численно равный заряду элементарного позитрона, как античастице электрона.

4. Время существования положительного или отрицательного собственного заряда фотона равно $\tau \approx 0,2 \cdot 10^{-18}$ с, когда величина положительного заряда равна $Q^+ = +0,8e \dots +1e$ и отрицательного заряда равна $Q^- = -0,8e \dots -1e$.

5. Масса фотона будет для каждой частоты, в рассматриваемом диапазоне, своя, отдельная, отличающаяся друг от друга.

6. Интенсивность, инверсность, мощность и сила лазерного излучения сильно зависят от диапазона рабочих частот входного сигнала.

7. У фотона существует только так называемая релятивистская масса, отличная от

нуля, так как его действительная (реальная) масса, в состоянии покоя равна нулю $m_{\phi 0} = 0$.

8. Скорость фотона в состоянии покоя отсутствует $v_{\phi 0} = 0$, так как фотон движется со скоростью света как поперечная электромагнитная волна, в определённой среде.

9. Поперечная, монохроматическая, электромагнитная волна, проходя через своё нулевое значение, характеризуется тем, что в этой точке значение заряда фотона начинает уменьшаться по экспоненте со своего максимального значения $Q_{1+} = 1^+ = +1e$, до нуля $Q_{2+} = 0^+ = +0e$, когда сам фотон практически теряет свою скорость, останавливается, имеет практически свою нулевую массу покоя, при этом у фотона, в этот момент времени, также отсутствуют энергия и импульс движения.

10. За весь период $T = 2\pi$ фотон энергетически нейтрален и его полный заряд $Q_{\phi}^{2\pi} = 0$.

11. Рассмотрена нестационарная теория возмущения квантовой системы в присутствии нестационарного внешнего поля. Возмущение $V^+(\vec{r}, t)$ приводит к тому, что квантовая система теряет энергию $\hbar\omega$ путём вынужденного испускания, $E_f = E_i - \hbar\omega$. Под действием возмущения $V^-(\vec{r}, t)$ система приобретает энергию $\hbar\omega$ и $E_f = E_i + \hbar\omega$.

12. Электромагнитное поле излучения фотона представлено в классической форме плоской поперечной монохроматической электромагнитной волны $\text{div} \vec{A} = 0$. Электромагнитная волна, состоящая из фотонов, не может иметь любую интенсивность.

13. Квантовые переходы происходят в состоянии, обладающие энергией $E_f = E_i \pm \hbar\omega$ и плотностью $\rho(E_f)$ (E_i и E_f — собственные значения оператора H_0 , отвечающие собственным функциям Ψ_i и Ψ_f).

14. Векторный потенциал $\vec{A}(\vec{r}, t)$ плоской электромагнитной волны не имеющей определённого момента и чётности, разлагается в ряд по состояниям с определёнными значениями момента количества движения J и чётности P по мультипольным волнам или мультиполям. Отдельные члены такого разложения будут отвечать электромагнитным волнам (фотонам) с определёнными значениями момента и чётности, которые могут быть поглощены атомами и ядрами вещества.

Использование идеи российских учёных о наличии постоянно изменяющегося во времени и в пространстве собственного орбитального заряда фотона легло фундаментальной основой при создании сверхмощного (до 1 МВт) и дальнего действующего боевого лазера (до 220 км), используемой в ограниченном контингенте ВКС РФ в Сирии.

Скорость передачи узкокогерентным пучком фотонов модулированной бит-информации в 10^{10} раз больше, чем при передаче аналогичной

цифровой информации с использованием электронов в качестве основных носителей заряда и переносчиков информации от источника (передатчика) к своим потребителям (приёмнику).

Библиографические ссылки

1. Федоров Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применение. М.: ДОСААФ. 1988. 192 с.
2. Абрамов А.И., Иванов Б.И. и др. Основные тенденции развития датчиков лазерного излучения // Контант, 2015, № 3, С. 19–26.
3. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения. М.: Машиностроение, 1989. 512 с.
4. Айрапетян В.С., Ушаков О.К. Физика лазеров. Новосибирск: СГГА. 2012. 134 с.
5. Леонович В.Н. Фотон квантовый. Информация к размышлению. Интернет, <http://www.proza.ru/avtor/vleonovich> сайта proza.ru, 2017. 14 с.
6. Прохоров А.М. и др. Физический энциклопедический словарь. // Под ред. А.М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.
7. Леонович В.Н. Концепция физической модели квантовой гравитации. Интернет; <http://www.proza.ru/2011/01/12/1571> сайта proza.ru, 2011. 44 с.
8. Ораевский А.Н. Сверхсветовые волны в усиливающих средах.// Успехи физических наук. М.: ФИАН, Т. 168, № 12, 1998. С. 1311–1321.

9. Леонович В.Н. Импульс фотона, фотонный двигатель и философия. Интернет, <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/13311.html>.

10. Костюшко В.Е. Экспериментальная ошибка П.Н. Лебедева — причина ложного вывода об обнаружении им давления света. // Доклады русскому физическому обществу, Энциклопедия русской мысли. М.: Общественная польза, Т. 16, Ч. 3, 2012. С. 34.

11. Эткин В.А. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). СПб: Наука, 2008, 409 с.

12. Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. // Под ред. В.А. Неганова и С.Б. Раевского. М.: Радиотехника. 2009. 744 с.

13. Прохоров А.М. и др. Справочник по лазерам. // Под ред. А.М. Прохорова; пер. с англ. с изм. и доп., Т. 1, 2. М.: Советское радио. 1978. 400 с.

14. Звелто О. Принципы лазеров. Пер. с англ. М.: Мир. 1990. 558 с.

15. Мэйтленд А., Дан М. Введение в физику лазеров. Пер. с англ. М.: Наука, 1978, 407 с.

16. Шноль С.Э. Космофизические факторы в случайных процессах. // Svenska fysikarkivat, Stockholm (Швеция), 2009. 388 с.

17. Фейнман Ричард, Лейтон Роберт, Сэндс Мэттью. Фейнмановские лекции по физике. Тома 8, 9-Квантовая механика, М.: Мир, 1966. 528 с.

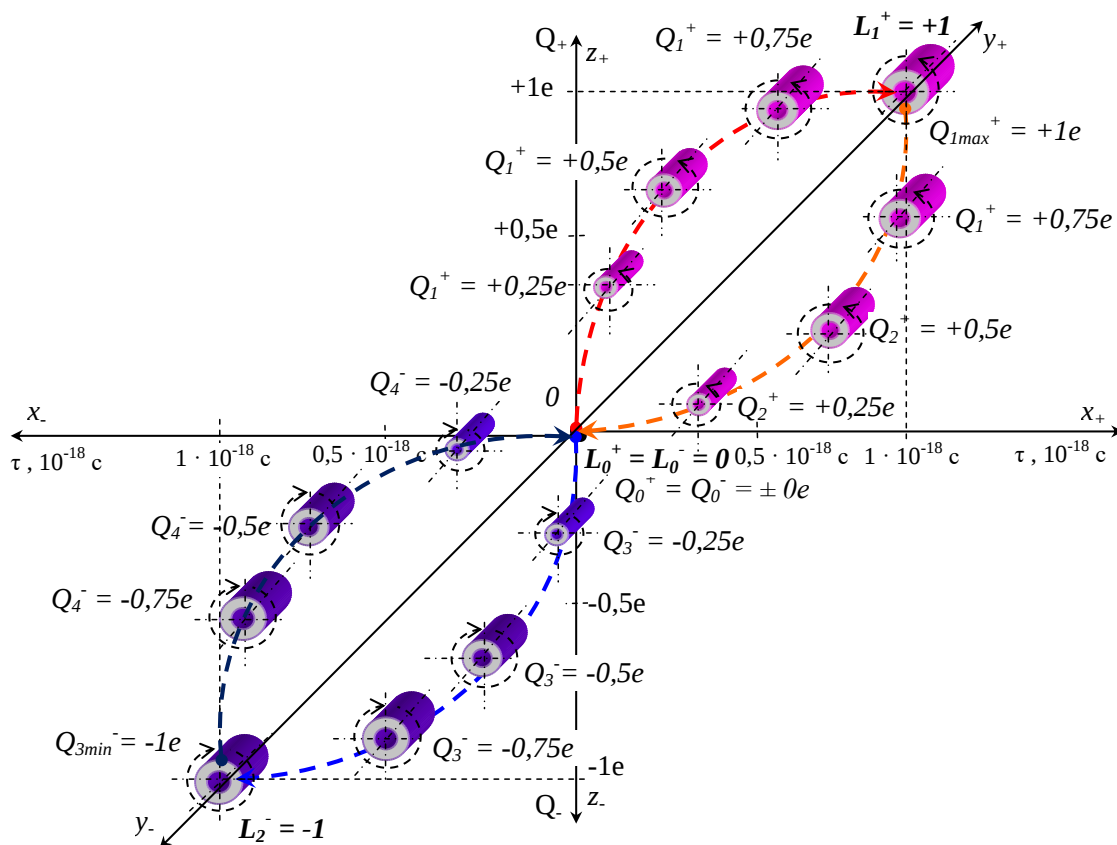


Рис. 1. Спинно-орбитальная модель существования фотона и изменение его собственного орбитального заряда за время наблюдения $\tau = 2 \cdot 10^{-18}$ с.

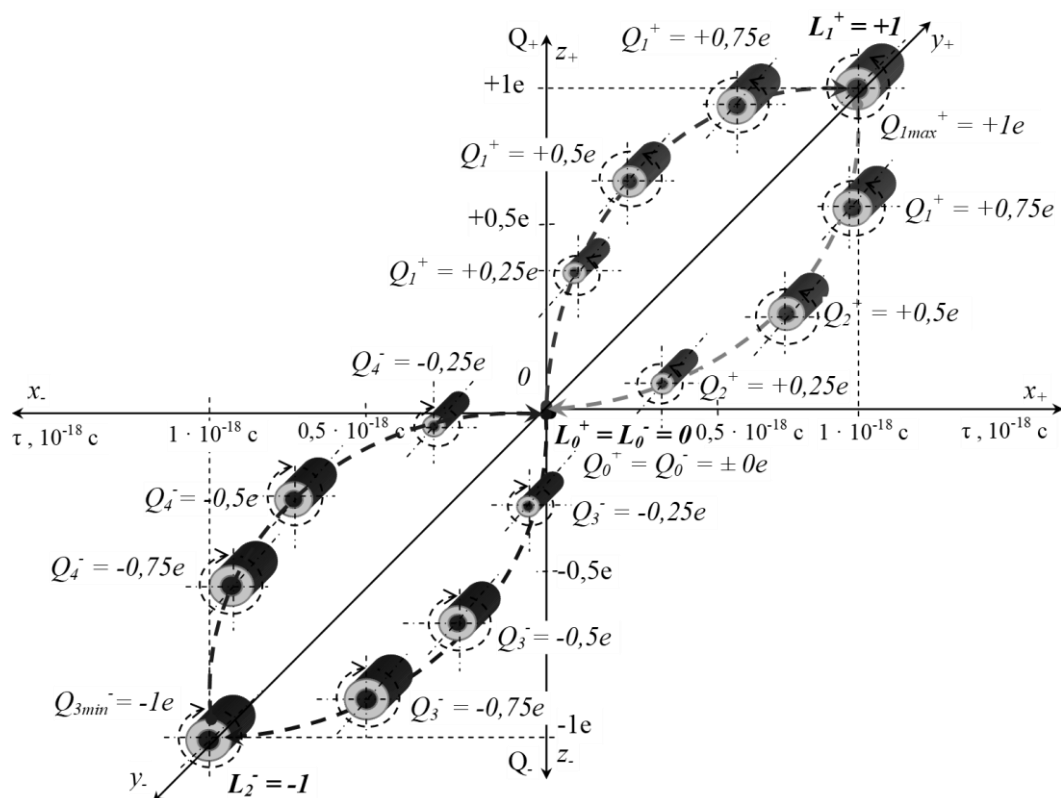


Рис. 1. Спинно-орбитальная модель существования фотона и изменение его собственного орбитального заряда за время наблюдения $\tau = 2 \cdot 10^{-18}$ с.

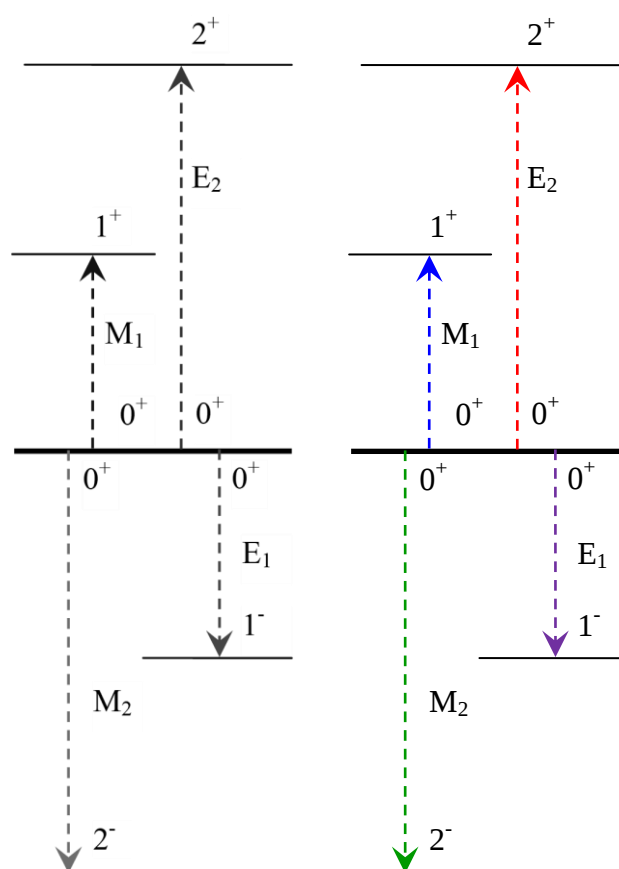


Рис. 2. Спинно-орбитальная модель функционирования конечного состояния электрических и магнитных переходов в квантовой системе фотона за время наблюдения $\tau \approx 10^{-18}$ сек, при нулевом спине $S = 0$ и уровне отсчёта, определяемом положительной чётностью $J\pi = 0^+$.

*Зейналлы Субхия Мамедовна
Мамедова Шарафат Наримановна
Аббасова Самира Вагифовна
Гурбанова Афет Гахрамановна*

*Город Гянджа, Гянджинский Государственный Университет
Кандидат математических наук, старший преподаватель*

ВВЕДЕНИЕ СХЕМ ПОНЯТИЙ ПРЕДЕЛА И НЕПРЕРЫВНОСТИ.

*Zeynalli Subhiya Mammadovna
Mamedova Sharafat Narimanovna
Abbasova Samira Vagifovna
Gurbanova Afet Gahraman*

*Ganja City, Ganja State University
PhD in Mathematics, Senior Lecturer, Ganja State University*

INTRODUCTION OF LIMIT AND CONTINUITY CONCEPTS.

Аннотация. Вычисление предела не дает нового знания (кроме подтверждения непрерывности) и поэтому мотивировка введения понятия затруднена. В связи с этим представляет интерес анализ одной из принятых во французской средней школе схем введения понятий предела и непрерывности.

Abstract. Calculation of the limit does not provide new knowledge (other than confirmation of continuity) and therefore the motivation for introducing the concept is difficult. In this regard, it is of interest to analyze one of the schemes adopted in the French secondary school for introducing the concepts of limit and continuity.

Ключевые слова: функция, значение, предел, непрерывность, аргумент, промежуток, число, интерпретация.

Keywords: function, value, limit, continuity, argument, interval, number, interpretation.

При изучении темы «Предел функции» обычно первым (а иногда и единственным) из вводимых определений является определение конечного предела функции в точке: $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = b$, $\Leftrightarrow$ если для любого положительного числа ε найдется такое положительное число δ , что при $x \neq a$, $\Leftrightarrow |x - a| < \delta \Rightarrow |f(x) - b| < \varepsilon$.

Хорошо известны трудности, связанные с усвоением этого определения и разъяснением его на примерах. Все знакомые учащимся элементарные функции непрерывны. Предел такой функции f равен ее значению $f(a)$ в рассматриваемой точке a . Очень сложное определение сводится к словам «подставив a вместо x ...». (Эту возможность «нахождения предела» замечают все учащиеся. Отсюда — опасность порочного круга, так как именно для обоснования непрерывности решаются упражнения на вычисление пределов непрерывных функций.)

Программа 1973 г. предусматривает изучение поведения линейной функции, квадратичной функции и обратной пропорциональности на границах областей определения секций C и E , так и, например, секций A и B (учащиеся которых «ориентируются на изучение литературы и экономики»).

Используются примеры наиболее известных учащимся функций: $f(x) = ax + b$, $f(x) = ax^2$. Значительную роль при этом играют интуитивные представления о неограниченном возрастании. Заметим, что графики функций не используются (они появляются позже, как результат исследования). Их место занимает теоретико-

множественная интерпретация, порожденная представлениями о функции как о частном случае отношения и удачно использующая интерпретацию решений соответствующих неравенств. Наглядные представления возникают также благодаря так называемым таблицам изменения (рис. 1, 3, 4, 5).

Процесс изучения понятия предела можно условно разбить на три этапа. Первый этап (II класс) связан с исследованием конкретных функций, а именно их поведения при неограниченном увеличении (уменьшении) аргумента ($f(x) = 2x + 5$, $f(x) = x^2$) и в концах открытых промежутков области определения ($f(x) = \frac{1}{x}$).

Терминология, обозначения и формулировки будущих определений появляются как выражения обнаруженных свойств рассматриваемых функций $f(x) = ax + b$ при «больших» значениях x .

Пример 1а. Рассматривается функция $x \xrightarrow{f} f(x) = 2x + 5$.

Находится ее область определения и выясняется характер изменения (возрастания). С увеличением аргумента значения функции возрастают. Ставится вопрос о характере возрастания: верно ли, что значения функции превзойдут, например, число 10^{15} ? Любое заданное число A ?

Равносильность $(2x + 5 > A) \Leftrightarrow (x > \frac{A-5}{2})$

показывает, что существует число B , равное $\frac{A-5}{2}$, такое, что $(x > B) \Rightarrow (2x + 5 > A)$, или, иначе, такое, что $(x \in]B; +\infty[) \Rightarrow ((2x + 5) \in]A; +\infty[)$ (рис. 2).

Рис.2 напоминает с одной стороны, определение функции (стрелки), с другой-решение неравенства $f(x) > A$.

Полученное свойство кратко записывают так: $f(x) \rightarrow +\infty$ при $x \rightarrow +\infty$ ($f(x)$ стремится к $+\infty$, когда x стремится к $+\infty$).

Пример 1б. Рассматривается функция $x \xrightarrow{f} f(x) = 2x + 5$.

Таблица изменения (рис.1) показывает, что функция определена при каких угодно больших по абсолютной величине отрицательных значениях

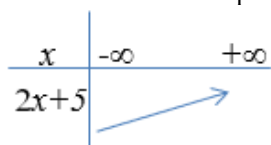


рис. 1.

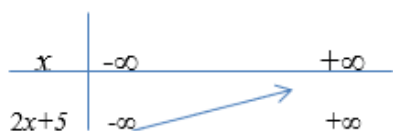


рис. 3

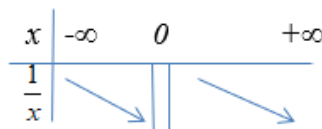


Рис.5

Этот факт записывают так: $f(x) \rightarrow -\infty$ при $x \rightarrow -\infty$. Таблица изменения функции $f(x) = 2x + 5$ дополняется так, как показано на рис.3.

Пример 2. Пусть $x \rightarrow f(x) = x^2$. По таблице изменения (рис. 4) замечаем, что чем больше абсолютная величина x , тем больше его квадрат. Может ли x^2 превзойти A ? $(x^2 > A) \Leftrightarrow (x > \sqrt{A} \text{ или } x < -\sqrt{A})$.

Каково бы ни было данное положительное число A , можно найти число B равное $\sqrt{A}$ или, такое, что $(x^2 > A) \Leftrightarrow (x > \sqrt{A} \text{ или } x < -\sqrt{A})$.

Каково бы ни было данное положительное число A , можно найти число B , равное $\sqrt{A}$, такое, что $(x > B) \Rightarrow (x^2 > A)$ и $(x < -B) \Rightarrow (x^2 > A)$,

аргумента. При этом значения функции становятся все меньше и меньше при уменьшении аргумента. Станут ли они меньше, чем любое наперед заданное число?

Равносильность $(2x + 5 < A) \Leftrightarrow (x < \frac{A-5}{2}) \Leftrightarrow$ показывает, $\Leftrightarrow$

что существует число B , равное $\frac{A-5}{2}$, такое, что

$$(x < B) \Rightarrow$$

$\Rightarrow (2x + 5 < A)$, или, иначе, такое, что $(x \in]-\infty; B[) \Rightarrow (2x + 5) \in]-\infty; A[)$.

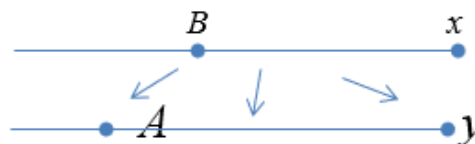


рис 2

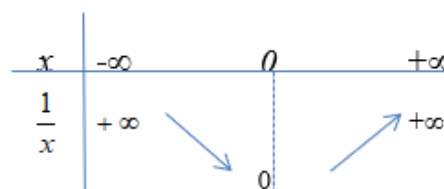


рис. 4

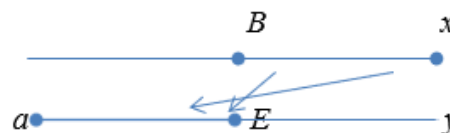


Рис.6

иначе говоря $(x \in]B; +\infty[) \Rightarrow (x^2 \in]A; +\infty[)$ и $(x \in]-\infty; -B[) \Rightarrow (x^2 \in]A; +\infty[)$

Литература

1. Верченко А.И. Преобразование содержания курса математики в средних школах – Математика в школе. 1974, №1.
2. Theron P., Mordelet C. Mathematiques, classe de 2-e C. Col. Cossart et Theron, bordas, Paris, 1973.
3. Thuizat A., Girault G. Introduction a l'analyse, Classe de seconde AB, C et T, Col. Durrande, Maths., techn.et Vulg. Paris, 1974
4. Копченкова Н.В., Марон И.А. Вычислительная математика в примерах и задачах. – М.: Наука, 1972. – 369 с.

Kraus Y.

graduate student

Bar-Ilan University

Sokolovsky S.

candidate of physical and mathematical sciences,

Associate Professor Department of Physics

Pridniprovsk State Academy of Architecture and Engineering

RELAXATION PHENOMENA FOR ELECTRON IN CRYSTAL AND A GENERALIZATION OF CHAPMAN-ENSKOG METHOD

Краус Яир

аспирант

Университет имени Бар-Илана

Соколовский Сергей

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНА В КРИСТАЛЛЕ И ОБОБЩЕНИЕ МЕТОДА ЧЕПМЕНА-ЭНСКОГА

Summary. Relaxation of velocity and temperature of electron in crystal has been investigated. The problem was analyzed on the basis of kinetic equation for electron in equilibrium phonon bath with the help of the reduced description method that lead to a generalization of standard Chapman-Enskog method. It was shown that proposed by Landau method of investigation of relaxation phenomena in plasma corresponds to the simplest approximation in the framework of theory developed in the present paper.

Аннотация. Изучена релаксация скорости и температуры электрона в кристалле. Задача проанализирована на основе кинетического уравнения для электрона в равновесном фоновом термостате с помощью метода сокращенного описания, что ведет к обобщению стандартного метода Чепмена-Энскога. Показано, что предложенный Ландау метод изучения релаксационных явлений в плазме соответствует простейшей аппроксимации в рамках теории, развитой в настоящей работе.

Key words: *relaxation phenomena in two component systems, generalized Chapman-Enskog method, Landau approximation.*

Ключевые слова: *релаксационные явления в двухкомпонентной системе, обобщенный метод Чепмена-Энскога, приближение Ландау.*

Настоящая работа посвящена кинетике однородных состояний электрона в кристалле. В качестве параметров сокращенного описания использованы его температура T и скорость u_n . В рассматриваемой модели электрон взаимодействует с равновесной системой фононов, имеющей температуру T_0 и нулевую среднюю скорость (покоящаяся кристаллическая решетка). Таким образом, речь идет о релаксации температур и скоростей в двухкомпонентной системе.

Впервые задачу о выравнивании температур компонент рассмотрел Ландау [1]. В основу рассмотрения было положено кинетическое уравнение для двухкомпонентной плазмы, называемое теперь уравнением Ландау. Фактически это есть уравнение приближения слабого взаимодействия с дополнительным обрезанием в интеграле по передаваемому при столкновениях импульсу [2]. При вычислении времени релаксации было предположено, что в компонентах плазмы быстро устанавливается равновесие с некоторыми температурами, которые затем медленно выравниваются. Медленность процесса релаксации связывалась с большим

различием масс частиц компонент, что учитывалось в вычислениях как наличие дополнительного малого параметра [1].

Ландау при решении описанной задачи использовал распределения Максвелла. Однако это не означает, что они представляют собой неравновесную функцию распределения системы. Настоящая работа возникла из попытки понять, как выглядит в этой ситуации неравновесная функция распределения. Для упрощения рассмотрена задача о кинетике однородных состояний частицы, слабо взаимодействующей с равновесным термостатом. При этом влиянием частицы на термостат в термодинамическом пределе можно пренебречь. Для большей определенности нами изучаются релаксационные явления для электрона в кристалле, где роль второй равновесной компоненты играет равновесный фононный газ.

В основу работы положено обобщение метода Чепмена-Энскога, которое вытекает из его понимания как метода сокращенного описания, примененного для решения кинетических уравнений (см. стандартное изложение метода в [2 с. 32-37, 3 с. 124-138]). Идея такого отношения к

методу Чепмена-Энскога фактически заложена в работе Боголюбова [4] (см. также [2]).

ИСХОДНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Кинетическое уравнение для описания однородных состояний электрона в кристалле можно записать в виде [5]

$$\begin{aligned} \partial_t f_p(t) = \mathbf{L}f_p(t) &\equiv \int d^3p M(p, p') f_{p'}(t) \\ M(p, p') &\equiv \frac{1}{(2\pi)^2 \hbar} \int d^3k g_k^2 \{ n_k \delta(p' - [p - k\hbar]) - (1 + n_k) \delta(p' - p) \} \times \\ &\quad \times \delta(\varepsilon_{p-k\hbar} + \hbar\omega_k - \varepsilon_p) + \\ &\quad + \frac{1}{(2\pi)^2 \hbar} \int d^3p g_k^2 \{ (1 + n_k) \delta(p' - [p + k\hbar]) - n_k \delta(p' - p) \} \times \\ &\quad \times \delta(\varepsilon_p + \hbar\omega_k - \varepsilon_{p+k\hbar}). \end{aligned} \quad (1)$$

(см. также [6]). Здесь n_k – равновесные числа заполнения фононов при температуре T_0 , p_n – импульс электрона, k_n – волновой вектор фонона, ε_p – энергия электрона, $\hbar\omega_k$ – энергия фонона

$$\begin{aligned} n_k &= \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega_k}{T_0}} - 1}, \\ \varepsilon_p &= \frac{p^2}{2m} \end{aligned} \quad (3)$$

(m – масса электрона). В модели Фрелиха, пригодной для описания полярона, функции ω_k и g_k выбираются в виде

$$\omega_k = \omega, \quad g_k = 2 \frac{\hbar\omega}{k} \sqrt{\frac{\pi\alpha}{k_0}} \quad (k_0 = \sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}}), \quad (4)$$

где α – безразмерная малая постоянная Фрелиха [5, 7 с. 259], k_0 – характерное значение волнового вектора.

В основу рассмотрения положим функциональную гипотезу

$$f_p(t) \xrightarrow{t \gg \tau_0} f_p(T(t, f_0), u(t, f_0)) \quad (f_{0p} \equiv f_p(t = 0)), \quad (5)$$

где температура $T(t, f_0)$ и средняя скорость $u_n(t, f_0)$ электрона определены формулами

$$\begin{aligned} \int d^3p f_p(t) p_l &\xrightarrow{t \gg \tau_0} m n u_l(t, f_0), \\ \int d^3p f_p(t) \varepsilon_p &\xrightarrow{t \gg \tau_0} n \left[\frac{3}{2} T(t, f_0) + \frac{m u(t, f_0)^2}{2} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

в которых n – постоянная “плотность электронов”

$$\int d^3p f_p(t) = n. \quad (7)$$

Соотношение (5) означает, что сокращенное описание наступает при временах t , значительно больших характерного времени τ_0 , и указывает на независимость $f_p(T, u)$ от f_{0p} .

Функциональная гипотеза (5) ведет к замкнутым уравнениям для величин $T(t, f_0)$, $u_n(t, f_0)$

$$\begin{aligned} \partial_t T(t, f_0) &= L_0(T(t, f_0), u(t, f_0)), \\ \partial_t u_l(t, f_0) &= L_l(T(t, f_0), u(t, f_0)), \end{aligned} \quad (8)$$

где обозначено

$$L_0(T, u) = \frac{2}{3n} \int d^3p (\varepsilon_p - p_l u_l) \mathbf{L}f_p(T, u) \quad L_l(T, u) = \frac{1}{mn} \int d^3p p_l \mathbf{L}f_p(T, u). \quad (9)$$

В свою очередь, функция распределения $f_p(T, u)$ удовлетворяет кинетическому уравнению (1) при сокращенном описании

$$\frac{\partial f_p(T, u)}{\partial T} L_0(T, u) + \frac{\partial f_p(T, u)}{\partial u_l} L_l(T, u) = \mathbf{L} f_p(T, u), \quad (10)$$

а также дополнительным условиям

$$\int d^3 p f_p(T, u) p_l = m n u_l$$

$$\int d^3 p f_p(T, u) \varepsilon_p = n \left(\frac{3}{2} T + \frac{m u^2}{2} \right) \quad (11)$$

Приведенные уравнения являются основными уравнениями метода сокращенного описания применительно к рассматриваемой проблеме.

ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ЧЕПМЕНА-ЭНСКОГО

В своей стандартной формулировке метод Чепмена-Энскога [2 с. 32-37, 3 с. 124-138] ориентирован на исследование гидродинамической эволюции. Обобщения этого метода возможны на основе его понимания как частного случая метода сокращенного описания, примененного к решению кинетического уравнения.

Изучим явления в системе вблизи равновесия, когда $T - T_0$ и u_l являются малыми величинами одного порядка μ . Ищем функцию распределения $f_p(T, u)$ в виде разложения по μ

$$f_p(T, u) = f_p^{(0)} + f_p^{(1)} + O(\mu^2). \quad (12)$$

Простой анализ на основе (1), (2), (10), (11) и соображений вращательной инвариантности показывает, что

$$f_p^{(1)} = A_p p_l u_l + B_p (T - T_0) \quad (13)$$

где A_p, B_p – некоторые функции от модуля импульса, удовлетворяющие уравнениям

$$\mathbf{L} A_p p_l = -\lambda_u A_p p_l,$$

$$\int d^3 p \varepsilon_p A_p = \frac{3}{2} n;$$

$$\mathbf{L} B_p = -\lambda_T B_p,$$

$$\int d^3 p \varepsilon_p B_p = \frac{3}{2} n. \quad (14)$$

Сюда входят коэффициенты λ_u, λ_T , которые определяют эволюцию параметров T, u_l

$$L_0^{(1)} = -\lambda_T (T - T_0),$$

$$L_l^{(1)} = -\lambda_u u_l, \quad (15)$$

то есть $\tau_T \equiv \lambda_T^{-1}$, $\tau_u \equiv \lambda_u^{-1}$ являются временами релаксации для температуры T и скорости u_l .

Функции $A_p p_l, B_p$ являются собственными функциями оператора $\mathbf{L}$, отвечающими собственным значениям λ_u, λ_T . Спектральную задачу для $\mathbf{L}$ можно обсуждать в терминах матрицы $M(p, p')$ из (2). Поскольку она вещественна, но не симметрична, должны быть введены ее правые и левые собственные функции $\psi_n(p), \chi_n(p)$

$$\int d^3 p M(p, p') \psi_n(p') = -\lambda_n \psi_n(p),$$

$$\int d^3 p \chi_n(p) M(p, p') = -\lambda_n \chi_n(p')$$

$$\int d^3 p \chi_n(p) \psi_{n'}(p) = \delta_{n'n},$$

$$\sum_n \chi_n(p) \psi_n(p') = \delta(p' - p) \quad (16)$$

Матрица $M(p, p')$ обладает свойствами, которые удобно описывать в терминах матрицы $K(p, p')$, определяемой формулой

$$M(p, p') \varphi_{p'} = -\varphi_p K(p, p'). \quad (17)$$

Согласно (2), (16) это дает

$$\varphi_{p'} K(p, p') = \frac{1}{(2\pi)^2 \hbar} \int d^3 k g_k^2 n_k \int d^3 p \varphi_p \{ \delta(p - p') - \delta(p + k\hbar - p') \} \times$$

$$\times \{ \delta(p - p'') - \delta(p + k\hbar - p'') \} \delta(\varepsilon_p + \hbar \omega_k - \varepsilon_{p+k\hbar})$$

$$\varphi_p K(p, p') = \varphi_{p'} K(p', p); \quad (18)$$

$$\int d^3 p' K(p, p') \chi_n(p') = \lambda_n \chi_n(p), \psi_n(p) = \varphi_p \chi_n(p) \quad (19)$$

При определении скалярного произведения формулой

$$(C_p, D_p) \equiv \int d^3 p \phi_p C_p D_p \quad (20)$$

оператор, отвечающий матрице $K(p, p')$, является симметричным, а система векторов $\chi_n(p)$ -

ортонормированной и полной. При этом квадратичная форма

$$\{C_p, D_p\} = \int d^3 p d^3 p' \varphi_p K(p, p') C_p D_{p'} \quad (21)$$

обладает свойствами

$$\{C_p, D_p\} = \{D_p, C_p\}, \quad \{C_p, C_p\} \geq 0 \quad (22)$$

и очень полезна при решении кинетического уравнения. Из (22) следует положительность собственных значений λ_n (исключение: собственному вектору $\chi_0 = 1$ отвечает $\lambda_0 = 0$).

Заметим, что изложенное обобщение метода Чепмена-Энскога позволяет в следующем порядке теории возмущений по μ выйти за рамки простой линеаризации и получить нелинейные уравнения для T, u_l .

Приближенное решение полученных уравнений

Перейдем к приближенному решению уравнений (14). Согласно (1), (2), (14), (17) после замены

$$\begin{aligned} A_p &\equiv n\varphi_p \tilde{A}_p, \\ B_p &\equiv n\varphi_p \tilde{B}_p, \end{aligned} \quad (23)$$

для функций $\tilde{A}_p, \tilde{B}_p$ получим следующие уравнения

$$\begin{aligned} \int d^3 p' K(p, p') p'_l \tilde{A}_{p'} &= \lambda_u p_l \tilde{A}_p, \\ (\tilde{A}_p, \varepsilon_p) &= \frac{3}{2}; \\ \int d^3 p' K(p, p') \tilde{B}_{p'} &= \lambda_T \tilde{B}_p, \\ (\tilde{B}_p, \varepsilon_p) &= \frac{3}{2}. \end{aligned} \quad (24)$$

Будем искать их решение в виде ряда по полиномам Сонина $S_\alpha^n(x)$ [8 с.49]

$$\tilde{A}_p = \sum_{n=0}^{\infty} a_n S_{\frac{3}{2}}^n \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right),$$

$$\tilde{B}_p = \sum_{n=0}^{\infty} b_n S_{\frac{1}{2}}^n \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right)$$

$$(S_\alpha^0 = 1, S_\alpha^1 = \alpha + 1 - x), \quad (25)$$

которые нормированы условиями

$$\int d^3 p \varphi_p p^2 S_{\frac{3}{2}}^n \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right) S_{\frac{3}{2}}^{n'} \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right) = x_n \delta_{n'n},$$

$$x_n \equiv \frac{4mT_0}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma(n+5/2)}{n!},$$

$$\int d^3 p \varphi_p S_{\frac{1}{2}}^n \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right) S_{\frac{1}{2}}^{n'} \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right) = y_n \delta_{n'n},$$

$$y_n \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma(n+3/2)}{n!} \quad (26)$$

Тогда уравнения (24) дают

$$\sum_{n'=0}^{\infty} A_{nn'} a_{n'} \sqrt{x_{n'}} = \lambda_u a_n \sqrt{x_n},$$

$$a_0 = \frac{1}{T_0};$$

$$\sum_{n'=0}^{\infty} B_{nn'} b_{n'} \sqrt{y_{n'}} = \lambda_T b_n \sqrt{y_n},$$

$$b_0 - b_1 = \frac{1}{T_0}, \quad (27)$$

где введены симметричные, положительно определенные матрицы

$$\begin{aligned} A_{nn'} &= \frac{1}{\sqrt{x_n x_{n'}}} \left\{ p_l S_{\frac{3}{2}}^n \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right), p_l S_{\frac{3}{2}}^{n'} \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right) \right\}, \\ B_{nn'} &= \frac{1}{\sqrt{y_n y_{n'}}} \left\{ S_{\frac{1}{2}}^n \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right), S_{\frac{1}{2}}^{n'} \left(\frac{\varepsilon_p}{T_0} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (28)$$

Вычисление a_n в приближении одного полинома, а b_n в приближении двух полиномов (т.е. самое простое приближение) дает

$$a_0 = \frac{1}{T_0},$$

$$\lambda_u = \frac{1}{3mT_0} \{p_l, p_l\};$$

$$b_0 = 0,$$

$$b_1 = -\frac{1}{T_0},$$

$$\lambda_T = \frac{2}{3T^2} \{\varepsilon_p, \varepsilon_p\};$$

$$f_p(T, u) = \frac{n}{(2\pi mT)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{\varepsilon_p - \mu u}{T}} + O(\mu^2). \quad (29)$$

Это приближение может быть названо приближением Ландау поскольку в известной работе [1] он использовал при анализе релаксации

температур в качестве неравновесной функции распределения $f_p(T, u)$ распределение Максвелла с $T \neq T_0$ (релаксация скоростей рассмотрена в [9]).

В заключение настоящей работы вычислим собственные значения λ_u, λ_T по формулам (29). Учитывая выражение (18) для матрицы $K(p, p')$, получим

$$\lambda_u = \frac{\hbar}{(2\pi)^2} \int d^3 k g_k^2 n_k \frac{k^2}{3mT_0} \delta(k),$$

$$\lambda_T = \frac{\hbar}{(2\pi)^2} \int d^3 k g_k^2 n_k \frac{2\omega_k^2}{3T_0^2} \delta(k), \quad (30)$$

где введена скалярная функция

$$\delta(k) = \int d^3 p \varphi_p \delta(\varepsilon_p + \hbar \omega_k - \varepsilon_{p+k\hbar}). \quad (31)$$

Поскольку $\delta(k)$ зависит только от модуля k , направим k_l вдоль оси p_z в импульсном пространстве и введем в нем сферические координаты. Это даст

$$\delta(k) = \frac{m}{k\hbar} \int d\Omega \int_0^\infty dp p \varphi_p \delta\left(\cos \theta - \frac{1}{p} \left[\frac{m\omega_k}{k} - \frac{k\hbar}{2} \right]\right) =$$

$$= \frac{2\pi m}{k\hbar} \int_{R_k}^{+\infty} dp p \varphi_p = \frac{m}{k\hbar \sqrt{2\pi m T_0}} e^{-\frac{R_k^2}{2mT_0}},$$

где

$$R_k = \left| \frac{m\omega_k}{k} - \frac{k\hbar}{2} \right|.$$

Ограничиваясь далее случаем полярона Фрелиха (4), получим

$$\delta(xk_0) = \frac{m}{k_0 \hbar \sqrt{2\pi m T_0}} \frac{1}{x} e^{-vy(x)},$$

$$v \equiv \frac{\hbar\omega}{T_0},$$

$$y(x) \equiv \frac{(2-x^2)^2}{8x^2}.$$

Возвращаясь теперь к выражениям (30) для λ_u, λ_T , получим

$$\lambda_u = \frac{4\omega\alpha}{3\sqrt{2\pi}} \frac{v^{\frac{3}{2}}}{sh\frac{v}{2}} K_1\left(\frac{v}{2}\right),$$

$$\lambda_T = \frac{4\omega\alpha}{3\sqrt{2\pi}} \frac{v^{\frac{5}{2}}}{sh\frac{v}{2}} K_0\left(\frac{v}{2}\right), \quad (32)$$

где $K_\alpha(x)$ – функции Макдональда, определяемые интегралом

$$\int_0^\infty dx x^{\alpha-1} e^{-px} e^{-q/x} = 2 \left(\frac{q}{p}\right)^{\alpha/2} K_\alpha(2\sqrt{pq}). \quad (33)$$

(см. [10], формула 3.471.9). В случае высоких температур $T_0 \gg \hbar\omega$ эти выражения можно упростить с учетом разложений функций $K_\alpha(x)$ при $x \rightarrow 0$

$$K_0(x) = \ln x + O(x^0),$$

$$K_1(x) = \frac{1}{x} + O(x \ln x) \quad (34)$$

(см. [10], формулы 8.446, 8.447.3). В результате соотношения (32) дают

$$\lambda_u \approx \frac{16\omega\alpha}{3\sqrt{2\pi}} v^{-\frac{1}{2}},$$

$$\lambda_T \approx \frac{8\omega\alpha}{3\sqrt{2\pi}} v^{\frac{3}{2}} \ln v \quad (T_0 \gg \hbar\omega). \quad (35)$$

Отсюда видно, что при $T_0 \gg \hbar\omega$ скорость электрона u_l быстро затухает, а его температура T медленно приближается к фононной T_0 .

Выводы

На основе обобщения метода Чепмена-Энскога в духе метода сокращенного описания удалось понять пределы применимости приближения Ландау в его теории релаксации в двухкомпонентных системах. Вычислено время релаксации скорости и температуры электрона в кристалле. Предложенный метод позволяет изучить нелинейные эффекты в релаксационных явлениях.

Настоящая работа выполнена при поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Украины (грант 2.7 / 418).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ландау Л.Д. Кинетическое уравнение в случае кулоновского взаимодействия // ЖЭТФ.-1936.- Т.7 - С.203.

Ахизер А. И., Пелетминский С. В. Методы статистической физики. - М.: Наука, 1977, 368 с.

Ферцигер Дж., Капер Г. Математическая теория процессов переноса в газах. - М.: Мир, 1976. - 554 с.

Боголюбов Н.Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. - М.-Л.: Гостехиздат, 1946. - 119 с.

Bogolyubov N.N. Kinetic equations for the electron-phonon system // Preprint JINR. - 1978, E17-11822. - 70 p.

Соколовский С.А., Черненко И.М. Кинетическое уравнение для сильно неоднородных состояний электрона в кристалле // Вісник Дніпропетровського університету. Фізика, радіоелектроніка. - 2003, Вип.10. - С.152-159.

Давыдов А.С. Теория твердого тела.- М.: Наука, 1976, 640 с.

Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. - М.: Наука, 1979. - 528 с.

Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы.- М.: Высшая школа, 1988.- 424 с.

Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений,- М.: Наука, 1971.- 1108 с.

Kraus Y.

graduate student

Bar-Ilan University

Sokolovsky S.

candidate of physical and mathematical sciences,

Associate Professor Department of Physics

Pridniprovskaya State Academy of Architecture and Engineering

A GENERALIZED CHAPMAN-ENSKOG METHOD IN THEORY OF ELECTRON DIFFUSION IN CRYSTAL

Краус Яир

аспирант

Университет имени Бар-Илана

Соколовский Сергей

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ЧЕПМЕНА-ЭНСКОГА В ТЕОРИИ ДИФФУЗИИ ЭЛЕКТРОНА В КРИСТАЛЛЕ

Summary. Diffusion of an electron in crystal was studied on the base of a kinetic equation obtained without assumption about a weak non-uniformity of state of the system. A generalized Navier-Stokes approximation was developed and a correction for diffusion coefficient was calculated. It was emphasized that weak consistency of the Burnett approximation results in standard approaches with experiment can be related with neglecting by influence of non-uniformity of the system on interaction of its particles. For enough small gradients of parameters, which describe state of the system, contributions of the generalized Navier-Stokes approximation can have a bigger order then the Burnett terms.

Аннотация. Изучена диффузия электрона в кристалле на основе кинетического уравнения, выведенного без предположения о слабой неоднородности состояния системы. Развито обобщенное приближение Навье-Стокса и вычислена поправка к коэффициенту диффузии. Отмечено, что слабая согласованность результатов анализа приближения Барнетта с экспериментом может быть связана с пренебрежением в стандартных подходах влиянием неоднородности системы на взаимодействия ее частиц. При достаточно малых градиентах параметров, описывающих состояние системы, вклады обобщенного приближения Навье-Стокса могут иметь больший порядок, чем барнеттовские члены.

Key words: *strong non-uniform states, generalized Chapman-Enskog method, non-classical polynomials.*

Ключевые слова: *сильно неоднородные состояния, обобщенный метод Чепмена-Энскога, неклассические полиномы.*

Настоящая работа посвящена кинетике сильно неоднородных состояний электрона в кристалле. При этом в первую очередь имеется в виду учет влияния неоднородности состояния системы на элементарные процессы взаимодействия частиц системы. Исследование этой проблемы осложняется тем, что отсутствуют качественные соображения, которые можно положить в основу рассмотрения. Оно может быть выполнено только в рамках последовательной теории неравновесных процессов, какой является метод сокращенного описания неравновесных процессов Боголюбова (см., например, [1, 2 с.175-196]). В работе рассматривается кинетическое уравнение для электрона в кристалле, взаимодействующего с равновесным фоновым полем. Это уравнение было выведено в работе авторов [3] методом сокращенного описания без предположения о слабой неоднородности состояния электрона, описываемого вигнеровской функцией распределения. Поэтому оно может служить

основой для изучения влияния сильной неоднородности на диффузию электрона в кристалле.

Задача настоящей работы возникла в результате анализа причин малой полезности в приложениях приближения Барнетта в кинетической теории. В литературе отмечалось несколько причин этой ситуации: рассматриваемые в гидродинамике разложения по градиентам являются асимптотическими и учет новых членов разложения скорее всего не улучшит результат [4 с.155]; теория взаимодействующих мод предсказывает наличие в уравнениях гидродинамики членов меньших вкладов Навье-Стокса, но больших вкладов Барнетта [5]. Нами замечено, что имеется еще одна причина, связанная с возможной зависимостью интеграла столкновений от градиентов функции распределения. Впервые такая зависимость фактически была найдена Боголюбовым при выводе им кинетических уравнений Ландау и

Больцмана [1]. Однако ее влияние на явления переноса до сих пор не обсуждалась. Более того, продолжают исследования барнеттовских вкладов в уравнения гидродинамики на основе интеграла столкновения пространственно-однородного случая (см., например, [6]).

ИСХОДНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Кинетическое уравнение для вигнеровской функции распределения электрона $f_p(x, t)$, полученное в работе [3], имеет вид

$$\partial_t f_p(x, t) = -\frac{p_n}{m} \frac{\partial f_p(x, t)}{\partial x_n} + I_p(x, f(t)), \quad (1)$$

где интеграл столкновений $I_p(x, f)$ дается формулой

$$I_p(x, f) = \frac{1}{4\pi^3 \hbar^2} \int_{-\infty}^0 d\tau \int d^3 k g_k^2 \left\{ n_k f_{p-k\hbar} \left(x + \frac{k\hbar}{2m} \tau \right) - (1 + n_k) f_p \left(x - \frac{k\hbar}{2m} \tau \right) \right\} \times \\ \cos \frac{\tau}{\hbar} (\varepsilon_{p-k\hbar} + \hbar \omega_k - \varepsilon_p) + \\ + \frac{1}{4\pi^3 \hbar^2} \int_{-\infty}^0 d\tau \int d^3 k g_k^2 \left\{ (1 + n_k) f_{p+k\hbar} \left(x - \frac{k\hbar}{2m} \tau \right) - n_k f_p \left(x + \frac{k\hbar}{2m} \tau \right) \right\} \times \cos \frac{\tau}{\hbar} (\varepsilon_p + \hbar \omega_k - \varepsilon_{p+k\hbar}) \quad (2)$$

Здесь n_k – равновесные числа заполнения фононов, p_n – импульс электрона, k – волновой вектор фонона, ε_p – энергия электрона, $\hbar \omega_k$ – энергия фонона, g_k – функция, определяющая интенсивность электрон-фононного взаимодействия

$$n_k = \frac{1}{e^{\frac{\hbar \omega_k}{T_0}} - 1}, \quad \varepsilon_p = \frac{p^2}{2m}, \quad g_k \equiv \alpha_k \left(\frac{\hbar}{2\omega_k} \right)^{\frac{1}{2}}$$

(в модели Фрелиха полагают $\omega_k = \omega$, $\alpha_k = \frac{\lambda}{k}$; T_0 – температура фононного термостата, m – масса электрона). Для того, чтобы сосредоточиться на основной проблеме, полностью пренебрегаем поляризационными и спиновыми эффектами. Кинетическое уравнение (1) справедливо с точностью до членов третьего порядка по константе взаимодействия λ включительно. Оно

является обобщением уравнения, полученного в работе [7] для пространственно однородного случая, где изучалась та же самая модель.

Изучим на основе уравнения (1) диффузию электрона в кристалле, при которой его состояние описывается плотностью $n(x, t)$. Согласно функциональной гипотезе Боголюбова (см., например, [1, 2 с.33]), функция распределения электрона имеет при этом структуру $f_p(x, n(t))$, где $f_p(x, n) \equiv f_p(x, n(x'))$ – некоторый функционал от $n(x)$, обладающий свойством

$$n(x) = \int dp f_p(x, n). \quad (3)$$

Интеграл столкновений $I_p(x, f)$, очевидно, приводит к закону сохранения “числа частиц”

$$\partial_t n(x, t) = -\frac{\partial j_l(x, n(t))}{\partial x_l}, \quad j_l(x, n) \equiv \int d^3 p \frac{p_l}{m} f_p(x, n). \quad (4)$$

Временное уравнение для $n(x, t)$ (4) и описывает диффузию электрона. Задача заключается в вычислении потока “числа частиц” $j_l(x, n)$ в теории возмущений по градиентам плотности

$$\frac{\partial^s n(x)}{\partial x_{l_1} \dots \partial x_{l_s}} \sim g^s, \quad g \ll 1. \quad (5)$$

Функционал $f_p(x, n)$ удовлетворяет согласно (1), (4) следующему уравнению

$$-\int d^3 x' \frac{\delta f_p(x, n)}{\delta n(x')} \frac{\partial j_l(x', n)}{\partial x'_l} + \frac{p_l}{m} \frac{\partial f_p(x, n)}{\partial x_l} = I_p(x, f(n)), \quad (6)$$

которое следует решать совместно с соотношением (3). При этом согласно (3) можно считать, что

$$\frac{\partial^s f_p(x, n)}{\partial x_{l_1} \dots \partial x_{l_s}} \sim g^s. \quad (7)$$

Отметим, что эта теория эквивалентна методу Чепмена-Энскога решения кинетического уравнения (1), (2), на что было указано еще Боголюбовым [1].

ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ЧЕПМЕНА-ЭНСКОГА

Будем искать решение уравнения (6) для $f_p(x, n)$ в виде ряда по степеням g

$$f_p(x, n) = f_p^{(0)} + f_p^{(1)} + f_p^{(2)} + O(g^3). \quad (8)$$

Учтем, что интеграл столкновений $I_p(x, f)$ также следует разложить по градиентам

$$I_p(x, f) = I_p^{(0)}(x, f) + I_p^{(1)}(x, f) + I_p^{(2)}(x, f) + O(g^3), \quad (9)$$

представив члены разложения в виде

$$I_p^{(s)}(x, f) = \int d^3 p' M_{l_1 \dots l_s}(p, p') \frac{\partial^s f_{p'}(x)}{\partial x_{l_1} \dots \partial x_{l_s}}. \quad (10)$$

В использовании разложения интеграла столкновений по градиентам и состоит наше

$$I_p^{(0)}(x, f) = \frac{1}{4\pi^2 \hbar} \int d^3 k g_k^2 \{n_k f_{p-k\hbar}(x) - (1 + n_k) f_p(x)\} \delta(\varepsilon_{p-k\hbar} + \hbar \omega_k - \varepsilon_p) + \\ + \frac{1}{4\pi^2 \hbar} \int d^3 k g_k^2 \{(1 + n_k) f_{p+k\hbar}(x) - n_k f_p(x)\} \delta(\varepsilon_p + \hbar \omega_k - \varepsilon_{p+k\hbar}) \quad (11)$$

и обладает обычной больцмановской структурой (см. [2 с.233]).

Согласно (3), (6), (8), (9) $f_p^{(0)}(x, n)$ удовлетворяет уравнениям

$$0 = I_p^{(0)}(x, f^{(0)}(n)), \\ n(x) = \int d^3 p f_p^{(0)}(x, n). \quad (12)$$

Обычные соображения показывают, что функция $f_p^{(0)}(x, n)$ пропорциональна распределению Максвелла

$$f_p^{(0)}(x, n) = n(x) \phi_p, \\ \phi_p \equiv \frac{1}{(2\pi m T_0)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{\varepsilon_p}{T}}; \\ \int d^3 p' M(p, p') \phi_{p'} = 0. \quad (13)$$

Формула (4) теперь показывает, что соответствующий вклад в поток отсутствует $j_l^{(0)}(x, n) = 0$.

Вклад первого порядка по градиентам $f_p^{(1)}$ в функцию распределения электрона определяется согласно (3), (6), (8), (9) уравнениями

$$\frac{p_l}{m} \frac{\partial f_p^{(0)}}{\partial x_l} = I_p^{(0)}(x, f^{(1)}) + I_p^{(1)}(x, f^{(0)}), \\ 0 = \int d^3 p f_p^{(1)}. \quad (14)$$

Соображения вращательной инвариантности показывают, что функция $f_p^{(1)}$ имеет структуру

$$f_p^{(1)} = \phi_p p_l \frac{\partial n}{\partial x_l} A_p, \quad (15)$$

обобщение метода Чепмена - Энскога (см. стандартное изложение метода в [2 с.32-37, 4 с.124-138]). Основной вклад в интеграл столкновений $I_p^{(0)}(x, f)$ дается при этом формулой

где величина A_p является скаляром. Учитывая соотношения (10), (13), приходим к следующим уравнениям для функции A_p

$$\frac{1}{m} \phi_p p_l (1 - \alpha_p) = \int d^3 p' M(p, p') \phi_{p'} p'_l A_{p'}, \\ 0 = \int d^3 p \phi_p p_l A_p. \quad (16)$$

Сюда входит скалярная величина α_p , которую можно вычислить по формуле

$$\int d^3 p' M_l(p, p') \phi_{p'} \equiv \phi_p \alpha_p \frac{p_l}{m}. \quad (17)$$

Функция α_p учитывает в рассматриваемом приближении влияние неоднородности состояния системы на процессы электрон-фоонного взаимодействия. При этом второе уравнение в (16) (дополнительное условие) выполняется тождественно. Функция $f_p^{(1)}$ позволяет найти соответствующий вклад в поток "числа частиц" (4)

$$j_l^{(1)} = -D_0 \frac{\partial n}{\partial x_l}, \\ D_0 = - \int d^3 p \frac{p^2}{3m} \phi_p A_p. \quad (18)$$

Это выражение имеет вид обычного закона Фика с коэффициентом диффузии D_0 . Функция $f_p^{(1)}$ отвечает обобщенному приближению Навье - Стокса в теории явлений переноса на основе кинетического уравнения (см. [2 с.36, 4 с.149]). Стандартному подходу соответствует пренебрежение в уравнении (16) вкладом функции $\alpha_p \sim \lambda^2$. Поэтому формулы (16), (18) дают поправку к обычному выражению для коэффициента диффузии.

Вклад второго порядка по градиентам $f_p^{(2)}$ в функцию распределения электрона определяется согласно (3), (6), (8), (9) уравнениями

$$-\phi_p \frac{\partial j_l^{(1)}}{\partial x_l} + \frac{p_l}{m} \frac{\partial f_p^{(1)}}{\partial x_l} = I_p^{(0)}(x, f^{(2)}) + I_p^{(1)}(x, f^{(1)}) + I_p^{(2)}(x, f^{(0)}), \\ 0 = \int d^3 p f_p^{(2)}. \quad (19)$$

Соображения вращательной инвариантности показывают, что функция $f_p^{(2)}$ имеет структуру

$$f_p^{(2)} = \phi_p (B_p \delta_{ll'} + C_p \Delta_{p,ll'}) \frac{\partial^2 n}{\partial x_l \partial x_{l'}},$$

$$\Delta_{p,ll'} \equiv p_l p_{l'} - \frac{1}{3} p^2 \delta_{ll'}. \quad (20)$$

Здесь B_p, C_p – некоторые скалярные функции, которые являются решениями следующих уравнений

$$\begin{aligned} \phi_p \left(\frac{1}{3m} A_p p^2 - \beta_p + D_0 \right) &= \int d^3 p' M(p, p') \phi_{p'} B_{p'}, \quad 0 = \int d^3 p \phi_p B_p; \\ \phi_p \Delta_{p,ll'} \left(\frac{1}{m} A_p - \gamma_p \right) &= \int d^3 p' M(p, p') \phi_{p'} \Delta_{p',ll'} C_{p'}, \quad 0 = \int d^3 p \phi_p C_p \Delta_{p,ll'}. \end{aligned} \quad (21)$$

Сюда входят коэффициенты, определяемые при анализе предыдущего приближения

$$\frac{1}{2} \int d^3 p' \{ M_l(p, p') p_{l'}' + M_{l'}(p, p') p_l' \} \phi_{p'} A_{p'} + \int d^3 p' M_{ll'}(p, p') \phi_{p'} = \phi_p (\beta_p \delta_{ll'} + \gamma_p \Delta_{p,ll'}) \quad (22)$$

Дополнительное условие на функцию C_p в (22) в силу соображений вращательной инвариантности выполнено тождественно. Дополнительное условие на функцию B_p в (22) можно выполнить, выбирая подходящее решение интегрального уравнения (22) для этой функции (согласно (13) B_p определена с точностью до аддитивной постоянной).

Функция $f_p^{(2)}$ отвечает приближению Барнетта в теории явлений переноса на основе кинетического уравнения (см., например, [4 с.149, 6 с.67]). От стандартного подхода наше рассмотрение отличается наличием функций, которые описывают влияние неоднородности состояния электрона на процессы его взаимодействия с фононами. Соображения вращательной инвариантности показывают, что барнеттовские вклады в поток “числа частиц” отсутствуют $j_l^{(2)} = 0$. Следует однако отметить, что при рассмотрении явлений переноса в других системах барнеттовские вклады в общем случае отличны от нуля. При достаточно малых градиентах гидродинамических переменных наши дополнительные вклады в приближение Навье-Стокса могут быть больше обычных барнеттовских вкладов в потоки. Это может быть причиной плохого согласия обычного приближения Барнетта с экспериментом, отмечавшегося в литературе [4 с.155].

НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ПОЛИНОМЫ В РЕШЕНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДА ЧЕПМЕНА-ЭСКОГА

Обобщенный метод Чепмена-Энскога приводит к интегральным уравнениям типа (16), (22), которые не могут быть точно решены. Для их приближенного решения можно использовать метод разложения решения по некоторой системе ортогональных полиномов, широко применяемый в обычной теории [5 с.138-141, 6 с.48-53, 7]. В рамках этого подхода конечно учитываются и дополнительные условия на искомые функции, приведенные в (16), (23). Обсудим здесь только решение интегрального уравнения (16) для A_p , которое можно искать в виде разложения

$$A_p = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \phi_n(\alpha p^2) \quad (\alpha \equiv \frac{1}{2mT_0}), \quad (23)$$

где $\phi_n(x)$ – полином n -ой степени. Полиномы $\phi_n(x)$ строятся с помощью схемы ортогонализации Грамма-Шмидта, основанной на следующем определении скалярного произведения

$$(\phi_n, \phi_{n'}) \equiv \frac{\alpha^{\frac{3}{2}}}{2\pi} \int d^3 p h(\alpha p^2) \phi_n(\alpha p^2) \phi_{n'}(\alpha p^2) = \int_0^{+\infty} dx x^{\frac{1}{2}} h(x) \phi_n(x) \phi_{n'}(x) = \delta_{nn'} \quad (24)$$

где $h(x)$ – некоторая положительная весовая функция. Таким путем, например, находим первые два полинома

$$\begin{aligned} \phi_0(x) &= \frac{1}{\sqrt{e_0}}, \\ \phi_1(x) &= \frac{x e_0 - e_1}{\sqrt{e_0(e_2 e_0 - e_1^2)}}; \end{aligned}$$

$$e_s \equiv \int_0^{+\infty} dx h(x) x^{s+\frac{1}{2}}. \quad (25)$$

При исследовании интегральных уравнений типа (16), (22) удобно использовать квадратичную форму, связанную с ядром $M(p, p')$, и определяемую формулой

$$\{A, B\} \equiv \{A_p, B_p\} = - \int d^3 p d^3 p' A_p M(p, p') \phi_{p'} B_{p'} \quad (26)$$

(см. [4 с.104, 8 с.49, 9]). Она является положительно определенной формой, так как ее можно привести к виду

$$\{A, B\} = \frac{1}{4\pi^2\hbar} \int d^3p d^3k g_k^2 n_k \phi_p (A_p - A_{p+k\hbar})(B_p - B_{p+k\hbar}) \times \delta(\varepsilon_p + \hbar\omega_k - \varepsilon_{p+k\hbar}) \quad (27)$$

Для решения уравнения (16) целесообразно выбрать весовую функцию $h(x)$ в виде

$$h(\alpha p^2) = \phi_p p^2 (1 - \alpha_p), \quad (28)$$

так как после этого из (16), (25), (26) вытекает соотношение

$$\{p_i \phi_n, p_i A_p\} = -\delta_{n,0} \frac{\sqrt{e_0}}{m}. \quad (29)$$

С учетом определения (23) оно дает следующую систему уравнений для коэффициентов c_n

$$\sum_{n'=0}^{\infty} a_{nn'} c_{n'} = \delta_{n,0}, \quad (30)$$

где обозначено

$$a_{nn'} = -\{p_i \phi_n, p_i \phi_{n'}\} \frac{m}{\sqrt{e_0}}. \quad (31)$$

Таким образом, выбор весовой функции $h(x)$ в виде (28) упрощает систему уравнений для коэффициентов разложения (23) искомой функции A_p по построенной системе полиномов.

Разложение (23) позволяет выразить коэффициент диффузии D_0 через решение системы уравнений (30). Например, с точностью до первых двух полиномов получим

$$D_0 = \frac{1}{4m\sqrt{e_0}} \left(c_0 + c_1 \frac{5e_0 - 2e_1}{2\sqrt{e_2 e_0 - e_1^2}} \right), \quad (32)$$

где согласно (30)

$$c_0 = \frac{a_{11}}{a_{00}a_{11} - a_{01}a_{10}}, \quad c_1 = \frac{a_{10}}{a_{01}a_{10} - a_{00}a_{11}}. \quad (33)$$

Таким образом, приближенное решение интегрального уравнения (16) в методе ортогональных полиномов найдено.

Выводы

Учет влияния неоднородности состояния системы на столкновения частиц приводит к естественному обобщению метода Чемпен-Энскога. При достаточно малых градиентах гидродинамических переменных обобщенное приближение Навье-Стокса дает в потоки вклад, превышающий вклад стандартного барнеттовского приближения. Без учета этого нового вклада трудно надеяться на согласие теории и эксперимента.

Настоящая работа выполнена при частичной поддержке фонда INTAS в рамках проекта № 00-577.

Список литературы

1. Боголюбов Н.Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. – М.-Л.: Гостехиздат, 1946. – 119 с.
2. Ахиезер А. И., Пелетминский С. В. Методы статистической физики. – М.: Наука, 1977, 368 с.
3. Соколовский С.А., Черненко И.М.

Кинетическое уравнение для сильно неоднородных состояний электрона в кристалле // Вісник Дніпропетровського університету. Фізика, радіоелектроніка. – 2003, Вип.10. – С.152-159.

4. Ферцигер Дж., Капер Г. Математическая теория процессов переноса в газах. – М.: Мир, 1976. – 554 с.

5. Ernst M.H., Dorfman J.R. Nonanalytic dispersion relations for classical fluids. II. The general fluid // Journal of Statistical Physics. – 1974, V.12, No.4. – P.311-359.

6. Sela N., Goldhirsch I. Hydrodynamic equations for rapid flows of smooth inelastic spheres // Journal of Fluid Mechanics- 1998, V.361. – P.41-74.

7. Bogolyubov N.N. Kinetic equations for the electron-phonon system // Preprint JINR. – 1978, E17-11822. – 70 p.

8. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. – М.: Наука, 1979. – 528 с.

9. Беляев Н.Р., Ходусов В.Д. Гидродинамическая теория бозе-квазичастиц. – Харьков: ХНУ, 2003. – 95 с.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК: 547.662. 66.011

Ziyadullaev A.E.

*Doctorate of 3-course of the
Tashkent Chemical Technology Institute*

Nurmonov S.E.

*Doctor of technical sciences, professor,
Faculty of chemistry of the National University of Uzbekistan*

Parmonov A.B.

*Lecturer at the Faculty
of Chemistry of National University of Uzbekistan*

Jumartova U.U.

*Student of 2-course of the Faculty of Chemistry
National University of Uzbekistan*

Mavloniy M.I.

*Head Laboratories Institute of Microbiology
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Doctor of Biological Sciences, academician*

MATHEMATICAL PROCESSING OF THE RESULTS OF SYNTHESIS OF VINYL ETHERS OF CYANURIC ACID

Зиядуллаев А.Э.

*Докторант 3-курса
Ташкентский химико-технологический института*

Нурманов С.Э.

*Доктор технических наук, профессор,
факультет химия Национального университета Узбекистана*

Парманов А.Б.

*Преподаватель химического факультета
Национальный Университет Узбекистана*

Жумартова У.У.

*Магистрантка 2-курса химического факультета
Национальный Университет Узбекистана*

Мавлоний М.И.

*Зав. Лаборатории Институт Микробиологии
Академия наук Республики Узбекистан,
доктор биологических наук, академик*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗА ВИНИЛОВЫХ ЭФИРОВ ЦИАНУРОВОЙ КИСЛОТЫ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования процесса гомогенного каталитического винилирования 2,4,6-тригидрокси 1,3,5-триазина ацетиленом на основе высоко-основны систем: ДМСО, ДМФА; гидроксидов лития, натрия и калия. Определено, что в процессе синтеза образуются моно-, ди- и три-виниловые эфиры триазин. Найдены оптимальные параметры процесса, определено влияние продолжительности проведения реакции и температуры, количества и скорости подачи ацетилена, природы катализаторов и растворителей на выход целевых продукта. Структура синтезированных виниловых эфиров подтверждена данными ИК, ^1H , ^{13}C -ЯМР спектральные анализы. Полученные разработаны математическими моделями и методами. Анализ полученных экспериментальных результатов химического процесса показал их соответствие с теоретическими данными. Разработаны диаграммы результатов энергии активации и динамика изменения кинетических параметров, а также приведи графики аналитических функций.

Определена значение выхода продуктов: показало, что при температуре 80–120 °C продолжительности реакции 6 часов выход виниловых эфиров циануровой кислоты увеличивается: (12,2–18,2) моно-винилового эфира, (14,6–21,8) ди-винилового эфира и (12,4–22,6) % три- винилового эфира соответственно. Установлена, что дальнейшее повышение температуры реакции (140 °C) приводит к уменьшению выхода продуктов до 16,4; 16 и 10,8 % соответственно для моно-, ди- и три-виниловых эфиров. Установлено, что оптимальным режим от проведения экспериментов является: продолжительность 6 часов, температура 120 °C, количество катализатора относительно кислот 10 % от массы кислоты, скорость

подачи ацетилена 4,5 л/сек. Вылены условия максимального выхода общая винилового эфира (62.6%) циануровой кислоты.

Abstract. In article results by investigation of catalytic homogeneous vinylation of 2,4,6-trihydroxy-1,3,5-triazine (cyanuric acid) by acetylene on the base high-based system: DMSO, DMF; hydroxides of lithium, potassium and sodium. It was determined that in process of synthesis mono-, two- and three-vinyl ethers of cyanuric acid have been formed. Optimal parameters of investigated process were determined: influence of duration of reaction temperature and rate of feeding acetylene, nature of using catalysts and solvents on yield of forming products. Structure of the synthesized vinyl ethers was been proved by data of such methods IR, ^1H , ^{13}C -NMR spectral analyzes. Obtain results were treated with using mathematical models and methods. Analysis of obtained experimental results of investigated chemical process has shown corresponding to theoretical data. Diagrams of results of activation energy and dynamics of changing of kinetic parameters have been elaborated and also graphs of analytical functions are also presented. Values of products yields have been determined: it was shown that at temperature of 80–120 °C for and duration of reaction 6 h, yield of vinyl ethers of cyanuric acid have increased: (12.2–18.2) of mono-vinyl ether, (14.6–21.8) two-vinyl ether and (12.4 - 22.6) % three-vinyl ether, correspondence. It was determined that further increase of temperature (140 °C) has carried out to be creasing of yields of products to 16.4; 16 and 10.8 % correspondence for mono-, two- and thee-vinyl ethers. It was determined that optimal regime for carrying out of experiments was: duration of reaction 6 hours, temperature 120 °C, quantity of catalyst relatively of initial reagent (cyanuric acid) - 10 mas %, (from it's mass) and rate feeding of acetylene 4.5 l / sec. The conditions for the maximum yield of total vinyl ester (62.6%) of cyanuric acid were determined.

Ключевые слова: ацетилен, винилирование, виниловый эфир, циануровой кислоты, моно-, ди- и три винил цианурат.

Key words: acetylene, vinylation, ethers of cyanuric acid, mono-, two- and three vinyl cyanurates.

INTRODUCTION

Obtaining complex compounds with the participation of cyanuric acid is becoming relevant in the world industry. The formation of certain cyanuric acid derivatives due to the exchange of a hydrogen atom and sulfur containing compounds by oxygen substitution has been theoretically studied [1]. Also, with the participation of cyanuric acid and melamine, supramolecular clusters were obtained [2-5]. The use of cyanuric acid and some of its homologs is becoming more promising in metallurgy. It should be emphasized that due to the content of the hydrogen atom in the composition of cyanuric acid, it has a special tendency to form the Hamilton complex [6,7]. Because of these properties, cyanuric acid has gained importance for the biochemical and pharmaceutical industries [8-12].

Currently, vinyl esters and ethers are widely used in various industries: including as biological active substances in medicine; monomers for the production of polymers and plastic materials; inhibitors in the oil and gas industry; crosslinking agents in the manufacture of rubber and rubber; adhesives in

microelectronics; various solvents in the textile industry [13-15].

Cyanuric acid and its derivatives are widely used in various industries. The introduction of a vinyl group into a cyanuric acid molecule has increased its biological activity and expands the scope of its using [16-18]. Mathematical processing the results obtained in chemical reactions, finding a mathematical formula for the course of such processes is important at elaboration of technology and determining the technological parameters of the synthesis of organic compounds [19].

In this paper is presented the mathematical processing of the obtained experimental results by catalytic vinylation of cyanuric acid with acetylene.

EXPERIMENTAL

The least squares method has allowed the experimental data to select such analytical function that passes as close to the experimental points as possible. In the general case, the problem can be formulated as follows. Let result of the experiments in a certain experimental dependence $y(x)$, was obtained which in is presented in table:

x	x_1	x_2	x_3	...	x_{n-1}	x_n
y	y_1	y_2	y_3	...	y_{n-1}	y_n

It is necessary to build an analytical dependence $f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)$, that most accurately describes the results of the experiment. To building function parameters $f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)$ the least squares method. Was used which is concluded that

function $f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)$ it in necessities, by such method so that the sum of the squared deviations of the measured values y_i from calculated $Y_i = f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)$ would be the smallest (Fig.1):

$$S(a_1, a_2, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^n [y_i - Y_i]^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)]^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

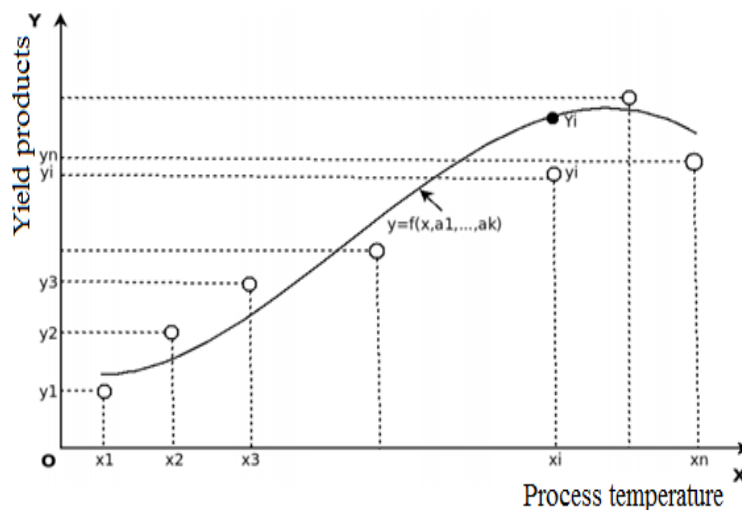


Fig 1. Analytical dependence of product yield on temperature

The task consists of two stages:

1. By use it's the results of the experiments, to determine the appearance of the selected dependence.
2. Choose the coefficients of dependence $Y = f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)$. Mathematical, the problem of selecting the coefficients of dependence is reduced to determining the coefficients a_i from the condition (1).

The sufficient condition for the minimum function $S(a_1, a_2, \dots, a_k)$ (1) is the equality to zero of all its partial derivatives. Therefore, the problem of finding the minimum of function (1) is equivalent to solving a system of algebraic equations:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial S}{\partial a_k} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

If the parameters a_i are introduced in dependence $Y = f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)$ linearly, then system (3) consisting from k linear equations with k unknowns will be obtained:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n 2[y_i - f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)] \frac{\partial f}{\partial a_1} = 0 \\ \sum_{i=1}^n 2[y_i - f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)] \frac{\partial f}{\partial a_2} = 0 \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n 2[y_i - f(x, a_1, a_2, \dots, a_k)] \frac{\partial f}{\partial a_k} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

In general, a system of equations for calculating parameters a_i polynomial $k-1$ –st degree $Y = \sum_{i=1}^k a_i x^{i-1}$ has the form:

$$\begin{cases} a_1 n + a_2 \sum_{i=1}^n x_i + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^{k-1} = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^k = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \dots \\ a_1 \sum_{i=1}^n x_i^k + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} + a_3 \sum_{i=1}^n x_i^{k+2} + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^{2k-2} = \sum_{i=1}^n x_i^k y_i \end{cases} \quad (4)$$

System (4) can be written in matrix form:

$$Ca = g, \quad (5)$$

Elements of the matrix C and vector g are calculated by the formulas:

$$C_{i,j} = \sum_{k=1}^n x_k^{i+j-2},$$

$$i = 1, \dots, k+1, j = 1, \dots, k+1, \quad (6)$$

$$g_i = \sum_{k=1}^n y_k x_k^{i-1}, i = 1, \dots, k+1. \quad (7)$$

Having solved system (4), parameters of dependence $Y = a_1 + a_2 x + a_3 x^2 + \dots + a_{k+1} x^k$ can be determined.

RESULTS AND DISCUSSION

The influence of the nature of the solvent and catalyst, the temperature and the feed rate of acetylene on the formation of vinyl compounds on the base of cyanuric acid has been investigated. Cyanuric acid vinyl compounds were synthesized by catalytic vinylation involving acetylene owing to its active hydrogen atoms [20].

DMSO, DMF were used as a solvent, and LiOH, NaOH, and KOH as catalysts. In this case, the formation of mono-, two- and three-vinyl ethers of cyanuric acid was established. The results showed that

with an increasing of the amount of catalyst, the yield of products has increased.

The activation energy and reaction rate were calculated in order to determine the kinetic parameters

of the synthesis of mono-, two- and three vinyl ethers of cyanuric acids (table 1).

Table 1.

**Kinetic parameters of the synthesis of mono, two, three-vinyl ethers of cyanuric acid
(DMSO solvent, KOH catalyst)**

The duration of the reaction, hour	Temperature, °C	Product yield:		Average reaction rate	
		%	mol/l	% / hour	mol / l.h
Synthesis mono-vinyl ether of cyanuric acid					
6	80	12,2	0,99	4,41	0,22
	100	16,7	1,35	6,03	0,30
	120	18,2	1,47	6,57	0,32
	140	16,4	1,32	5,92	0,28
Synthesis two-vinyl ether of cyanuric acid					
6	80	14,6	1,19	5,28	0,26
	100	18,6	1,51	6,73	0,34
	120	21,8	1,78	7,89	0,40
	140	16,0	1,30	5,27	0,29
Synthesis three-vinyl ether of cyanuric acid					
6	80	12,4	1,01	4,48	0,22
	100	14,8	1,20	5,33	0,26
	120	22,6	1,86	8,15	0,42
	140	10,8	0,88	3,89	0,20

Using the tables, it is possible to elaborate a mathematical model of the reactions. Mathematical model and has been composed an analytic function for each table has been found. According to the results, the

most effective reaction is the reaction, the duration of which is 6 hours. For brevity, mathematically a model of these reactions in presented:

1-table model:

t_i	80	100	120	140
u_i	12.2	16.7	18.2	16.4

$$S(a_1, a_2, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^4 [u_i - U_i]^2 = \sum_{i=1}^4 [u_i - f(t_i, a_1, a_2, a_3, a_4)]^2 \rightarrow \min$$

$$f(t_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = a_1 + a_2 t_i + a_3 t_i^2 + a_4 t_i^3$$

From (2) we obtain system (8) from 4 linear equations with 4 unknowns:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - t_i^3] t_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] t_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 + a_2 t_i + a_3 t_i^2 + a_4 t_i^3] t_i^3 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

From here we get the system:

$$\begin{cases} 4a_1 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^3 = \sum_{i=1}^4 u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^4 = \sum_{i=1}^4 t_i u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^5 = \sum_{i=1}^4 t_i^2 u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^5 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^6 = \sum_{i=1}^4 t_i^3 u_i \end{cases} \quad (9)$$

In matrix form, system (9) can be written as:

$$\begin{pmatrix} 4 & 440 & 50400 & 5984000 \\ 440 & 50400 & 5984000 & 73248 \cdot 10^4 \\ 50400 & 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 919424 \cdot 10^5 \\ 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 919424 \cdot 10^5 & 11777664 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 63,5 \\ 7126 \\ 828600 \\ 99397600 \end{pmatrix}$$

Having solved system (9), we determine the dependence parameters

$$a_1 = -29,8; a_2 = 0,715; a_3 = -18,75 \cdot 10^{-4}; a_4 = -62,496 \cdot 10^{-7}$$

and function $f = -29,8 + 0,715x - 18,75 \cdot 10^{-4}x^2 - 62,496 \cdot 10^{-7}x^3$.

Now using the Maple18 program, it is possible to construct a graph of this function and a diagram of the results (Fig. 2).

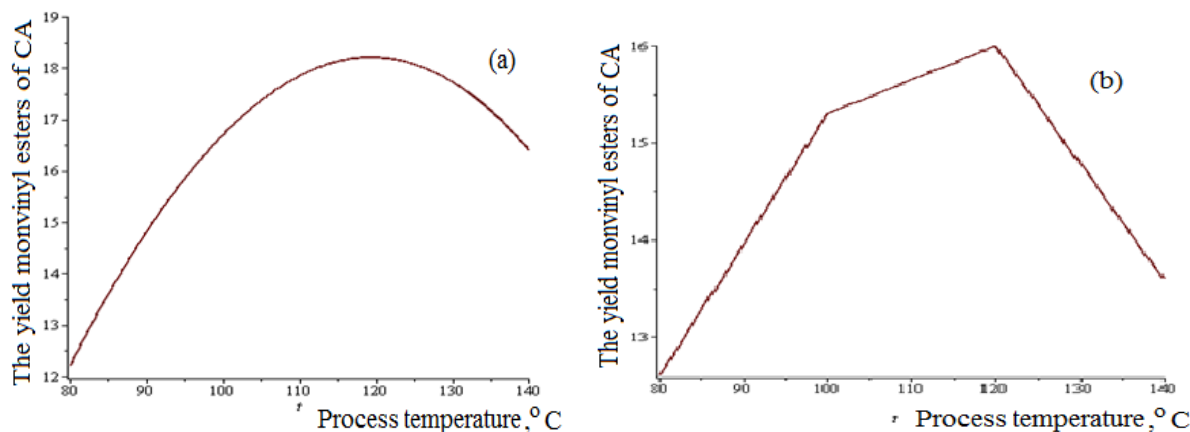


Fig 2. The influence of temperature on the yield of mono-vinyl ester of cyanuric acid; (a) experimentally; (b) the results of mathematical processing.

t_i	80	100	120	140
ϑ_i	4,41	6,03	6,57	5,92
u_i	12.2	16.7	18.2	16.4

$$S(a_1, a_2, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^4 [u_i - U_i]^2 = \sum_{i=1}^4 [u_i - f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4)]^2 \rightarrow \min$$

$$f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2$$

From (2) we obtain system (10) from 4 linear equations with 4 unknowns:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i \vartheta_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] \vartheta_i^2 = 0 \end{cases} \quad (10)$$

From here the following system will be obtained:

$$\begin{cases} a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^2 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^3 \vartheta_i + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i^2 \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 \vartheta_i + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^3 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i \vartheta_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^3 + a_4 \sum_{i=1}^4 \vartheta_i^4 = \sum_{i=1}^4 u_i \vartheta_i^2 \end{cases} \quad (11)$$

System (11) can be written in matrix form:

$$\begin{pmatrix} 50400 & 5984000 & 299164 & 15278,222 \\ 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 35885360 & 1796560,84 \\ 299164 & 35885360 & 1796560,84 & 91864,57586 \\ 15278,222 & 1796560,84 & 91864,57586 & 4791,802388 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7126 \\ 828600 \\ 42315,46 \\ 2204,85599 \end{pmatrix}$$

Having solved system (11), the dependence parameters $a_1 = 0,151887768503185$; $a_2 = -8,17174362595097 \cdot 10^{-6}$; $a_3 = -0,0222409649173869$; $a_4 = 0,432874298761817$ and function $f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = 0,151887768503185t_i - 0,0000817174362595097t_i^2 - 0,0222409649173869t_i \vartheta_i + 0,432874298761817\vartheta_i^2$ have been determined.

2-table model:

t_i	80	100	120	140
u_i	14.6	18.6	21.8	16

$$S(a_1, a_2, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^4 [u_i - U_i]^2 = \sum_{i=1}^4 [u_i - f(t_i, a_1, a_2, a_3, a_4)]^2 \rightarrow \min$$

$$f(t_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = a_1 + a_2 t_i + a_3 t_i^2 + a_4 t_i^3$$

From (2) system (12) of 4 linear equations with 4 unknowns was obtained:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] t_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] t_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] t_i^3 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

From here the following system can be obtained:

$$\begin{cases} 4a_1 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^3 = \sum_{i=1}^4 u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^4 = \sum_{i=1}^4 t_i u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^5 = \sum_{i=1}^4 t_i^2 u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^5 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^6 = \sum_{i=1}^4 t_i^3 u_i \end{cases} \quad (13)$$

System (13) in matrix form can be written as:

$$\begin{pmatrix} 4 & 440 & 50400 & 5984000 \\ 440 & 50400 & 5984000 & 73248 \cdot 10^4 \\ 50400 & 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 919424 \cdot 10^5 \\ 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 919424 \cdot 10^5 & 11777664 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 71 \\ 7884 \\ 906960 \\ 107649600 \end{pmatrix}$$

Solving the system (13), parameters dependence $a_1 = 154,6$; $a_2 = -4,67666$; $a_3 = 0,05025$; $a_4 = 0,0001708336$ and function $f = 154,6 - 4,67666x + 0,05025x^2 + 0,0001708336x^3$, can be determined.

Now, using the program Maple18, a graph of this function and a diagram of the results can be determined (Fig. 3).

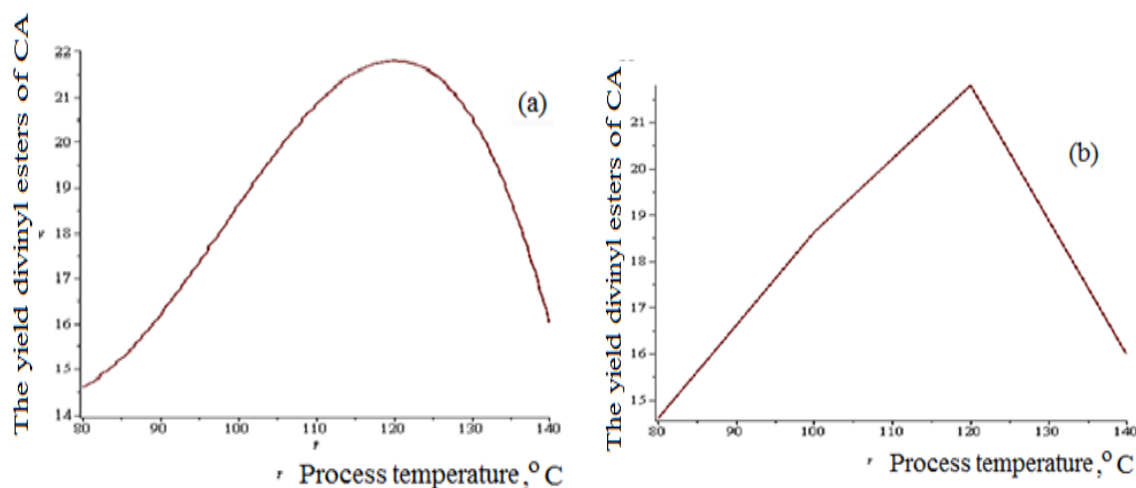


Fig. 3. Effect of temperature on the yield two-vinyl ether of cyanuric acid: (a) experimentally; (b) the results of mathematical processing

t_i	80	100	120	140
ϑ_i	5,28	6,73	7,89	5,27
u_i	14.6	18.6	21.8	16

$$S(a_1, a_2, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^4 [u_i - U_i]^2 = \sum_{i=1}^4 [u_i - f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4)]^2 \rightarrow \min$$

$$f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2$$

From (2) system (14) from 4 linear equations with 4 unknowns will be obtained.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i \vartheta_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] \vartheta_i^2 = 0 \end{cases} \quad (14)$$

From here we get the system:

$$\begin{cases} a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^2 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^3 \vartheta_i + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i^2 \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 \vartheta_i + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^3 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i \vartheta_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^3 + a_4 \sum_{i=1}^4 \vartheta_i^4 = \sum_{i=1}^4 u_i \vartheta_i^2 \end{cases} \quad (15)$$

System (15) can be written in matrix form

$$\begin{pmatrix} 50400 & 5984000 & 318000 & 18118,02 \\ 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 37528160 & 2072129,84 \\ 318000 & 37528160 & 2072129,84 & 121689,0917 \\ 18118,02 & 2072129,84 & 121689,0917 & 7475,309905 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7884 \\ 906960 \\ 51129,88 \\ 3050,93476 \end{pmatrix}$$

Having solved system (15), the dependence parameters $a_1 = 0,18257393692835$; $a_2 = -3,05057318158219 \cdot 10^{-4}$; $a_3 = -0,0174143349854603$; $a_4 = 0,333673055662075$ and function $f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = 0,18257393692835 t_i - 3,05057318158219 \cdot 10^{-4} t_i^2 - 0,0174143349854603 t_i \vartheta_i + 0,333673055662075 \vartheta_i^2$ can be determined.

3-table model:

6	80	12,4	1,01	4,48	0,22
	100	14,8	1,20	5,33	0,26
	120	22,6	1,86	8,15	0,42
	140	10,8	0,88	3,89	0,20

t_i	80	100	120	140
u_i	12.4	14.8	22.6	10,8

$$S(a_1, a_2, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^4 [u_i - U_i]^2 = \sum_{i=1}^4 [u_i - f(t_i, a_1, a_2, a_3, a_4)]^2 \rightarrow \min$$

$$f(t_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = a_1 + a_2 t_i + a_3 t_i^2 + a_4 t_i^3$$

From (2) system (16) from 4 linear equations with 4 unknowns will be obtained:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] t_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] t_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - a_1 - a_2 t_i - a_3 t_i^2 - a_4 t_i^3] t_i^3 = 0 \end{cases} \quad (16)$$

From here we get the system:

$$\begin{cases} 4a_1 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^3 = \sum_{i=1}^4 u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^4 = \sum_{i=1}^4 t_i u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^5 = \sum_{i=1}^4 t_i^2 u_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^5 + a_{k+1} \sum_{i=1}^4 t_i^6 = \sum_{i=1}^4 t_i^3 u_i \end{cases} \quad (17)$$

System (17) in matrix form can be written as:

$$\begin{pmatrix} 4 & 440 & 50400 & 5984000 \\ 440 & 50400 & 5984000 & 73248 \cdot 10^4 \\ 50400 & 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 919424 \cdot 10^5 \\ 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 919424 \cdot 10^5 & 11777664 \cdot 10^6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 60,6 \\ 6696 \\ 764480 \\ 89836800 \end{pmatrix}$$

Having solved system (13), we determine the dependence parameters $a_1 = 556,8$; $a_2 = -16,51167$; $a_3 = 0,163$; $a_4 = -0,000520834$ and function $f = 556,8 - 16,51167x + 0,163x^2 - 0,000520834x^3$.

Now, using the program Maple18, we construct a graph of this function and a diagram of the results (Fig.4).

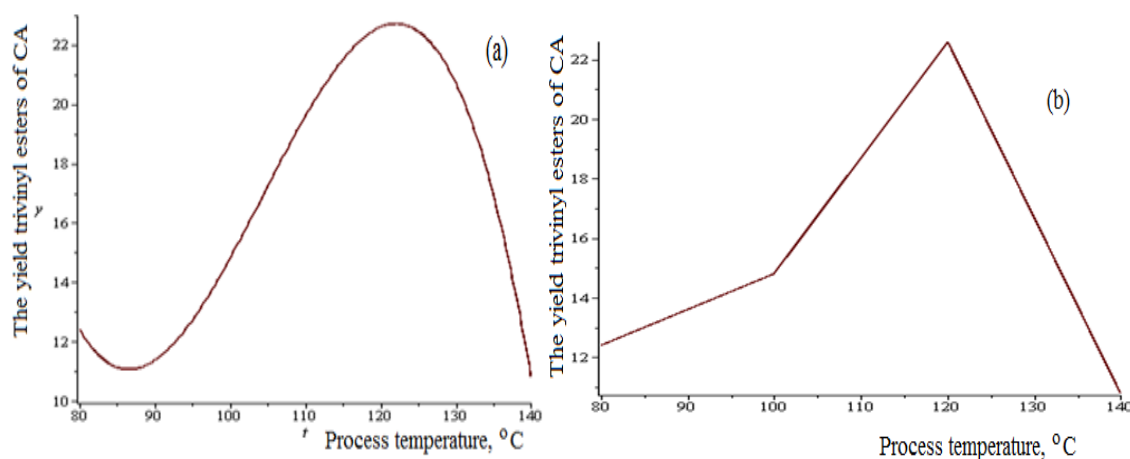


Fig.4. The effect of temperature on the yield of three vinyl esters of cyanuric acid; (a) experimentally; (b) the results of mathematical processing:

t_i	80	100	120	140
ϑ_i	4,48	5,33	8,15	3,89
u_i	12.4	14.8	22.6	10,8

$$S(a_1, a_2, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^4 [u_i - U_i]^2 = \sum_{i=1}^4 [u_i - f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4)]^2 \rightarrow \min$$

$$f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2$$

From (2) system (18) from 4 linear equations with 4 unknowns will be obtained.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] t_i \vartheta_i = 0 \\ \sum_{i=1}^4 2[u_i - (a_1 t_i + a_2 t_i^2 + a_3 t_i \vartheta_i + a_4 \vartheta_i^2)] \vartheta_i^2 = 0 \end{cases} \quad (18)$$

From here we get the system:

$$\begin{cases} a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^2 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^3 \vartheta_i + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i^2 \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^3 \vartheta_i + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 + a_4 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^3 = \sum_{i=1}^4 u_i t_i \vartheta_i \\ a_1 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^4 t_i^2 \vartheta_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^4 t_i \vartheta_i^3 + a_{k+1} \sum_{i=1}^4 \vartheta_i^4 = \sum_{i=1}^4 u_i \vartheta_i^2 \end{cases} \quad (19)$$

System (19) can be written in matrix form:

$$\begin{pmatrix} 50400 & 5984000 & 275576 & 14535,716 \\ 5984000 & 73248 \cdot 10^4 & 32381120 & 1665612,72 \\ 275576 & 32381120 & 1665612,72 & 95537,32172 \\ 14535,716 & 1665612,72 & 95537,32172 & 5850,815511 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6696 \\ 764480 \\ 40317,04 \\ 23333,89986 \end{pmatrix}$$

Having solved system (19), we determine parameters of the dependence $a_1 = 0,15863913854156$; $a_2 = -8,94907004671319 \cdot 10^{-4}$; $a_3 = 0,00740573017296242$; $a_4 = 0,138615079939314$ and function $f(t_i, \vartheta_i, a_1, a_2, a_3, a_4) = 0,15863913854156t_i - 8,94907004671319 \cdot 10^{-4}t_i^2 + 0,00740573017296242t_i\vartheta_i + 0,138615079939314\vartheta_i^2$.

CONCLUSION

After analyzation of kinetic parameters of the synthesis of cyanuric acid vinyl esters, the average reaction rate was determined and it's activation energy was calculated. Using mathematical modeling, analysis of graphs of analytical functions and diagrams of kinetic parameters of synthesis it is possible to establish that at a reaction time of 6 hours and a temperature of 120 °C the yields of vinyl esters have reached a maximum values: mono- vinyl 18.2%, di-vinyl 21.8%, and tri-vinyl - 22.6%.

REFERENCES

1. M.J.Mayor-Lopez, J.Weber, H.P.Luthi, K.Hegetschweiler. SCO Trimers as high-energy materials? A density functional study. *J. Mol. Model.* **6**, 55 (2000). DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00010734>
2. L.P.Manriquez, A.Cabrera, L.E.Sansores, R.Salcedo. Aromaticity in cyanuric acid. *J.Mol.Model.* **Vol. 17**, p. 1311–1315 (2011). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00894-010-0825-2>
3. H. Zhu, K.Kannan. Occurrence and distribution of melamine and its derivatives in surface water, drinking water, precipitation, wastewater, and swimming pool water. *Environmental Pollution* **2020**, 258, 113743. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113743.
4. Falk, Blatchley, Kuechler, Meyer, Pickens, Suppes. Assessing the Impact of Cyanuric Acid on Bather's Risk of Gastrointestinal Illness at Swimming Pools. *Water* **2019**, *11* (6), 1314. DOI: 10.3390/w11061314.
5. David G. Wahman, Matthew T. Alexander, Alison G. Dugan. Chlorinated cyanurates in drinking water: Measurement bias, stability, and disinfectant byproduct formation. *AWWA Water Science* **2019**, *1* (2), 1133. DOI: 10.1002/aww2.1133.
6. K.Damodaran, G.J.Sanjayan, P.R.Rajamohan, S.Ganapathy, K.N.Ganesh. Conformational modulation of *Ant-Pro* oligomers using chirality alteration of proline residues. *Org. Lett.* **Vol. 3**, p. 1921–1924 (2001). DOI: <https://doi.org/10.1039/C2OB26132D>
7. A.G.Bielejewska, C.E.Marjo, L.J.Prins, P.Timmerman, F.de Jong, D.N. Reinhoudt. Thermodynamic Stabilities of Linear and Crinkled Tapes and Cyclic Rosettes in Melamine–Cyanurate Assemblies: A Model Description. *J. Am. Chem. Soc.* **123**, p. 7518 – 7533 (2001). DOI: <https://doi.org/10.1021/ja010664>.
8. X.C.Gao, D.C.Zou, K.Fujita, T.Tsutsui. Switchable organic electroluminescence *Appl. Phys. Lett.* **81**, 4508 (2002); DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1528738>.
9. D.L.Flamm, O.Auciello. Plasma deposition, treatment, and etching of polymers the treatment and etching of polymers. New York, Elsevier-2012. P. 42–47.
10. S.P.Patil, D.A.Padmanabhan. Facile preparation of (2,4,6-¹⁴C)-cyanuric acid under solvent-free conditions. *J. Label Compd. Radiophar.* **2002**, *45*, P. 539–542. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jlcr.579>
11. Y.F.Zeng. The application of cyanuric acid in chemical industry. *Fine Chem. Ind.* **1987**, *2*, P. 42–47.
12. G.F.Janna, G.Klapotke, M.K.Thomas, Z.Naturforsch, K.Burkhard. Synthesis, properties and dimerization study of isocyanic acid. *B Chem. Sci.* - **2002**, № 57, P. 19–24. DOI: <https://doi.org/10.1515/znbn-2002-0103>
13. A.B.Parmanov, S.E.Nurmanov, Beata Kolesinsko, Tomash Maniecki, O.E.Ziyadullayev. Homogeneous vinylation of 2-hydroxy-2-phenylethanal acid. *Azerbaijan chemical journal.* - **Azerbaijan**, -2019, № 4. P. 32–34. DOI: <https://doi.org/10.32737/0005-2531-2019-4-32-34>.
14. Parmanov A.B., Nurmonov S.E., Abdugafurov I.A., Ziyadullaev O.E., Mirkhamitova D.X. Synthesis of vinyl ester of lactic acid. *Eurasian Union of Scientists. Russia.* № 7 (64) / 2019 P. 51–56. DOI: <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.64.227>
15. Parmanov A.B., Nurmanov S.E., Phayzullaeva M.Ph., Abdullaev J.U., Soliev M.I. Synthesis of vinyl esters of some carbonic acids. *Austrian journal technical and natural science.* Vienna, Austria. -2017, -№ 1-2. -P. 129–132. DOI: <http://dx.doi.org/10.20534/AJT-17-1-2-129-132>
16. A.Э.Зиядуллаев, С.Э. Нурманов, Д.Х.Мирхамитова, Роль высоко-основных систем при винилировании азотсодержащих гетероциклических соединений. *Химия и химическая технология. Научно-технический журнал.* Тошкент-2018. № 4, Ст. 24–28.
17. Дикусар Е.А., Поткин В.И., Козлов Н.Г., Петевич С.К., Рудаков Д.А. Применение простых и сложных эфиров: Современные аспекты молекулярного дизайна—от душистых веществ и биологически активных соединений до применения а медицинских нанотехнологиях. *Журнал Химия растительного сырья*, 2014, № 3. – Ст. 61–84. DOI: <http://dx.doi.org/10.14258/jcprm.1403061>
18. J.L.Murphy, M.J.Arrowood, Xin Lu, M.C.Hlavsa, M.J.Beach, V.R.Hill. Effect of Cyanuric

Acid on the Inactivation of *Cryptosporidium parvum* under Hyperchlorination Conditions. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 12, p. 7348-7355. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00962>

19. Н.В.Ушева, О.Е. Мойзес, О.Е. Митянина, Е.А. Кузьменко. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Ст. 135.

20. А.Э.Зиядуллаев, С.Э.Нурманов, У.У.Жумартова, А.Б.Парманов. Теоретические основы реакции гомогенного каталитического винилирования циануровой кислоты. Журнал Евразийский союз ученых, Россия № 9 (66) 2019, 2 часть. Ст. 37-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.66.304>

UDC 541.123.6

Usmonov Muhammadsalim Bozorovich
PhD, Associate Professor
Tajik State Pedagogical University

PHASE EQUILIBRIA IN THE Na, Ca// SO₄, F– H₂O SYSTEM AT 75°C

Abstract. The phase equilibria in the Na, Ca //SO₄, F – H₂O system at 75°C were investigated by the translation method. The closed phase diagram for the system was constructed based on the obtained data.

Keywords: translation method – phase equilibria – component –geometric images.

Knowledge of the laws of phase equilibria of the Na, Ca // SO₄, F – H₂O system is necessary to establish optimal conditions for the separation of sulfate and fluoride salts of sodium and calcium from natural and technological solutions containing these salts.

As an analysis of the literature [1] shows, this system has not been investigated so far. We studied it using the translation method, which follows from the principle of compatibility of structural elements n and $(n + 1)$ component systems in one diagram [2]. According to the translation method, structural elements of the diagrams of n -component systems increase their dimension by one unit and translated to the $(n + 1)$ component composition in a transformed form when the next component is added to them (at constant temperature and pressure). For example, in this case, invariant points of n - component systems at the $(n + 1)$ component level turn into monovariant curves, and monovariant curves into divariant fields, etc. Transformed geometric images, according to their topological properties, at the level of $(n + 1)$ component

composition, intersecting each other (observing the Gibbs phase rule) form geometric images of the system at this component level. Thus, the translation method will make it possible to predict the possible phase equilibria of multicomponent systems (when moving from the n -component level to the $(n + 1)$ component level) and theoretically construct their closed phase diagrams. A more detailed application of the translation method for predicting the structure of the phase equilibrium diagram in multicomponent water – salt systems was considered in literature [3-4].

The studied four-component system includes the following three-component systems: Na₂SO₄ – CaSO₄ – H₂O, NaF – CaF₂ – H₂O, NaF – Na₂SO₄ – H₂O and CaF₂ – CaSO₄ – H₂O.

There are 3, 1, 2 and 1 invariant points in the Na₂SO₄ – CaSO₄ – H₂O, NaF – CaF₂ – H₂O, NaF – Na₂SO₄ – H₂O and CaF₂ – CaSO₄ – H₂O systems at 75°C respectively according to literature [5]. Table 1 gives the list and equilibrium solid phases at the ternary invariant points of the listed systems.

Table 1

Phase equilibria in the invariant points of the Na, Ca// SO₄,F–H₂O system at 75°C at the level of three-component composition

Invariant point	Solid phase composition	Invariant point	Solid phase composition
Na ₂ SO ₄ – NaF – H ₂ O system		NaF – CaF ₂ – H ₂ O system	
E ₁ ³	Wo+Shr	E ₄ ³	Wo+Fo
E ₂ ³	Shr+Te	Na ₂ SO ₄ – CaSO ₄ – H ₂ O system	
CaF ₂ – CaSO ₄ – H ₂ O system		E ₅ ³	Te+Gb
E ₃ ³	Fo+ Gp	E ₆ ³	Gb+ 5Ca·Na·3
		E ₇ ³	5Ca·Na·3+ Gp

Letter E in Table 1 and further denotes an invariant point with an superscript indicating the multiplicity of the point (system complexity) and subscript indicating the serial number of the point. Following notations were used: Te-tenarditis Na₂SO₄, Gb – glauberite

Na₂SO₄· CaSO₄, Gp – gypsum CaSO₄·2H₂O, Wo – willomite NaF, Fo – fluorite CaF₂, Shr – sheireritis Na₂SO₄· NaF, 5Ca·Na·3 - 5CaSO₄·Na₂SO₄·3H₂O.

Figure 1 shows phase equilibria diagram of the Na, Ca//SO₄, F – H₂O system at 75° C. Unfolded pyramid

in Figure 1 which is constructed based of the data in Table 1 shows the ternary composition of the system.

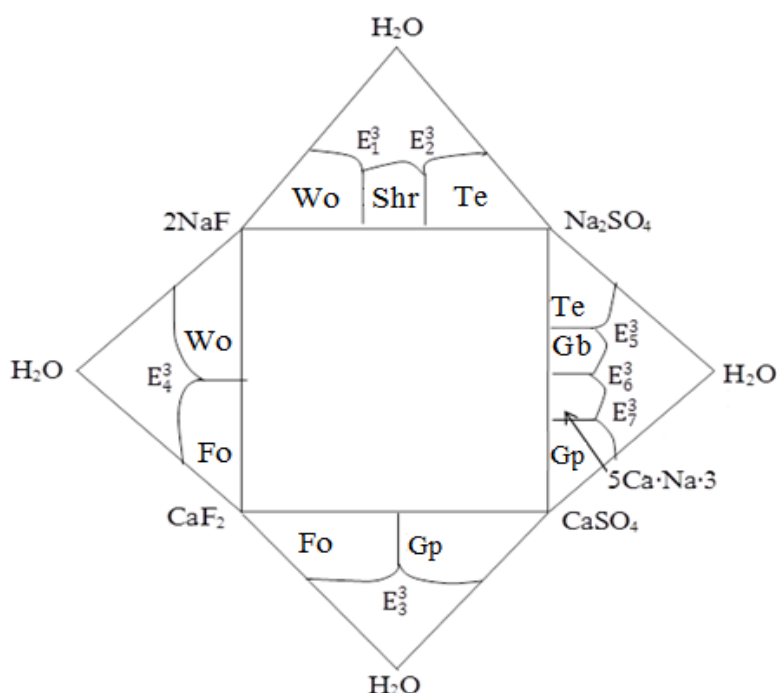
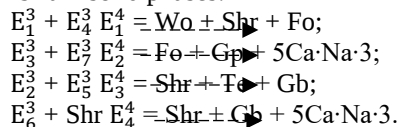


Figure 1. Phase equilibria diagram of the Na, Ca// SO₄, F - H₂O system at 75°C at the ternary composition shown in the form of an unfolded pyramid.

The translation of invariant points of ternary composition to the quaternary composition leads to the formation of the following quaternary points with equilibrium solid phases:



The phase equilibria diagram of the Na, Ca// SO₄, F-H₂O system at 75°C constructed on this basis of data at a four-component composition level shows that the divariant fields Gb, 5Ca·Na·3, Fo are not closed. For their closure, we found the fourth E_5^4 invariant point with the (Shr + 5Ca·Na·3 + Fo) equilibrium solid phases using the “intermediate” translation method [3,4].

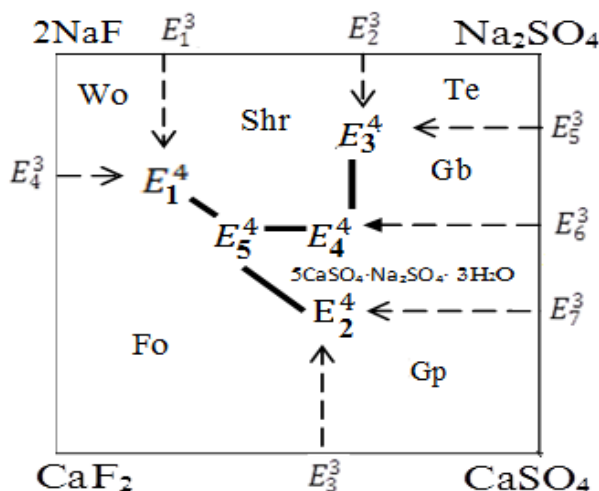


Fig. 2. Schematic phase equilibria diagram constructed by the translation method for Na, Ca// SO₄, F - H₂O system at 75°C

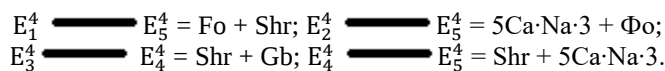
Figure 2 shows the final version of schematic phase equilibria diagram [6] of 75°C isotherm of the Na, Ca// SO₄, F-H₂O system at the four-component composition. The presented diagram combines elements of the structure of the system at the levels of three- and four-component compositions. In particular,

the sides of the diagram are the coordinate cores of the diagram of the three-component systems that make up this four-component system. On them are schematically plotted (projected) the positions of the corresponding invariant points. When translating to the level of four-component composition, they turn into

monovariant curves (in the figure, these monovariant curves are shown as dashed lines, and the arrow indicates the directions of translation). The phase composition of the precipitation of these curves is identical to the phase composition of the translated triple invariant points. The monovariant curves formed during the translation of triple invariant points at the level of four-component composition mutually

intersecting (following the Gibbs phase rule) form quadruple invariant points, the phase composition of the precipitation of which is given above.

Between the invariant level points of the four-component composition, monovariant curves pass, which are characterized by the following phase composition of precipitation:

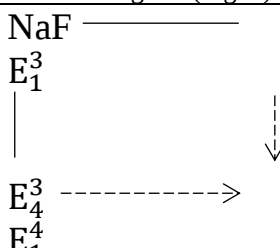
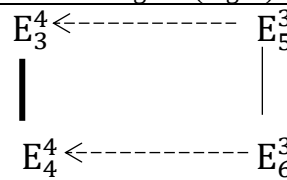
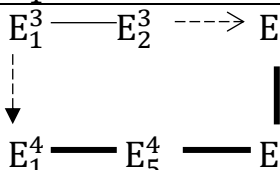
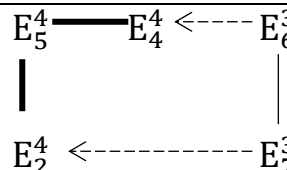
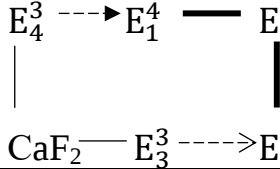
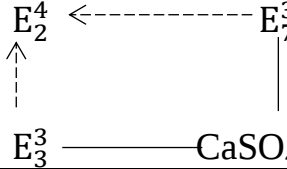
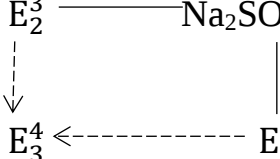


The system under study at the level of the four-component composition is characterized by the

presence of six (6) divariant fields, the contours of which are presented in Table. 2.

Table 2

Equilibrium solid phases and contours of divariant fields in the diagram of the Na, Ca// SO₄, F–H₂O system at 75°C

The equilibrium solid phase of the fields	The contours of the fields in the diagram (Fig. 2)	The equilibrium solid phase of the fields	The contours of the fields in the diagram (Fig. 2)
Wo		Gb	
Shr		5Ca·Na·3	
Fo		Gp	
Te			

The structure of the system under study at 75° C shows that the crystallization fields of fluorite, sheirerite and 5Ca·Na·3 border 5 of the 7 fields of crystallization of other phases. This indicates that, due to their low solubility, these salts occupy a significant part of the studied system under the given conditions.

References

1. Experimental data on the solubility of multicomponent water - salt systems Handbook. V. II., B. 1-2. St. Petersburg: Khimizdat, 2004, 1247 P.
2. Goroshchenko Ya. G. Masscentric image method of multicomponent systems. – Kiev: Naukova Dumka, 1982, 264 P.

3. Soliev L. Prediction of the structure of phase equilibrium diagrams of multicomponent water – salt systems by the translation method. M., 1987, 283. Dep. VINITI, USSR Academy of Sciences, 20.20.87, № 8990 – B87.

4. Soliev L. Prediction of phase equilibria in a multicomponent system of the marine type by the translation method (book 1). Dushanbe. TSPU. 2000, 247P.

5. Experimental data on the solubility of multicomponent water – salt systems (reference). V. 1., book. 1-2. SPb: Khimizdat, 2003, 1151 P.

6. Soliev L. – Journal of Inorganic Chemistry, USSR Academy of Sciences, 1988, V 33, №5, P. 1305 –1310.

#3(55), 2020 część 1
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.

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)

#3(55), 2020 part 1
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

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

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (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/>

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com>