

ISSN 2520-2227

# ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Баҳши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

3 (47) 2019



**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
Серия: Инженерные исследования

**POLYTECHNIC BULLETIN**  
Series: Engineering studies

# ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

3(47)

2019

**СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Издаётся с  
января 2008 года

**НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ISSN 2520-2227**

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Учредитель и издатель:  
Таджикский технический  
университет имени академика  
М.С. Осими  
(ТТУ им. акад. М.С.Осими)

Научное направление  
периодического издания:  
05.14.00 Энергетика;  
05.16.00 Металлургия и  
материаловедение;  
05.17.00 Химическая  
технология;  
05.22.00 Транспорт;  
05.23.00 Строительство и  
архитектура.

Свидетельство о регистрации  
организаций, имеющих право  
печати, в Министерстве культуры  
РТ № 0261/ЖР от 18 января 2017 г.  
Периодичность издания -  
ежеквартально  
Подписной индекс в каталоге  
«Почтаи точик» - 77762

Журнал включен в РИНЦ  
[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=62828](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=62828)

Договор с Научно-электронной  
библиотекой №05-08/09-1 о  
включении журнала в Российский  
индекс научного цитирования

Полнотекстовый вариант журнала  
размещен в сайте <http://vp-es.ttu.tj/>  
Адрес редакции:  
734042, г. Душанбе, проспект  
акад. Ражабовых, 10А  
Тел.: (+992 37) 227-01-59  
Факс: (+992 37) 221-71-35  
E-mail: nistt1@mail.ru

**Х.О. ОДИНАЗОДА,**  
член-корр. АН РТ, доктор технических наук, профессор, главный редактор  
**М.А. АБДУЛЛОЕВ,**  
кандидат технических наук, доцент, зам. главного редактора  
**А.Дж. РАХМОНЗОДА,**  
кандидат технических наук, доцент, зам. главного редактора  
**А.Б. БАДАЛОВ,**  
член-корр. АН РТ, доктор химических наук, профессор  
**И.Н. ГАНИЕВ,**  
академик АН РТ, доктор химических наук, профессор  
**А. Г. ГИЯСОВ,**  
доктор технических наук, профессор  
**Р.А. ДАВЛАТШОЕВ,**  
кандидат технических наук, доцент  
**Т.Дж. ДЖУРАЕВ,**  
доктор технических наук, профессор  
**Л.С. КАСОБОВ,**  
кандидат технических наук, доцент  
**Т.Ы. МАТКЕРИМОВ,**  
доктор технических наук, профессор (Кыргызская Республика)  
**Р.С. МУКИМОВ,**  
доктор архитектуры, профессор  
**Д.Н. НИЗОМОВ,**  
член-корр. АН РТ, доктор технических наук, профессор  
**А.И. СИДОРОВ,**  
доктор технических наук, профессор (Российская Федерация)  
**В.В. СИЛЬЯНОВ,**  
доктор технических наук, профессор (Российская Федерация)  
**А.Г. ФИШОВ,**  
доктор технических наук, профессор (Российская Федерация)  
**М.М. ХАКДОД,**  
член-корр. АН РТ, доктор технических наук, профессор  
**А.Ш. ШАРИФОВ,**  
доктор технических наук, профессор  
**Д.Х. САИДОВ,**  
доктор технических наук, профессор  
**А. АКБАРОВ,**  
доктор технических наук, профессор  
**А. РУЗИЕВ,**  
кандидат технических наук  
**М.Ю. ЮНУСОВ,**  
кандидат технических наук

*Журнал с 30 мая 2018 года включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК при РТ.*

МУНДАРИЧА

ЭНЕРГЕТИКА

- А. Я. Абдурахмонов, Н. Х. Одинаев, Б. Т. Абдуллоев, Р. Т. Абдуллозода.* Самаранокии табдили энергияи офтоб ба энергияи электрикӣ дар шароити ҷануби Тоҷикистон 10
- Ҷ. С. Аҳъёев, И. Н. Одинаев, М. Х. Сафаралиев, Б. Т. Абдулоев, Н. Х. Одинаев.* Муайянкунии потенциали офтобӣ бо истифода аз низоми назоратии кунҷи афтиши нури офтоб барои ш. бохтари Ҷумҳурии Тоҷикистон 14
- З. В. Кобулиев, Н. Ҳасанзода, М. И. Сафаров, А. С. Зиёев, А. Р. Зокиров.* Идоракунии муносиби тавлидкунандаи истеъмолкунанда бо истифодаи базаи қоидаҳои мантиқӣ ва алгоритми зеҳни тӯдавӣ 20
- З. С. Ғаниев, Ш. Д. Самадӣ, М. Х. Содиқов, Р. И. Каримов.* Оиди масъалаи истифодабарии таҷҳизотҳои энергетикӣ офтобӣ дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон 32
- М. Д. Додхудоев, М. М. Воҳидов.* Микдоран муайян намудани муқовимати бадани инсон ба ҷараёни электрикӣ 40
- Н.Х. Табаров.* Алоқа байни ҳодисаҳои нохуш ва ритмҳои биологӣ 45
- С. Р. Чоршанбиев, Г. В. Шведов, У. Мадвалиев.* Таҳлили сохторӣ ва баҳодии талафоти техникӣ нерӯи барқ дар шабакаҳои барқии 0.4-500 кВ ноҳияҳои тобеи Ҷумҳурии Тоҷикистон 49
- У. Мадвалиев, М.А. Қудусов.* Хусусиятҳои ба қор даровардани қувваи барқии шабакавӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон 55

МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАСОЛЕҲШИНОСӢ

- И. Ш. Муслимов, И. Р. Исмоилов, Ф. Қ. Раҳимов, Э. Р. Газизова, Т. Д. Джураев.* Тадқиқоти буришҳои квазибинарии системаи Mg-Al-Ва 60
- О. Ш. Давлатов, Ҳ. О. Одиназода, И. Н. Ғаниев, С. С. Раҷабалиев.* Рафтори электрохимии хӯлаи АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4КР3-и бо қалъагии дар муҳити 3%-и электролити NaCl ҷавҳаронидашуда 63
- Т. Д. Ҷӯраев, Э. Р. Газизова, Ф. Қ. Ҳоҷиев, М. М. Ҳақдод.* Лигатураи хурдкристалл ҳамчун матритсаи геном ҳангоми модифитсиронии хӯлаҳои алюминий 66

ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ

- Б. Б. Эшов, М. А. Бадалова, Ш. А. Аҳмедов, М. Чаманова, Ш. И. Мирзоев.* Қонуниятҳои тағйирёбии аромати гудозиши эвтектикаӣ системаи алюминий-лантаноидҳо ва моделиронии онҳо 70
- Д. А. Назирмадов, М. М. Сафаров, А. Г. Мирзомамадов, С. С. Абдуназаров.* Алоқамандии байни гармигузаронӣ ва коэффитсиенти адсорбсияи катализаторҳои иридий дар асоси оксиди алюминийи дона-дона дар шароити водии ваҳш дар муҳити электролитҳо 74
- И. Х. Халилов, М. Холиков, Д. А. Шарифов, Ш. З. Наҷмуддинов, А. Б. Бадалов.* Ҷараёни бухоршавии рағани муҳарриқи тамғаи rolf optima 20w-50 78
- Р. У. Ваҳобова, К. М. Шеров, Г. Ч. Ҳамзаева, Г. Ф. Рачинская, М. Т. Норова, И. Ш. Идиев.* Муайянкунии симоб дар сангангитҳои Тоҷикистон бо усули волтаметрӣ инверсионӣ 82
- С. О. Убайдов, В. Д. Абулҳаев, Х. Х. Назаров, М. А. Балаев.* Хосиятҳои магнитии маҳдӯлҳои сахти системаи Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub>-Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> 87
- Ф. М. Тошов, Ш. Р. Самихов, С. А. Алифшоева, Ш. А. Қурбонов, М. С. Исмоилова, С. Ш. Сафаров.* Таҷзияи фосфоритҳои табиӣ бо кислота бо ҳосил кардани нуриҳои фосфордор 91

НАҚЛИЁТ

- О.К. Бобобеков, Н. М. Ҳасанов.* Таҳлили сохтори синусолии парки мошинҳои нақлиётӣ-технологии рӯйизаминӣ ва нав кардани онҳо 95

<i>О. А. Чооду, О. К. Бобобеков, И. А. Сайдаминов.</i> Вазъи муосири таъмири нақшавӣ, имконияти минбаъдаи рушди хизматрасонии техникии мошинҳои нақлиётӣю технологӣ	<b>101</b>
<i>С.Ч. Монгуш, О.А. Чооду, С.А. Евтюков.</i> Моделиронии раванди таъсири омилҳои иқлимӣ ва рельефи маҳал ба маҳсулнокии мошинҳои нақлиётӣ-технологии рӯйизаминӣ	<b>108</b>
<b>СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ</b>	
<i>А. Гиясов, Ю. Г. Баротов.</i> Мавқеи нурҳои инъикосёфта дар ташаккулёбии микро ва биоиклими маҳалҳои пуриморати шаҳрҳои ҷанубӣ	<b>111</b>
<i>А.Р. Рӯзиев, Л.Ш. Шарипов, И.Ш. Ашӯров.</i> Ҳолати шиддатнокӣ – деформатсияшавии асоси дуқабатаи таҳкурсии таҷрибавӣ ҳангоми боргузории статикӣ	<b>117</b>
<i>Д. Н. Низомов, О. А. Хоҷибоев, А. А. Хоҷибоев.</i> Тадқиқоти концентратсияи шиддатҳо дар масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ бо методи муодилаҳои канорӣ	<b>121</b>
<i>Ҷ. Ш. Ғанизода, С. Р. Ҳайтова, Ф. Н. Турдиева.</i> Масъалаҳои муттасили анъанаҳо дар меъморӣ ва санъати Осиёи Марказӣ	<b>126</b>
<i>Ш. И. Раҳматуллозода, К. Усмонзода.</i> Омилҳои тараққиёти муҳити шаҳр дар баробари инфрасохтори нақлиётӣи шаҳри Душанбе	<b>131</b>

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА

- А. Я. Абдурахмонов, Н. Х. Одинаев, Б. Т. Абдуллоев, Р. Т. Абдуллозода.* Эффективность выработки электроэнергии посредством преобразования солнечной энергии в условиях южного Таджикистана 10
- Дж. С. Ахъёев, И. Н. Одинаев, М. Х. Сафаралиев, Б. Т. Абдулоев, Н. Х. Одинаев.* Определение солнечного потенциала с применением солнечного трекера для г. Бохтара Республики Таджикистан 14
- З. В. Кобулиев, Н. Хасанзода, М. И. Сафаров, А. С. Зиёев, А. Р. Зокиров.* Оптимальное управление генерирующим потребителем с использованием базы логических правил и алгоритмов роевого интеллекта 20
- З. С. Ганиев, Ш. Д. Самади, М. Х. Содиков, Р. И. Каримов.* К вопросу об использовании солнечных энергоустановок в условиях Республики Таджикистан 32
- М. Д. Додхудоев, М. М. Вохидов.* Количественная оценка сопротивления тела человека электрическому току 40
- Н.Х. Табаров.* Связь между несчастными случаями и биологическими ритмами 45
- С.Р. Чоршанбиев, Г.В. Шведов, У. Мадвалиев.* Структурный анализ и оценка технических потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ районов Республиканского подчинения Таджикистана 49
- У.Мадвалиев, М.А. Кудусов.* Особенности эксплуатации сетевых солнечных энергоустановок Республики Таджикистан 55

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- И. Ш. Муслимов, И. Р. Исмоилов, Ф. К. Рахимов, Э. Р. Газизова, Т. Д. Джураев.* Квазибинарные разрезы системы Mg-Al-Va 60
- О. Ш. Давлатов, Х. О. Одиназода, И. Н. Ганиев, С. С. Раджабалиев.* Электрохимическое поведение сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3% -ного NaCl 63
- Т. Д. Джураев, Э. Р. Газизова, Г. К. Ходжиев, М. М. Хакдод.* Мелкокристаллическая лигатура как матрица генома при модифицировании алюминиевых сплавов 66

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Б. Б. Эшов, М. А. Бадалова, Ш. А. Ахмедов, М. Чаманова, Ш. И. Мирзоев.* Закономерность изменения температуры плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды и их моделирование 70
- Д. А. Назирмадов, М. М. Сафаров, А. Г. Мирзомамадов, С. С. Абдуназаров.* Связь между теплопроводностью и коэффициентом адсорбции иридиевых катализаторов на основе пористой оксиды алюминия в условиях вахшской долины в среде электролитов 74
- И .Х. Халилов, М. С. Холиков, Д. А. Шарипов, Ш. З. Нажмудинов, А. Б. Бадалов.* Процесс парообразования моторного масла марки golf optima 20w-50 78
- Р. У. Вахобова, К. М. Шеров, Г. Ч. Хамзаева, Г. Ф. Рачинская, М. Т. Норова, И. Ш. Идиев.* Определение ртути в углях таджикстана методом инверсионной вольтамперометрии 82
- С.О. Убайдов В. Д. Абулхаев, Х. Х, Назаров М. А. Балаев.* Магнитные свойства твердых растворов системы Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub>-Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> 87
- Ф. М. Тошов, Ш. Р. Самихов, С. А. Алифшоева, Ш. А. Курбонов, М. С. Исмоилова, С. Ш. Сафаров.* Кислотное разложение природных фосфоритов с получением фосфорных удобрений 91

**ТРАНСПОРТ**

- О. К. Бобобеков, Н. М. Хасанов.** Анализ возрастной структуры парка надземных транспортно-технологических машин и их обновление **95**
- О. А. Чооду, О. К. Бобобеков, И. А. Сайдаминов.** Современное состояние планово-предупредительного ремонта, возможные пути развития технического обслуживания транспортно-технологических машин **101**
- С. Ч. Монгуш, О. А. Чооду, С. А. Евтюков.** Моделирование процессов влияния климатических факторов и рельефа местности на производительность наземных транспортно-технологических машин **108**

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

- А. Гиясов, Ю. Г. Баротов.** Роль отраженной радиации в формировании микро- и биоклимата застройки южных городов **111**
- А. Рузиев, Л. Шарипов, И. Ш. Ашууров.** Напряженно-деформированное состояние двухслойного основания при статическом нагружении опытного фундамента **117**
- Д. Н. Низомов, О. А. Ходжибоев, А. А. Ходжибоев.** Исследование концентрации напряжений в двумерных задачах теории упругости методом граничных интегральных уравнений **121**
- Д. Ш. Ганизода, С. Р. Хаитова, Ф. Н. Турдиева.** Вопросы преемственности традиций в архитектуре и искусстве Центральной Азии **126**
- Ш. И. Рахматуллозода, К. Усмонзода.** Факторы развития городской среды с учетом транспортной инфраструктуры города Душанбе **131**

CONTENS

ENERGY

- A. Y. Abdurakhmonov, N. Kh. Odinaev, B. T. Abdulloev, R. T. Abdullozoda A. A. Boboev.* The efficiency of electricity generation by conversion of solar energy in the conditions of south Tajikistan 10
- J. S. Ahyoev, I. N. Odinaev. M. Kh. Safaraliev, B. T. Abduloev, N. Kh. Odinaev.* Determination of solar potential with the use of solar tracker for bokhtar of the Republic of Ttajikistan 14
- Z. V. Kobuliev, N. Khasanzoda, M. I. Safarov, A. S. Ziyoev, A. R. Zokirov.* Optimum control of the generating consumers using the basis of logic rules and royal intelligence algorithms 20
- Z. S. Ganiev, Sh. D. Samadi, M. H. Sodiqov, R. I. Karimov.* To the question about the use of solar power installations in the conditions of the Republic of Tajikistan 32
- M. D. Dodkhudoev, M. M. Vohidov.* Quantitative estimation of human body resistance to electric current 40
- N. Kh. Tabarov.* The relationship between accidents and biological rhythms 45
- S. R. Chorshanbiev, G. V. Shvedov, U. Madvaliev.* Structural analysis and estimation of technical losses of electric power in electric networks 0,4-500 kV districts of Republican subordination of Tajikistan 49
- U. Madvaliev, M. A. Kudusov.* Features of exploitation network solar power in Tajikistan 55

METALLURGY AND MATERIALS ENGINEERING

- I. Sh. Muslimov, I. R. Ismoilov, F. K. Rakhimov, E. R. Gazizova, T. D. Juraev.* Quasi -binary sections of Mg-Al-Ba system 60
- O. Sh. Davlatov, H. O. Odinzoda, I. N. Ganiev, S. S. Rajabaliyev.* Electrochemical behavior of alloy АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4КР3 doped tin in the electrolyte medium of 3% NaCl 63
- T. D. Djuraev, E. R. Gazizova, G. K. Hojiev, M. M. Hakdod.* Small- crystalline ligature as the matrix of the genome with the modification of aluminium alloys 66

CHEMICAL TECHNOLOGY

- B. B. Eshov , M. A. Badalova, Sh. A. Akhmedov, M. Chamanova, Sh. I. Mirzoyev.* Pattern of change in melting temperature of eutectic systems aluminum-lanthanides and their modeling 70
- D. A. Nazirmadov, M. M. Safarov, A. G. Mirzomamadov, S. S. Abdunazarov.* The relationship between thermal conductivity and adsorption coefficient of irridium catalysts based on granular porous aluminium oxide in the conditions of the vakhsh valley in the electrolyte medium 74
- I. Kh. Khalilov, M. S. Kholikov, D. A. Sharifov, Sh. Z. Najmiddinov, A. B. Badalov.* Engine oil vaporization process brands rolf optima 20w-50 78
- R. U. Vakhobova, K. M. Sherov, G. Ch Khamzayeva, G. F. Rachinskaya, M. T. Norova, I. Sh. Idiev.* Determination of mercury in coals of Tajikistan by inversion voltammetry 82
- S. O. Ubaidov, V. D. Abulkhaev, H. K. Nazarov, M. A. Balaev.* Magnetic properties of solid solutions of the system Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub>-Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> 87
- F. M. Toshov, Sh. R. Samikhov, S. A. Alifshoyeva, Sh. A. Kurbonov, M. S. Ismoilova, S. Sh. Safarov.* Acid decomposition of natural phosphorites to produce phosphorus fertilizers 91

TRANSPORTATION

- O. K. Bobobekov, N. M. Khasanov.* Analysis of age structure of park land transport-technological machines and upgrade them 95
- O. A. Choodu, O. K. Bobobekov, I. A. Saidaminov.* The current state of preventive maintenance, possible ways of development of maintenance of transport and technological machines 101
- S.C. Monush, O.A. Choooo, S.A. Yevtukov.* Modeling the effect of climate and terrain on the performance of land transport-technological machines 108

**CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**

<i>A. Giyasov, Y. G. Barotov.</i> Role of reflected radiation in the formation of micro- and bio-climate building of southern cities	<b>111</b>
<i>R. A. Ruziev, L. S. Sharipov, I. Sh. Ashurov.</i> Stress-strain state two-layer base with static loading of the experimental foundation	<b>117</b>
<i>J. N. Nizomov, O. A. Hojiboev, A. A. Hojiboev.</i> Research of stress oncentration in two-dimensional problems of elasticity theory by the method of boundary integral equations	<b>121</b>
<i>J.Sh. Ganizoda, S.R. Haitova, F.N.Turdieva.</i> Questions of continuity of traditions in architecture and art of Central Asia	<b>126</b>
<i>Sh. I. Rakhmatullozoda, K. Usmonzoda.</i> Factors of development of urban environment taking into account the transport infrastructure of Dushanbe city	<b>131</b>



**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
ПОСРЕДСТВОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ  
В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ТАДЖИКИСТАНА**

**А.Я. Абдурахмонов<sup>1</sup>, Н.Х. Одинаев<sup>2</sup>, Б.Т. Абдуллоев<sup>3</sup>, Р.Т. Абдуллозода<sup>4</sup>**

<sup>1,4</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

<sup>2,3</sup>Института энергетики Таджикистана

**Аннотация** – В статье приводятся характеристики выработки солнечных панелей, установленных на территориях Института энергетики Таджикистана. Приводятся основные параметры элементов солнечных установок. Солнечные панели установлены на трех участках Института энергетики Таджикистана, мощность которых составляет, соответственно, 1 кВт, 10 кВт и 30 кВт. Также рассматривается эффективность выработки электроэнергии посредством преобразования солнечной энергии в условиях Южного Таджикистана.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, солнечная фотоэлектрическая станция, преобразование солнечной энергии, солнечные панели, off-grid, on-grid, инверторы.

Надёжное развитие энергетической системы, в основном, зависит от такого фактора, как взаимоотношение потребителей с электрическими сетями на основе принятия и реализации как практических, так и теоретических мероприятий при достижении таких показателей как энергоэффективность, так и энергосбережение. При этом также ещё одним из важных показателей развития безотказности работы энергосистемы является использование источников возобновляемой энергии - солнечная энергетика [1, 2].

Климатические условия Таджикистана благоприятствуют эффективному использованию солнечной энергии. В году в среднем 280-330 солнечных дней, преобладает интенсивность суммарной солнечной радиации, которая в году варьируется в пределах 280-925 МДж/м<sup>2</sup> в предгорных районах, а также и 360-1120 МДж/м<sup>2</sup> в горной местности. Если учесть тот факт, что мощность солнечных преобразователей на сегодняшний день практически составляет 0,125-0,150 кВт/м<sup>2</sup>, это означает, что на 1 км<sup>2</sup> площади можно вырабатывать электроэнергию мощностью 125-150 МВт [1 – 4].

В настоящее время Институт энергетики Таджикистана имеет три солнечные станции, установленная мощность которых составляет 41000 Вт [5].

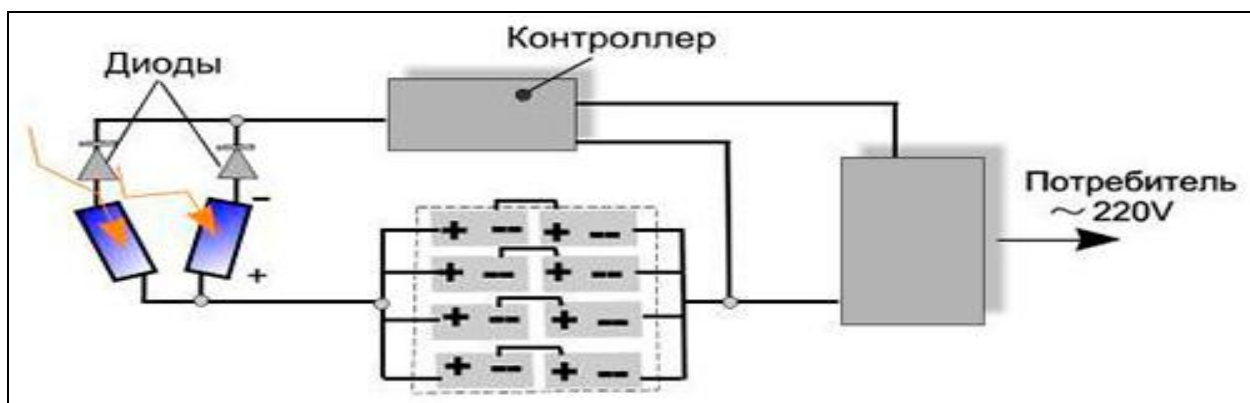
Первая станция имеет 1000 Вт мощности, которая работает в режиме Off-grid и установлена вблизи административного корпуса, что дает возможность её эксплуатации с целью обеспечения бесперебойного питания отдельных электроприемников вышеуказанного корпуса, в том числе персональных компьютеров, аварийного освещения и системы сигнализации.

Электрическое оборудование данной станции относится к производителю ATLANTIS ENERGY SYSTEMS. Поликристаллические панели с удельной мощностью 125 Вт/м<sup>2</sup> и номинальным напряжением 12 В установлены без системы автоматической ориентации на Солнце, а электрическая схема солнечных панелей составлена в смешанном виде, сначала по две панели в последовательности, затем в четыре группы в параллельном порядке для получения на входе инвертора напряжения 24 В. Номинальная мощность инвертора типа ZEROX составляет 1,5 кВт, а его номинальное выходное напряжение 220 В. Данный инвертор работает в двух режимах: режим подзарядки аккумуляторных батарей; питания приёмников, при подключении станции к приёмникам. На станции используются 6 шт. аккумуляторных батарей с номинальным напряжением 12 В и тока на 60 А, которые присоединены между собой по две штуки в три группы. Предложенная схема способствует увеличению напряжений до 24 В с номинальным током 80 А.

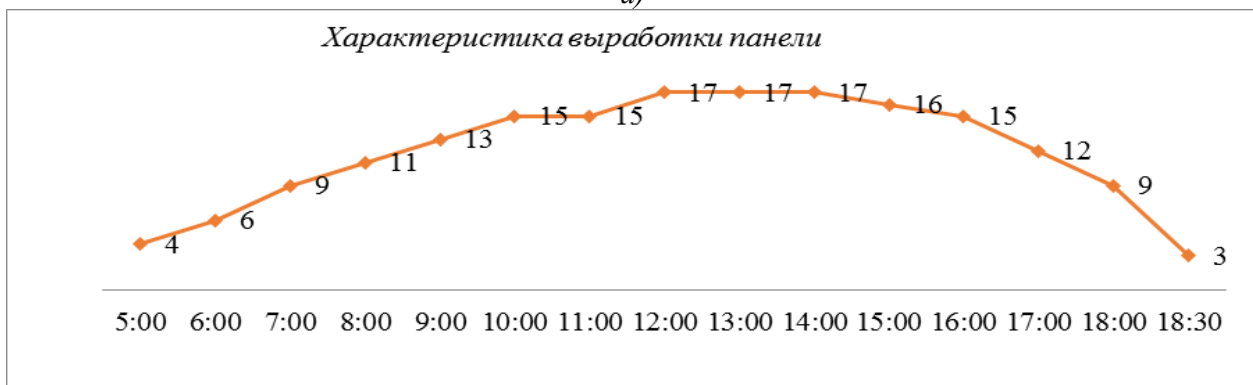
Общее представление, принципиальная электрическая схема, а также почасовой график работы солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) №1 Института энергетики Таджикистана приведены на рис. 1, а) и б), соответственно.

Принципиальная электрическая схема и почасовой график работы солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) №2 Института энергетики Таджикистана приведена на рис. 2.

Что касается второй СФЭС, то она, имея номинальную мощность 10000 Вт, также наподобие первой функционирует в режиме Off-grid и реализуется с целью обеспечения

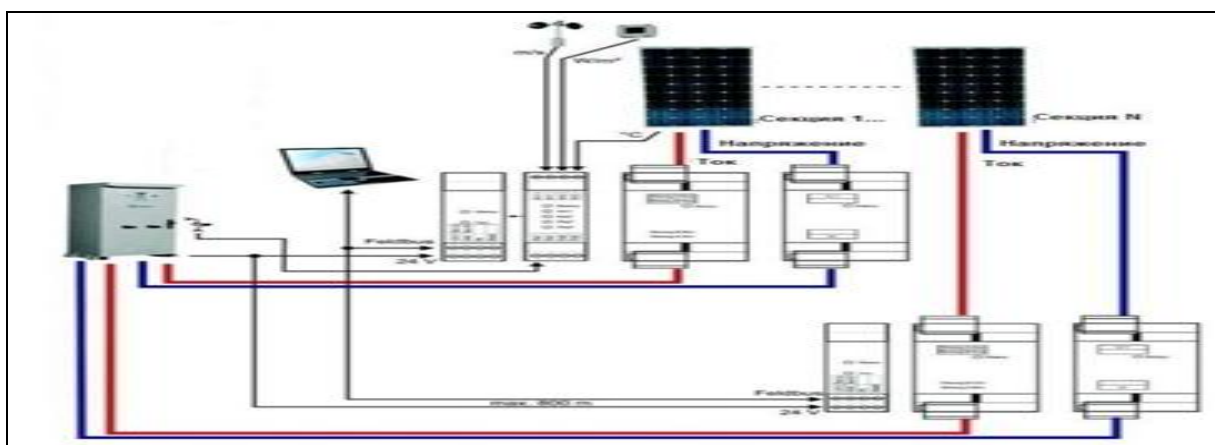


а)



б)

Рис. 1. Принципиальная электрическая схема и почасовой график работы СФЭС №1 Института энергетики Таджикистана: а) электрическая схема и б) характеристика выработки панели.



а)



б)

Рис. 2. Принципиальная электрическая схема и почасовой график работы солнечной фотозлектроической станции (СФЭС) №2 Института энергетики Таджикистана.

электричеством Инновационного центра, а также и технологического парка Института энергетики Таджикистана.

Рассматриваемая станция имеет площадь 120 м<sup>2</sup>, где применяемые панели в СФЭС, относящиеся к марке Power well Solar, монокристаллические производства КНДР. Мощность одной панели составляет 200 Вт, при количестве 48 шт. Схема выработки электростанции работает в режиме Off-grid. Это означает, что данная станция работает под воздействием системы аккумулирования, где производимая мощность передаётся системе электроснабжения потребителя. При этом количество аккумуляторных батарей составляет 32 шт., где номинальное напряжение – 12 В, а тока 100 А.

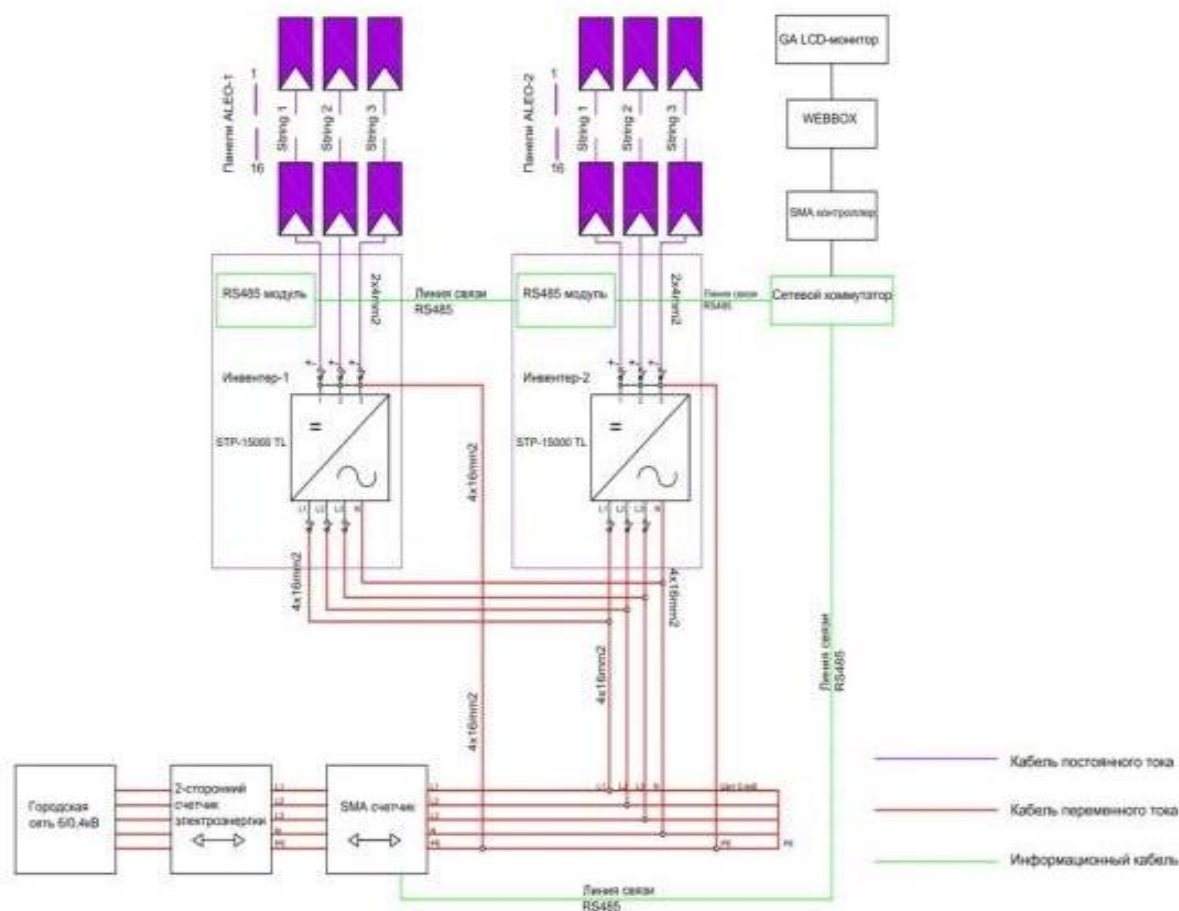
В станции параллельно работают два инвертора типа PV5048CMPK-5000W производства КНДР.

Имея номинальную мощность 30 000 Вт, третья СФЭС реализует свою работу в режиме On-grid, эксплуатация которой направлена на электроснабжение Электромеханического корпуса Института энергетики Таджикистана, в т.ч. как

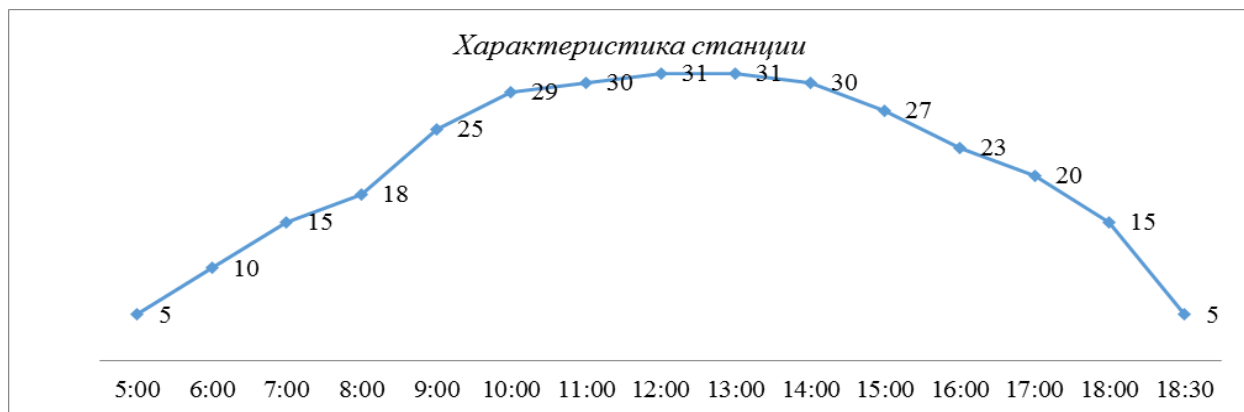
компьютерные, так и лабораторные классы. Следует особо отметить, что станция не пригодна для самостоятельной работы без дополнительного электроснабжения из городских электрических сетей.

Исследуемая станция обладает площадью 320 м<sup>2</sup> и применяемые панели в СФЭС, которые относятся к марке монокристаллических панелей компании ALEO (Германия). Величина мощности одной панели составляет 300 Вт, а количество - 96 шт. Что касается схемы выработки станции, то она собрана в режиме On-grid. Это означает, что станция функционирует без использования системы аккумулирования, а его вырабатываемая мощность передаётся в систему электроснабжения потребителя.

В станции работают два инвертора типа STP-15000TL производства Германии, которые между собой имеют параллельную схему соединения. Почасовой график работы солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) №3 Института энергетики Таджикистана приведена на рис. 3. а) и б), соответственно.



а)



б)

Рис 3. Однолинейная схема и почасовой график работы солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) №3.

Необходимо отметить, что с использованием системы Off-grid и трекера (системы поворота солнечных панелей) в электромеханическом корпусе Института энергетики Таджикистана может быть запитан электроэнергией в круглосуточном режиме и, соответственно, будет возможность подключения СФЭС параллельно с электрической сетью, что способствует электроснабжению данного объекта в бесперебойном режиме.

Институт энергетики Таджикистана планирует вначале создать станцию преобразователей солнечной энергии в электрическую для электроснабжения института, а в будущем солнечную электрическую станцию для выработки электрической энергии и выдачи его в общую сеть.

### Выводы

1. Республика Таджикистан географически расположена в средних широтах и обладает высоким солнечным потенциалом. Согласно статданным, солнечные дни варьируются в пределах 300 солнечных дней в году, что значительно повышает уровень актуальности темы исследования, особенно при проектировании, строительстве и эксплуатации хозяйственных объектов.

2. Применение системы Off-grid и трекера позволяет бесперебойному процессу преобразования солнечной энергии в электрическую обеспечить здание факультета электромеханики Института энергетики Таджикистана электрической энергией в течение суток. Открываются пути возможности параллельной и одновременной работы солнечной системы с городскими системам централизованного снабжения электрической энергией.

### Литература:

1. Абдурахмонов А.Я., Абдуллоев Б.Т., Одинаев Н.Х. Солнечная энергия в Таджикистане. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Вода для устойчивого развития», 280стр., №8, 2017г.
2. Anco S. Blazeв. SOLAR TECHNOLOGIES FOR THE 21ST CENTURY. Taylor and Francis group 2013, ISBN-978-1-4665-82-91-0. стр. 252-269.
3. Базарова Е.Г. Повышение эффективности использования солнечной энергии в энергетических установках с концентраторами // автореферат дис... канд. техн... наук: 05.14.08 / Е.Г. Базарова – Москва: Издательства «НТЦ электроэнергетики», 2008–28 с.
4. Беляков, П.Ю. Особенности преобразования энергии и задачи управления в электроэнергетических установках на базе возобновляемых источников энергии Воронеж: Кварта, 2007. 82с.
5. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии. Часть 2 Солнечная энергетика. Издательство: БНТУ 2007г. Стр. 45.

### САМАРАНОКИИ ТАБДИЛИ ЭНЕРГИЯИ ОФТОБ БА ЭНЕРГИЯИ ЭЛЕКТРИКӢ ДАР ШАРОИТИ ЧАНУБИ ТОЧИКИСТОН

*А.Я. Абдурахмонов, Н.Х. Одинаев,  
Б.Т. Абдуллоев, Р.Т. Абдуллозода*

Дар мақола тавсифоти истеҳсоли панелҳои офтобӣ, ки дар ҳудуди Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон насб шудаанд, оварда шудаанд. Параметрҳои асосии панелҳои офтобӣ низ оварда шудаанд. Панелҳои офтобӣ дар се нуктаи Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон насб шудаанд, ки

тавоноиашон мутаносибан ба 1 кВт, 10 кВт ва 30 кВт баробар мебошанд. Ҳамчунин самаранокии табдили энергияи офтоб ба энергияи электрикӣ дар шароити ҷануби Тоҷикистон дида шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** энергетикаи офтобӣ, СФЭС, табдили энергияи офтоб, панелҳои офтобӣ, off-grid, on-grid, инверторҳо.

### THE EFFICIENCY OF ELECTRICITY GENERATION BY CONVERSION OF SOLAR ENERGY IN THE CONDITIONS OF SOUTH TAJIKISTAN

*A.Y. Abdurakhmonov, N.Kh. Odinaev, B.T. Abdulloev, R.T. Abdullozoda*

**Abstract** - abstract The article presents the characteristics of the production of solar panels installed in the territory of the Institute of Energy of Tajikistan. The main parameters of solar cells are given. The solar panels are installed in three sections of the Institute of Energy of Tajikistan, the capacity of which is respectively 1 kW, 10 kW and 30 kW. Also, the efficiency of electricity generation through solar energy conversion in the conditions of southern Tajikistan is considered.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА ДЛЯ Г. БОХТАРА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

*Дж.С. Ахъёев<sup>1</sup>, И.Н. Одинаев<sup>2</sup>, М.Х. Сафаралиев<sup>3</sup>, Б.Т. Абдулов<sup>4</sup>, Н.Х. Одинаев<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

<sup>2,3</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

<sup>4,5</sup>Институт энергетики Таджикистана

**Аннотация** – В работе представлено исследование эффективности использования устройства солнечного трекинга, оценивание солнечного потенциала города Бохтар (Курган-тюбе), расположенного на юге Таджикистана. Также производится оценивание эффективности двуслойной системы слежения (ДСС) над фиксированной системой (ФС). На основе применения двух систем – ДСС и ФС выполнен расчет по месячному, сезонному и годовому приросту солнечной радиации и эффективности. Результаты расчета показывают, что годовая производительность ДСС над ФС составляет более 44%, в то время как производительность за осень может превышать 80%.

**Ключевые слова:** двуслойная система слежения, фиксированная система, солнечная энергия, Бохтар, Таджикистан.

**Key words:** solar energy, solar photovoltaic station, solar energy conversion, solar panels, off-grid, on-grid, inverters.

### Сведения об авторах:

1. Абдурахмонов Абдукарим Якубович - к.т.н., доцент кафедры «Автоматизирование электроприводов и электрических машин», Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими.

2. Одинаев Неккадам Хушкадамович – Старший преподаватель кафедры «Автоматизированный электропривод» Института энергетики Таджикистана. Тел: +992-77-707-65-35, E-mail: nk.tj@mail.ru

3. Абдуллоев Бахтиёр Толибджонович – Старший преподаватель кафедры “Электроснабжения и релейная защита” Института энергетики Таджикистана. Тел: +992-77-707-65-55, E-mail: bahtier.abdulloev.86@mail.ru

4. Абдуллозода Рамазон Толибжон-к.т.н., и.о. зав. кафедрой “Релейная защита и автоматика”, Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими. Тел: +992 (37)-227-96-51 E-mail: art.tj@bk.ru

### Введение

Таджикистан – самая маленькая страна Центральной Азии, расположенная в северной части субтропической зоны. Его климат характеризуется интенсивной солнечной радиацией, сухим воздухом и низкой облачностью. Солнечная радиация является одним из факторов, способствующих текущему климату страны. Особенность географического расположения Таджикистана заключается в его удаленности от открытых морей и океанов. Обычно зимний период короток и быстро наступает дождливая весна, превращающаяся в лето с небольшим количеством осадков или почти без осадков в течение нескольких месяцев. Благодаря резким сезонным и суточным изменениями климатических показателей, страна обладает большим потенциалом возобновляемых источников энергии.

После распада Советского Союза и отделения энергосистемы страны в

Таджикистане начался дефицит электрической энергии (ЭЭ) [1]. В связи с ростом населения и улучшения уровня жизни во многих развивающихся странах, таких как Индия, Пакистан и Узбекистан в последние десятилетия наблюдается увеличение потребления ЭЭ. Таджикистан обладает огромным потенциалом возобновляемой энергии, в том числе солнечной энергией, равным 25 млрд. кВт·ч/год и гидроэнергетическим потенциалом, составляющим 53% от всех энергоресурсов Центральной Азии [2]. Однако из-за ограниченного использования возобновляемой энергии и потерь в линиях электропередачи общая генерируемая мощность не покрывает фактическую потребность страны на ЭЭ. В результате 70% населения страны испытывает дефицит ЭЭ – 3.0-3.5 ГВтч в виде регулярных отключений, особенно в период с октября по апрель [2].

Рост населения и улучшение качества жизни привели к росту спроса на ЭЭ [1]. Для решения проблем: нехватка ЭЭ, повышение цен на нефть и природный газ, а также вредные выбросы при использовании ископаемого топлива для генерации ЭЭ, СЭ является подходящим альтернативным источником, позволяющим избежать вышеперечисленных проблем. Поскольку выработка ЭЭ в большей степени зависит от ископаемого топлива, быстрый рост энергопотребления может привести к дефициту энергии. Более того, применение ископаемого топлива для необходимой генерации ЭЭ, оказывает большое влияние на окружающую среду – выбросы тяжелых металлов, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> и твердых частиц. Такие выбросы могут привести не только к изменению регионального климата, но также могут вызвать кислотные дожди и глобальное потребление [3]. Следовательно, безопасная генерация ЭЭ заключается в поисках устойчивых и экологически чистых альтернативных источников энергии, таких как СЭ, гидроэнергетика, ветроэнергетика и т.д.

Благодаря экологической чистоте применение СЭ стала одним из глобально быстрорастущих энергетических ресурсов. В настоящее время использование СЭ в Таджикистане крайне ограничено [2]. Следовательно, для обеспечения непрерывного роста на энергопотребление широкое использование СЭ может стать альтернативой, позволяющей преодолеть проблему нехватки. Использование СЭ

помимо расширения диапазона регулирования генераторов электрических станций также может играть ключевую роль в зимнем периоде, когда на гидроэлектростанциях приток воды достигает своего минимума и снижает загрязнение воздуха за счет сокращения выбросов парниковых газов. Все вышеприведенные факты констатируют преимущество использования СЭ Таджикистана, однако, для ее реализации все еще потребуется большое количество исследований.

Литературный обзор системы слежения (СС) показывает, что были опробованы различные варианты, имеющие свои достоинства и недостатки по отношению к эффективности и стоимости генерации ЭЭ [4 – 11]. Важно отметить, что эффективность использования СС во многом зависит от времени года и географического расположения. Следовательно, эффективность варьируется в зависимости от сезона и расположения устройства [12]. В настоящее время наиболее эффективным способом СС является двуслойная система слежения (ДСС), позволяющая повысить эффективность использования СЭ. Принцип действия таких систем основан на отслеживании траектории солнца для поддержания оптимального угла [13]. Как правило, ДСС представляют собой СС с приводом, который вращает фотоэлектрическую панель (ФЭП), подбирая оптимальный угол между солнечными лучами и панелью [2]. ДСС – система, состоящая из двух осей вращения, которые позволяют ФЭП следить за положением Солнца в течение дня [13 14]. Другим немаловажным фактором, от которого зависит эффективность ДСС, является степень освещенности солнечной радиацией, поскольку СЭ, генерируемая ФЭП – мера общего количества солнечного света, поглощенная ФЭП, т.е. солнечная радиация. Таким образом, ДСС позволяет ФЭП отслеживать Солнце от рассвета до заката. Следовательно, ДСС обладает преимуществом по поглощению солнечной радиации относительно фиксированной системы (ФС).

В рамках работы представлено оценивание солнечного потенциала Таджикистана с применением ДСС. Также производится сравнение поглощения солнечной радиации между ДСС и ФС. Результаты исследования показывают, что ДСС обладает преимуществом по выработыванию мощности и эффективности использования СЭ над ФС.

**Методика проведения опыта.**

Солнечная энергия – это световая энергия, попадающая на поверхности Земли от Солнца. Солнечное спектральное излучение состоит из различных форм: радиоволн, видимого света, инфракрасного излучения, ультрафиолетового и рентгеновского излучения. Для расчета СЭ нужно учесть количество солнечной радиации, попадающей на поверхности ФЭП. Для этого был подобран ряд факторов, таких как: угол азимута, высота Солнца, широта местности, угол склонения, расположение устройства и т.д. Для оценивания потенциала СЭ в исследовании были использованы два типа солнечной системы – ДСС и ФС. Известно, что ежедневное движение Солнца происходит не только по направлению восток-запад, но также с изменением времени года наблюдается изменение траектории с севера на юг. Следовательно, для сохранения оптимального угла между ДСС и солнечными лучами предложенная методика включает в себя механизмы, позволяющие поддерживать вращение системы по двум осям. Благодаря независимым вращениям ДСС ФЭП поглощают максимальное количество солнечной радиации, преобразуя ее в ЭЭ. Прототип предложенной методики представлен на рис. 1. С другой стороны, при монтаже ФС особое внимание уделяется ее расположению – отсутствие деревьев или зданий, блокирующих солнечную радиацию, попадающую на поверхность ФЭП. Из названия системы следует, что ФС является неподвижной и направлена в определенную сторону, под определенным углом, не учитывая движение Солнца. Следовательно, при применении ФС снижается эффективность использования солнечной радиации, особенно в утренние и вечерние часы, когда угол между панелью и солнечной радиацией достигает своего максимума [15].

В работе было применено ДСС. По способу формирования управляющего сигнала предложенную методику можно отнести к статическим алгоритмам. Способ подключения к сети производится гибким кабелем. Кроме того, установка состоит из редукторов, двигателей постоянного тока с соответствующими датчиками. При исследовании производилась ежечасная запись солнечной радиации для всех четырех доступных в стране времен года – весна (март – май), лето (июнь – август), осень (сентябрь – ноябрь) и зима (декабрь – январь) за 2018 г. Для оценивания эффективности были

рассчитаны и сопоставлены средние значения почасовой солнечной радиации между ДСС и ФС, полученные в разные времена года. Как для ДСС, так и для ФС была применена ФЭП «aleo S19\_300». Технические характеристики панели сведены в таблице. 1. Оценка эффективности ( $\eta$ ) и прироста ( $\Delta E$ ) солнечной радиации рассчитана с использованием нижеприведенных уравнений:

$$\Delta E = E_{DAST} - E_{SSS} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_{SSS}} \times 100\% \quad (2)$$



Рис. 1 Устройство ДСС

Таблица 1. Технические характеристики ФЭП

“aleo S19_300”	
Номинальная мощность [Вт]	300, (0 ~ +4.99)
Точность измерения [%]	-3/+3
Номинальное напряжение [В]	31.2
Номинальный ток (In) [А]	9.63
Ток короткого замыкания (Ikз) [А]	9.97А
Напряжение холостого хода (Uxx) [В]	39.4
Размер (Д*Ш*В) [мм]	1660 x 990 x 50
Вес [кг]	20kg
КПД панели	18.3%
Измерения проводились по стандартным условиям для тестирования: 1000 Вт/м <sup>2</sup> ; 25°С; АМ 1.5	

**Результаты и обсуждения**

В пасмурные дни лучевые составляющие солнечной радиации блокируются облаками, в результате происходит изотропное распределение рассеянной радиации по небу. Следовательно, по сравнению с наклонной

панелью на поверхности горизонтально расположенной панели приходится большее количество рассеянной радиации. Однако в ясный день лучевые составляющие солнечной радиации играют ключевую роль, позволяющие повысить эффективность использования ДСС, 90% солнечной радиации состоит из лучевых составляющих. Поскольку каждый месяц состоит из комбинации ясных и пасмурных дней, следовательно, для этого в течение года было рассчитано среднее значение солнечной радиации, полученной в течение весны, лета, осени и зимы, результаты расчета представлены на рис. 2, 3, 4 и 5.

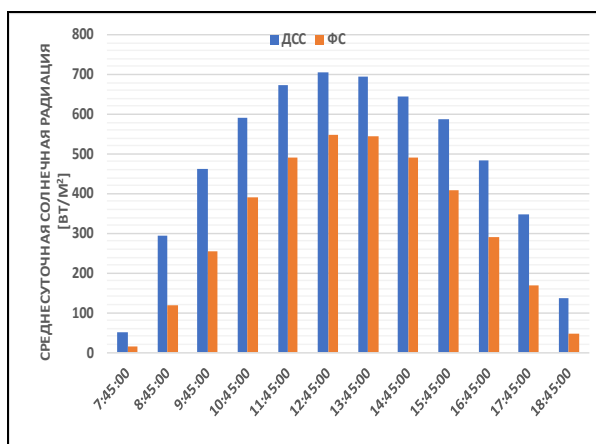


Рис 2. Среднесуточная солнечная радиация – весенний период.

Таджикистан расположен на солнечном поясе с большим потенциалом солнечной радиации. Благодаря предложенной установке – ДСС происходит отслеживание движения Солнца, и максимальное количество солнечной радиации от рассвета до заката улавливается ФЭП. Из представленных гистограмм на рис. 2, 3, 4 и 5 видно, что среднечасовая солнечная радиация в промежутке времени весна-осень как для ДСС, так и для ФС превышает 300 Вт/м<sup>2</sup>. В Таджикистане зимний период – единственный сезон года, в пределах которого среднечасовая солнечная радиация составляет ниже 300 Вт/м<sup>2</sup>. В летний период как ДСС, так и ФС при поглощении солнечной радиации достигли своего максимума, рис. 3, в то время как наиболее эффективное применение ДСС наблюдается осенью, рис. 4.

В таблице 2 приведены средняя солнечная радиация, полученная за день, месяц, период и продолжительность дневной освещенности в соответствии с четырьмя различными временами года. Расчеты проводились с учетом как рассеянной, так и лучевой составляющих солнечной радиации.

Поглощённая ДСС среднемесячная солнечная радиация лежит в диапазоне от 78389 Вт/м<sup>2</sup>, зимний период, до 331802 Вт/м<sup>2</sup>, летний период. Наибольшая продолжительность дневной освещенности наблюдается в летний период – 13 часов, затем осенний – 11 часов и весенний период – 10 часов. В результате поглощения ДСС солнечная радиация в летнем периоде составляет около 1 МВт, другими словами, ДСС была генерирована энергия, превышающая на 32% генерированной энергии ФС. Более того, в осенний и весенний период эффективность ДСС намного превышает эффективность ФС, рис 6.

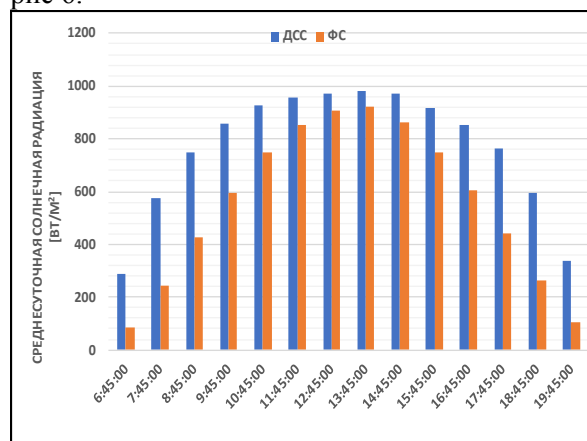


Рис 3. Среднесуточная солнечная радиация – летний период.

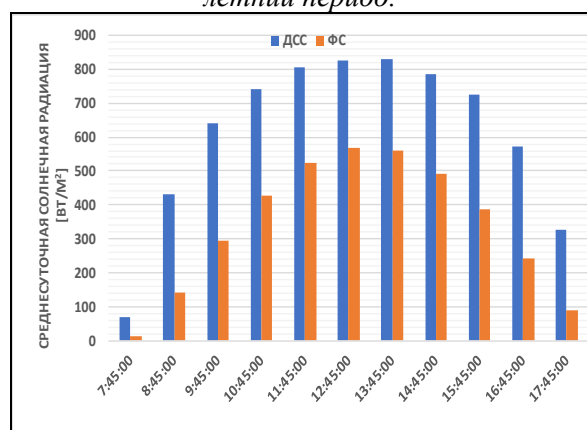


Рис 4. Среднесуточная солнечная радиация – осенний период.

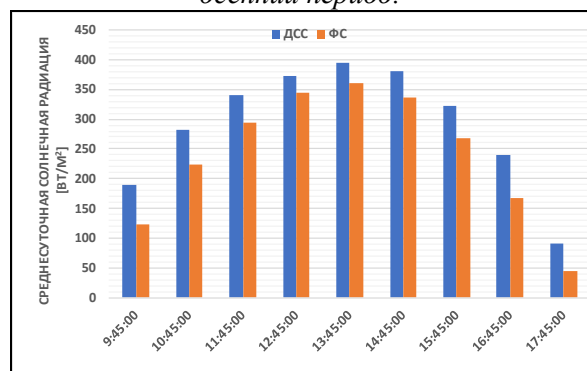


Рис 5. Среднесуточная солнечная радиация – зимний период.



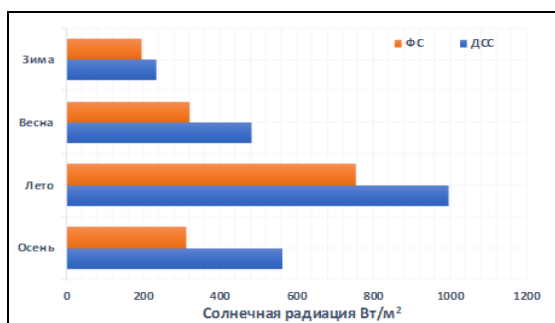


Рис. 6. Солнечная радиация, олученная ДСС и ФС для всех времен года.

Таблица 2

Средняя солнечная радиация, полученная ДСС и ФС

ДСС				
Сезон	Продолжительность дневной освещенности	Суточное (кВт/м²)	Месячное (кВт/м²)	Сезонное (кВт/м²)
Весна	11	5.195	161.07	483.1
Лето	13	10.703	331.80	995.4
Осень	10	6.141	187.30	561.8
Зима	9	2.613	78.39	235.1
ФС				
Весна	11	3.454	107.10	321.3
Лето	13	8.096	251.01	753.0
Осень	10	3.401	103.73	311.1
Зима	9	2.162	64.86	194.5

Расчеты показывают, что эффективность ДСС превышает эффективность ФС, особенно осенью, весной и летом. Для расчета эффективности ДСС над ФС, полученной за год, производилось суммирование солнечной радиации для всех сезонов года. Результаты расчета сведены в таб. 3. Из результатов расчёта, представленных на рис. 7, видно, что годовая производительность ДСС превышает годовую производительность ФС, равной 44.02%. Подвижная система за год генерирует 2.275 МВтч/м², а ФС при том же периоде времени – 1.58 МВтч/м².

Несмотря на то, что производительность ДСС в летний период равна всего лишь 1 МВт, тем не менее годовая производительность ДСС, представленная на рис. 7, показывает, что летняя эффективность всего лишь средняя по сравнению с осенними и весенними периодами, когда производительность системы достигает своего максимума – 80% и 50,39%. На рис. 7 также представлен прирост солнечной радиации ДСС над ФС. Из данного рисунка видно, что максимум прироста достигается осенью – 250.7 кВтч/м², за которым наблюдается незначительное

снижение в летний период – 242.4 кВтч/м². По нашим ожиданиям наиболее высокая эффективность ДСС ожидалась в зимний период, однако расчеты показывают обратное, т.е. эффективность применения ДСС по отношению к ФС ниже 20% с приростом, равной 40.59 кВтч/м².

Таблица 3

Сезонный и годовой прирост солнечной радиации и эффективность ДСС над ФС

Сезон	ДСС (кВт/м²)	ФС (кВт/м²)	Прирост (кВт/м²)	Эффективность (%)
Весна	483.19	321.30	161.9	50.39
Лето	995.41	753.00	242.4	32.19
Осень	561.90	311.18	250.7	80.57
Зима	235.17	194.58	40.59	20.86
Годовой	2275.66	1580.07	695.6	44.02

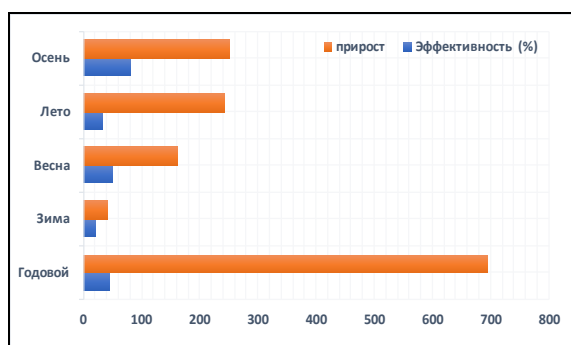


Рис. 7. Сезонная и годовая производительность и прирост ДСС над ФС

### Выводы

В рамках работы рассматривалась производительность использования солнечных систем – двусная система слежения и фиксированная система. Для поглощения максимальных количеств солнечных лучей ДСС следит за положением Солнца в течение дня, месяца, времени года или года, позволяя минимизировать угол падения солнечных лучей на поверхность ФЭП. Результаты исследования показывают, что генерация ДСС летом составляет 995.41 кВт/м², весной – 483.19 кВт/м², осенью – 561.89 кВт/м² и зимой – 235.17 с эффективностью, включающей все периоды – 80.57%, 50.39%, 32.19% и, соответственно, 20.86%. Таким образом, годовая прирост ДСС над ФС равняется 695.6 кВт/м² эффективностью 44.02%. Из этого вытекает, что эффективность ДСС над ФС за год намного лучше. Зима является единственным временем года, когда наблюдается относительно низкая эффективность ДСС, из

этого вытекает, что при снегопадах и дождях производительность ДСС снижается. Оценивание солнечного потенциала показывает, что географическое расположение Таджикистана – большое количество солнечных дней с высоким солнечным излучением является подходящим для развития использования СЭ. Основная доля ЭЭ генерируется гидроэлектростанциями. Однако оптимальное использование других возобновляемых источников энергии, например, СЭ, не только снизит зависимость энергосистемы страны от гидроэлектростанции, но и станет важным шагом на пути к устойчивому и доступному производству ЭЭ в стране.

### Литература:

1. Сафаралиев М.Х. Анализ влияния времени года на структуру фотоэлектрической станции в Таджикистане // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – Тюмень, 2016.- С. 392-393.
2. Оценка доступности энергетических ресурсов за счет солнечной радиации в Республике Таджикистан / Манусов В.З., Ганиев З.С., Султонов Ш.М. / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2018. № 1. С. 174-177.
3. A. Masih, "Modelling the atmospheric concentration of Carbon monoxide by using Ensemble Learning Techniques," CEUR Workshop Proceedings, vol. 2298, p. 12, 2018.
4. G. K. Singh, "Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review," Energy, vol. 53, pp. 1-13, 2013.
5. J. Rizk and Y. Chaiko, "Solar tracking system: more efficient use of solar panels," World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 41, pp. 313-315, 2008.
6. A.J. N. Khalifa and S. S. Al-Mutawalli, "Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators," Energy Conversion and Management, vol. 39, pp. 1073-1079, 1998.
7. Study of the operating modes of the 0.4 kv main distribution network, in dushanbe city of the republic of tajikistan, with distributed solar generation for power losses and power quality estimation /Nazirov K.B., Shvedov G.V., Chorshanbiev S.R., Dzhuraev S.D./В сборнике: Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018 2018. С. 737-742.
8. С. Alexandru and M. Comsit, "The energy balance of the photovoltaic tracking systems using virtual prototyping platform," in Electricity Market, 2008. EEM 2008. 5th International Conference on European, 2008.
9. Анализ и оптимизация режимов электроэнергетической системы Монголии с учетом электрификации Уланбаторской железнодорожной магистрали / Манусов В.З., Бумцэнд У., Энхсайхан Э. / Новое в российской электроэнергетике. 2017. № 10. С. 55-66.
10. Обоснование использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии для покрытия дефицита мощности в Республике Таджикистан / Манусов В.З., Ганиев З.С., Ахъеев Д.С. / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2017. № 1-2. С. 139-142.
11. Инструментальная оценка качества электроэнергии в энергосистеме Республики Таджикистан / Шаров Ю.В., Тульский В.Н., Джураев Ш.Дж., Иноятов Б.Дж., Чоршанбиев С.Р./ В сборнике: Управление качеством электрической энергии Сборник трудов Международной научно-практической конференции. 2017. С. 219-226.
12. T. R. Ayodele and A.S. O. Ogunjuyigbe, "Prediction of monthly average global solar radiation based on statistical distribution of clearness index," Energy , vol. 90, pp. 1733—1742, 2015.
13. Mathematical model of francis turbines for small hydropower plants / Diyorov R., Glazyrin M., Sulstonov Sh./ В сборнике: Proceedings of IFOST-2016 11th International Forum on Strategic Technology. 2016. С. 255-257.
14. The effective use of statcom in the electrical system of the republic of tajikistan to reduce the losses of active power in the electric network / Manusov V.Z., Kirgizov A.K., Ahyoev J.S./ В сборнике: труды XIII международной научно-технической конференции актуальные проблемы электронного приборостроения Proceedings: in 12 volumes . 2016. С. 60-63.
15. Yu. E. Nemikhin, A. V. Matveev, D. A. Nemkov and I. N. Odinaev, "Development and creation tracking system of the sun position.," Technical science in the world: from theory to practice, Rostov-on-Don, pp. 35-38, 2015. (Russian)

*«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90204».*

**МУАЙЯНКУНИИ ПОТЕНСИАЛИ  
ОФТОБИ БО ИСТИФОДА АЗ НИЗОМИ  
НАЗОРАТИИ КУНЧИ АФТИШИ НУРИ  
ОФТОБ БАРОИ Ш. БОХТАРИ  
ЉУМЊУРИИ ТОЉИКИСТОН**

**Љ.С. Аҳъёев, И.Н. Одинаев,  
М.Х. Сафаралиев, Б.Т. Абдулоев,  
Н.Х. Одинаев**

Дар мақола натиҷаи тадқиқи самаранокии истифодабарии таҷҳизот барои назорати кунчи афтиши нури офтоб, баҳодиҳии потенциали офтобӣ дар ш. Бохтар, ки дар ҷануби Тоҷикистон ҷойгир аст, оварда шудааст. Инчунин баҳодиҳии самаранокии истифодабарии низоми назоратии дунаварда барои системаи қайдкунанда нишон дода шудааст. Дар асоси истифодабарии ин ду низом самаранокии ва радиатсияи офтоб барои ҳар моҳ, мавсим ва сол ҳисоб карда шудааст. Натиҷаи ҳисобҳо нишон медиҳад, ки истеҳсоли солони низоми назоратии дунаварда нисбат ба системаи қайдкунанда зиёда аз 44%-ро ташкил медиҳад. Дар вақти тирамоҳ бошад, истеҳсолнокӣ аз 80% зиёд мебошад.

**Калимаҳои калидӣ:** системаи назоратии дунаварда, системаи қайдкунанда, энергияи офтобӣ, Бохтар, Тоҷикистон.

**DETERMINATION OF SOLAR  
POTENTIAL WITH THE USE OF SOLAR  
TRACKER FOR BOKHTAR OF THE  
REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

**J.S. Ahyoev, I.N. Odinaev, M.Kh. Safaraliev,  
B.T. Abduloev, N.Kh. Odinaev**

Abstract. The article presents a study of the effectiveness of the use of solar tracking devices,

evaluation of the solar potential of the city of Bokhtar (Kurgan-tube), located in the South of Tajikistan. The effectiveness of a biaxial tracking system (BTS) over a fixed system (FS) is also evaluated. Based on the use of two systems – BTS and FS, the calculation of the monthly, seasonal and annual growth of solar radiation and efficiency. The results of the calculation show that the annual productivity of the BTS over the FS is more than 44%, while the productivity for the autumn can exceed 80%.

**Key words:** Biaxial tracking system, fixed system, solar energy, Bokhtar, Tajikistan.

**Сведения об авторах:**

Ахъёев Джавод Саламшоевич, к.т.н., ст. преп. каф. «Электрические станции», ТТУ им.и ак. М.С. Осими. Тел: +(992) 901053643, E-mail:javod\_66@mail.ru

Одинаев Исмоил Назримадович, аспирант каф. «Автоматизированных электрических систем», Уральский Федеральный университет, г. Екатеринбург: E-mail: ismoil.odinaev@urfu.ru

Сафаралиев Муродбек Холназарович, аспирант каф. «Автоматизированных электрических систем», Уральский Федеральный университет, г. Екатеринбург: E-mail: murodbek\_03@mail.ru

Абдуллоев Бахтиёр Толибджонович, ст. преп. каф. «Электроснабжения и релейная защита», Институт энергетики Таджикистана. E-mail: bahtier.abduloev.86@mail.ru

Одинаев Неккадам Хушкадамович, ст. преп. каф. «Автоматизированный электропривод», Институт энергетики Таджикистана. E-mail: onk.tj@mail.ru

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩИМ ПОТРЕБИТЕЛЕМ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ЛОГИЧЕСКИХ ПРАВИЛ И АЛГОРИТМОВ РОЕВОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА**

**З.В. Кобулиев<sup>1</sup>, Н. Хасанзода<sup>2</sup>, М. И. Сафаров<sup>3</sup>, А. С. Зиёев<sup>4</sup>, А. Р. Зокиров<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии при Академии наук Республики Таджикистан

<sup>1,2,5</sup>Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими

<sup>4</sup>Республиканский комитет профсоюза работников энергетики Таджикистана

**Аннотация** – В работе рассмотрена задача оптимального управления генерирующим потребителем с возобновляемыми источниками энергии в интеллектуальной сети с распределенной генерацией и двусторонними потоками энергии. Пока-зано, что управление необходимо выполнять в недетерминированных условиях из-за

невозможности точного прогнозирования выработки электроэнергии возобновляемыми источниками. Для управления генерирующим потребителем использована модель выбора управляющих действий на основе логических правил, что приводит к необходимости решения задачи структурно-параметрической оптимизации списка правил и значений их численных параметров.

*В отличие от существующих исследований рассмотрена задача оптимального управления с точки зрения отдельного генерирующего потребителя, а не всей распределенной системы, а также управление без использования в явном виде прогнозов выработки и потребления. Решение данной задачи оптимизации выполнено тремя алгоритмами роевого интел-лекта: алгоритм роя частиц, алгоритм пчел, алгоритм светлячков и алгоритмом градиентного спуска.*

**Ключевые слова:** генерирующий потребитель, роевой интеллект, структурно-параметрическая оптимизация, оптимальное управление, возобновляемая энергетика, интеллектуальные сети.

Развитие технологий возобновляемой энергетики позволяет потребителям электроэнергии получать ее не только от внешней централизованной системы, но и от своих собственных источников, таких как ветроэнергетические установки (ВЭУ) и солнечные панели. Если у потребителя выгодные с точки зрения возобновляемых источников энергии климатические условия и имеется возможность по размещению достаточного числа ВЭУ или солнечных панелей, чтобы вырабатывать значительно больше собственных потребностей, то потребитель может не только получать электроэнергию от внешней системы, но и отдавать ей свои избытки. При этом возникает принципиально важный для реализации концепции Smart Grid двусторонний поток энергии и информации, а потребитель в этом случае может быть назван «генерирующим потребителем» (ГП) [1, 2].

Так как стоимость электроэнергии для потребителя не является неизменной величиной, возникает задача оптимального управления ГП. Суть задачи – регулировать потоки электроэнергии, то есть определять в какой момент времени продавать энергию внешней системе, в какой покупать, когда и какое количество энергии запасть в аккумуляторах или, наоборот, брать ранее накопленную энергию.

Генерирующий потребитель функционирует в условиях стохастического изменения выработки электроэнергии возобновляемыми источникам и, в меньшей степени,

собственного потребления. Кроме того, задача управления имеет высокую размерность пространства поиска решений, а целевая функция не является аналитическим выражением, а рассчитывается алгоритмически. Поэтому задача требует применения методов, позволяющих решать подобные сложные задачи оптимизации. К таким методам относятся метаэвристические стохастические методы.

Оптимальному управлению в сетях Smart Grid с распределенной генерацией и возобновляемыми источниками энергии посвящено множество современных исследований, таких как [3–5]. Однако в них оптимальное управление осуществляется на уровне надсистемы, а не отдельных ГП. Такое управление позволяет учитывать данные обо всех участниках распределенной электроэнергетической системы, но возникает риск, связанный с централизацией управления.

В работе [6] напротив, рассматривается оптимизационная задача управления изолированным электроэнергетическими системами, без обмена с другими ГП или глобальной электроэнергетической системой страны. При этом в указанной работе особое внимание посвящено выбору накопителя электроэнергии.

**Характеристика генерирующих потребителей.** Рассмотрены два крупных ГП: энергосистема острова Русский и энергосистема острова Попова. Данные о скорости ветра позволяют сделать прогноз, согласно которому возможно создание ветроэлектростанций (ВЭС) до 16 МВт на острове Русский и до 20 МВт на острове Попова [7]. Схема передачи электроэнергии в сеть электроснабжения островов Русский (ГП1) и Попова (ГП2) показана на рис. 1.

По имеющимся данным о скорости ветра [6] можно дать оценку возможной мощности ГП, для этого была построена характеристика мощности ветроустановки типа WTU 2,05 МВт, показанная на рис.2. Выше скорости 25 м/с ВЭУ отключается в целях безопасности.

**Задача оптимального управления.** Задача оптимального управления заключается в создании управляющей системы которая бы реализовывала последо-

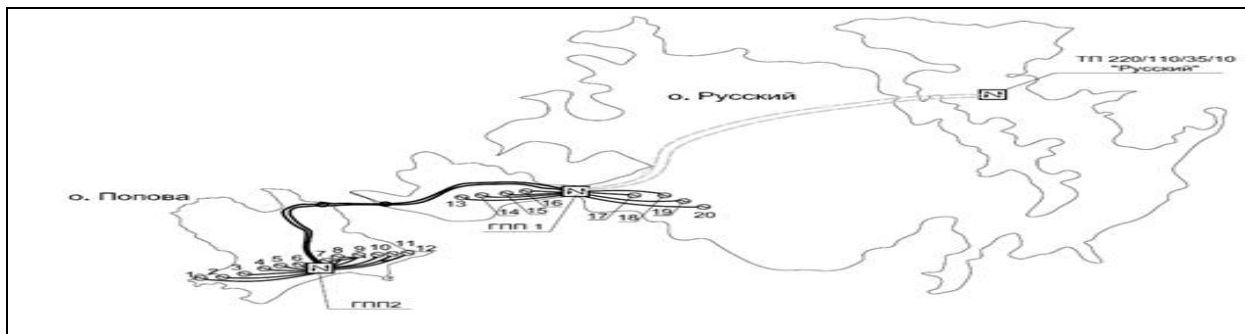


Рис. 1. Передача электроэнергии к распределительному устройству 35 кВ подстанции «Русская».

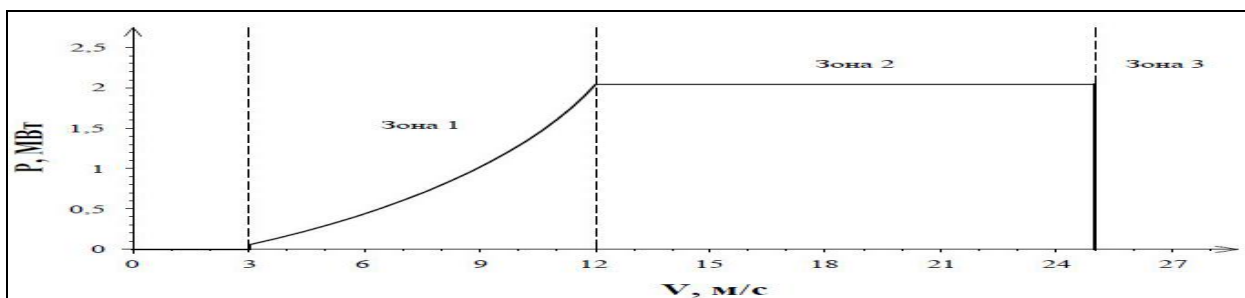


Рис. 2. Характеристика мощности ВЭУ WTU 2,05 MWt.

вательность воздействий на управляемый объект таким образом, чтобы достичь наилучшего возможного качества, заданного одним или несколькими критериями. Под управляемым объектом (объектом управления) понимается некоторая часть окружающего мира, на которую субъект управления может целенаправленно воздействовать рис.3.

Подробное описание принципов оптимального управления можно найти в [8, 9]. Управление всегда происходит в течение некоторого периода времени, при этом управляемый объект переходит из одного состояния в другое. Состояние объекта управления характеризуется набором параметров, которые могут изменяться с течением времени:  $S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)\}$ . Таким образом, имеется вектор функций, каждая из которых показывает изменение параметра объекта с течением времени. Эти функции в явном виде, как правило, неизвестны. Кроме того, имеется управляющая система, которая осуществляет управление. Управление может быть также задано как вектор функций  $A(t) = \{a_1(t), a_2(t), \dots, a_m(t)\}$ . Используются обозначения  $S$  от «state» и  $A$  от «action».

Для аккумуляторов (накопителей) расчеты проводятся в энергии, а не емкости, чтобы все величины имели одинаковую единицу измерения. Емкость можно определить, разделив энергию на номинальное напряжение.

Управление не влияет на параметры состояния, связанные с собственными потребностями ГП и выработкой ВЭУ, но непосредственно влияют на количество энергии в аккумуляторе. В данной задаче шаг времени положен равным одному часу. Так что за сутки имеется 24 значения по каждому из трех параметров состояния ГП и 24 значения по каждому из трех параметров управления. Пример приведен на рис.4.

Задача оптимального управления в общем виде может быть записана следующим образом:

$$A^{opt}(t) = \operatorname{argmax}_{A(t) \in A_{доп. t_0}} \int_{t_0}^{t_T} f(t, S(t), A(t)) dt \quad (1)$$

где  $A^{opt}(t)$  – искомое оптимальное управление, то есть указания, какие значения в какой момент времени должны принимать параметры управления (когда сколько кому продавать или покупать, запасать в аккумулятор или, наоборот);  $A_{доп.}$  – область допустимых значений параметров управления;  $f(t, S(t), A(t))$  – функция  $n + m + 1$  переменных, задающая некоторым образом выгоду в зависимости от параметров объекта управления, от параметров управления, а также от состояния окружающей среды (например, для ГП это тариф на электроэнергию в текущее время суток);  $t_0$  и  $t_T$  – заданный диапазон времени, на котором рассматривается управление.



Рис. 3. Схема взаимодействия объекта, субъекта и среды..

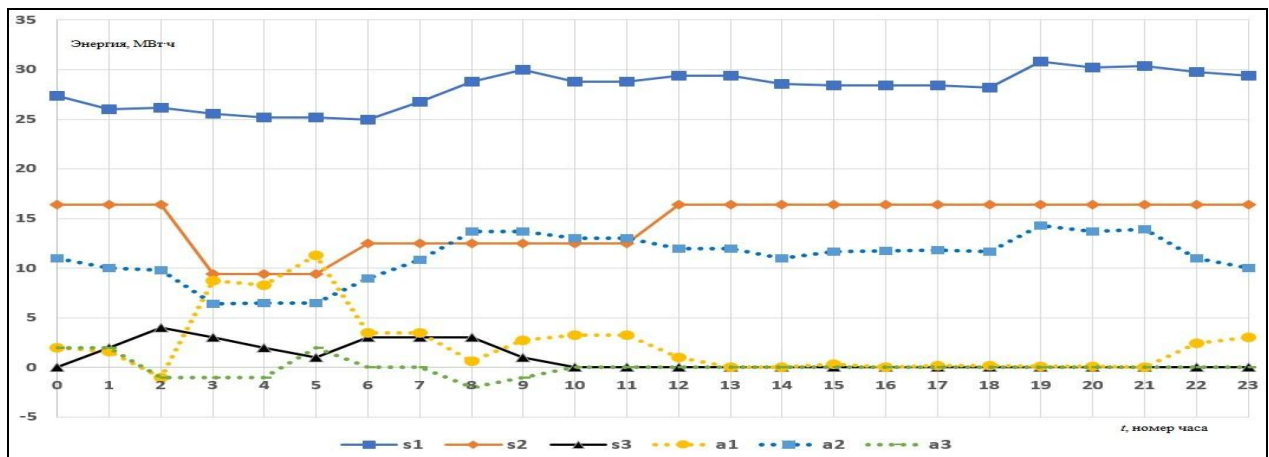


Рис. 4. Пример суточных графиков состояний и действий ГП.

Из-за высокой сложности электроэнергетических систем в явном аналитическом виде функцию  $f(t, S(t), A(t))$  получить обычно нельзя, тем более ее интеграл. Но можно задать ее алгоритмически. В примере для ГП данная функция является кусочно-непрерывной, так как шаг времени равен 1 часу. Задачу (1) можно записать без интеграла, в виде суммы, а функция  $f(t, S(t), A(t))$  является ни чем иным как разницей между доходами от продажи электроэнергии ГП и расходами на ее покупку, генерацию и аккумуляцию за один определенный час. Однако даже в этом случае аналитическое выражение для  $f(t, S(t), A(t))$  записать затруднительно, так как цена на электроэнергию является кусочно-постоянной функцией, обмен электроэнергией с соседним ГП зависит от его состояния и управления им. Таким образом, расчет значения  $f(t, S(t), A(t))$  необходимо выполнять алгоритмически.

**Алгоритмы роевого интеллекта.** Алгоритмы роевого интеллекта являются одним из наиболее эффективных способов решения сложных задач оптимизации [10, 11]. Под сложными здесь понимаются нелинейные, не дифференцируемые задачи

высокой размерности со сложной топологией пространства поиска решения, стохастическими и динамическими свойствами.

Как показано в многочисленных исследованиях, обзор которых дан в [10], заранее далеко не всегда невозможно определить наиболее подходящий для конкретной задачи алгоритм роевого интеллекта. Поэтому использование только одного алгоритма в задаче, где оптимальное решение неизвестно, может дать решение, эффективность которого невысока с точки зрения критерия оптимальности. При этом исследователь не может определить эффективность, не применив для сравнения другие алгоритмы. Поэтому в данном исследовании использованы три алгоритма роевого интеллекта: алгоритм роя частиц (Particle Swarm Optimization), алгоритм светлячков (Firefly Optimization) и алгоритм пчел (Bee algorithm), который не следует путать с алгоритмом колонии пчел (Artificial Bee Colony Optimization). Описания алгоритмов именно в том виде, в котором они использованы в данной работе, даны в [12].

Для применения роевых алгоритмов необходимо определить преобразование

координаты частицы  $X$  в решении прикладной задачи. В данном случае решение задачи представляет собой управляющие действия  $A(t)$ , как показано в выражении (1). Для получения  $A(t)$  используется список правил, как описано в 2.1. Поэтому необходимо координаты частицы  $X$  перевести в вектор  $Par$ , задающий приоритеты правил и значения параметров управления. Каждый элемент вектора  $X$  ограничен от 0 до 1 [11].

$$X = [x_1, \dots, x_{12}, \dots, x_{13}, \dots, x_{14}, \dots, \dots, x_{15}, \dots, x_{16}, \dots, x_{17}, \dots, x_{20}]$$

$$Par = [pr_1, \dots, pr_{12}, buy\_unload, sale\_unload, buy\_accum, sale\_accum, time_1, \dots, time_4].$$

Приоритеты являются вещественными числами от 0 до 1, так что  $pr_i = x_i, i = 1, \dots, 12$ . Параметры  $buy\_unload, sale\_unload, buy\_accum, sale\_accum$  тоже принимают значения от 0 до 1, поэтому переводятся аналогично. Наконец,  $time_1, \dots, time_4$  задают номер часа в сутках, поэтому достаточно умножить соответствующую координату на 23 и округлить результат в меньшую сторону (номер часа от 0 до 23). Значения свободных параметров роевых алгоритмов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Значения параметров роевых алгоритмов.

Алгоритм	Число частиц	Число итераций	Параметры
Частиц	200	500	$\alpha_1 = 1,5, \alpha_2 = 1,5, \omega = 0,7, \beta = 0,5$
Пчел	200	500	$n^s = 60, n^b = 6, n^g = 1, c^b = 20, c^g = 20, rad = 0,01, rx = 0,05$
Светлячков	50	2000	$\alpha = 0,05, \beta = 1, \gamma = 0,5$

В метаэвристических алгоритмах оптимизации очень важен выбор свободных параметров (эвристических коэффициентов) алгоритмов. В данной работе отдельного исследования влияния эвристических коэффициентов не проводилось, были взяты несколько наборов значений, показавших высокую эффективность в предыдущих исследованиях авторов, и полученных с по-

мощью эволюционной адаптации роевых алгоритмов [12].

Для алгоритма светлячков число частиц снижено в четыре раза, а число итераций повышено в четыре раза по сравнению с алгоритмами роя частиц и пчел. Это сделано, так как алгоритм светлячков требует на каждой итерации сравнения каждого светлячка с каждым, поэтому число операций на этапе перемещения частиц квадратично зависит от числа частиц. У двух других роевых алгоритмов эта зависимость линейная. Большую часть расчетов занимает вычисление целевой функции, требующее моделирования суточного цикла работы двух ГП. Тем не менее, для выравнивания времени расчетов у алгоритма роя светлячков число частиц снижено. А чтобы число расчетов целевой функции осталось одинаковым для всех роевых алгоритмов, число итераций алгоритма светлячков, соответственно, повышено.

Кроме роевых алгоритмов был применен более простой алгоритм градиентного спуска (gradient descent). Он был применен для сравнения, поскольку имеет принципиально иной принцип работы, чем метаэвристические роевые алгоритмы, хотя и для него существуют модификации со сложными эвристиками и их комбинациями [13, 14]. Кроме того, имеет немного настроечных параметров по сравнению с роевыми алгоритмами. В работе использован градиентный алгоритм, который может быть записан рекуррентной формулой следующего вида

$$X^{k+1} = X^k - \alpha \cdot \nabla f(X^k) \quad (2)$$

Алгоритм на каждом шаге  $k$  находит градиент целевой функции и на его основе делает шаг в направлении уменьшения целевой функции для задачи минимизации и увеличения для задачи максимизации. Величина шага зависит от величины градиента и коэффициента  $\alpha$ . В данной работе коэффициент  $\alpha$  равен  $5 \cdot 10^{-5}$ , а вектор  $X$ , как и для роевых алгоритмов представляет собой вектор их 20 элементов от 0 до 1 и переводится в решение задачи точно так же, как и для роевых алгоритмов. Поскольку целевая функция не может быть продифференцирована, направление градиента определится численным методом. Путем нахождения приращения целевой функции по каждому элементу вектора  $X$  отдельно (приращение значения  $x_i$  равно  $5 \cdot 10^{-5}$

5) и определением нормированной суммы полученных векторов.

**Исходные данные.** Вычислительные эксперименты проведены при одновременном рассмотрении ГП о. Русский и о. Попова. Так что при оптимизации строились одинаковые модели управления для обоих ГП. В таблице 2 показаны использованные в расчетах цены. Цена электроэнергии от ВЭУ учитывает затраты на строительство и обслуживание ВЭУ, аналогично и для накопителей. Также введено ограничение – аккумулировать за 1 час можно не более 2 МВт и таблица 3 содержит данные о выработке ВЭУ и собственных потребностях обоих ГП.

Моделирование суточного цикла. Алгоритм применения рассмотренных алгоритмов роевого интеллекта показан на рис.5. Для алгоритма градиентного спуска алгоритм аналогичный, только вместо цикла

по всем частицам с расчетом целевой функции и перемещений частиц происходит не в цикле расчета градиента и обновления текущего решения.

Процесс моделирования суточного цикла работы ГП происходит при расчете целевой функции. Он показан на рис.6.

Рассмотрено три варианта функционирования ГП:

1. ГП может покупать электроэнергию у внешней системы, но не может продавать ее или обмениваться с соседним ГП (результаты в таблице 3);

2. ГП может покупать электроэнергию у внешней системы и может продавать ее, но не может обмениваться с соседним ГП (результаты в таблице 4);

3. ГП может покупать электроэнергию у внешней системы и может продавать ее, а также может обмениваться с соседним ГП (результаты в таблице 5).

Таблица 2.

*Используемые цены электроэнергии*

Величина, МВт·ч	Цена, тыс. руб.
Выработка ВЭУ	2
Извлечение из аккумулятора	0,2
Продажа внешней электроэнергетической системе по дневному тарифу	2,7
Продажа внешней электроэнергетической системе по ночному тарифу	0,9
Покупка внешней электроэнергетической системе по дневному тарифу	3,2
Покупка внешней электроэнергетической системе по ночному тарифу	1,4
Продажа соседнему ГП по дневному тарифу	3,
Продажа соседнему ГП по ночному тарифу	1,4
Покупка у соседнего ГП по дневному тарифу	3
Покупка у соседнего ГП по ночному тарифу	1,4

**Результаты.** В таблицах 3–5 расходы ГП на электроэнергию за вычетом доходов от ее продажи показаны в миллионах рублей. Отрицательные значения означают, что ГП получил соответствующую прибыль, так как доход от продажи электроэнергии оказался выше расходов на ее выработку и накопление. Влияние энергии накопителей на снижение расходов ГП за счет оптимального управления проиллюстрировано на рис. 7–9 для трех указанных вариантов (слева ГП<sub>1</sub>, справа ГП<sub>2</sub>). При этом сплошная линия соответствует суммарным расходам обоих ГП при использовании роевых алгоритмов, пунктир с более длинными штрихами соответствует аналогичному показателю при использовании среднего результата градиентного спуска, с более короткими – наилучшего результата градиентного спуска.

Под энергией накопителя понимается максимальное количество электроэнергии, которое может быть запасено в нем, так что расчеты потоков энергии можно проводить в одних единицах измерения.

**Анализ результатов.** Все алгоритмы запускались в каждом варианте по десять раз со случайными начальными условиями. При этом алгоритмы роевого интеллекта давали по каждому варианту одинаковое решение при каждом запуске. Поэтому можно с высокой вероятностью считать, что они находили глобальные экстремумы для каждого варианта при каждом значении энергии накопителей. Градиентный спуск дал результаты незначительно хуже, но тем не менее ни в одном из запусков не позволил найти глобальный экстремум.



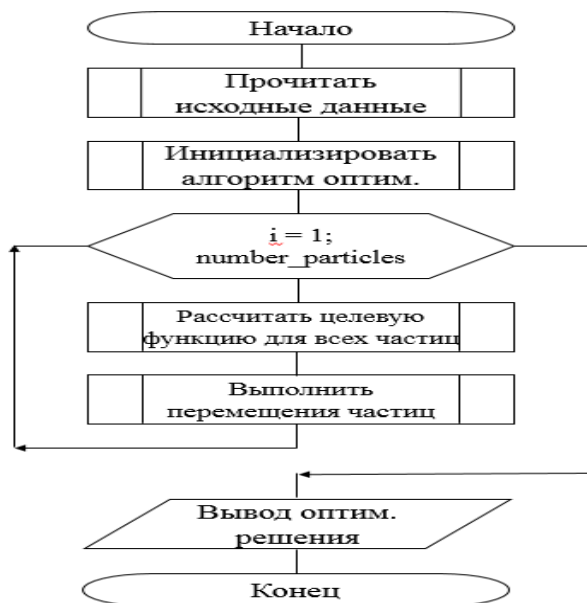


Рис. 5. Блок-схема алгоритма минимизации расходов ГП.

В данной задаче даже незначительное относительное отклонение результата от оптимального приводит к существенным потерям в абсолютном выражении. Кроме того, из рис.7–9 видно, что при использовании даже лучших результатов градиентного спуска не удалось бы наглядно показать влияние максимальной энергии накопителей на итоговые расходы ГП. Для роевых алгоритмов видно, что повышение максимальной энергии накопителей с каждым шагом в 2 МВт до величины 16 МВт снижает расходы ГП для каждого из вариантов. Исключение составляет лишь вариант, когда ГП<sub>2</sub> не может продавать избыток электроэнергии, но этот вариант наименее важен, так как принципиально важно иметь двусторонний поток электроэнергии.

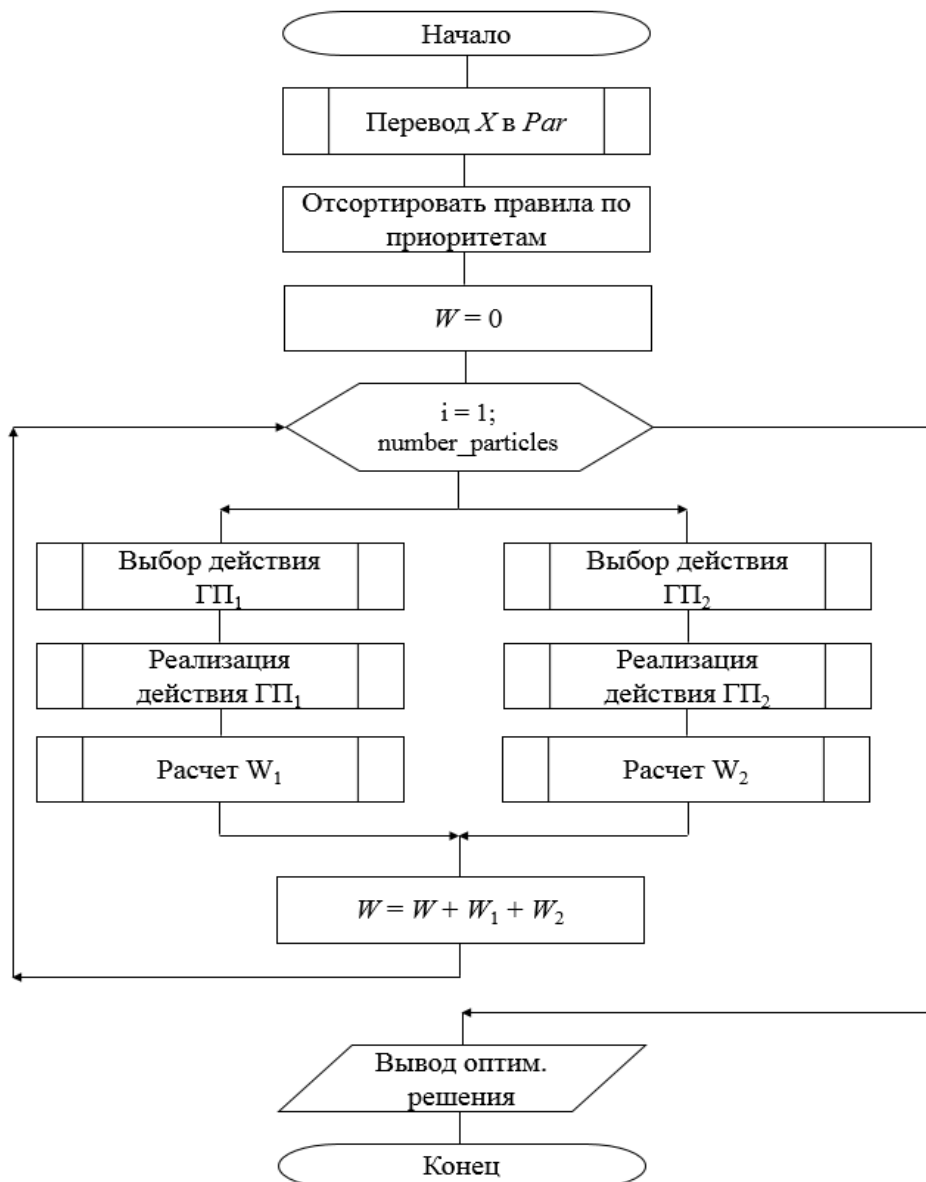


Рис. 6. Блок-схема алгоритма расчета целевой функции.

Таблица 3.

Результаты оптимизации без возможности продажи электроэнергии внешней системе и без обмена между ГП (вариант 1).

Энергия накопителя МВт·ч	Рой частиц, Рой пчел, Рой светлячков		Градиент среднее из 10		Градиент лучшее из 10		Отклонение среднего градиента от оптимума	Отклонение лучшего градиента от оптимума
	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки		
4,00	1,548	0,175	1,556	0,175	1,549	0,175	0,4%	0,1%
6,00	1,545	0,175	1,557	0,176	1,555	0,175	0,7%	0,6%
8,00	1,542	0,175	1,558	0,175	1,555	0,175	0,9%	0,7%
10,00	1,538	0,175	1,558	0,175	1,539	0,175	1,1%	0,0%
12,00	1,535	0,175	1,554	0,175	1,555	0,175	1,1%	1,1%
16,00	1,532	0,175	1,562	0,175	1,555	0,175	1,7%	1,3%
20,00	1,532	0,175	1,563	0,175	1,555	0,175	1,8%	1,3%
24,00	1,532	0,175	1,558	0,176	1,544	0,175	1,5%	0,7%

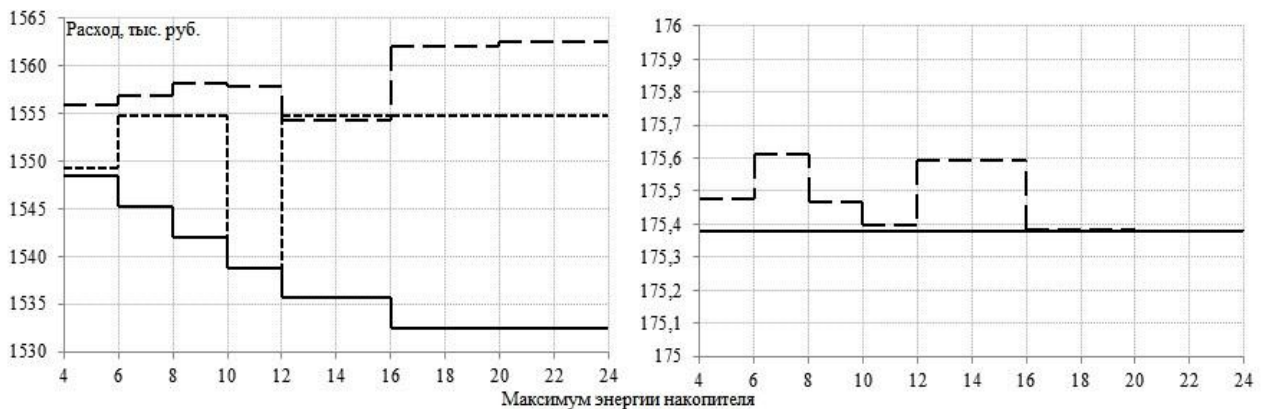


Рис. 7. Влияние максимальной энергии накопителей на снижение расходов ГП при оптимальном управлении (вариант 1).

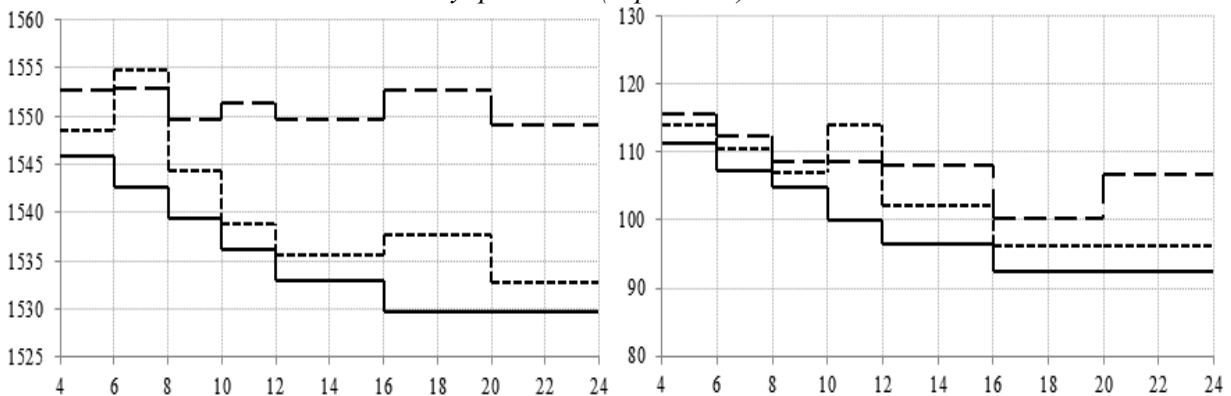


Рис. 8. Влияние максимальной энергии накопителей на снижение расходов ГП при оптимальном управлении, вариант 2.

Таблица 4.

Результаты оптимизации с возможностью продажи электроэнергии внешней системе и без обмена между ГП (вариант 2)

Энергия накопителя МВт·ч	Рой частиц, Рой пчел, Рой светлячков		Градиент среднее из 10		Градиент лучшее из 10		Отклонение среднего градиента от оптимума	Отклонение лучшего градиента от оптимума
	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки		
4,00	1,546	0,111	1,553	0,112	1,548	0,114	0,7%	0,3%
6,00	1,543	0,107	1,553	0,112	1,555	0,110	0,9%	0,9%
8,00	1,539	0,105	1,550	0,109	1,544	0,107	0,8%	0,4%
10,00	1,536	0,100	1,551	0,109	1,539	0,114	1,5%	1,0%
12,00	1,533	0,096	1,550	0,107	1,536	0,102	1,7%	0,5%
16,00	1,523	0,092	1,553	0,100	1,538	0,096	1,9%	0,7%
20,00	1,530	0,092	1,549	0,107	1,533	0,096	2,1%	0,4%
24,00	1,530	0,092	1,554	0,101	1,555	0,096	2,1%	1,8%

Таблица 5.

Результаты оптимизации с возможностью продажи электроэнергии внешней системе и обменом между ГП (вариант 3).

Энергия накопителя МВт·ч	Рой частиц, Рой пчел, Рой светлячков		Градиент среднее из 10		Градиент лучшее из 10		Отклонение среднего градиента от оптимума	Отклонение лучшего градиента от оптимума
	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки	ГП <sub>1</sub> расход сутки	ГП <sub>2</sub> расход сутки		
4,00	1,505	0,006	1,512	0,014	1,509	0,009	1,0%	0,4%
6,00	1,502	0,002	1,512	0,012	1,507	0,006	1,3%	0,7%
8,00	1,498	-0,013	1,510	0,009	1,503	0,004	1,4%	0,6%
10,00	1,495	-0,002	1,511	0,007	1,500	0,000	1,7%	0,5%
12,00	1,492	-0,004	1,508	0,005	1,497	-0,002	1,7%	0,5%
16,00	1,489	-0,006	1,510	0,010	1,498	-0,003	2,5%	0,8%
20,00	1,489	-0,006	1,508	0,009	1,501	-0,002	2,2%	1,0%
24,00	1,489	-0,006	1,513	0,004	1,510	-0,007	2,3%	1,4%

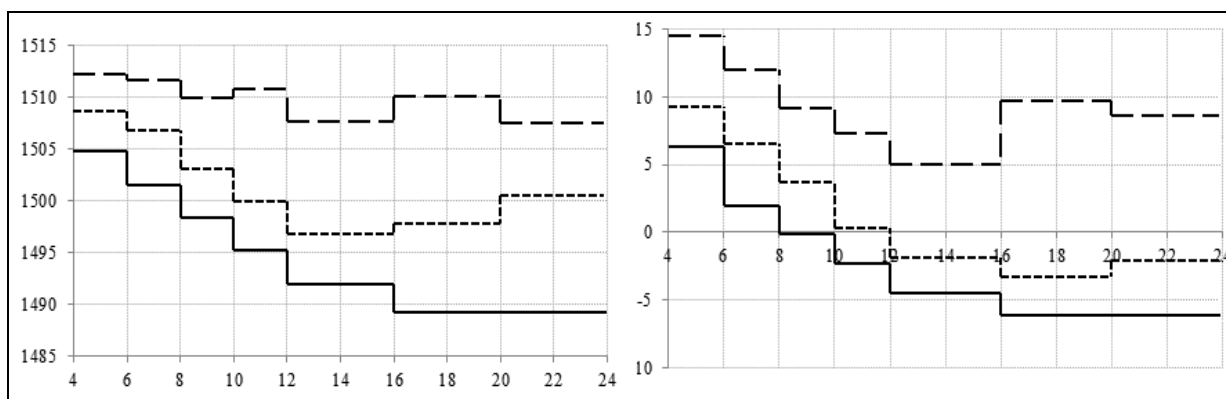


Рис. 9. Влияние максимальной энергии накопителей на снижение расходов ГП при оптимальном управлении, вариант 3.

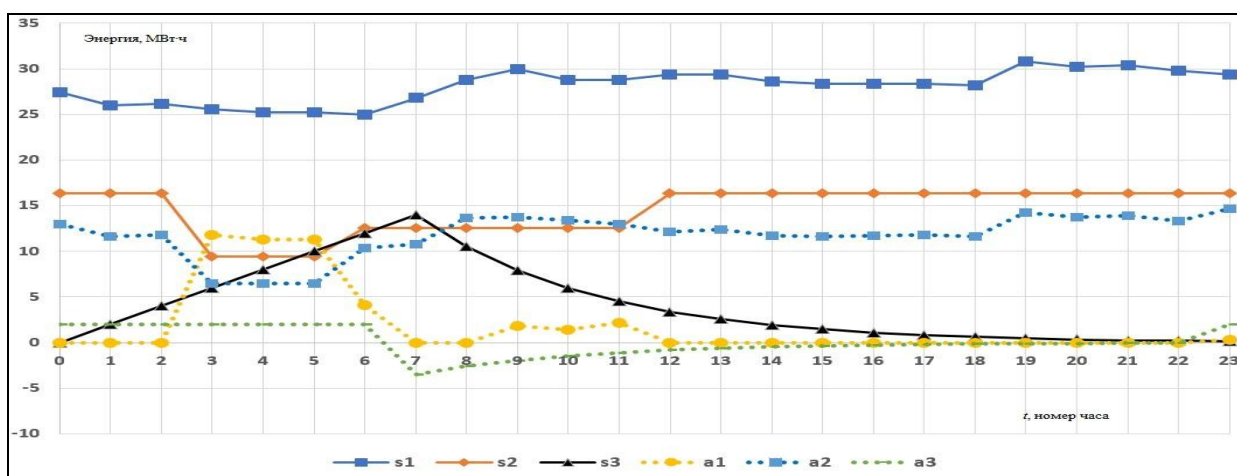


Рис. 10. Суточные графики состояний и действий ГП1, пример после оптимизации.

Суточные графики состояний и управляющих действий для ГП<sub>1</sub> вариант 3 (обмен и с внешней электроэнергетической системой, и между ГП) при емкости накопителя 16 МВт показаны на рис.10. Обозначения такие же, как использованы для рис.4.

Из графика видно, что ГП<sub>1</sub> начинает запасать электроэнергию, пока действует более дешевый ночной тариф, а днем тратит ее. Потребности ГП<sub>1</sub> в электроэнергии все время выше выработки его ВЭУ, поэтому ему требуется часть энергии покупать у внешней электроэнергетической системы, часть у соседнего ГП<sub>2</sub>. С трех до пяти часов ночи выработка ВЭУ снизилась у обоих ГП, поэтому на графике покупки электроэнергии у внешней системы ГП<sub>1</sub> наблюдается повышение в этот период времени (не может купить полностью к ГП<sub>2</sub>, так как ГП<sub>2</sub> не способен столько продать в этот период). Хотя приходится покупать у внешней системы по более высокой цене, чем у соседнего ГП, процесс накопления энергии не останавливается, поскольку в ночной пе-

риод покупка у внешней системы дешевле, чем покупка днем у соседнего ГП.

**Программная реализация и время расчетов.** Данная задача не требует решения в режиме реального времени, поэтому большого внимания скорости расчетов не уделялось в исследовании. Алгоритмы реализованы на С++ без распараллеливания, на процессоре i7-3630QM 2.4 Нз. Получение оптимального решения роевым требовало 10–40 секунд. Разработанное приложение «Оптимизация режимов электропотребления при двусторонних потоках энергии путем выбора приоритетности правил на основе алгоритмов роевого интеллекта» зарегистрировано ФСИС РФ в Реестре программ для ЭВМ, свидетельство № 2018616447 от 01.06.2018.

## Выводы

1. Для повышения энергоэффективности генерирующих потребителей с возобновляемыми источниками энергии в концепции Smart Grid целесообразно строить управляющую систему путем решения задачи

оптимального управления в недетерминированных условиях. В работе задача оптимального управления была решена путем оптимизации правил, задающих управление ГП. В правилах не учитываются прогнозы собственного потребления и выработки генерирующего потребителя, а только его текущее состояние. Это снижает риск ошибки управления из-за неточностей прогнозов, что важно в условиях высокой зависимости выработки от труднопредсказуемой энергии ветра. Решение задачи оптимального управления позволяет ГП построить выгодную для себя политику взаимодействия с внешней электроэнергетической системой и соседними ГП.

2. Алгоритмы роевого интеллекта являются эффективными с точки зрения критерия оптимальности, скорости работы и сходимости к оптимальному решению. Все три используемых алгоритма (частиц, светлячков, пчел) дали одинаковые результаты. Задача может быть решена с несколько (1–2 %) меньшей точностью и градиентными алгоритмами, но они требуют многократных запусков из-за попадания в локальные экстремумы и поэтому глобальное решение задачи даже при многократных запусках может не быть найдено.

3. Емкость накопителя ГП является одним из важнейших факторов, позволяющих повышать его экономическую эффективность. Чем выше емкость накопителя (до некоторого предела, который определяется оптимизацией и моделированием), тем больше у ГП пространства для маневра, то есть больше вариантов и возможностей для выгодного обмена электроэнергией в Smart Grid системе с двусторонними потоками.

#### Литература:

1. Манусов, В.З., Хасанзода Н. Оптимизация энергоэффективности ветровых ресурсов Дальнего Востока на основе алгоритма роевого интеллекта // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). – 2018. – № 19-21. – С. 12–22.
2. Манусов В.З., Хасанзода Н. Холонический подход для интеллектуальных сетей в концепции Smart Grid при двустороннем потоке энергии // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – №3-4. – С. 206–211.
3. Манусов В.З., Хасанзода Н. Оценка мощности ветроэнергетических установок на основе нечеткой модели ветрового потока и

его вероятностных характеристик // Докл. АН высшей школы РФ. – 2019. – №1 (42), С. 73–82.

4. Ha, D.L., Guillou H., Martin N., Cung V.D., Jacomino M. Optimal scheduling for coordination renewable energy and electric vehicles consumption // In proc. IEEE International Conference on Smart Grid. Miami, FL, USA, 2-5 Nov. – 2015. – 2016. – P. 319–324.

5. Mortaji, H., Siew S., Moghavvemi M., Almurib H. Load Shedding and Smart-Direct Load Control Using Internet of Things in Smart Grid Demand Response Management // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2017. – Vol 53, iss. 6. – P. 5155–5163.

6. Shah, P., Hussain I., Singh B. Multi-Resonant FLL Based Control Algorithm for Grid Interfaced Multifunctional Solar Energy Conversion System // IET Science, Measurement and Technology. – 2018. – Vol. 12, is. 1. – P. 49–62.

7. Манусов, В.З., Хасанзода Н, Бобоев Ш.А. Исследование оптимальных режимов интеллектуальных сетей с двухсторонним потоком энергии // Научный вестник НГТУ. – 2018. – №3. – С. 175–190.

8. Растрин, Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980. – 232 с.

9. Ногин, В.Д. Введение в оптимальное управление. Учебно-методическое пособие. – СПб: Изд-во «ЮТАС», 2008. – 92 с.

10. Манусов, В.З., Хасанзода Н., Матренин П.В. Повышение энергоэффективности ветроэнергетических установок на основе роевого интеллекта // Новое в российской энергетике. – 2018. – № 10. – С. 36–43.

11. Yang, X., etc. Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: – Theory and Applications, Elsevier Inc., 2013. – 450 p.

12. Манусов В.З., Хасанзода Н., Матренин, П.В., Применение методов искусственного интеллекта в задачах управления режимами электрических сетей Smart Grid // Новосибирск: Издательство Новосибирский государственный технический университет, 2019 – 240 с.

13. Матренин, П.В., Манусов В.З. Адаптивный алгоритм роя частиц в задачах оперативного планирования // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 4 (142). – С. 11–15.

14. Глебов, Н.И., Кочетов, Ю.А., Плясунов, А.В. Методы оптимизации: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000. – 105 с.

**ИДОРАКУНИИ МУНОСИБИ  
ТАВЛИДКУНАНДАИ  
ИСТЕЪМОЛКУНАНДА БО  
ИСТИФОДАИ БАЗАИ ҚОИДАҲОИ  
МАНТИҚӢ ВА АЛГОРИТМИ ЗЕҲНИ  
ТӢДАВӢ**

*З.В. Кобулиев, Н. Ҳасанзода, М.И. Сафаров,  
А.С. Зиёев, А.Р. Зокиров*

Дар мақолаи мазкур масъалаи идоракунии муносиби тавлидкунандаи истеъмолкунандаи маъбаъҳои барқароршавандаи энергия дар шабакаи интеллектуалӣ бо насли тақсимшуда ва ҷараёни дучонибаи энергия дида баромада шудааст. Нишон дода шудааст, ки идоракуниро дар шароити ғайриқатъӣ аз сабаби пешбинии ғайриимкони коркарди электроэнергия аз ҷониби маъбаъҳои барқароршаванда иҷро кардан лозим аст. Барои идоракунии тавлидкунандаи истеъмолкунанда модели интихоби амалиёти идоракунанда дар асоси қоидаҳои мантиқӣ, ки ба зарурати ҳалли масъалаи муносибгардонии сохторӣ-параметрии рӯйхати қоида ва қиматҳои андозаҳои ададӣ оварда шуда, истифода гардидааст. Баръакси тадқиқоти мавҷуда масъалаи идоракунии муносиб аз нуқтаи назари тавлидкунандаи истеъмолкунандаи алоҳида, на аз тамоми системаи тақсимкунанда, инчунин идоракунии бе истифодаи пешбинӣ дар намуди ошқори истеҳсол ва истеъмоли дида баромада шудааст. Ҳалли ҷунин масъалаи муносибгардонӣ тариқи се алгоритми тӯдаи зеҳнӣ иҷро шудааст: алгоритми тӯдаи зарраҳо, алгоритми занбӯрҳо, алгоритми кирми шабчароғ ва алгоритми қоҳиши градиент.

**Калимаҳои калидӣ:** тавлидкунандаи истеъмолкунанда, тӯдаи зеҳн, муносибгардонии сохторӣ-параметрӣ, идоракунии муносиб, энергетикаи барқароршаванда, шабакаҳои зеҳнӣ.

**OPTIMUM CONTROL OF THE  
GENERATING CONSUMERS USING THE  
BASIS OF LOGIC RULES AND ROYAL  
INTELLIGENCE ALGORITHMS**

*Z.V. Kobuliev, N. Khasanzoda, M.I. Safarov,  
A.S. Ziyoev, A.R. Zokirov*

**Abstract** -The paper considers the problem of optimal control of a generating consumer with renewable energy sources in smart grid with distributed generation and two-way energy

flows. It is shown that management must be performed in non-deterministic conditions due to the impossibility of accurate forecasting of the generation of electricity by renewable sources. To control the generating consumer, a model of control action selection based on a set of logical rules is used. Therefore, it's necessary to solve the structural-parametric optimization of the order of the rules list and the values of rules numerical parameters. In contrast to the existing studies, the problem of optimal control is considered from the point of view of a separate generating consumer, and not of the entire distributed system, as well as control without explicitly using forecasts of energy production and consumption. The solution of this optimization problem is performed by three swarm intelligence algorithms (Particle Swarm Optimization, Bee Algorithm, Firefly Optimization) and by the gradient descent algorithm.

**Keywords:** generating consumer, swarm intelligence, structural-parametric optimization, optimal control, renewable energy, smart grid.

**Сведения об авторах:**

Кобулиев Зайналобудин Валиевич – д.т.н., профессор чл.-корр. АН Республики Таджикистан, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии при Академии наук Республики Таджикистан  
E-mail: kobuliev@mail.ru

Ҳасанзода Насрулло – к.т.н., ассистент кафедры «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.  
E-mail: nasrullo-5445@mail.ru

Сафаров Манучехр Исуфович – ст. препод. кафедры «Автоматизированный электропривод и электрические машины» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.  
E-mail: manu\_1804@mail.ru

Зиёев Абдулҳақим Сафарович – инспектор труда Республиканского комитета профсоюза работников энергетики Таджикистана. Тел: +(992) 917-55-22-75

Зокиров Амин Раджабович – ассистент кафедры «Электрические станции» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

## К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

З.С. Ганиев<sup>1</sup>, Ш.Д. Самади<sup>2</sup>, М.Х. Содиков<sup>3</sup>, Р.И. Каримов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в городе Душанбе

<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

<sup>3</sup>Институт экономики сельского хозяйства Таджикской академии сельскохозяйственных наук

<sup>4</sup>Таджикский государственный финансово-экономический университет

**Аннотация** – В статье приведена актуальность использования солнечных энергоустановок в условиях Республики Таджикистан. Обоснована целесообразность использования солнечных панелей для выработки электрической энергии на отдаленных от электрической сети населенных пунктов, с целью устранения дефицита электроэнергии. Показана, что величина солнечной радиации на характерных точках территории республики зависит от высоты точки измерения над уровнем моря. С помощью программы HOMER рассчитаны уровни солнечной радиации для каждого населенного пункта, по результатам которых определены мощности источников генерации солнечной энергии. Рассмотрены покрытия дефицита годового графика нагрузки в течении 5 осенне-зимних месяцев. В итоге получено оптимальное решение полного устранения дефицита за счет солнечных панелей и ветровой энергии на 0,4 % от обжитой площади Таджикистане.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, энергоустановки, ресурсы солнечной энергии, дефицит.

Солнце является основным источником энергии на Земле. Объем энергии поступающий на Землю с солнечными лучами, больше используемой энергии на Земле, порядка в 10000 раз. Ежегодное потребление энергии на мировом рынке составляет примерно 85 триллионов ( $85 \cdot 10^{12}$ ) кВт·ч. В том числе, в США потребление энергии в 2010 году составляло примерно 25 триллионов кВт·ч в год, из которых 4,326 триллиона кВт·ч составляла электрическая энергия, что составляет 17,3 % от общего годового потребления энергии [1].

Факторы, влияющие на количество энергии, приходящиеся на единицу площади в единицу времени, это: широты и соответственно угла наклона поверхности по отношению к Солнцу, а также характеристик местного климата по сезонам года. Естественно, на территории расположенные ближе к экватору попадает большее количество энергии, чем в странах

отдаленных от экватора. Если в странах Центральной Европе, Центральной Азии и Канаде количество солнечной энергии попадающее на поверхность Земли составляет 1000 кВт·ч/м<sup>2</sup>, в Средиземноморье - 1700кВт·ч/м<sup>2</sup>, на территории, стран Ближнего Востока, Австралии и в большинстве пустынных областей Африки - 2200 кВт·ч/м<sup>2</sup> [2, 3].

Среднегодовое количество солнечной радиации в Европе, странах Карибского бассейна и Таджикистане, приведено ниже на рис.1.

Среди всех стран мира, Китай, Германия, Япония и США являются лидерами в сфере развития солнечной энергетики. Так, например, на 2012 год более 43% мощности солнечных электростанций мира были установлены в Германии. В настоящее время практически 70 % солнечного теплоснабжения в мире принадлежит Китаю, в будущем Китай намерен выйти на мировой рынок фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии в качестве лидера.

Россия также обладает значительным потенциалом по использованию солнечной энергии. Показатели инсоляции (количество солнечной радиации) во многих регионах практически совпадает с севером Испании и югом Германии.

В России высокая инсоляция наблюдается не только на южных территориях, но и в центральных областях, а также на значительной части юга Сибири и Дальнего Востока. Как отмечается в [4] Россия серьезно отстает как по объему ввода, так и по технологии преобразования различных видов возобновляемой энергии. В России очень мало используются возобновляемые источники энергии (ВИЭ), за исключением малых ГЭС. Доля выработки электроэнергии ВИЭ (за исключением больших ГЭС) в 2015 год от общей выработки составляет 2,5 % и к 2020 году предусматривается довести эту долю до 4,5%.

Если ВЭС в 2015 году выработали 2,6 млрд. кВт·ч при установленной мощности 1500 МВт, то солнечными электростанциями (СЭС) за этот год выработана всего 2 млн.

кВтч при установленной мощности 1,5 МВт. До 2024 году в России предусматривается рост мощности СЭС до 1500 МВт. Регионами применения сетевых СЭС могут явиться [4]: Краснодарский край, Астраханская область, Оренбургская область, Башкортостан, Крым, Алтай.

Развитие солнечной фотоэнергетики наиболее динамично в энергетике. В конце 2014 года мощность сетевых СЭС в мире составила 179000 МВт (179 ГВт), а в 2015 году эта мощность увеличилась до 230 ГВт. Установленная мощность СЭС Китая на 2015 год составляла 43,1 ГВт, а Германия находится на втором месте по – 42,2 ГВт.

Географически Таджикистан расположен между 37-м и 41-м градусами северной широты, территория которого входит в зону так называемого «мирового солнечного пояса» [5, 6]. Территориальный фактор дает возможность Таджикистану иметь большой потенциал для использования солнечной энергии. Климат Таджикистана резкоконтинентальный. Это большой разброс суточных и сезонных колебаний воздуха, малое количество осадков, сухость воздуха и малая облачность. При этом, количество солнечных дней в году изменяется в пределах от 270 до 300, а продолжительностью сияния достигает значений: 2100-3166 часов в год.

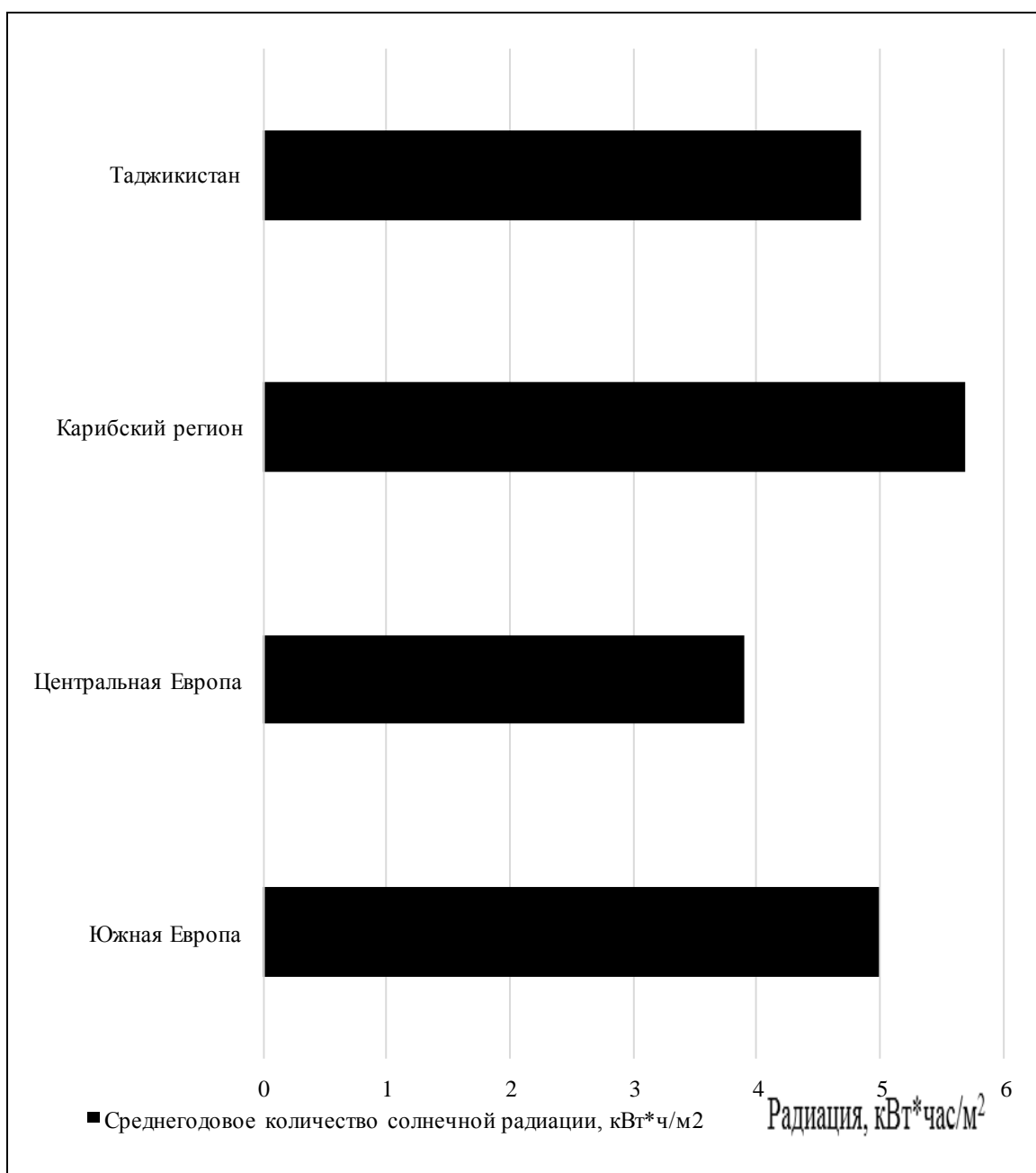


Рис.1. Среднегодовое количество солнечной радиации.



Наибольшая продолжительность солнечного сияния (более 3000 часов в год) наблюдается на юге республики (Пяндж-3029 часов) и на восточном Памире (Каракуль – 3166 часов). Годовые значения суммарной радиации при ясном небе составляют 7500-7800 МДж/м<sup>2</sup> в долинно-предгорных частях, а в горных частях республики 8600-9200 МДж/м<sup>2</sup>. Суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе колеблются от 5600 МДж/м<sup>2</sup> в долинах до 8200 МДж/м<sup>2</sup> в высокогорьях [7, 8, 9].

На рис.2 приведены зависимости солнечной радиации для характерных месяцев – июнь, декабрь месяцев, описанные нижеприведенными эмпирическими уравнениями (1) и (2):

$$y_{VI} = 4.193 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 3.0937 \cdot 10^{-4} \cdot x + 30.417 \quad (1)$$

$$y_{XII} = -7.157 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 - 0.001176 \cdot x + 9.1292 \quad (2)$$

На продолжительность солнечного сияния в условиях высокогорья, помимо прочих факторов, большую роль играет рельеф местности. В узких долинах и на крутых склонах число часов солнечного сияния снижается. Весной, по сравнению с горизонтальной поверхностью, северные склоны крутизной 100 и 300 получают радиацию на 10-15 и 15-20% меньше соответственно, а летом приход суммарной радиации не отличается от прихода на горизонтальную поверхность [9].

Теоретическое распределение солнечного облучения, в течении года, горизонтальной площадки в ясный день на средней широте Таджикистана (39°с.ш.), приведены на рис.3.

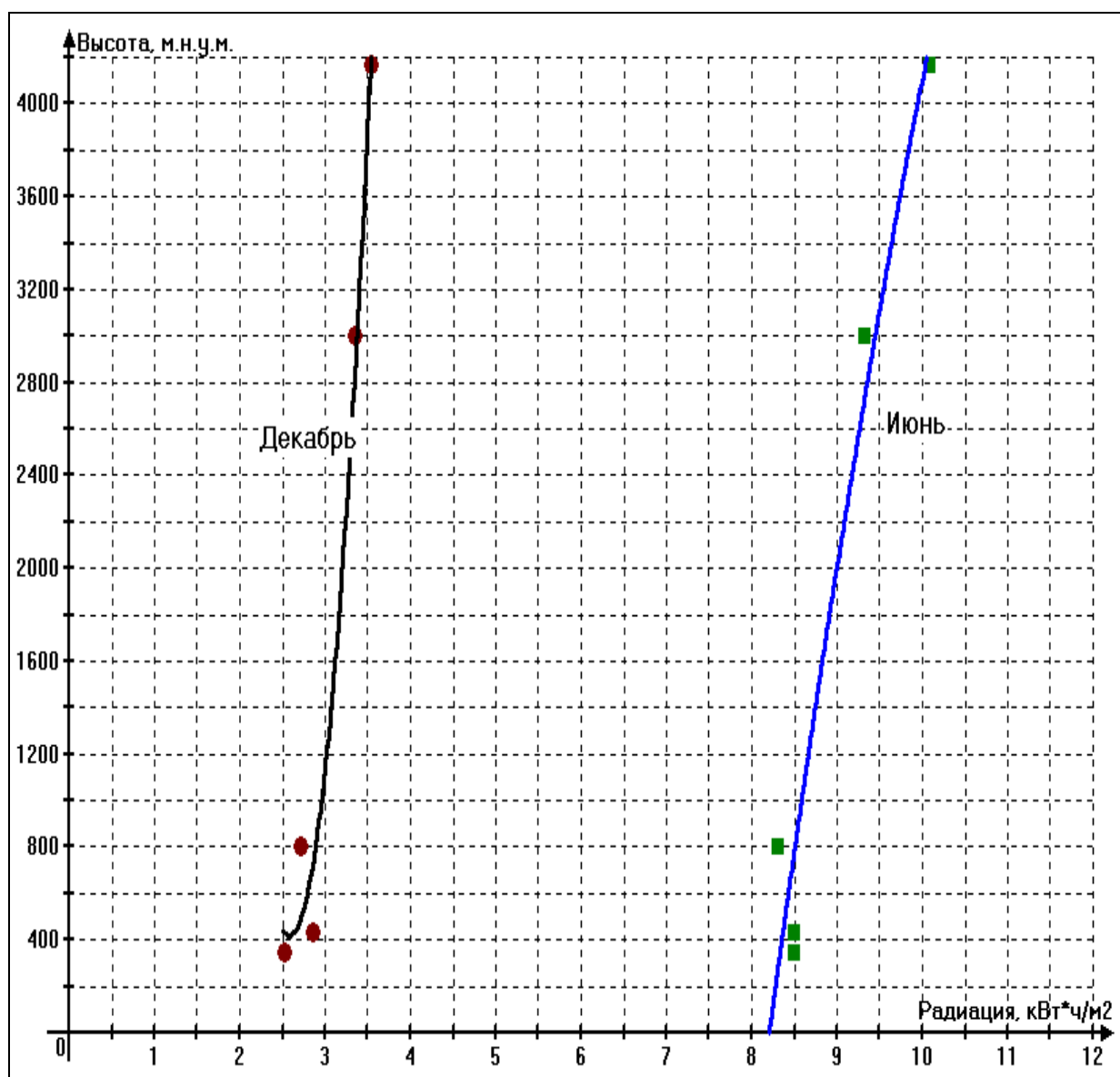


Рис.2. Сумма солнечной радиации в зависимости от высоты в регионах Таджикистана.

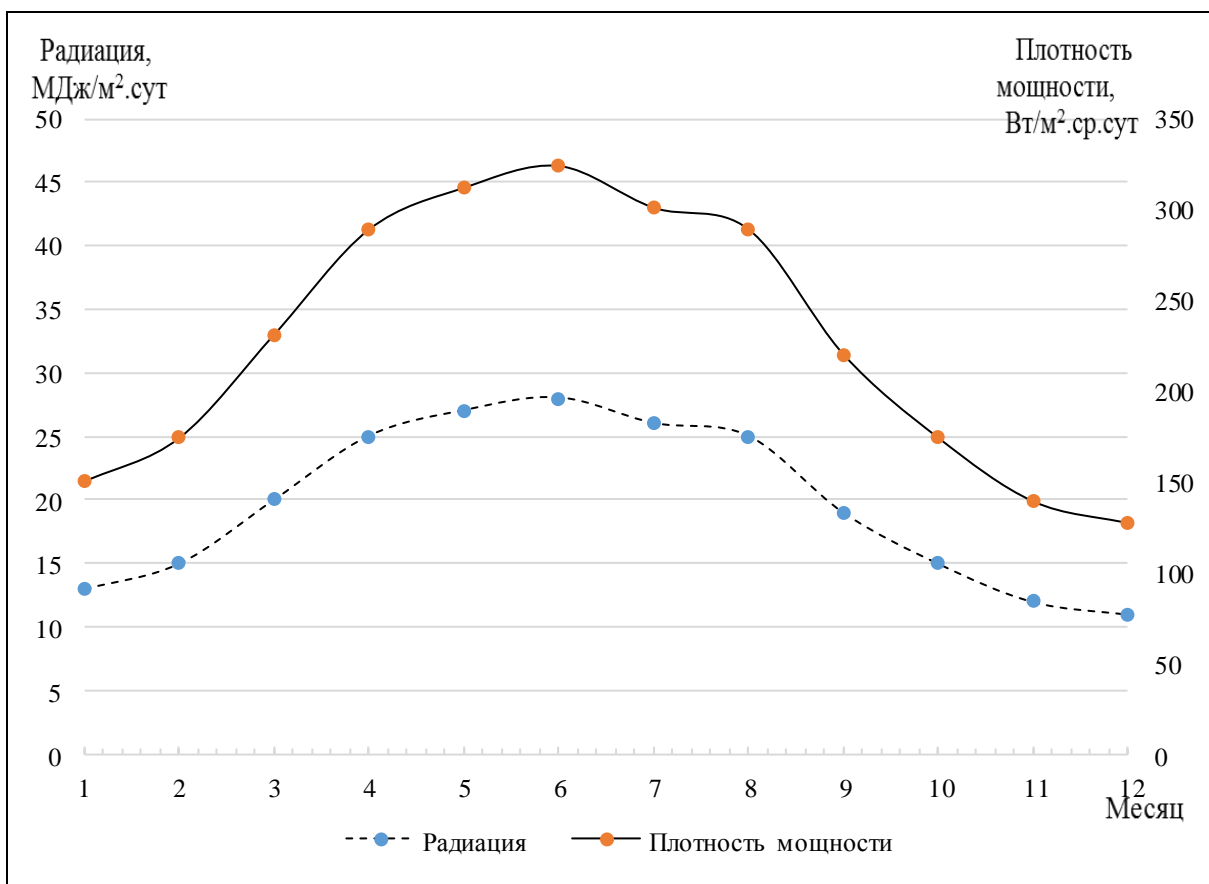


Рис.3. Теоретические параметры солнечного облучения горизонтальной площадки на поверхности Земли на широте Таджикистана.

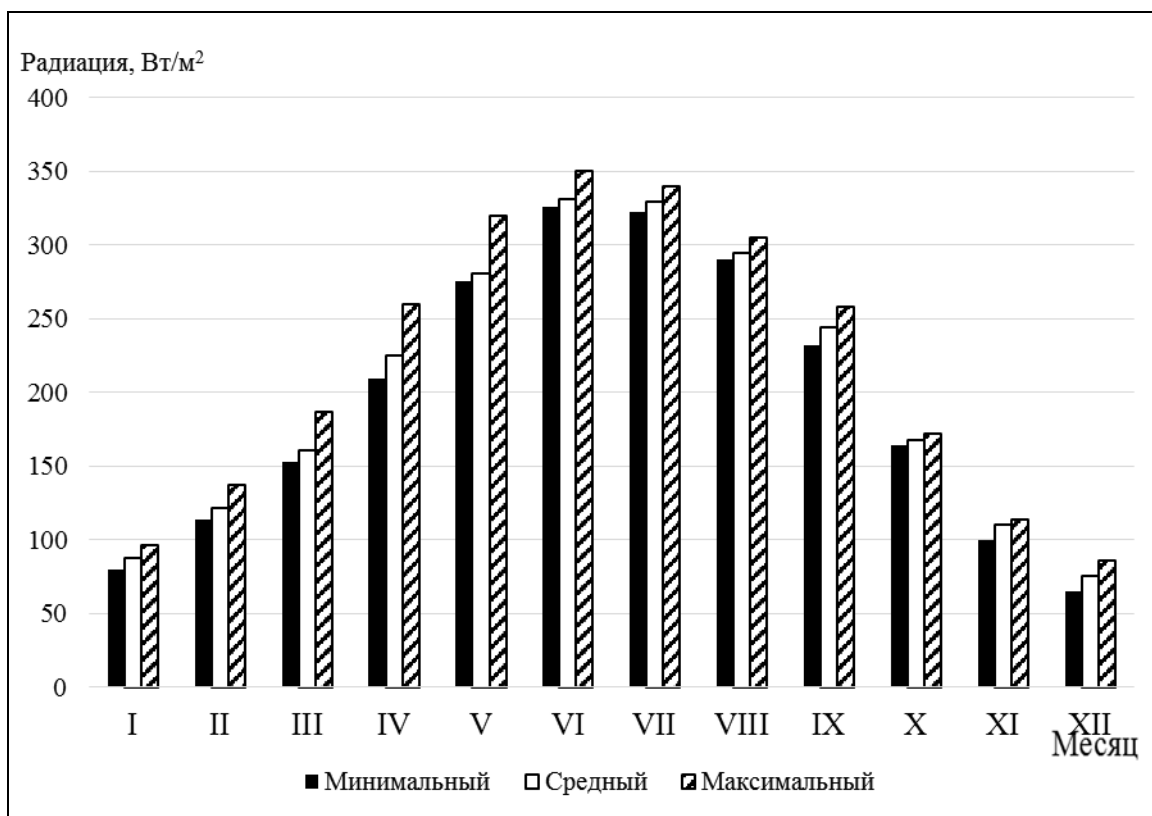


Рис. 4. Солнечная радиация в основных населенных пунктах Таджикистана (по данным гидрометеостанций).

Среднесуточное значение теоретического солнечного облучения для Таджикистана в ясный день, приблизительно составляет 228 Вт/м<sup>2</sup>. Эти данные сопоставимы с непосредственными наблюдениями гидрометеостанций (рис.4).

Среднее значение мощности солнечного облучения (рисунок 4) равно 202,2 Вт/м<sup>2</sup>. При общей площади территории Таджикистана 143,1 тыс. км<sup>2</sup> [1], это дает общую среднегодовую мощность  $P_{ср.} = 28\,934\,820$  МВт.

Годовая продолжительность солнечного сияния на территории республики колеблется от 2100 до 3166 часов в году, в том числе в наиболее обжитых районах - Гиссарской и Вахшской долине и Согдийской области - превышает 2700 часов в году. Число дней без солнца в этих районах составляет всего 35-40 в году [9]. Использование солнечной энергии реально только непосредственно в районах проживания населения, а последние составляют всего 7% территории Таджикистана (93% - горы). Общие потенциальные ресурсы солнечной энергии в республике будут составлять, с учетом, что общее количество солнечных дней в году составляет 90%, получим общую потенциальную мощность солнечной энергии ( $P_{общ.исп.}$ ) для Таджикистана:

$$P_{общ.исп.} = P_{ср.} \cdot 0,07 \cdot 0,9 = 2025437 \cdot 0,9 = 1822894 \text{ МВт}$$

Полное освоение этого теоретического потенциала возможно только при полном покрытии всей обжитой территории республики солнечными батареями со 100-% к.п.д.

Технически возможно расположить солнечные батареи только на небольшой площади. Примем, с запасом, что площадь таких батарей в расчете на одного жителя будет равна  $\rho_{ж.} = 2 \text{ м}^2/\text{чел.}$  При населении Таджикистана  $K_{л} = 9.37$  млн. человек, учитывая опять, что количество солнечных

дней в республике в среднем в году равно 90%, получим общую потенциальную мощность, соответствующую этой площади:

$$P_{техн.воз.} = P_{т.в.} \cdot \rho_{ж.} \cdot K_{л} = 202.2 \cdot 2 \cdot 9.37 \cdot 0.9 = 2620.5 \text{ МВт}$$

где,  $P_{т.в.} = 202.2 \text{ Вт/м}^2$  - технически возможная мощность на 1 м<sup>2</sup>.

При прямом преобразовании в электроэнергию, выходная мощность будет меньше. Приняв даже, что в солнечных батареях будут использованы кристаллы *ZnMnTe*, воспринимающие фотоны сразу трех частот — с энергией 0.7, 1.8 и 2.6 эВ и имеющие расчетный КПД ( $\eta = 57\%$ ) [10], или им подобные, получим, что технический потенциал солнечной энергии ( $P_{техн.пот.СЭС.}$ ) в Таджикистан равен:

$$P_{техн.пот.СЭС.} = P_{техн.воз.} \cdot \eta = 2620.5 \cdot 0.57 = 1493.7 \text{ МВт}$$

В настоящее время в Таджикистане неравномерно снабжается электроэнергией. В этих условиях будет в первую очередь востребован потенциал солнечной энергии именно осенне-зимнего периода. Например, в Горно – Бадахшанской автономной области (ГБАО) только 80% население имеет доступ к электросети, а средний индивидуальный годовой расход составляет порядка 500 кВт·ч.

Отдаленность ГБАО, недостаточное производство электрической энергии и суровая зима серьезно ограничивает доступ местного населения к электричеству. В летнее время достаточно, а в зимнее имеется дефицит электроэнергии.

Недостаточная инфраструктура линий электропередачи и распределения, а также с очень малой генерирующей мощностью объясняются эта ситуация.

Отсюда следует, что необходимо привлекать другие источники энергии, которыми могут быть, в частности, солнечные энергоустановки.

Таблица 1.

Покрытие дефицита мощности при установке солнечной панели на территории 1%.

Месяцы Параметры	ЯНВ	ФЕВ	ОКТ	НОЯБ	ДЕК
Общая выработка солнечной энергии в РТ МВт/км <sup>2</sup>	87,2	121,6	167,4	110	75,6
Обжитая территория РТ км <sup>2</sup>	10296	10296	10296	10296	10296
Общая мощность солнца по РТ, МВт	897811,2	1251994	1723550	1132560	778377,6
С учетом КПД солнечных панелей	359124,5	500797,4	689420,2	453024	311351
Потенциал ветровой энергии, МВт	2,2	2,1	2,1	2,2	2,1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Дефицит мощности, МВт	606,095	468,563	590,159	520,33	572,719
Доля площади РТ для возможной установки солнечных панелей, %	3591,245	5007,974	6894,202	4530,24	3113,51
С учетом 10 часов за сутки	1508,323	2103,349	2895,565	1902,701	1307,674
Выработка электрической энергии за счет СЭС на 1 % от обжитой площади, МВт	1508	5228	2895	1902	1307
Сумма солнечный и ветровой энергии, МВт	1510,2	5230,1	2897,1	1904,2	1309,1
Ликвидации дефицита	904,105	4761,537	2306,941	1383,87	736,381

На территорию Таджикистана приходится значительная доля солнечной радиации, что открывает широкие возможности для получения и покрытия графика электропотребления с помощью солнечной энергетики. В настоящей работе были определены возможности получения энергии на основе замеров уровня солнечной радиации в населенных пунктах.

На первом этапе с помощью программы HOMER, были рассчитаны уровни для каждого населенного пункта, географические координаты которых были заданы соответствующей долготой и широтой.

На втором этапе по полученным значениям радиации определены мощности источников генерации солнечной энергии.

Были рассмотрены покрытие дефицита годового графика нагрузки в течение 5 месяцев (таблица 1) при различной площади солнечных панелей. Условия покрытия дефицита мощности января, февраля, октября, ноября и декабря месяцев при различной площади установленных солнечных панелей, а именно: 1%, 0.5%, 0.1% от обжитой площади Таджикистана. Результаты приведены в таблицах 3, 4, 5, 6.

Таблица 2.

Покрытие дефицита мощности при установке солнечных панелей на территории 0.5%.

Параметры	Месяцы				
	ЯНВ	ФЕВ	ОКТ	НОЯБ	ДЕК
Доля площади РТ для возможной установки солнечных панелей, %	1795,622	2503,987	3447,101	2265,12	1556,755
С учетом 10 часов за сутки	754,1614	1051,675	1447,782	951,3504	653,8372
Выработка электрической энергии за счет СЭС на 0,5 % от обжитой площади, МВт	754	1051	1447	951	653
Сумма солнечной и ветровой энергии, МВт	756,2	1053,1	1449,1	953,2	655,1
Ликвидации дефицита	150,105	584,537	858,941	432,87	82,381

Таблица 3.

Покрытие дефицита мощности при установке солнечных панелей на территории 0.1%.

Параметры	Месяцы				
	ЯНВ	ФЕВ	ОКТ	НОЯБ	ДЕК
Доля площади РТ для возможной установки солнечных панелей, %	359,1245	500,7974	689,4202	453,024	311,351
С учетом 10 часов за сутки	150,8323	210,3349	289,5565	190,2701	130,7674

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Выработка электрической энергии за счет СЭС на 0,1 % от обжитой площади, МВт	150	210	289	190	130
Сумма солнечной и ветровой энергии, МВт	152,2	212,1	291,1	192,2	132,1
Ликвидации дефицита	-453,895	-256,463	-299,059	-328,13	-440,619

Таблица 4.

Покрытие дефицита мощности при установке солнечных панелей на территории 0.4%.

Параметры	Месяцы					
	ЯНВ	ФЕВ	ОКТ	НОЯБ	ДЕК	
Доля площади РТ для возможной установки солнечных панелей, %	1436,498	2003,19	2757,681	1812,096	1245,404	
С учетом 10 часов за сутки	603,3291	841,3397	1158,226	761,0803	523,0697	
Выработка электрической энергии за счет СЭС на 0,4 % от обжитой площади, МВт	603	841	1158	761	523	
Сумма солнечной и ветровой энергии, МВт	605,2	843,1	1160,1	763,2	525,1	
Ликвидации дефицита	-0,895	374,537	569,941	242,87	-47,619	

В результате проведенных исследований получено оптимальное решение полного устранения дефицита мощностей за счет солнечных панелей на 0.4% обжитой территорий Таджикистана.

### Выводы

1. Проведенный анализ относится к получению электрической энергии, путем прямого преобразования солнечной энергии.
2. Большой интерес представляет также использование солнечной энергии в социально-бытовом секторе, в целях отопления жилья и горячего водоснабжения.

### Литература:

1. Официальный сайт: Википедия: Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org> (Дата обращения 01.11.2019 г.)
2. Киргизов А.К. Влияние местности на определение потенциала возобновляемых источников энергии // А.К. Киргизов, З.С.

Ганиев, Р.А. Джалилов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования // 2018. Т. 1. № 1 (41). С. 34-46.

3. Манусов В.З. Обоснование использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии для покрытия дефицита мощности в Республике Таджикистан // В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Д.С. Ахъёев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока // 2017. № 1-2. С. 139-142.

4. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика / В.В. Елистратов. – 3 – е изд., доп. – СББ.: Изд – во Политехн. Ун – та, 2016. 424 с.

5. Манусов В.З. Оценка доступности энергетических ресурсов за счет солнечной радиации в Республике Таджикистан // В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Ш.М. Султонов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2018. № 1. С. 174-177.

6. Шохзода Б.Т. Исследование потенциала солнечной энергии в Таджикистане // Б.Т.

Шохзода, Ш.Дж. Джураев // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – 2019. №1 (45) – 2019. С. 25 – 31.

7. Безруких П.П. Аналитический доклад «Нетрадиционные возобновляемые источники энергии», Москва, ЭСКО, № 5, 2008.

8. Ахмедов Х.М., Каримов Х.С. Возобновляемые источники энергии в Таджикистане и возможности их использования. Душанбе, 2005, 35 с.

9. Петров Г.Н. Общая оценка ситуации в энергетике в мире и Таджикистане // Петров Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С. // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2009. № 2. С. 101-111.

10. Солнечная энергетика: учебное пособие / В.И. Виссарионов и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.

### **ОИДИ МАСЪАЛАИ ИСТИФОДАБАРИИ ТАҶҶИЗОТҶОИ ЭНЕРГЕТИКИИ ОҶТОБИ ДАР ШАРОИТИ ҶУМҶУРИИ ТОҶИКИСТОН**

***З.С. Ғаниев, Ш.Д. Самади,  
М.Х. Содиков, Р.И. Каримов***

Дар мақолаи мазкур муҳимнокии истифодаи нерӯгоҳҳои барқӣ-оғтобиро дар шароити баландкуҳҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст. Инчунин истифодаи оқилонаи панелҳои оғтобиро барои истеҳсоли энергияи электрикӣ, бо мақсади аз байн бурдани норасоии он дар шабакаҳои барқидурдасти аҳолинишини баландкуҳи ҷумҳурӣ, асоснок карда шудааст. Инчунин дар мақола вобастагии бузургии радиатсияи оғтоб дар нуктаҳои зарурии қаламрави ҷумҳурӣ аз баландии нуктаи ченкунӣ аз сатҳи баҳр нишон дода шудааст. Бо ёрии барномаи NOMER сатҳи радиатсияи оғтоб барои ҳамаи нуктаҳои аҳолинишин ҳисоб карда шудааст, ки дар асоси натиҷаи он иқтидори истеҳсоли манбаҳои энергияи оғтобӣ муайян карда шудааст. Инчунин роҳҳои аз байн бурдани норасоии нақшаи солонаи сарборӣ дар муддати 5 моҳҳои тирамоҳу зимистон дида шудааст. Дар натиҷа бехтарин роҳи ҳалли пурра аз байн бурдани норасоии энергияи электрикӣ дар шабакаҳои зикршуда, аз ҳисоби истифодаи панелҳои оғтобӣ дар 0,4 % масоҳоти минтақаҳои

истиқомати Тоҷикистон ба даст оварда шудааст.

***Калимаҳои калидӣ:*** радиатсияи оғтобӣ, таҷҳизотҳои энергетикӣ, захираҳои энергияи оғтобӣ, норасоии энергияи электрикӣ, баландкуҳҳо.

### **TO THE QUESTION ABOUT THE USE OF SOLAR POWER INSTALLATIONS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

***Z.S. Ganiev, Sh.D. Samadi, R.I. Karimov,  
M.H. Sodiqov***

***Abstract*** - Actuality relevance of the work in the study of the expedience of using solar power at the circumstance on the condition of the highland Republic. To study the expedience of using solar panels to generate electricity in remote from an electric network alpine settlements, with the purpose to removal deficit of the electric power. To study the solar location of points in the territory of the republic. Using solar radiation levels NOMER program calculated for each locality, the results of which are defined power generation energy sources solar power. Coverings of the annual schedule of load deficit for 5 autumn and winter months. As a result, the optimal solution is obtained the complete elimination of the expense of solar panels at 0.4 kV from the inhabited area of Tajikistan.

***Keywords:*** solar radiation, power station, solar energy resources, deficit, Highlands.

### **Сведения об авторах:**

Ғаниев Зокирджон Султонович – ст. преп. кафедры «Электроэнергетика» ДФ НИУ «МЭИ», Тел: +(992) 93-388-70-70, E-mail: zoko1981@mail.ru

Самади Шакарбек Додхо — к.э.н., ст. преподаватель кафедры «Экономика и управление на производстве»- ТТУ им. ак. М.С. Осими, Тел: +(992) 92-774-19-58, E-mail: s.shakarbek@mail.ru

Содиков Махсадулло Ҳайдарович — соискатель Института экономики сельского хозяйства Таджикской академии сельскохозяйственных наук (ИЭСХ ТАСХН), Тел: +(992) 900-00-09-91, E-mail: sodikoff@bk.ru,

Каримов Рустам Илхомович — докторант философии (PhD) по специальн. экономики Тел: +(992) 907-89 89-40, E-mail: k-rustam2014@mail.ru

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ТОКУ

*М.Д. Додхудоев, М.М. Вохидов*

*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

**Аннотация** - В статье рассматриваются методы нормирования сопротивления тела человека, как одни из основных параметров определяющего напряжения прикосновения при известном допустимом токе через тело человека при различных частотах, значениях токов и напряжений. Отмечается, что предложенные методы нормирования особенно важны при кратковременном воздействии электрического тока на организм человека.

**Ключевые слова:** сопротивление тела человека, напряжение прикосновения, допустимый ток, допустимое напряжение, частота тока.

Практический интерес при нормировании электрических параметров тела человека и допустимого уровня напряжения прикосновения имеет только полное сопротивление тела человека и его активная составляющая. Электрическая ёмкость и ёмкостная составляющая полного сопротивления необходимы только для выяснения физической сущности и закономерности изменения этого сопротивления [1, 2]. Однако отказаться полностью от ёмкостной составляющей полного сопротивления невозможно, так как она существует даже при высоких частотах и больших значениях напряжения [3]. Поэтому нормированию подлежит полное сопротивление тела человека [4]. Для нормирования за основной путь тока принимается наиболее вероятный его путь через тело человека, через которое чаще всего человек может оказаться под напряжением при случайном прикосновении его к токоведущим или нетокведущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением. При этом следует иметь в виду, что напряжения прикосновения для путей тока «рука-рука» и «рука-ноги» приблизительно одинаковы [5].

Известно [2], что электрическое сопротивление тела человека зависит от множества случайных факторов и является величиной вероятностной, поэтому численное его значение при различных значениях напряжения, тока и различных частотах тока должны определяться с определённой вероятностью. Вероятностная оценка численных значений сопротивление

тела человека при различных частотах, величинах напряжения и тока возможно при установлении закономерности не только эмпирических значений математического ожидания, но и их стандартного отклонения с изменением частоты, величины напряжения и тока.

Корреляционным и регрессионным анализом [6] установлено, что зависимость полного сопротивления ( $Z$ ) и его стандартного отклонения ( $\sigma$ ) от частоты ( $f$ ) при заданном значении напряжения ( $2В$  для полного исключения его влияния) описывается уравнением равнобочной гиперболы, асимптотической к линии, параллельной оси ординат:

$$Z = 0,892 + 0,2 \frac{1}{f}, \quad (1)$$

$$\sigma = 0,0568 + 0,0599 \frac{1}{f}, \quad (2)$$

а зависимость их от величины напряжения ( $U$ ) - уравнением равнобочной гиперболы асимптотической к линии, параллельной оси абсцисс:

$$Y = \frac{1}{a_1 + b_1 U}. \quad (3)$$

Для определения допустимого уровня напряжения прикосновения при различных допустимых значениях токов и времени их воздействия необходимо установить зависимость полного сопротивления ( $Z$ ) тела человека и его стандартного отклонения от величины протекающего через него тока ( $I$ ). Установлено, что эти корреляционные зависимости также описываются уравнением гиперболы, асимптотической к линии, параллельной оси абсцисс:

$$Y = \frac{1}{a_1 + b_1 I}, \quad (4)$$

где  $Y$  – результативной признак ( $Z, \sigma$ ).

Численные значения эмпирических коэффициентов ( $a_1, b_1, a_2, b_2$ ) уравнения регрессии (1-4) для различных частот тока приведены в таблице 1.

Приведенные корреляционные зависимости (1-4) характеризуются высокими значениями корреляционных отношений,  $\eta = 958$ , что подтверждает наличие интенсивной

связи сопротивление тела человека с частотой тока и величиной напряжения, а также хорошую согласованность корреляционных функций с опытными данными.

Сравнительный анализ численных значений эмпирических коэффициентов ( $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$ ) (табл. 1) уравнений регрессии (1-4) для различных частот показывает, что при переходе на относительно высокие частоты, влияние величин напряжения и тока на

величину полного сопротивления тела человека уменьшается. При переходе от частоты 50 Гц к относительно более высоким частотам кривые зависимости полного сопротивления тела человека от величины напряжения и тока становятся относительно пологими, и при частотах свыше 1600 Гц переходят в прямую линию параллельно оси абсцисс (рис. 1). При частотах свыше 3 кГц сопротивление тела человека практически от величины напряжения и тока не зависит.

Таблица 1.

Коэффициенты уравнения регрессии полного сопротивления от величин напряжения и тока различных частот.

Частота тока, кГц	Исследуемый параметр, кОм	Коэффициенты уравнения регрессии			
		$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$
0,05	Z	0,228	0,0048	0,236	0,013
	$\sigma$	0,763	0,0498	0,844	0,134
0,1	Z	0,2844	0,00475	0,2896	0,0118
	$\sigma$	0,9278	0,05886	0,9844	0,1477
0,2	Z	0,397	0,00719	0,4057	0,0125
	$\sigma$	1,7566	0,1525	1,9347	0,267
0,4	Z	0,537	0,0093	0,560	0,011
	$\sigma$	3,79	0,2875	3,989	0,4056
0,8	Z	0,786	0,0104	-	-
	$\sigma$	8,195	0,6455	-	-
1,6	Z	0,960	0,012	-	-
	$\sigma$	14,61	0,627	-	-

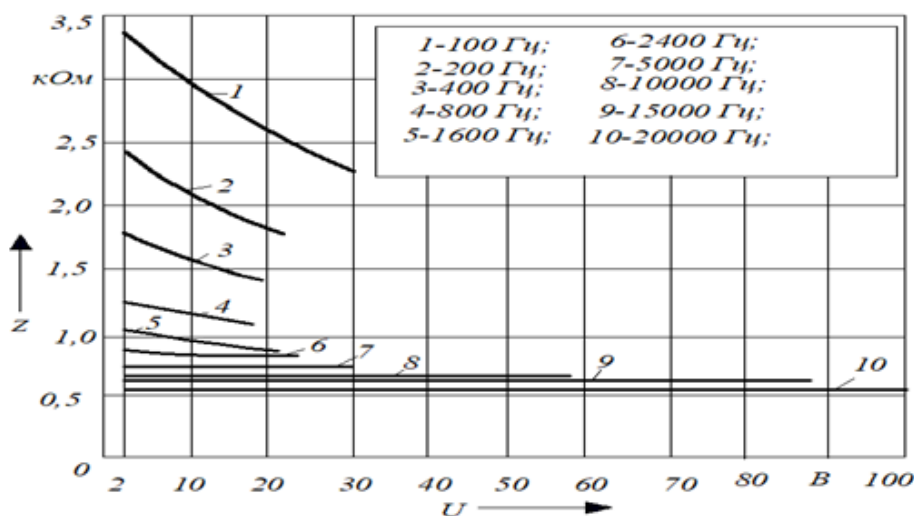


Рис.1. Зависимости полного сопротивления тела человека от величины напряжения при различных частотах.

Влияние частоты тока на величину полного сопротивления тела человека при

больших величинах напряжения и тока такое же, что и влияние на него величин



напряжения и тока при больших частотах. То есть, с ростом величин напряжения и тока влияние частоты на величину сопротивление тела уменьшается и в пределе от частоты не

зависит (рис.2). Поэтому для частот свыше 3 кГц нормирование сопротивления тела человека можно производить независимо от частоты и тока.

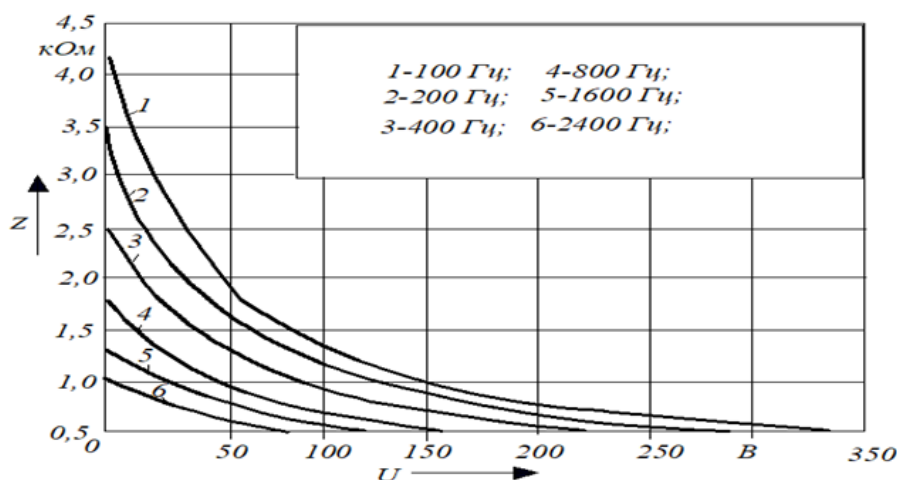


Рис.2. Зависимости значения математического ожидания полного сопротивления тела человека от величины напряжения для различных частоты тока.

Таким образом, как при определенной частоте, так и величине напряжения и тока сопротивление тела достигает минимальное значение и в дальнейшем не изменяется. Практически при значении напряжения электрической сети 380 В сопротивление тела человека равно 500 Ом.

Такая закономерность изменения сопротивления тела человека с изменением частоты, величины напряжения и тока позволяет аппроксимации выражения (1-4) в области более высоких значений напряжения прикосновения и токов, при которых непосредственная экспериментальная оценка его численных значениях невозможна. Однако такая аппроксимация допустима до значения напряжения и токов, при которых сопротивление тела человека по путям тока «рука-ноги», «рука-рука» не окажется менее 500 Ом. Для этого используются методы теории вероятности и математической статистики, позволяющие оценке минимального вероятностного значения сопротивления тела человека в большом диапазоне частот, величин напряжений и токов [6].

Согласно нормальному закону распределения случайных величин [6], с которым хорошо согласуются эмпирические распределения полного сопротивления тела человека при фиксированных частотах и величинах напряжения, минимальное вероятностное значение полного сопротивления при заданной частоте,

величине напряжения или тока определяется по выражению:

$$Z_{(P\%)} \leq Z_{50\%} - \beta \sigma_Z, \quad (5)$$

где  $Z_{50\%}$  - эмпирическая оценка математического ожидания полного сопротивления тела человека при заданной частоте и величине напряжения или тока, кОм;

$\beta$  - критерий Стьюдента;

$\sigma_Z$  - эмпирическое стандартное отклонение полного сопротивления при заданной частоте и величине напряжения или тока, кОм.

Численные значения  $Z_{50\%}$  и  $\sigma_Z$  определяются как параметры нормального закона распределения по формулам (1-4) с использованием данных табл.1. Значение  $\beta$  определяется по статистическим таблицам в зависимости от принятой доверительной вероятности [6]. По такой методике получены зависимости минимальных вероятностных значений сопротивления тела человека от напряжения при различных частотах тока (рис. 3а), минимальных вероятностных значений сопротивления тела человека от частоты для различных значений токов (рис. 3б) и минимальных вероятностных значений сопротивления тела человека от тока для различных частот (рис. 4).

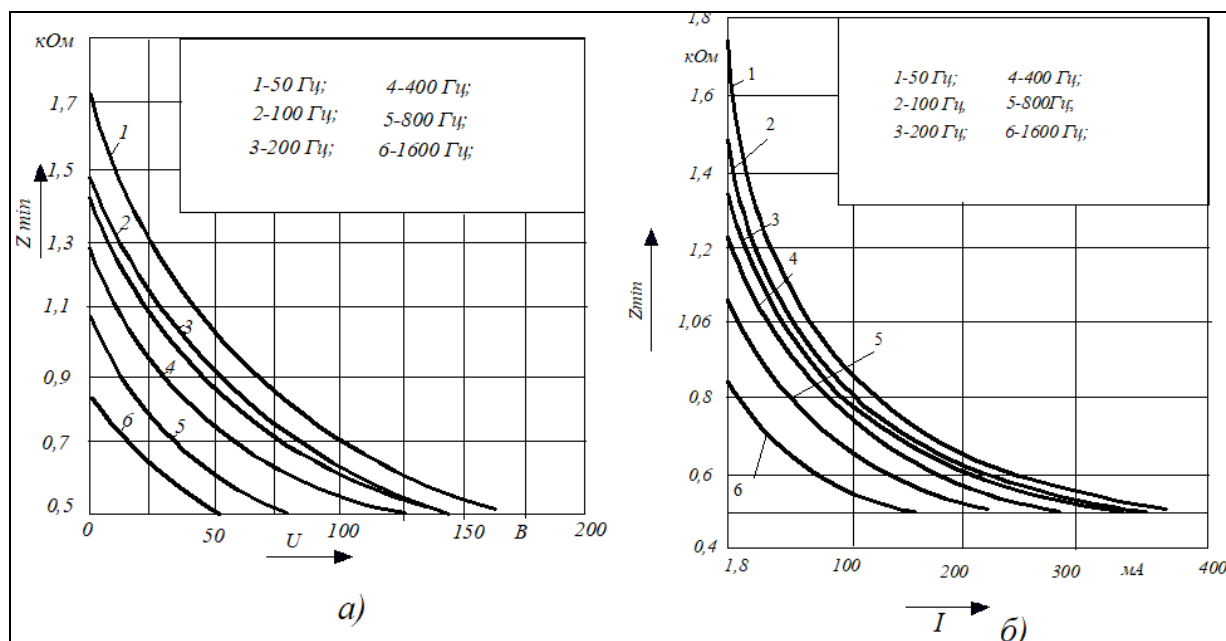


Рис.3. Зависимости минимальных вероятностных значений сопротивления тела человека от напряжения (а) и тока (б) для различных частот тока.

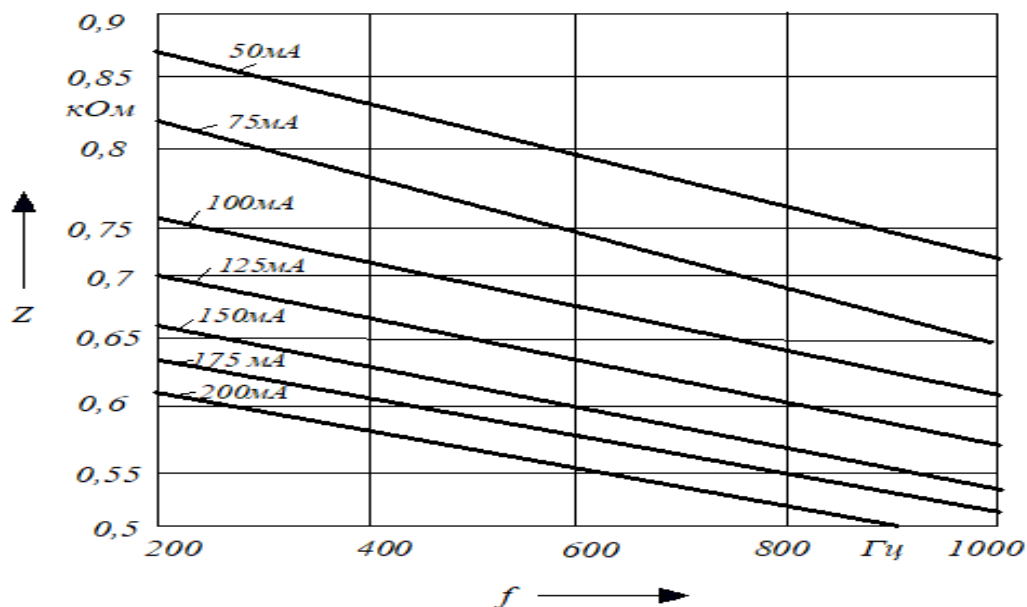


Рис.4. Зависимости минимальных вероятностных значений сопротивления тела человека от частоты для различных частот токов.

Сопротивление тела человека, полученное по вышеприведённой методике с использованием выражения (5), может использоваться наряду с другими сопротивлениями на пути протекания тока через него для оценки максимального значения тока через тело человека, когда известно значение напряжения прикосновения. Также возможна имитация сопротивления на пути протекания тока через тела человека при апробации и проверке активных средств защиты от поражения

электрическим током, когда известно напряжение электрической сети.

Допустимое значение напряжения прикосновения определяется по выражению:

$$U_{доп} = I_{доп} Z_{ч}, \quad (6)$$

где  $I_{доп}$  - допустимый ток через организм человека, мА;

$Z_{ч}$  - полное сопротивление тела человека, Ом.

Для нормирования допустимых уровней напряжения прикосновения по выражению

(6) при известном допустимом токе различной длительности по предложенной методике возможно только с использованием выражения (5). При этом следует считать целесообразным осуществить нормирование длительно-допустимого напряжения прикосновения (более 1с) непосредственно по результатам экспериментальных исследований напряжения прикосновения, соответствующих пороговым отпускающим токам, хотя указанная методика даёт те же результаты.

Согласно ГОСТ 12.1. 038-82 ССБТ допустимый ток частотой 50 Гц длительностью 1с равен 50 мА. С повышением частоты допустимые токи возрастают [7]. При таких значениях допустимых токов зависимость сопротивления тела человека от частоты (1) для минимальных вероятностных его значений по ранее изложенным фактам переходит в прямолинейную зависимость, при которой достаточно его оценки на двух крайних частотах (0,005-20кГц). Сопротивление тела человека на промежуточных частотах определяется по уравнению прямой, определяемой по этим двум точкам. По указанным соображениям в табл. 1. приведены численные значения эмпирических коэффициентов ( $a_2$ ,  $b_2$ ) уравнения регрессии (4) только для частот до 400 Гц.

Оценка минимального значения сопротивления тела человека по вышеизложенной методике при допустимом токе 50 мА частотой 50 Гц длительностью более 1 с. с доверительной вероятностью 99,5% оценивается равным 700 Ом. Минимальное сопротивление тела человека на частоте 20 кГц оценивается равным 500 Ом. В пределах частот 0,05-20 кГц происходит линейное снижение сопротивления тела человека от 700 до 500 Ом, которое можно выразить следующим выражением:

$$Z_{ч} = 700 - 10f, \quad (7)$$

где  $f$  – частота тока, кГц.

Сопротивление тела человека, вычисленное по выражению (8) при длительности воздействия более 1 с не только правомерно, но и целесообразно использовать также при нормировании сопротивления тела человека при длительности воздействия тока менее 1 с, так как с уменьшением времени воздействия тока

дальнейшее снижение сопротивления тела человека не происходит [8].

При прикосновении человека одной рукой к токоведущим или нетокведущим частям электроустановок, случайно оказавшимся под напряжением, сопротивление электрическому току, протекающему через тела человека, оказывает не только сопротивление самого тела человека, но и сопротивление обуви, в которой он находится. Однако сопротивление обуви также как сопротивление тела человека имеет разнообразные значения, учёт которых не менее сложен, чем сопротивление тела человека. Причём значение этого сопротивления на повышенных частотах вообще неизвестно, что затрудняет нормирование общего сопротивления на пути протекания тока повышенных частот. Такая ситуация требует проведение дополнительных исследований по оценке вероятностных значений сопротивления обуви из различных материалов и разработки рекомендаций по учёту этого сопротивления в суммарном сопротивлении на пути протекания тока по электрической цепи «рука – ноги».

#### Литература:

1. Додхудоев М., Таваров С. Ш., Мираков О. А. Физико-химическая природа электрического сопротивления тела человека // Политехнический вестник, серия: инженерные исследования, 2018. № 2 (42). С.10-16.
2. Додхудоев М., Вохидов М.М. Качественная оценка электрических параметров тела человека // Политехнический вестник, серия: инженерные исследования, 2019. № 2 (46). С.20-26.
3. Малов Н. Н., Ржевкин С. Н. Сопротивление человеческого тела электрическим токам высокой частоты. – Журнал прикладной физики, 1929, Т.4, вып. 5, с 39-73.
4. Додхудоев М. Д., Сидоров А. И. Принципы и методы нормирования и нормы предельно допустимых уровней напряжения прикосновения и токов промышленных и повышенных частот // Электробезопасность, ежеквартальный теоретический и научно-практический журнал ЮУрГУ. 2016, № 4. С. 53-62.
5. Додхудоев М., Таваров С. Ш., Мираков О. А. Соотношение электрических параметров организма человека по наиболее вероятным путям тока. //Международный

научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, 2018, Ч1. № 6. С. 33- 38.

6. Вольф В. Г. Статистическая обработка опытных данных. М.: Ко-лос-М, 1966. 255 с.

7. ГОСТ 12.1. 038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельные допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

8. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л. В. Гладилин [и др]. М.: Недра, 1977. 327 с.

### **МИҚДОРАН МУАЙЯН НАМУДАНИ МУҚОВИМАТИ БАДАНИ ИНСОН БА ЧАРАЁНИ ЭЛЕКТРИКӢ**

*М. Д. Додхудоев, М. М. Воҳидов*

Дар мақола усулҳои ба меъёр даровардани муқовимати бадани инсон, ки яке аз параметрҳои муайянкунандаи шиддати расиш дар мавриди муайян будани чараён мебошад, барои басомадҳои гуногун, киматҳои чараён ва шиддатдида баромада шудааст. Қайд карда шудааст, ки усулҳои пешниҳодшуда, хусусан барои ба меъёр даровардани муқовимати инсон дар мавриди таъсири кӯтоҳмуддати чараён хеле муҳиманд.

**Калимаҳои калидӣ:** муқовимати бадани инсон, шиддати расиш, чараёни тоқатпазир, шиддати тоқатпазир, басомади чараён.

### **СВЯЗЬ МЕЖДУ НЕСЧАСТНЫМИ СЛУЧАЯМИ И БИОЛОГИЧЕСКИМИ РИТМАМИ**

*Н.Х. Табаров*

*Таджикский технический университет имени академика. М.С.Осими*

**Аннотация** - На основе данных о несчастных случаях с персоналом энергокомпании Республики Таджикистан, используя программу «Биоритм», выполнен анализ состояния пострадавших на момент возникновения несчастного случая по биоритмам. В 13 случаях из 17 один и более биоритмов отрицательные. У пострадавших 12 несчастных случаев (НС) со смертельным исходом в 75% случаях 1 и более, а в 50% случаев - 2 и более биоритмы отрицательные.

Приведены данные о НС с 2008г. по 2014г. и биоритмические синусоиды для одного из НС за 2008г.

**Ключевые слова:** биологические ритмы, биологические синусоиды, активность организма, несчастные случаи

На основе материалов расследования несчастных случаев с помощью программы «Биоритм» оценены состояния физического, эмоционального и интеллектуального потенциала лиц из числа эксплуатационного

### **QUANTITATIVE ESTIMATION OF HUMAN BODY RESISTANCE TO ELECTRIC CURRENT**

*M. D. Dodkhudoev, M. M. Vohidov*

**Abstract** - The article deals with the methods of normalizing the resistance of the human body as one of the main parameters of the determining touch voltage at a known permissible current through the human body at different frequencies, currents and voltages. It is noted that the proposed methods of rationing are especially important for short-term effects of electric current on the human body.

**Key words:** resistance of the human body, touch voltage, permissible current, permissible voltage, current frequency.

#### **Сведения об авторах:**

Додхудоев Мамадризо Додхудоевич – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение», ТТУ им. акад. М.С. Осими,  
E-mail: rizo-1917@mail.ru.

Воҳидов Миробид Мирвоҳидович –к.т.н., ст.пр. каф. «Электроснабжение», ТТУ им.ак.М.С.Осими,  
E-mail: supergold84@mail.ru.

персонала энергокомпании Республики Таджикистан, с которыми происходили несчастные случаи со смертельным исходом или поражением (получением ожогов, травм и т.д.).

Как известно, биоритмы представляют собой синусоиды с постоянным периодом 23 дня для физического цикла, 28 дней для эмоционального цикла и 33 дня для интеллектуального цикла, каждый из которых имеет положительный и отрицательный полупериоды [1-21].

Существует весьма условная, по мнению ученых хронобиологов, теория трех биоритмов. Согласно ей, состояние человека определяется тремя биоритмами: физическим, интеллектуальным и эмоциональным. И бывают дни, когда одни биоритмы активнее других, так как все они обладают разной степенью периодичности. Именно поэтому в определенные дни и определенное время бывают всплески, например, физической активности при плохом настроении, или же

выбросы позитивных эмоций, а, быть может, появляется огромное желание заняться какой-то умственной деятельностью.

То есть, от биоритмов полностью зависит активность человеческого организма и его состояние. Поэтому не стоит «насиловать» свой организм. Напротив, нужно прислушиваться к нему и грамотно использовать свои собственные ресурсы. Высокая и низкая точка на кривой для соответствующей деятельности, являются особенно подходящими или неподходящими.

Биологические ритмы – колебания смены и интенсивности процессов и физиологических реакций, в основе которых лежат изменения метаболизма биологических систем, обусловленные влиянием внешних и внутренних факторов.

К внешним факторам относятся: изменение освещенности, температуры, магнитного поля, интенсивности космических излучений, приливы и отливы, сезонные и солнечно – лунные влияния.

Внутренние факторы – это нейрогуморальные процессы, протекающие в определенном, наследственно закрепленном темпе и ритме.

В течение многих миллионов лет все живые существа, населяющие нашу планету, живут в условиях ритмических изменений окружающей среды: сменяются времена года, в значительных пределах колеблется температура воздуха, его давление и влажность, день сменяется ночью. Все это отражается на физиологических функциях, накладывая отпечаток на организм, находящийся в состоянии постоянной взаимосвязи с окружающей средой.

Уже давно замечено, что в течение суток в определенной последовательности изменяется температура тела, артериальное давление, функциональное состояние центральной нервной системы, цветовая чувствительность глаза, мышечная работоспособность, двигательная активность и многие другие функции организма человека.

Определенные циклические изменения отмечаются и у животных, и у насекомых, и в мире растений. Одни из них проявляют большую активность ночью, другие – преимущественно днем. Ряд животных впадают в спячку. В определенное время суток распускаются лепестки цветов, в определенные периоды года опадают листья на деревьях. Все это связано с чередованием биологических ритмов. Наиболее высокий

уровень работоспособности для человека – дневное время суток.

Биологический ритм – это один из механизмов, которые позволяют организму приспосабливаться к меняющимся условиям жизни. Биологические ритмы – живые часы нашего времени. Они взаимосвязаны в организме между собой. Пример, всем известно, что изменения за пределы определенных границ частоты пульса и дыхания, кровяного давления приводят к глубоким функциональным нарушениям. Большую роль в жизнедеятельности нашего организма играет суточный биоритм, связанный с вращением Земли вокруг своей оси. Замечено, что в ответной реакции организма на одну и ту же нагрузку существуют различия, зависящие от времени суток. Это объясняется тем, что в течение суток влияние на организм ряда внешних факторов заметно меняется (освещенность, температура, влажность воздуха и т.д.) Суточные ритмы человека используются в качестве универсального критерия оценки состояния здоровья. Четкий биоритм характеризует нормальное состояние, нарушение же ритма (дисинхроноз) – сигнал неблагополучия. Перестройки биоритмов связаны чаще всего со стрессом. Дисинхроноз бывает внутренним и внешним. Внутренний – нарушение согласования ритмов внутри организма, например, нарушение ритма питания по отношению к ритму сна и бодрствования. Внешний – при смене фаз внешней среды (при переезде из одного часового пояса в другой). Дисинхроноз может быть острым, хроническим, явным и скрытым, тотальным и частичным. При быстром перемещении из одного часового пояса в другой может возникнуть острый дисинхроноз. При неоднократных подобных переездах – хронический. Явный проявляется в объективных показателях (изменение артериального давления, нарушение сна, упадок сил). При скрытом ощущается небольшой дискомфорт. Суточные биоритмы – сложные взаимосвязанные процессы. [22] Подобно механизму часов их можно “подводить”, уточняя ход и поддерживая слаженность в работе. Но эти часы можно и “сломать” неумелой организацией своей жизни. Нужно поддерживать четкую работу биологических часов разумным режимом питания, сна и двигательной активности, отказом от вредных привычек. К сожалению, человек делает все наоборот. А потом требуются колоссальные усилия его самого и

многих других людей, чтобы вернуть ему растраченное здоровье. Наши биоритмы – часы здоровья и от точности их хода зависит бодрость, полнота мироощущения, работоспособность, долголетие.

В холодное осенне-зимнее время многих людей посещает ощущение легкой подавленности. Оно характеризуется тем, что человек дольше спит, испытывает вялость и апатию. Это объясняется сокращением светлого времени суток, проведением много времени в помещении с закрытыми окнами. Поэтому болезнетворные микробы скапливаются в воздухе и легко передаются от человека к человеку. Снижается степень адаптации организма к меняющимся условиям внешней среды. Современный человек создал определенный температурный режим в жилищах и производственных помещениях, что привело к снижению адаптационных возможностей организма. [1-11] Человек становится уязвим для малейших сквозняков, температурных колебаний. У многих инфекция верхних дыхательных путей протекает тяжело, затягиваясь на длительное время. Обычно такие люди стараются одеваться потеплее, иногда даже в помещении носят теплые шерстяные носки и кофты. У них нет уверенности в том, что любой чихнувший рядом человек не передаст им инфекцию. Они часто задают вопрос: “Как это получается, сижу дома при закрытых дверях и форточках и все равно

адаптации, к колебаниям температуры сделали человека уязвимым для болезней, а из-за частых ОРЗ снижается иммунитет.

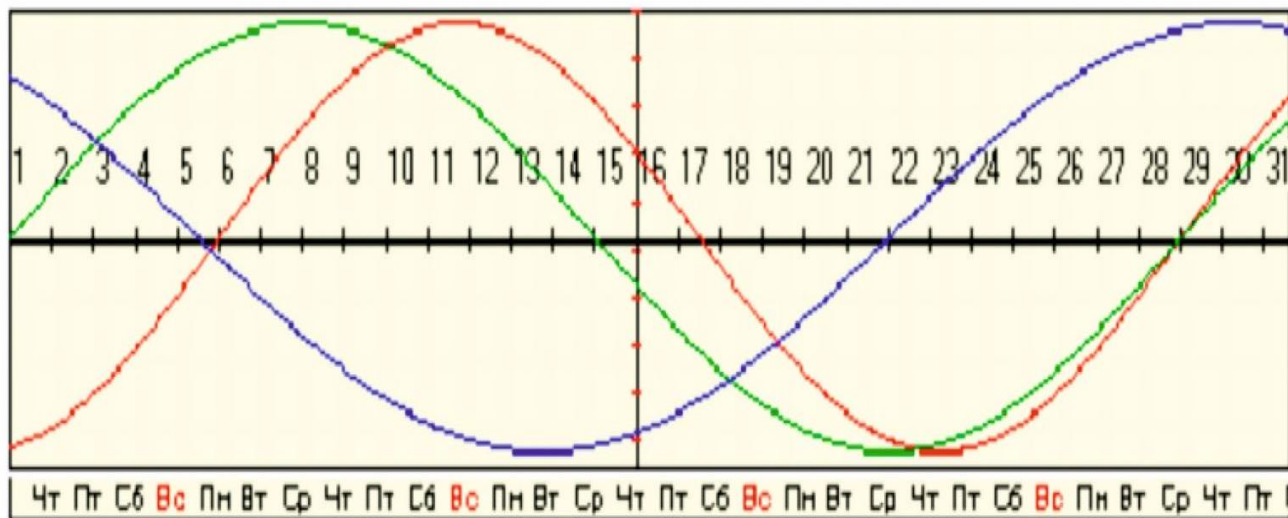
Ниже в таблице 1, по 17 НС за 2008 – 2014годы приведены данные, необходимые для составления биоритмических синусоид и оценены относительные значения этих биоритмов в день происхождения НС по указанным синусоидам, экстремумы которых составляют +1 и -1.

Так 22.03.2008 года (табл.1, позиция 1) последствием НС является поражение электромонтера при положительном физическом биоритме, составляющем 0,77 от максимума и отрицательными эмоциональным и интеллектуальном биоритмами -0,91 и -0,55 соответственно.

В 13 случаях из 17 один и более биоритмы отрицательны, в 7 случаях 2 и более биоритмы отрицательны, и только в 1-ом случае (26.05.14., позиция 14 табл.1) 3 биоритмы отрицательны.

Среди 12 случаев со смертельными исходом в 9 случаях один и более биоритмы отрицательны, в 6 случаях 2 и более и в 1-ом случае все 3 биоритмы отрицательны. При указанном количестве НС со смертельными исходом в 75% случаев 1 и более биоритмы отрицательны и в 50% случаев 2 и более биоритмы отрицательны.

На рис. 1. приведены биоритмы электромонтера Н., 21.09.1989 года рождения (табл.1 позиция 13), при возникновении НС



болею?” В этом вся суть ответа: постоянное перегревание, снижение устойчивости к

23.05.14года в 11<sup>15</sup> часов.

Рис.1. Биоритмы электромонтёра (21.09.1989) месяца май, физический эмоциональный интеллект.

Таблица 1.

Биологические ритмы электриков, пострадавших от действия электрического тока.

№ п/п	Дата НС	Время	День недели	Дата рождения пострадавшего	Тип биоритма и его относительное значение			Последствие НС
					Физический	Эмоциональный	Интеллектуальный	
1.	22.03.08	09-00	Суббота	10.01.58	0,77	-0,91	-0,55	Поражение
2.	22.10.09	10-52	Четверг	05.11.81	0,3	1,0	0,0	Поражение
3.	15.08.11	09-20	Понедельник	20.04.78	0,82	-0,82	-0,95	Смерть
4.	07.12.11	14-30	Среда	03.04.83	0,46	0,64	0,46	Смерть
5.	07.05.12	12-55	Понедельник	02.02.70	0,67	0,96	-1,0	Смерть
6.	21.10.12	10-45	Вторник	21.10.12	0,66	-0,32	0,18	Поражение
7.	31.01.13	06-45	Четверг	07.03.88	0,13	-0,75	-0,75	Смерть
8.	31.01.13	15-15	Четверг	30.01.84	-0,73	0,68	0,32	Поражение
9.	19.08.13	11-30	Понедельник	07.06.88	0,93	-1,0	-0,45	Поражение
10.	23.08.13	11-00	Пятница	04.03.85	0,5	0,82	0,75	Смерть
11.	20.09.13	18-20	Пятница	12.10.88	0,5	0,73	0,32	Смерть
12.	07.04.17	-	Понедельник	21.09.70	0,0	0,12	-0,25	Смерть
13.	23.05.14	10-15	Пятница	21.09.89	-1,0	-0,91	0,27	Смерть
14.	26.05.14	15-09	Понедельник	12.08.81	-0,86	-0,91	-0,55	Смерть
15.	21.06.14	07-00	Суббота	24.07.83	-0,64	0,98	0,66	Смерть
16.	27.05.14	11-05	Среда	24.09.90	-0,36	0,54	-0,89	Смерть
17.	28.11.14	14-25	Пятница	23.03.86	-0,23	0,91	0,0	Смерть

### Выводы

На основе вышеизложенного сделаны следующие выводы:

1. С целью уменьшения несчастных случаев целесообразно внедрение использования суточных биоритмов человека для оценки состояния здоровья персонала энергокомпании.

2. Рекомендовать службе техники безопасности энергокомпании оценить возникшие несчастные случаи с точки зрения суточных биоритмов работающего персонала.

3. Наладить сбор статистических данных о несчастных случаях с учетом биоритмов пораженных.

### Литература:

1. Гриневич, В. Биологические ритмы здоровья / В. Гриневич // Наука и жизнь. - 2005. - №1. С. 20-27.

2. Луговский, В. В. Дао Биоритмов: / В.В. Луговский. - М.: Изд-во Велигор, 2015. - 240 с.

3. Как найти себе идеального партнера. Биоритмы и совместимость: монография / В. В. Луговский. - Москва: Изд-во Центрполиграф, 2016. - 143 с.

4. Петров, Г. А. Отчет биологического времени как условие адаптации человека / Г. А. Петров // Экология человека. - 2005. - №8. - С. 16-23.

5. Уинфри, А. Т. Время по биологическим часам: учебное пособие / А. Т. Уинфри. - Москва: Изд-во Мир, 1990. - 208 с.

6. Фельдман, Г. Л. Биоритмология: учебное пособие / Г. Л. Фельдман. - Ростов на Дону: Изд-во Ростовского унта, 1982. - 78 с.

7. Ужегов, Г. Н. Биоритмы: учебное пособие / Г.Н. Ужегов. - Москва: Изд-во Русич, 2014. - 384 с.

8. Ужегов, Г. Н. Зона особого внимания // Биоритмы до 2005 года: учебное пособие / Г.Н. Ужегов. - Москва: Изд-во Дила, 2016. - 512 с.

9. Ужегов, Г. Н. Биоритмы на каждый день: учебное пособие / Г.Н. Ужегов. - Москва: Изд-во Гранд, 2014. - 608 с.

10. Шапошникова, В. И. Биоритмы - часы здоровья: учебное пособие / В.И. Шапошникова. - Мсква: Изд-во Советский спорт, 2013. - 565 с.

11. Шапошников В.И. Биоритмы – часы здоровья. Москва: Советский спорт, 1991.

12. Dommedika. Цикличность жизни. История изучения биоритмов человека. Домедика. Современная медицина. Режим доступа: <http://dommedika.com/physiology/317.html> /.

13. Ашофф, Ю. Биологические ритмы: учебное пособие / Ю. Ашофф. Москва: Изд-во Мир, 1984. -151 с.

14. Агаджанян, Н.А. Биологические ритмы: учебное пособие / Н.А. Агаджанян. Москва: Изд-во Медицина. – 1967. – 120 с.

15. Алякринский, Б.С., По закону ритма: учебное пособие / Б.С. Алякринский, С.И. Степанова. – Москва: Изд-во Наука, – 1985. 196 с.

16. Доскин В.Н., Биоритмы: учебное пособие /В.Н. Доскин, Н.Н. Лаврентьев. - Москва: Изд-во Аграф, 1991. – 112 с.

17. Кузнецов Ю.Ф. Биоритмы человека, физический, эмоциональный, интеллектуальный: учебное пособие / Ю.Ф. Кузнецов. – Москва: Изд-во Амрита-Русь, 2006. – 384 с.

18. Детари, Л. Биоритмы: учебное пособие / Л. Детари, В. Карцаш – Москва: Изд-во Мир, 1984. – 160 с.

19. Доскин, В.А. Биологические ритмы растущего организма: учебное пособие / В.А. Доскин, Н.Н. Куинджи. – Москва: Изд-во Медицина, 1989. – 224 с.

20. Доскин В.А. Ритмы жизни: учебное пособие / В.А. Доскин, Н.А. Лаврентьева. – Москва: Изд-во Медицина, 1991. – 176 с.

21. Куприянович, Л.И. Биологические ритмы и сон: учебное пособие / Л.И. Куприянович. – Москва: Изд-во Наука, 1976.– 66 с.

22. Фролов, М.П. Основы безопасности жизнедеятельности: учебное пособие / М.П. Фролов, А.Т.Смирнов, Е.Н. Литвинов.– Москва: Астрель, 2006. – 255 с.

#### АЛОҚА БАЙНИ ҲОДИСАҲОИ НОХУШ ВА РИТМҲОИ БИОЛОҒИ

*Н.Х. Табаров*

Дар асоси маълумот доир ба ходисаҳои нохуш (ҲН) бо ҳайати ширкати энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон барномаи «Биоритм»-ро истифода бурда, таҳлили

ҳолати осебдидагон ба лаҳзаи ба вучуд омадани ходисаи нохуш аз рӯи биоритм иҷро шудааст. Дар 13 ҳодиса аз 17, як ва зиёда биоритмҳо манфӣ мебошанд. Аз осебдидагон 12 ходисаи нохуш бо оқибати марговар 75%, 1 ва зиёда, дар 50% ходисаҳо 2 ва зиёда биоритмҳо манфӣ мебошанд.

Маълумот оид ба ҲН аз соли 2008 ба охири соли 2014 ва синусоидҳои биоритмӣ барои яке аз ҲН дар соли 2018 оварда шудаанд.

**Калидҳои калидӣ:** ритмҳои биологӣ, синусоидҳои биологӣ, фаъолияти организм, ходисаҳои нохуш.

#### THE RELATIONSHIP BETWEEN ACCIDENTS AND BIOLOGICAL RHYTHMS

*N.Kh. Tabarov*

Abstract - On the basis of data on accidents with the personnel of the power company of the Republic of Tajikistan, using the program "biorhythm", the analysis of the condition of the victims at the time of the accident on biorhythms was performed. In 13 cases out of 17 one or more biorhythms are negative. The victims of 12 accidents with a fatal outcome in 75% of cases 1 and more, and in 50% of cases - 2 and more biorhythms are negative.

Data on accidents from 2008 to 2014 and biorhythmic sinusoids for one of the accidents for 2008 are given.

**Keywords:** biological rhythms, biological sinusoid, the activity of the body, accidents.

#### Сведения об авторе:

Табаров Нурулло Хайруллоевич – ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экологии» ТГУ имени академика М.С. Осими.

#### СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4-500 КВ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ПОДЧИНЕНИЯ ТАДЖИКИСТАНА

*С.Р.Чоршанбиев<sup>1</sup>, Г.В.Шведов<sup>2</sup>, У.Мадвалиев<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

<sup>3</sup>Физико-технический институт им. С.У.Умарова Академии Наук Республики Таджикистан

**Аннотация** - Энергосбережение, повышение энергетической эффективности и снижение потерь электроэнергии являются стратегическими задачами для любой электрической сети. Несмотря на многочисленные научные исследования, на сегодняшний день уровень потерь

электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям Республики Таджикистан и в частности в районах республиканского подчинения Таджикистана превышают оптимальные значения 5-10%.

Исходя из этого, в данной работе проведены структурный анализ и оценка техни-



*ческих потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ районов республиканского подчинения Таджикистана.*

*Показана структура технических потерь электроэнергии по классам напряжений и видам потерь. Выявлены предприятия электрических сетей районов республиканского подчинения с высокими уровнями относительных потерь электроэнергии. Значения составляющих технических потерь электроэнергии сопоставлены со среднестатистическими значениями в электрических сетях России..*

**Ключевые слова:** анализ потерь электроэнергии, электрические сети, структура технических потерь электроэнергии, линии электропередачи, районы республиканского подчинения, Республика Таджикистан.

### Введение

Эффективное снижение потерь электроэнергии в электрических сетях путем внедрения соответствующих технико – экономических обоснованных мероприятий невозможно без достоверной информации о величине, в первую очередь, без структурного анализа и оценки технических потерь электроэнергии в электрических сетях.

Исходя из этого, в данной работе проведены структурный анализ и оценка технических потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ районов республиканского подчинения Таджикистана (РРП).

Несмотря на многочисленные научные исследования, [1-6], на сегодняшний день уровень потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям Республики Таджикистан и в частности в районах республиканского подчинения Таджикистана превышают оптимальные значения 5-10%, которые считают максимально допустимыми с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям [7-8]. Такой случай можно увидеть на рис 1.

Как следует из рис. 1. уровень фактических относительных потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ РРП Таджикистана за 2016 год составляет около 13-18 % [1,9] и в целом по электрическим сетям РРП Таджикистана составила 17%.

Эти значения говорят о значительной актуальности, а также востребованности проведения структурного анализа и оценки

потерь электроэнергии в электрических сетях 4-500 кВ РРП Таджикистана. С связи с этим, как было отмечено выше, в данной работе проводятся структурный анализ и оценка потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4-500 кВ РРП Таджикистана.

**Исходные данные о понизительных подстанциях 6-500 кВ и линиях электропередач, входящих в состав РРП Таджикистана.** По состоянию на 2016 год в состав электрических сетей РРП Таджикистана входят [9]: 1) ОАО «Турсунзадевские электрические сети»; 2) Центральные электросети; 3) Раштские электросети.

В таблице 1 представлены данные об установленных мощностях трансформаторов понизительных подстанций (ПС) 6-500 кВ, а в таблице 2 данные о протяженности воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий электропередач (ЛЭП) номинальным напряжением 0,4-500 кВ, которые входят в состав электрических сетей РРП Таджикистана на 2015 год [1,2,9].

Из таблицы 1 видно, что суммарная установленная мощность трансформаторов ПС 6-500 кВ в целом РРП Таджикистана составляет 5883,283 МВА. Из них большую долю составляет мощность ПС напряжением 500 кВ - 2103 МВА (35,74%) и ПС напряжением 220 кВ – 1780 МВА (30,25%); доля остальных ПС: 6-10-20-35/0,4 кВ: 1109,983 МВА (18,86%), 110 кВ: 593,6 МВА (10,1%), 35 кВ : 296,7 МВА (5,05%).

Из таблицы 2 видно, что суммарная протяженность ЛЭП 0,4-500 кВ в целом РРП Таджикистана составляет 17283,496 км, из них на долю ВЛ приходится 17117,239 км (99,04-11 %), на долю КЛ – 166,257 (0,96%). Среди ВЛ существенно большую протяженность в сравнении с другими классами напряжения имеют линии 0,4 кВ 8008,404 км (что составляет 46,785%). Среди КЛ большую протяженность имеют КЛ напряжением 0,4 кВ – 87,177 км (что составляет 52,43%).

**Анализ потерь электроэнергии в электрических сетях 35-500 кВ РРП Таджикистана.** В таблице 3 представлены технические (нагрузочные и условно-постоянные) потери электроэнергии в высоковольтных электрических сетях 35-500 кВ по отдельным предприятиям районов республиканского подчинения Таджикистана [9-11].

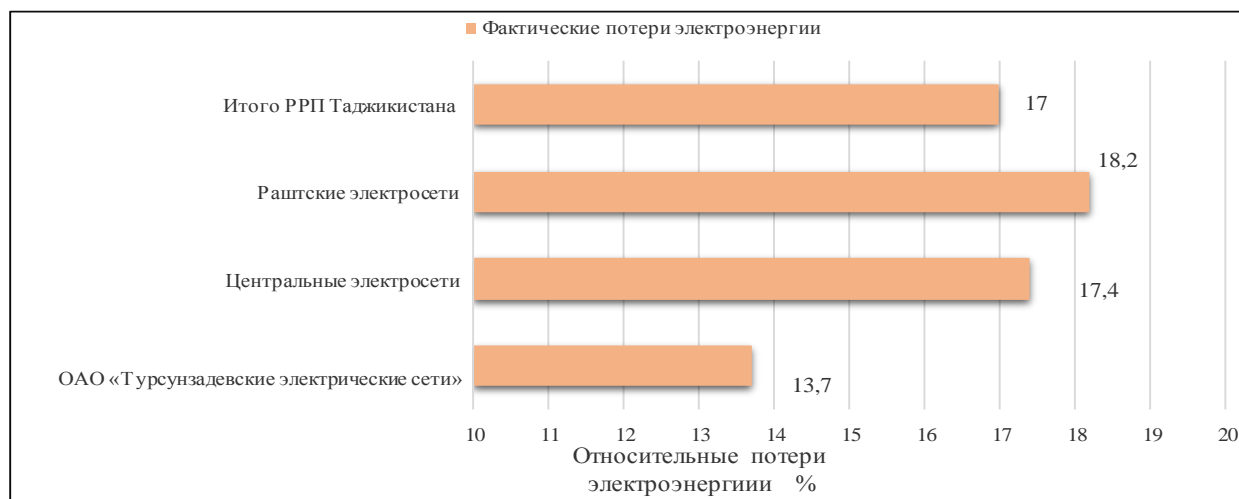


Рис. 1. Фактические относительные потери электроэнергии при её транспортировке по электрическим сетям 0,4-500 кВ в районах республиканского подчинения Таджикистана за 2016 год.

Таблица 1.

Установленная мощность и количество трансформаторов пс 6-500 кв, входящих в состав электрических сетей РРП Таджикистана на 2015 г.

Высшее номинальное напряжение ПС, кВ	6-10-20-35/0,4	35	110	220	500	Итого
Количество трансформаторов, шт	4578	34	36	7	2	4657
Мощность трансформаторов, МВА	1109,983	296,7	593,6	1780	2103	5883,283

Таблица 2.

Установленная мощность и количество трансформаторов пс 6-500 кв, входящих в состав электрических сетей РРП Таджикистана на 2015 г.

Тип ЛЭП	Длина ЛЭП, км, при номинальном напряжении, кВ						Сумма
	0,4	6-10-20	35	110	220	500	
ВЛ	*8008,404	6013,065	493,43	876,097	509,5	332,44	16232,936
	*8008,404	6013,065	669,73	1548,7	544,9	332,44	17117,239
КЛ	87,177	79,08	-	-	-	-	166,257
Итого							17283,496

Как следует из таблицы 3, отношение нагрузочных и условно-постоянных потерь в ОАО «Раштские ЭС» – 74,48 %: 25,52 %, ОАО «Центральные ЭС» – 64,38 % :35,62 %, ОАО «Турсун-Задевские гор.ЭС» – 86,97 % :13,03 %.

Из таблицы 3 видно, что среди технических потерь наибольшие потери наблюдаются в ЛЭП в ОАО «Турсун-Задевские гор.ЭС» -75,63 %, ОАО «Раштские ЭС» – 73,75 %, ОАО «Центральные ЭС» – 52,88 %.

Основными причинами высокого уровня потерь электроэнергии в линиях электропередач вышеуказанных предприятий являются:

- эти РЭС охватывают очень протяженные территории с малой плотностью электрических нагрузок;

- в абсолютных величинах потери электроэнергии в этих сетях как следствие не очень большие, но при определении относительных значений делением на величину очень маленького отпуска электроэнергии получаются громоздкие значения.

**Анализ потери электроэнергии в распределительных электрических сетях 6,10,0,4 кВ РРП Таджикистана.** В зарубежных развитых странах уровень относительных потерь в распределительных сетях 6,10,0,4 кВ составляет от 3-5 % [12-15].

На рис. 2 приведены фактические абсолютные и относительные потери электроэнергии в распределительных сетях 6,10,0,4 кВ районов республиканского подчинения Таджикистана [4,5,9,11,16,17].

Таблица 3.

Технические потери электроэнергии в высоковольтных электрических сетях 35-500 кВ РРП Таджикистана 2015 г

Наименование электрических сетей	Передача электро-энергии млн кВт*ч	Технические потери, млн кВт*ч										Всего	%
		Нагрузочные				Условно- постоянные							
		ЛЭП	%	Трансформаторы	%	Климатические	%	Холостой ход трансформатора	%	Расход СНПС	%		
ОАО «"Раштские ЭС»	216	9,33	68,6	0,8	5,88	0,7	5,15	1,66	12,2	1,11	8,16	13,6	6,3
ОАО «Центральные ЭС»	1161	19,04	49,38	5,8	15	1,35	3,5	8,08	21	4,29	11,1	38,56	3,32
ОАО «Турсун-Задевские гор.ЭС»	225	3,3	75,17	0,52	11,8	0,02	0,46	0,48	10,9	0,07	1,67	4,39	1,95

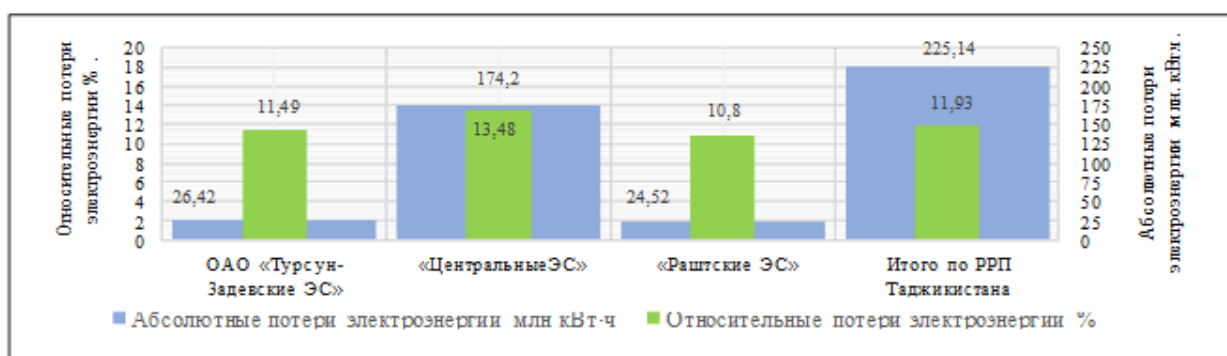


Рис. 2 Фактические потери электроэнергии (абсолютные и относительные) при её транспортировке по распределительным электрическим сетям 6-10/0,4 кВ районов республиканского подчинения Таджикистана за 2016 год.

Как следует из рис.2, в распределительных электрических сетях 6-10/0,4 кВ в целом по районам республиканского подчинения Таджикистана в 2016 году уровень относительных потерь составил 11,93 % (абсолютные потери -225,14 млн кВт\*ч).

Среди районных распределительных электрических сетей 6-10/0,4 кВ высокий уровень потерь электроэнергии наблюдается в ОАО «Центральные ЭС» относительные потери – 13,48 % (абсолютные -1774,2 млн кВт\*ч), ОАО «Турсун-Задевские гор.ЭС» относительные – 11,49 % (абсолютные -26,42 млн кВт\*ч), и ОАО «"Раштские ЭС» относительные – 10,8 % (абсолютные -24,52 млн кВт\*ч).

За счет географического расположения и природно-климатических условий Республика Таджикистан имеет благоприятные условия для использования солнечной энергии [16,18,19].

Для повышения эффективности работы энергосистемы Республики Таджикистан

последние годы активно внедряется распределенная генерация в виде солнечной энергии [16,18-20]. Многочисленные научные исследования свидетельствуют о том, что непосредственное подключение солнечной генерации к распределительной сети 6,10, 0,4 кВ, помимо очевидных и неоспоримых преимуществ, приводит к существенной разгрузке электрических сетей и, как следствие, к значительному росту относительных условно-постоянных потерь в распределительных сетях 10 кВ (в первую очередь, потерь холостого хода трансформаторов) [20-25]. Этот факт может стать одной из основных причин высокого уровня потерь электроэнергии в распределительных сетях 6,10, 0,4 кВ.

Другими факторами высокого уровня потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 6,10, 0,4 кВ являются:

- неэффективность системы учета электроэнергии;
- неоптимальные режимы их работы;

- потери электроэнергии не рассчитываются на основе показаний системы учёта, собираются только значения фактических (отчетных) потерь электроэнергии;

- высокая неравномерность графиков электрических нагрузок.

### Выводы

По результатам структурного анализа и оценки потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4-500 кВ районов республиканского подчинения Таджикистана определено следующее:

1) Уровень относительных фактических потерь электроэнергии (по состоянию на 2016 г – 17%) существенно превышает 10%, который считается максимально допустимым с точки зрения физики передачи электроэнергии по электрическим сетям;

2) В ОАО «Турсун-Задевские гор.ЭС» и ОАО «Раштские ЭС» отношение нагрузочных и условно-постоянных потерь напряжением 35-500 кВ в среднем составляет около 70%: 30%, практически сопоставимо со среднестатистическими значениями российских электрических сетей. (70 %: 30%).

3) Выявлено, что одной из основных причин высокого уровня потерь электроэнергии в распределительных сетях 6,10, 0,4 кВ является непосредственное подключение солнечной генерации к распределительной сети 6,10, 0,4 кВ, приводящее к существенной разгрузке электрических сетей и, как следствие, к значительному росту относительных условно-постоянных потерь в распределительных сетях 10 кВ (в первую очередь, потерь холостого хода трансформаторов).

### Литература:

1. Шведов Г.В. Структурный анализ потерь электроэнергии в электрических сетях 35-500 кВ Республики Таджикистан / Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, Х.Б. Назиров//Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. -2018. №1(41). С. 74-86.

2. Чоршанбиев С.Р. Анализ выработки, передачи и потребления электрической энергии в национальной энергетической компании ОАХК «Барки Точик» Республики Таджикистан / С.Р. Чоршанбиев, Г.В. Шведов//Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. -2018. №4 (44). С. 27-35.

3. Шведов Г.В. Разработка мероприятий по снижению потерь электроэнергии в высоковольтных электрических сетях (на примере ОАО "Пенджикентские ЭС" Республики Таджикистан/ Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2018. -№2. С. 222-226.

4. Шведов, Г.В., С.Р. Чоршанбиев Расчет и анализ технических потерь электроэнергии в городских распределительных электрических сетях 6-10/0,4 кВ г.Душанбе//Известия: Кыргызского государственного технического университета им.И.Раззакова. -2017. №4 (44). С. 316-323.

5. Sirojiddin. R. Chorshanbiev, Galaktion. V. Shvedov, Hamdy. M. Sultan, Khurshed. B. Nazirov, and Firdavs. O. Ismoilov "Structural analysis of power losses in (6-10 / 0.4 kV) urban distribution electric networks of the city of Dushanbe, the Republic of Tajikistan" // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2019, pp. 942-945. DOI: 10.1109/EIConRus.2019.8657231

6. Инструментальная оценка качества электроэнергии в энергосистеме Республики Таджикистан/Ю. В. Шаров, В. Н. Тульский, Ш. Дж. Джураев и др.//В сб. тр. Межд. науч.-практ. конф., 23-25 ноября 2016 г. -М.: МЭИ, 2017. С. 219-226.

7. Воротницкий В.Э. Анализ динамики, структуры и мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях России и за рубежом / Энергоэксперт. 2017. № 5-6. С.24-28.

8. Bokhmat I.S, Vorotnitsky V.E., Tatarinov E.P. Reduction of commercial losses in electric power systems. Elektricheskie stantsii [Electric stations], 1998, no.9, pp.45-49.

9. Информация за 2016 года Энергетическая компания (ОАХК) «Барки Точик». <http://www.barqitajik.tj> (Дата обр. 01.07.18 г.).

10. Чоршанбиев, С.Р. Расчет потерь электроэнергии в высоковольтных городских электрических сетях г. Душанбе Республики Таджикистан/С.Р. Чоршанбиев, Г.В. Шведов//Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017): сб. тр. V Всероссийской науч-но-технической конференции (к 50-летию юбилею кафедры «Электроснабжение и электротехника» Института энергетике и электротехники) ТГУ, 01-06 ноября 2017 г. -Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 178-183.

11. Чоршанбиев С.Р. Повышение эффективности функционирования электрических

сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. ... канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.

12. D. Sodnomdorj, Ch. Zunduisuren, Sh. Gantumur, S. Uuganbayar, M. Narantuya, L. Dolgorsuren, D. Battulga, "Result of Calculation for the Energy Losses of 6-0.4 kV Electrical Network in the Erdenet Factory" 2006 International Forum on Strategic Technology. Ulsan, South Korea, 2006, pp. 51-54. DOI: 10.1109/IFOST.2006.312244.

13. Hamed Emara Kassem; Mohammed Badr; Salwa Ali Ahmed, "Reduction of energy losses in electrical distribution systems" 2nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013). Stockholm, Sweden, 2013, pp. 1-4. DOI: 10.1049/cp.2013.0589.

14. Шведов Г.В. Анализ потерь электроэнергии в городских электрических сетях напряжением 6-10 кВ г. Душанбе Республики Таджикистан/Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, М.У. Холматова//Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 1.№ 2, (42). С. 36-42.

15. Шведов Г.В. Анализ потерь электроэнергии и разработка мероприятий по их снижению в городских распределительных электрических сетях 6-10/0,4 кв/ Г.В.Шведов, С.Р. Чоршанбиев, // Энергетик. 2019. № 1. С. 31-34.

16. Чоршанбиев С.Р. Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): Автореферат...канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.

17. Sirojiddin. R. Chorshanbiev, Galaktion. V. Shvedov, Hamdy. M. Sultan "Modeling, Calculation and Analysis of Technical Power Losses in 6-10/0.4 kV Urban Distribution Networks of the City of Dushanbe of the Republic of Tajikistan" // IEEE 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)-2019, pp.322-326. DOI: 10.1109 / ICIEAM.2019.8743055

18. Шведов Г.В, Чоршанбиев С.Р., Васьков А.Г. Оценка потенциальных ресурсов солнечной энергии на территории Республики Таджикистан/ Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах.

Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. 2018. С. 212-215.

19. G.V. Shvedov, S.R. Chorshanbiev, Vaskov A.G. "Analysis and Evaluation of Potential of Renewable Energy Resources of Republic of Tajikistan," 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon 2018. pp. 26-33.

20. Ковыркин А.В., Морсин И.А., Чоршанбиев С.Р., Шведов Г.В. Оценка влияния распределенной солнечной генерации на энергоэффективность электросетевой организации//Энергосбережение - теория и практика труды Девятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. 2018. С. 187-191.

21. Шведов Г.В., Чоршанбиев С.Р., Морсин И.А. Влияние распределенной солнечной генерации на потери электроэнергии в электрических сетях//Электроэнергетика глазами молодежи-2017: Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 125-128.

22. Shvedov G.V., Chorshanbiev S.R., Shvetsova E.V., Nazirov K.B. Impact of solar generation connected to 0.4 kV grid on the power losses and the shape factor of load curve// В сборнике: Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, С. 773-777.

23. Chorshanbiev S. R., Shvedov G. V., Nazirov K. B., Ganiev Z. S. Analysis of the influence of the operation of network-driven inverters of solar power plants on the operation mode of 0.4 kV electrical network in terms of electromagnetic compatibility// 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2019, pp. 946-950.

24. Nazirov K.B., Shvedov G.V., Chorshanbiev S.R., Dzhuraev S.D. Study of the operating modes of the 0.4 kV main distribution network, in Dushanbe city of the Republic of Tajikistan, with distributed solar generation for power losses and power quality estimation/В сборнике: Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, С. 737-742.

25. Шведов Г.В. Методика управления генерацией солнечных батарей по критерию минимизации относительных потерь электроэнергии в электрических сетях/ Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, Ш.Д. Джурраев // Вестник Московского энергетического института. 2019. № 1. С. 20-28.

**ТАҲЛИЛИ СОҲТОРӢ ВА БАҲОДИИ  
ТАЛАФОТИ ТЕХНИКИИ НЕРӢИ БАРҚ  
ДАР ШАБАКАҲОИ БАРҚИИ 0.4-500 КВ  
НОҲИЯҲОИ ТОБЕИ ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН**

*С.Р. Чоршанбиев, Г.В.Шведов, У.Мадвалиев*

Сарфаи энергия, баланд бардоштани самаранокии барқ ва кам кардани талафоти нерӯи барқ аз вазифаҳои стратегии ҳар як шабакаи барқӣ мебошад. Новобаста аз тадқиқоти сершумори илмӣ имрӯзҳо талафоти нерӯи барқ ҳангоми интиқоли он тавассути шабакаҳои барқии Ҷумҳурии Тоҷикистон, алалхусус дар ноҳияҳои тобеи ҷумҳурӣ аз сатҳи оптималии 5-10% зиёдтар аст.

Бинобар ин, дар ин кор таҳлили сохторӣ ва баҳодихии талафоти техникий нерӯи барқ дар шабакаҳои барқии 0.4-500 кВ ноҳияҳои тобеи Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида шуд.

Сохтори талафоти техникий аз рӯйи дараҷаҳои шиддат ва намудҳои талафот нишон дода шудааст. Корхонаҳои шабакаи барқии минтақаҳои тобеи ҷумҳурӣ бо сатҳи талафоти баланди нерӯи барқ муайян карда шуданд. Қимати талафоти техникий нерӯи барқ бо қиматҳои миёнаи шабакаҳои барқии Русия муқоиса карда шуданд.

**Калимаҳои калидӣ:** таҳлили талафоти нерӯи барқ, шабакаҳои барқ, сохтори талафоти техникий нерӯи барқ, хатҳои барқ, ноҳияҳои тобеи Ҷумҳурии Тоҷикистон.

**STRUCTURAL ANALYSIS AND  
ESTIMATION OF TECHNICAL LOSSES  
OF ELECTRIC POWER IN ELECTRIC  
NETWORKS 0,4-500 KV DISTRICTS OF  
REPUBLICAN SUBORDINATION OF  
TAJIKISTAN**

*S.R. Chorshanbiev, G. V.Shvedov, U.Madvaliev*

Energy saving, increasing energy efficiency and reducing energy losses are strategic objectives for any electric network. Despite numerous scientific studies, to date, the level of

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК  
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

*У. Мадвалиев, М.А. Кудусов*

*Физико-технический институт имени С.У. Умарова Академии Наук Республики Таджикистан*

В данной статье выполнен анализ работы существующих солнечных сетевых энергоустановок (СЭС) Республики Таджикистан.

На основе экспериментальных исследований определены коэффициенты полезного действия (КПД) СЭС, при условии дефицита

electricity losses during its transmission through the electric networks of the Republic of Tajikistan and in particular in the areas of Republican subordination of Tajikistan exceed the optimal values of 5-10%.

Based on this, in this article, a structural analysis and evaluation of technical losses of electricity in the electrical networks of 0.4-500 kV areas of Republican subordination of Tajikistan.

The structure of technical losses of the electric power on classes of stresses and types of losses is shown. The enterprises of electric networks of regions of Republican subordination with high levels of relative losses of the electric power are revealed. Values of components of technical losses of the electric power are compared with average values in electric networks of Russia.

**Keywords:** analysis of electric power losses, electric networks, structure of technical electric power losses, power lines, regions of Republican subordination, Republic of Tajikistan..

**Сведения об авторах:**

Чоршанбиев Сироджиддин Ражаббокиевич – к.т.н., ассистент кафедры «Электрооборудование» ТТУ имени академика М.С. Осими. Тел:+(992) 902209944. E-mail: sirochiddin.chorshanbiev.89@mail.ru

Шведов Галактион Владимирович – к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой «Электроэнергетических систем» национального исследовательского университета «МЭИ». 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14. E-mail: shvedovgv@mpei.ru

Умархон Мадвалиев – д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Физико-технического института имени С.У. Умарова Академии Наук Республики Таджикистан. Генеральный директор ОАО «Системаавтоматика».

электроэнергии. Показано, что при ухудшении качества электроэнергии КПД СЭС уменьшается.

**Ключевые слова:** солнечная сетевая энергоустановка, солнечный фотоэлектрический модуль, Республика Таджикистан.

### Введение

Известно что минимальный предел нормального энергообеспечения на одного человека составляет 1 кВт, а для создания комфортных условий жизни требуется в среднем 2 кВт мощности. Уровень энергообеспечения населения Республики Таджикистан за счет обеспечения электроэнергии в настоящее время составляет ~ 0,2-0,4 кВт/чел. Энергообеспечение за счет ископаемых видов топлива и биомассы составляет ~ 0,3-0,5 кВт/чел. Таким образом, обнаруживается существенный недостаток энергообеспечения в РТ. Очевидно что в этих условиях наиболее подходящим решением проблемы дефицита энергообеспечения является использование возобновляемых источников энергии, которыми богат Таджикистан. Целю настоящей работы является детальный анализ существующих солнечных сетевых энергоустановок (ССЭ) Республики Таджикистан и экспериментальное определение коэффициентов полезного действия (КПД) этих ССЭ.

Отметим, что мировая фотоэлектротехника, в настоящее время, представляет собой развивающийся быстрыми темпами сектор энергетики с огромными возможностями для последующего роста. По данным [1], мировая мощность солнечных фотоэнергетических систем только за 2015 год выросла на 50 ГВт, а за десять лет (с 2005 года по 2015 год) с 5,1 ГВт до 227 ГВт, то есть в 44,5 раз. Интерес к фотоэлектротехнике обусловлен радикальным снижением удельной стоимости одного киловатта мощности солнечных фотоэлектрических установок и постепенным приближением ее к уровню экономически оправданных энергетических проектов. Между тем совершенно очевидно, что рост выброса двуокиси углерода оказывает спектр негативных влияний на окружающую среду, климат и продолжительности жизни людей. Следовательно, возникает необходимость крупномасштабного использования возобновляемых источников энергии в различных отраслях народного хозяйства РТ.

**Существующие солнечные сетевые системы и их характеристики.** Как правило, солнечные установки можно разделить на два класса: сетевые и автономные. В первом случае, установки работают непосредственно на сеть (электрическую или тепловую), причем, их мощность, существенно меньше мощности сети и вся выработанная энергия "потребляется" сетью. Сетевые энергоустановки (рис.1), как правило, не требуют

создания аккумуляторов энергии, функцию которых выполняет сама сеть.

Во втором случае, для надежного энергоснабжения потребителя требуется аккумулировать энергию на периоды, когда мощность первичных преобразователей, из-за нестабильности поступления солнечной энергии, опускается ниже уровня нагрузки. Режимы работы автономных энергоустановок являются более сложными, чем сетевые.

В настоящее время специалистами ОАО "Системаавтоматика" в Республике Таджикистан установлено следующие пять солнечных сетевых энергоустановок общей мощностью 235 кВт. В том числе:

1. ССЭ мощностью 120 кВт в г. Душанбе (38°58' с.ш. 68°76' в.д.) - Центральная клиническая больница;
2. ССЭ мощностью 40 кВт в г. Душанбе (38°57' с.ш. 68°79' в.д.) - Институт Гинекологии;
3. ССЭ мощностью 15 кВт г. Курган-Тюбе (37°83' с.ш. 68°78' в.д.) - Административное здание филиала НБТ в г. Курган-Тюбе;
4. ССЭ мощностью 15 кВт г. Курган-Тюбе (37°83' с.ш. 68°78' в.д.) - Здание гостиницы филиала НБТ в г. Курган-Тюбе;
5. ССЭ мощностью 15 кВт г. Куляб (37°91' с.ш. 69°78' в.д.).

Сравнительно недавно 2016, аналогичная ССЭ мощностью 30 кВт было установлено в Бохтарском районе (37°87' с.ш. 68°73' в.д.).

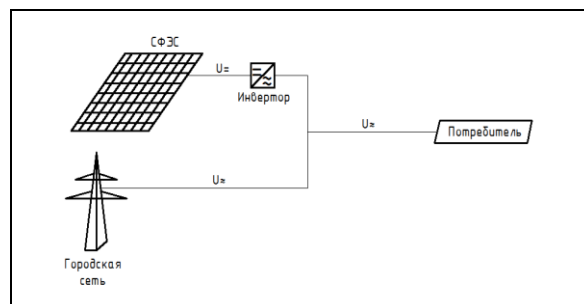


Рис.1. Принципиальная схема сетевой солнечной энергоустановки.

**Анализ результатов работы сетевых солнечных энергоустановок Республики Таджикистан.** Все выше приведенные энергоустановки при себе имеют систему сбора данных. Например, в солнечных энергоустановках г. Курган-Тюбе собираются данные о ежедневной, ежемесячной и ежегодной выработки электроэнергии. В энергоустановках г. Душанбе, кроме данных о выработки электроэнергии, также собираются данные о температуре окружающей среды и интенсивности солнечной радиации на поверхности фотоэлектрических панелей,

поскольку в системах дополнительно установлены термометр и пиранометр.

Результаты работы различных сетевых энергоустановок Таджикистана в дневной

период времени показан на рис. 2, а результаты работы по месяцам, с начала введения в эксплуатацию, иллюстрируется на рис. 3.

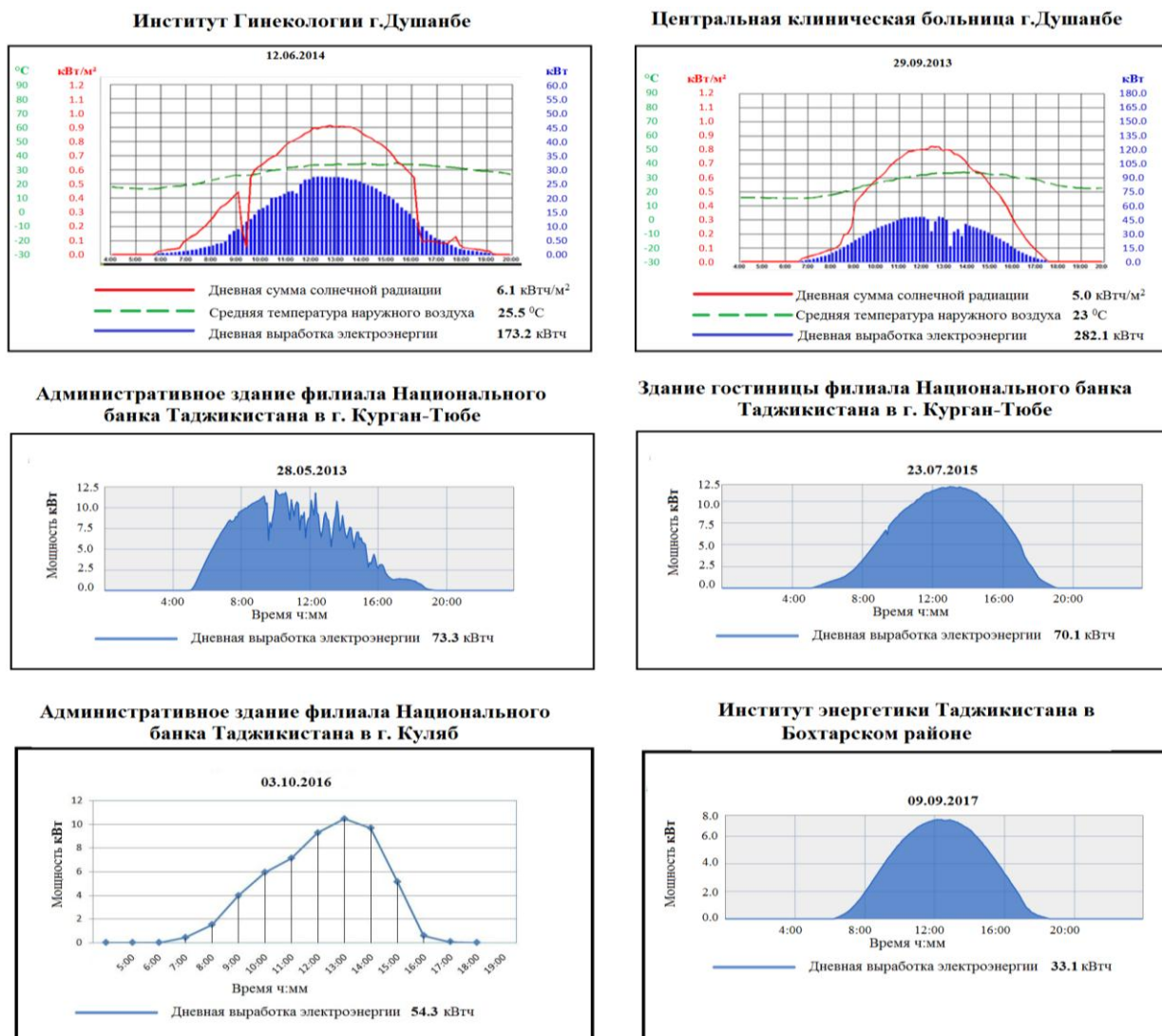


Рис.2. Результаты солнечных сетевых энергоустановок в дневной период времени.

Из рис.3., в частности, следует, что в некотором периоде времени система вообще не вырабатывает электроэнергию или мало её вырабатывает и это обусловлено следующими причинами: понижением или повышением напряжения в городской сети; отключением электроэнергии; обратная последовательность чередования фаз; халатность обслуживающего персонала.

В качестве примера проведем более подробный анализ работы солнечной сетевой энергоустановки мощностью 40 кВт в г. Душанбе.

**Технические характеристики системы:**

Солнечные фотоэлектрические модули компании Куосега (Япония)- 192 шт.;

Максимальная вырабатываемая мощность модуля- 210 Вт (при 1000 Вт/м2) ;

Площадь одного модуля - 1,63 м2(1650мм X 990мм) ;

КПД фотоэлектрического модуля - 12.8%;

Инверторы Куосега, мощностью 10 кВт - 4шт.;

Пиранометр - купольный СМР 6;

Угол наклона солнечных панелей - 30°;

Направление - строго на юг. ;

Общая площадь солнечных фотоэлектрических панелей - 313 м²;

Система сдана в эксплуатацию 27.07.2012 г. ;

КПД энергоустановки определяем по формуле:

$$\eta_{эн} = \frac{E}{Q \cdot S_{ФЭП}} \quad (1)$$



где  $E$  - энергия, произведенная энергоустановкой за определенный период времени, кВтч,

$Q$  - интенсивность солнечной радиации в рассматриваемом периоде, кВтм<sup>2</sup>,  
 $S_{ФЭП}$  - площадь фотоэлектрических панелей, м<sup>2</sup>.

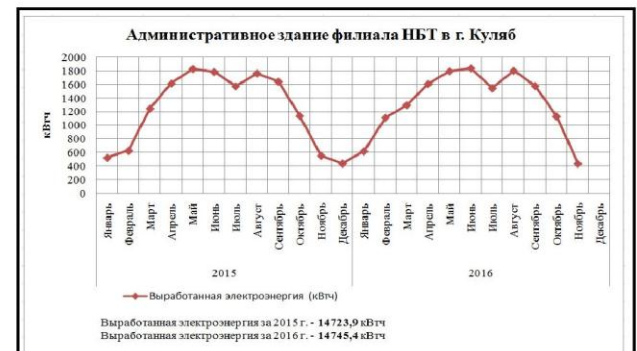
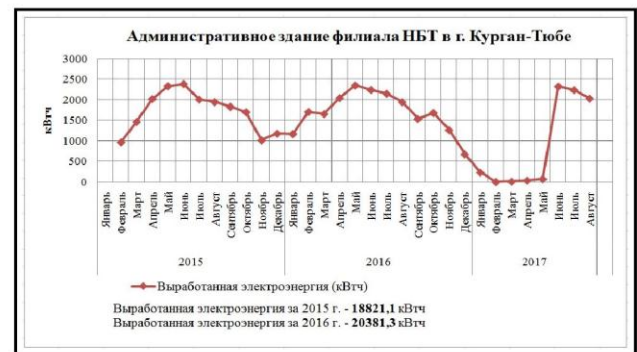
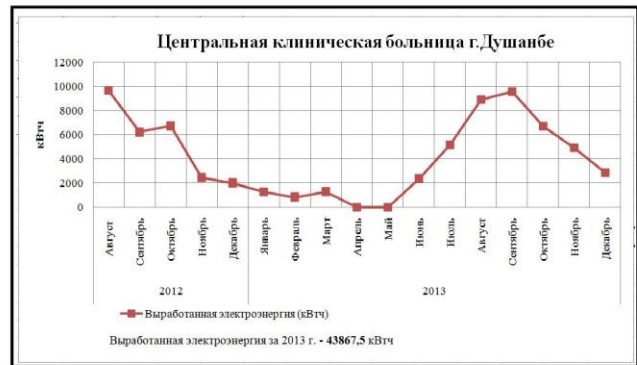
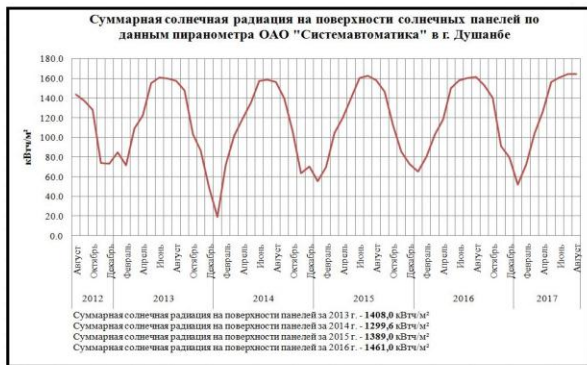


Рис.3. Ежегодные и ежемесячные данные выработанной электроэнергии солнечными сетевыми энергоустановками Республики Таджикистан.



Рис.4. Изменение КПД энергоустановки Института Гинекологии за весь период работы.

### Выводы

Результаты анализа графиков (рис. 3 и рис. 4) позволяют сделать вывод, что КПД энергоустановки Института Гинекологии колеблется в диапазоне от 6% до 10%, при КПД солнечных фотоэлектрических модулей (СФМ)- 12,8% и даже учитывая те ситуации, что в некоторые периоды времени, система вообще не вырабатывала электроэнергию. В лучшем случае, с учетом потерь в инверторе и электрических проводах, энергоустановка должна работать с КПД более 10%. За весь период работы энергоустановкой (от 27.08.2012 г. до 31.01.2015 г.) было выработано 84084 кВтч электроэнергии. При отсутствии вышеперечисленных причин и работе энергоустановки с КПД 10%, было бы выработано 103903 кВтч электроэнергии, что на 23,6% больше, чем выработано энергоустановкой в реальных условиях.

При этом, при проектировании сетевых энергоустановок, конкретно для каждого региона, нужно учитывать вышеперечисленные причины и находить пути решения этих проблем. В каждом регионе причины по снижению КПД сетевых энергоустановок бывают разные. К примеру, в США и во многих странах Европы, где качество электроэнергии более высокое и перебои с электроэнергией бывают всего несколько раз в году, показатели снижения КПД сетевых энергоустановок намного меньше, чем в Таджикистане.

### Литература:

1. Морвай З., Робич С., Букарица В. Отчет ООН и Правительство РТ о повышении энергообеспеченности население Республики Таджикистан: Национальная программа интегрированного сельского развития, основанная на ВИЭ - Национальная программа расширения. Душанбе - 2010. 29 стр.
2. Морвай З., Букарица В., Чупин Н., Гвозденак Д., Маркович О., Робич С. Отчет ООН об Энергоснабжение для развития и сокращения бедности населения Республики Таджикистан. Промежуточная стратегия по возобновляемым источникам энергии для интегрированного сельского развития (финальная версия). Душанбе - 2010. 61 стр.
3. Кабутов К. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в Таджикистане. Душанбе - 15 стр.
4. Кабутов К. Возобновляемые источники энергии - проблемы и перспективы использования в Таджикистане./ Материалы Международной конференции "Хартия Земли и устойчивое развитие Таджикистана" 22-23 апреля 2011 года. Душанбе - 2011. 75-81.
5. Ф. Исmoilов/ Комплексное использо-

вание возобновляемых источников энергии для электроснабжения автономных потребителей Республики Таджикистан, Дисс. канд. наук – Москва, МЭИ 2012.

6. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century/Renewables Global status report 2016. France - 2016.

7. Виссарионов В.И., Розанов Ю.К., Баранов Н.Н., Шестопалова Т.А., Крюков К.В. Повышение эффективности фотоэлектрических установок. Альтернативная энергетика. Международный научно-практический журнал № 3, 2010 г., с. 10-13.

8. О.С. Попель., С.Е.Фрид., С.В. Киселева, Ю.Г. Коломиец., Н.В. Лисицкая. Преобразование энергии солнечного излучения и энергии ветра. Общие сведения о методах математического моделирования работы энергоустановок. Москва - 2009.

### ХУСУСИЯТҲОИ БА ҚОР ДАРОВАРДАНИ ҚУВВАИ БАҶҶИИ ШАБАКАВИ ДАР ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН У. Мадвалиев, М.А. Кудусов

Дар ин мақола ҷаъолияти нерӯгоҳҳои мавҷудаи барқи офтобии (SSE) Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳлил карда мешавад.

Дар асоси тадқиқоти таҷрибавӣ омилҳои самарабахшии (самаранокии) SSE муайян карда мешаванд, ба шарте ки норасоии нерӯи барқ вучуд дошта бошад. Нишон дода шудааст, ки вақте ки сифати нерӯи барқ бад мешавад, самаранокии SSE паст мешавад.

**Калимаҳои калидӣ:** дастгоҳи барқи офтобӣ, модули фотоэлектрикии офтобӣ, система, Ҷумҳурии Тоҷикистон.

### FEATURES OF EXPLOITATION NETWORK SOLAR POWER IN TAJIKISTAN U.Madvaliev, M.A. Kudusov

This article analyzes the operation of existing solar network power plants (SSE) of the Republic of Tajikistan.

Based on experimental studies, the efficiency factors (Efficiency) of the SSE are determined, provided that there is a shortage of electricity. It is shown that when the quality of electricity deteriorates, the efficiency of SSE decreases.

**Key words:** solar network power plant, solar photovoltaic module, system, Republic of Tajikistan.

### Сведения об авторах:

Умархон Мадвалиев – д-р физ.-мат. наук, гл. научный сотр. Физико-технического института им. С.У. Умарова АН РТ. Генеральный директор ОАО “Системаавтоматика”.

Кудусов Мансур – сотрудник ОАО “Системаавтоматика”.

**КВАЗИБИНАРНЫЕ РАЗРЕЗЫ СИСТЕМЫ Mg-Al-Va**

*И.Ш.Муслимов, И.Р.Исмоилов, Ф.К.Рахимов, Э.Р.Газизова, Т.Д. Джураев*

*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

*В работе установлено существование пяти квазибинарных разрезов в тройной системе Mg-Al-Va. Построенные диаграммы состояния разрезов являются эвтектическими с ограниченной взаимной растворимостью компонентов в твердом состоянии.*

**Ключевые слова:** : диаграмма состояния Mg-Al-Va, квазибинарные разрезы системы  $Mg_{17}Al_{12}-Mg_{17}Va_2$ ,  $Mg_{17}Va_2-Mg_2Al_3$ ,  $Mg_2Va-VaAl_4$ ,  $Mg_{17}Va_2-VaAl_4$ ,  $Mg_2Al_3-VaAl_4$ , интерметаллические соединения, растворимость, эвтектика.

Магний относится к самым лёгким металлам, широко применяемым в технике. При легировании его другими элементами образуются сплавы с низким удельным весом и высокими механическими свойствами, что является для этого металла главным достоинством. Распространённость он получил благодаря глубокому изучению его взаимодействия с различными металлами. Несмотря на это, до сих пор остаются неизученными системы магния со многими элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева (ПТ), о чём можно судить по отсутствующим в литературе данным о диаграммах состояния с его участием [1,2].

Такое обстоятельство привлекло к себе наше внимание и подтолкнуло к изучению тройной системы Mg-Al-Va, на основании которой возможна разработка различных составов комплексных лигатур для легирования и модифицирования с участием этих металлов. В связи с этим перед нами стала задача по изучению фазовых равновесий в системе Mg-Al-Va и построению диаграмм состояний сплавов этой системы.

Диаграммы состояния двойных систем Mg-Al, Al-Va и Mg-Va имеют сложную конфигурацию, поскольку взаимодействие между этими элементами сопровождается образованием большого числа конгруэнтных и инконгруэнтных соединений.

Анализ литературных данных [1] по двойным диаграммам состояния магния с алюминием и барием показал, что таковые построены. В системе Mg-Al экспериментально обнаружено четыре соединения  $Mg_2Al_3$ ,  $Mg_{17}Al_{12}$ ,  $Mg_{23}Al_{30}$  и  $Mg_{48}Al_{52}$ .

Соединения  $Mg_2Al_3$  и  $Mg_{17}Al_{12}$  плавятся конгруэнтно при температурах 453°C и 460°C, соответственно. В равновесии с твердым раствором на основе алюминия находится соединение  $Mg_2Al_3$ , которое образует эвтектику с алюминием при температуре 438°C и содержании 60 ат.% Al. В системе Al-Va экспериментально обнаружено образование трех интерметаллических соединений, из которых лишь одно  $VaAl_4$  плавится конгруэнтно при температуре 1104°C, а два других  $Va_7Al_{13}$  и  $Va_4Al_5$  образуются по перитектическим реакциям при температурах 914 и 730°C. В системе имеется две эвтектики, одна вырожденная на основе Al, другая плавится при температуре 538°C и содержит 71.5% (ат.) Va. В системе Mg-Va установлено существование трех интерметаллических соединений  $Mg_{17}Va_2$ ,  $Mg_2Va$  и  $Mg_{23}Va_6$ . Соединения  $Mg_{17}Va_2$  и  $Mg_2Va$  плавятся конгруэнтно при температурах 707 и 607°C, соответственно, а соединение  $Mg_{23}Va_6$  плавится инконгруэнтно при температуре 598°C. В сплавах системы кристаллизуются три эвтектики при температурах 634, 589 и 358°C и содержаниях 2.5; 27 и 65% (ат.) Va, соответственно. Результаты вышеуказанных исследований представлены в таблице.

Многообразие фазовых равновесий в двойных системах определяет сложный характер взаимодействия в системе Mg-Al-Va, сведений о котором в литературе не имеется. Сингулярной триангуляцией системы Mg-Al-Va было установлено существование пяти квазибинарных разрезов:  $Mg_{17}Va_2-Mg_2Al_3$ ,  $Mg_{17}Va_2-VaAl_4$ ,  $Mg_2Va-VaAl_4$ ,  $Mg_2Al_3-VaAl_4$  и  $Mg_{17}Al_{12}-Mg_{17}Va_2$ .

Исследования выполнялись с применением микроструктурного, дифференциально-термического и рентгенофазового методов анализа в сочетании с измерением микротвердости структурных составляющих сплавов. Для приготовления сплавов использовали барий марки БМ (ТУ 48-4-465-85) с суммарным содержанием примесей 0,02% (по массе), магний марки Mg90 (ГОСТ 804-72) с содержанием основного компонента 99,90% (по массе) и алюминий марки А995 (ГОСТ 11069-74).

Таблица 1.

Структура и свойства двойных интерметаллических соединений системы Mg-Al-Ba [1].

Соединение	Тип плавления	t <sub>пл.</sub> , °C	Структурный тип	Сингония	Параметр решетки, нм		
					a	b	c
BaAl <sub>4</sub>	Конгруэнтно	1104	BaAl <sub>4</sub>	Тетрагональная	0.4566	-	1.1278
Ba <sub>7</sub> Al <sub>13</sub>	Инконгруэнтно	914	Неизвестно	Тригональная	0.6100	-	1.1725
Ba <sub>4</sub> Al <sub>5</sub>	Инконгруэнтно	730	Неизвестно	Гексагональная	0.6103	-	1.7800
Mg <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (β-фаза)	Конгруэнтно	453	Cd <sub>2</sub> Na	Сложная кубическая	2.8239	-	-
Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> (γ-фаза)	Конгруэнтно	460	α-Mn	Кубическая	1.0480	-	-
Mg <sub>17</sub> Ba <sub>2</sub>	Конгруэнтно	707	Th <sub>2</sub> Ni <sub>17</sub>	Гексагональная	1.0664	-	1.5593
Mg <sub>23</sub> Ba <sub>6</sub>	Инконгруэнтно	598	Th <sub>6</sub> Mn <sub>23</sub>	Кубическая	1.5263	-	-
Mg <sub>2</sub> Ba	Конгруэнтно	607	Mg <sub>2</sub> Zn	Гексагональная	0.6663	-	1.0557

Микроскопический анализ при изучении диаграмм плавкости металлических сплавов дает возможность контролировать микроструктуру в зависимости от химического состава. Микроструктурный анализ сплавов проводился на микроскопе марки Биомед «ММР-2». Сплавление шихты производилось в электрической печи сопротивления под слоем флюса (карналлита). Серией опытов было установлено, что потери от испарения составили 1-2% от исходной загрузки. В последующем состав загрузки корректировался добавками магния и бария для компенсации потерь от испарения.

Полученные сплавы подвергались гомогенизирующему отжигу в течение 72 ч при температуре 400°C в вакуированных кварцевых ампулах с последующей закалкой в

холодной воде. Ниже приводятся результаты исследований.

Система Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>-Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub> (рис. 1а).

Система является квазибинарной, эвтектического типа с ограниченной растворимостью компонентов друг в друге. По излому на кривых зависимостей “микротвердость-состав” и “параметр решетки-состав” было установлено, что в Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub> при температуре плавления эвтектики растворяется 43.3% мол. Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>, а растворимость Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub> в соединении Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> составляет около 3.15% мол.

Эвтектика содержит 33.6% мол. Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub> и 66.4% мол. Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> и представляет собой смесь β- и α-фаз. Микротвердость β- и α-фаз при переходе в двухфазную область составляет 2600 МПа и 2500 МПа, соответственно.

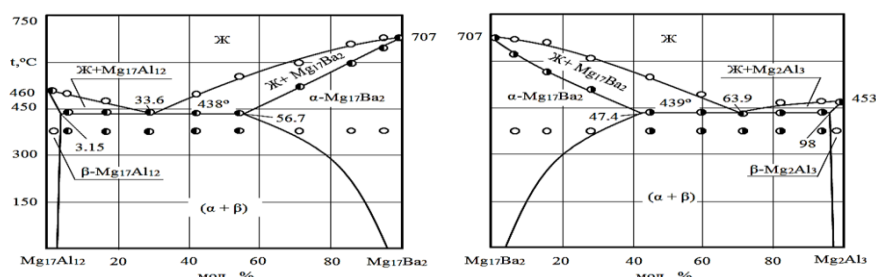


Рис.1. Диаграммы состояния Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>-Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub> (а) и Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub>-Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> (б).

Система Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub>-Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> (рис. 1б). При температуре 439 °C в α-фазе содержится 47.4% мол. Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>. Соединение Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> растворяет 2.0% мол. Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub>. При этом микротвердость β-твердого раствора Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub> в Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> изменяется от 2200 МПа до 2650 МПа. На кривых охлаждения сплавов, составы которых лежат на изученном разрезе, наблюдается горизонтальная площадка, соответствующая температуре кристаллизации эвтектики. Эвтектика содержит 63.9 мол. Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> и 36.1 мол. Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub> и плавится при 439 °C.

Система Mg<sub>2</sub>Ba-BaAl<sub>4</sub> (рис. 2а). По перегибу на кривых изменения “микротвер-

дость-состав” и “параметры решетки-состав” было найдено, что в Mg<sub>2</sub>Ba при 542 °C растворяется 23% мол. BaAl<sub>4</sub>, а соединение Mg<sub>2</sub>Ba-45.5% мол. в BaAl<sub>4</sub>.

Микротвердость α-фазы изменяется от 2500 МПа до 3000 МПа. При содержании 42% мол. BaAl<sub>4</sub> и 58% мол. Mg<sub>2</sub>Ba образуется эвтектика, которая плавится при температуре 542 °C.

Система Mg<sub>17</sub>Ba<sub>2</sub>-BaAl<sub>4</sub> (рис. 2б). Система также является квазибинарной эвтектического типа с широкой областью твердых растворов. Максимальная растворимость

соединения  $Mg_{17}Ba_2$  в  $BaAl_4$  при температуре  $663^\circ C$  составляет 32% мол.

Соединение  $Mg_{17}Ba_2$  растворяет при той же температуре 27.7% мол.  $BaAl_4$ . Эвтектика

содержит 47.2% мол.  $BaAl_4$  и 52.8% мол.  $Mg_{17}Ba_2$ . Величина микротвердости  $\beta$ - и  $\alpha$ -фаз при переходе в двухфазную область составляет 2500 МПа и 3000 МПа.

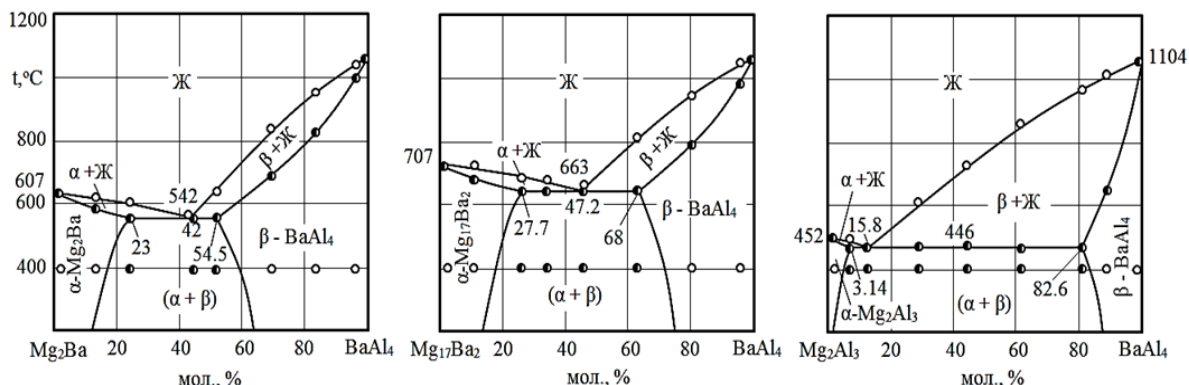


Рис.2. Диаграммы состояния  $Mg_2Ba$ - $BaAl_4$  (а),  $Mg_{17}Ba_2$ - $BaAl_4$  (б) и  $Mg_2Al_3$ - $BaAl_4$  (в).

Система  $Mg_2Al_3$ - $BaAl_4$  (рис. 2в). Исследования структуры 11 сплавов показали, что диаграмма состояния этой системы является эвтектической с ограниченной взаимной растворимостью. Максимальная растворимость соединения  $Mg_2Al_3$  в  $BaAl_4$  при  $446^\circ C$  составляет 17.4% мол., в соединении  $Mg_2Al_3$  при температуре эвтектики растворяется 3.14% мол.  $BaAl_4$  [3-6]. Эвтектика образуется при содержании 15.8% мол.  $Mg_2Al_3$ . Величина микротвердости  $\beta$ - и  $\alpha$ -фаз на границе раздела фаз составляет 2500 МПа и 2900 МПа.

Таким образом, исследованиями установлено, что все квазибинарные разрезы являются по характеру взаимодействия эвтектического типа с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и ограниченном в твердом состояниях. Построенные диаграммы состояния квазибинарных разрезов дают возможность построения общей поверхности ликвидуса тройной системы магний-алюминий-барий.

#### Литература:

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. акад. РАН Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001, т. 1-3, 992, 1024, 1320с.
2. Диаграммы состояния систем на основе алюминия и магния. Справочник. М.: Наука, 1977. 225 с.
3. Рахимов Ф.К., Исмоилов И.Р., Газизова Э.Р., Джураев Т.Д. Построение поверхности ликвидуса квазитройной системы  $Al$ - $BaAl_4$ - $Mg_2Al_3$  методом симплексных решеток. // Материалы II Международной научной конференции «Химия алифатических и циклических производных глицерина и аспекты их применения», посвященной 75-

летию памяти д.х.н., профессора, член-корр. АН РТ Кимсанова Бури Хакимовича, ТГНУ Душанбе 2016 г. С. 137-142.

4. Джураев Т.Д., Рахимов Ф.К., Газизова Э.Р. Исследование квазибинарного разреза  $YbAl_2$ - $SrAl_4$ //Политехнический вестник. Серия: инженерные исследования Душанбе, 2018, №1 (41), С. 91-95.

5. Джураев Т.Д. Физико-химические основы разработки композиций и сплавов кальция, стронция и бария // Дис. докт. хим. наук. М., 1991, 374с.

6. Исмоилов И.Р., Джураев Т.Д., Рахимов Ф.К. Поверхность ликвидуса системы  $Al$ - $BaAl_4$ - $Mg_2Al_3$ . // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе» Тюмень ТИУ 2016 г. Том II, С. 139-144.

#### ТАДҚИҚОТИ БУРИШҲОИ КВАЗИБИНАРИИ СИСТЕМАИ $Mg$ - $Al$ - $Ba$ И.Ш. Муслимов, И.Р. Исмоилов, Ф.К. Раҳимов, Э.Р. Газизова, Т.Д. Джураев

Дар мақолаи мазкур мавҷудияти панҷ буришҳои квазибинарӣ дар системаи  $Mg$ - $Al$ - $Ba$  муайян карда шуд. Диаграммаҳои ҳолати сохтасуда намуди эвтектикӣ дошта, ҳалшавии маҳдудноки компонентхоро дар ҳолати сахтӣ нишон медиҳад. Диаграммаҳои ҳолати квазибинарии сохтасуда имконияти гузаронидани трангулятсияи сингуляриро дар системаи  $Mg$ - $Al$ - $Ba$  дошта, сохтани сатҳи ликвидуси системаи сечандаи мазкурро осон мегардонад.

**Калимаҳои калидӣ:** диаграммаи ҳолат, буриши квазидучанда, конгруэнтӣ, иконгру-

энтӣ, пайвастагиҳои интерметаллидӣ, ҳалшавӣ, эвтектика.

### QUASI -BINARY SECTIONS of Mg-Al-Ba SYSTEM

*I.Sh. Muslimov, I.R. Ismoilov, F.K. Rakhimov, E.R. Gazizova, T.D. Juraev*

The existence of five quasi-binary sections in the triple system Mg-Al-Ba is established. The constructed diagrams of the state of the sections are eutectic with limited mutual solubility of the components in the solid state.

**Key words:** state diagrams, quasi-double sections, congruent, incongruent, intermetallic compounds, solubility, eutectic.

### Сведения об авторах:

Муслимов И.Ш. – к.х.н., доцент кафедры «Металлургия» ТТУ им. акад. М.С. Осими. E-mail: muslimov\_72@bk.ru.

Исмоилов И.Р. – ст. преп. каф. «Металлургия» ТТУ им. ак. М.С. Осими E-mail: krypton\_89@bk.ru.

Рахимов Ф.К. – к.х.н., доцент кафедры «Металлургия» ТТУ им. ак. М.С. Осими E-mail: rahimov\_83F@mail.ru.

Газизова Э. Р. – к.х.н., доцент кафедры «Металлургия» ТТУ им. ак. М.С. Осими.

Джураев Т. Д. – д.х.н., профессор кафедры «Металлургия» ТТУ им. акад. М.С. Осими. E-mail: mcm45@mail.ru.

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА 3% -НОГО NaCl

*О.Ш. Давлатов, Х.О. Одиназода, И.Н. Ганиев, С.С. Раджабаев*

*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

*Изучено коррозионно–электрохимическое поведение сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3%-ного NaCl. Показано, что сплавы с малыми добавками указанного элемента отличаются повышенной коррозионной устойчивостью.*

**Ключевые слова:** олово, анодное поведение, сплав АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, потенциостатический метод, скорость коррозии, потенциал коррозии, потенциал питтингообразования, электролит NaCl.

#### Введение

Алюминиевые сплавы широко применяются в различных отраслях промышленности в качестве материала для деталей машин и механизмов самых разных назначений – от бытовой техники до летательных аппаратов. Однако многие машины и механизмы при этом подвержены значительным нагрузкам: удару, циклическому изменению температуры, вибрации и т.п. Учитывая вышеизложенное, при конструировании деталей и механизмов необходимо всестороннее изучение свойств этих сплавов.

В последние годы интерес к созданию и внедрению принципиально новых конструкционных материалов, обладающих повышенными механическими и демпфирующими свойствами по сравнению с традиционными материалами, возрастает. Поэтому разработка и исследование новых алюминиевых сплавов с различными легирующими компонентами, устойчивых к агрессивным средам и

способных к рассеиванию энергии колебаний, являются весьма актуальными.

Для получения сплавов были использованы: алюминий марки А995 (ГОСТ 11069-2001), железо ч.д.а., медь – марки М0, магний – марки Мг 99,80 (ГОСТ 804-93), цинк – марки Ц1 (ГОСТ 3640-94), силиций – марки Кр00 (ГОСТ 2169-69) и олово – металлической чистотой 99.5 % (ГОСТ 860—75) (ГОСТ10928-90) в виде их лигатуры с алюминием. Сплавы для исследования были получены в тиглях из оксида алюминия в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 850<sup>0</sup>С.

Образцы для исследования отливали в графитовой изложнице диаметром 8 мм и длиной 120мм. Нерабочая часть образцов изолировалась смолой из смеси канифоли и парафина в соотношении 50:50. Рабочую торцевую часть электродов зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжировали, травили в 10%-ном растворе NaOH, тщательно промывали спиртом и затем погружали в среде электролита NaCl.

Исследования проводили с использованием потенциостата ПИ-50-1.1 и самописца ЛКД-4-002 в среде электролита NaCl марки чда для установления бестокового потенциала коррозии. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, а вспомогательным-платиновый. Скорость развертки потенциала составляла 2 мВ.с<sup>-1</sup>.

Для электрохимических исследований образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося

при погружении в исследуемый раствор (Е<sub>св.кор.</sub> – потенциал свободной коррозии, или стационарный), до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока - 2 А/м<sup>2</sup> (рис.1, кривая 1). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до значения потенциала -0.590 В, в результате чего происходило подщелачивание при электродного слоя поверхности образца (рис.1, кривой 3). Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (рис.1, кривой 4), при этом при переходе от катодного к анодному ходу фиксируется потенциал пассивации (Е<sub>п.п.</sub>). По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

Е<sub>ст</sub> или Е<sub>св.к</sub> – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;

Е<sub>рп</sub> – потенциал репассивации;

Е<sub>п.о</sub> – потенциал питтингообразования (или потенциал пробоя);

Е<sub>кор</sub> – потенциал коррозии;

i<sub>кор</sub> – ток коррозии.

Расчет тока коррозии как основную электрохимическую характеристику процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафеловской константы равной  $v_k = 0,12V$ . Скорость коррозии (К) определяли по току коррозии (i<sub>корр</sub>) по формуле:

$$K = i_{корр} \cdot k$$

где:  $k=0,335г/А \cdot ч$  для алюминия [1].

В качестве примера на рис. 1 представлена полная потенциодинамическая кривая для

сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 (Fe -1.4 мас.%; Cu – 5.3 мас.%; Mg-1.1 мас. %; Zn – 4 мас.%; Si-3.0 мас. %;) с 0.05% олова в среде электролита 3% ного NaCl.

Результаты коррозионно-электрохимического исследования алюминиево-железовых сплавов, легированных оловом, представлены в табл. 1, 2.

При изучении коррозионно-электрохимического поведения данных сплавов были исследованы временные зависимости электродных потенциалов в течение часа выдержки в электролите. Видно, что легированный сплав АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с оловом смещает потенциал свободной коррозии в отрицательную область (табл.1).

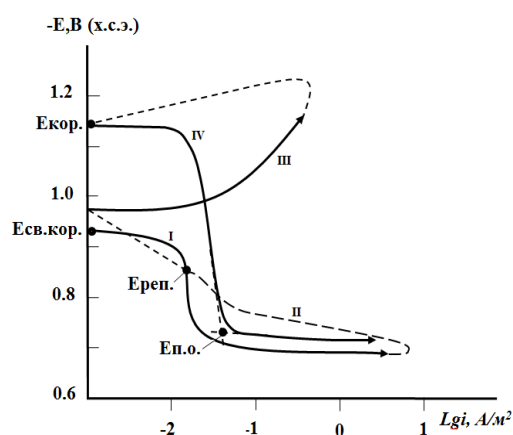


Рис.1. Полная поляризационная (2мВ/с) кривая сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в среде электролита 3%-ного NaCl.

Таблица 1.

Временная зависимость потенциала свободной коррозии (-Е<sub>св.кор.</sub>, В) сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 от содержания олова в среде электролита 3%-ного NaCl.

Время выдержки, минут	Содержание олова, мас. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	1,020	1,012	0,997	0,986	0,978
0,15	1,016	1,008	0,990	0,982	0,970
0,2	1,010	1,002	0,986	0,978	0,966
0,3	1,007	0,997	0,982	0,973	0,960
0,4	1,003	0,991	0,978	0,969	0,955
0,5	1,000	0,985	0,975	0,965	0,947
0,6	0,994	0,980	0,970	0,960	0,942
2	0,986	0,971	0,964	0,953	0,936
3	0,978	0,964	0,957	0,947	0,930
4	0,970	0,959	0,951	0,940	0,926
5	0,963	0,954	0,944	0,933	0,920
10	0,956	0,947	0,935	0,926	0,914
20	0,950	0,940	0,928	0,920	0,907
30	0,945	0,934	0,923	0,914	0,903
40	0,940	0,928	0,917	0,908	0,899
50	0,936	0,924	0,914	0,907	0,897
60	0,936	0,923	0,914	0,906	0,897

Электрохимические характеристики сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, снятые при скорости развертки потенциала 2 мВ/с, приведены в таблице 2. Видно, что добавки олова к сплаву АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 несколько сдвигают в положительную область потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации.

Небольшие добавки олова вызывают интенсивное уменьшение плотности тока и скорости коррозии сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3.

Рассчитанная из катодных ветвей потенциодинамических кривых скорость коррозии показывает, что добавки олова от 0,005 до 0,5 мас %, уменьшают скорость коррозии сплава АЖ1.4М5.3Мг1 на 15-20%.

Таблица.2.

Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3%-ного NaCl.

Содержание олова, масс.%	Электрохимические потенциалы В, (х.с.э.)				Скорость коррозии	
	-E <sub>св.кор</sub>	-E <sub>кор</sub>	-E <sub>п.о</sub>	-E <sub>рп</sub>	i <sub>кор</sub> ·10 <sup>2</sup> А/м <sup>2</sup>	K·10 <sup>3</sup> г/м <sup>2</sup> ·ч
-	0,936	1,140	0,720	0,870	0,52	17,42
0.01	0,923	1,128	0,706	0,861	0,50	16,75
0.05	0,914	1,116	0,690	0,849	0,48	16,08
0.1	0,906	1,104	0,677	0,840	0,46	15,41
0.5	0,897	1,092	0,660	0,832	0,44	14,74

На рис. 2 представлены анодные потенциодинамические кривые, характеризующие поведение сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, содержащего олово. У легированных сплавов по сравнению с исходным сплавом АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 область активно - пассивного состояния на потенциодинамических кривых смещена в сторону положительных значений потенциала, и с ростом концентрации легирующего элемента наблюдается уменьшение плотности тока. Это, в свою очередь, сопровождается сдвигом потенциала питтингообразования в положительную область.

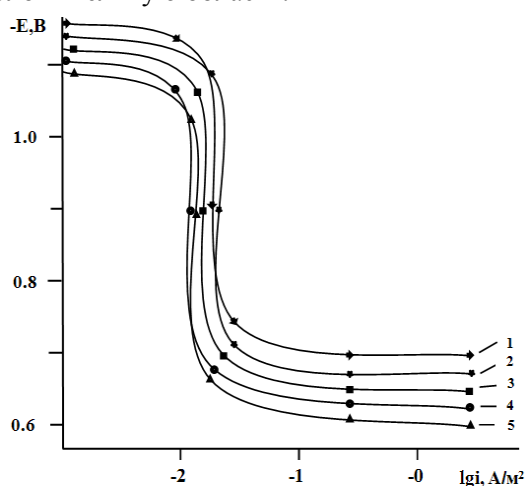


Рис.2. отенциодинамические анодные поляризационные (2мВ/с) кривые сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3(1), содержащего олово, мас. %: 0.01(2), 0.05(3), 0.1(4), 0.5(5), в среде электролита 3% - ного NaCl.

Таким образом, на основе проведенных исследований установлено, что добавки легирующего компонента в количествах 0.005 до 0.5 мас.% несколько повышают коррозионную стойкость сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в нейтральной среде электролита 3% - ного NaCl.

### Литература:

1. Раджабалиев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т. Влияние свинца на анодное поведение сплава Al+2,18%Fe // Вопросы материаловедения. 2016. № 2 (86). С. 147-151.
2. Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Амини Р.Н. Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10 в водных растворах NaCl // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2018. Т. 18. № 3. С. 5-15.

### РАФТОРИ ЭЛЕКТРОКИМИЎВИИ ХЎЛАИ АЖ1.4М5.3МГ1.1Ц4КР3-и БО ҚАЛЪАГИИ ДАР МУҲИТИ 3%-и ЭЛЕКТРОЛИТИ NaCl ЧАВҲАРОНИДАШУДА

О.Ш. Давлатов, Ҳ.О. Одиназода,  
И.Н. Ғаниев, С.С. Раҷабалиев

Рафтори коррозийн-электрокимиёви хўлаи АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3-и бо қалъағи чавҳаронидашуда дар муҳити 3%-и электролити NaCl омўхта шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо иловаи ками элементи



овардашуда баландшавии тобоварӣ ба зангзани фарқ карда мешавад.

**Калимаҳои калидӣ:** рафтори анодӣ, хӯлаи АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, қалъагӣ, усули потенциостатикӣ, суръати коррозия, иктидори коррозия, электролити NaCl.

**ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF ALLOY AJ1.4M5.3MG1.1C4KP3 DOPED TIN IN THE ELECTROLYTE MEDIUM OF 3% NaCl**

*O.Sh. Davlatov, H.O. Odinezoda, I.N. Ganiev, S.S.Rajabaliyev*

The corrosion-electrochemical behavior of the alloy AJ1.4M5.3Mg1.1C4Kp3 doped with tin in the electrolyte medium of 3% NaCl solution was studied. It is shown that alloys with small additives of this element are characterized by increased corrosion resistance.

**Keywords:** alloy AJ1.4M5.3Mg1.1C4Kp3, tin, potentiostatic method, anodic behavior, corrosion rate, corrosion potential, pitting potential, electrolyte NaCl.

**Сведения об авторах:**

Давлатов Ориф Шералиевич – ст. преп. каф. «Теоретическая механика и сопротивление материалов», ТТУ им. академика М.С. Осими, Тел.:+(992) 985-09-14-64, E-mail: davlatov\_orif@mail.ru

Одиназода Хайдар Одина – ректор ТТУ им. акад. М.С. Осими, чл.-корр. АН Республики Таджикистан, д.т.н., профессор. Тел: (+992) 987764444. E-mail: odhaidar@mail.ru

Ганиев Изатулло Наврузович – академик АН Республики Таджикистан, д.х.н., профессор-консультант научно-исследовательского отдела ТТУ им. ак. М.С.Осими. Тел: (+992) 93-488-48-79, E-mail: ganiev48@mail.ru

Раджабалиев Сафомудин Сайдалиевич – к.т.н., ст. преп. кафедры «Материаловедение, металлургические машины и оборудование», Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. Тел:+ (992) 918-18-40-82, E-mail: safo\_02@mail.ru

**ЛИГАТУРАИ ХУРДКРИСТАЛЛ ҲАМЧУН МАТРИТСАИ ГЕНОМ ҲАНГОМИ МОДИФИТСИРОНИИ ХҶЛАҲОИ АЛЮМИНИЙ**

*Т.Д. Ҷӯраев, Э.Р. Газизова, Ф.Қ. Ҳоҷиев, М.М. Ҳақдод  
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ*

*Дар мақола асоснокӣ расонидани эффекти модифитсионӣ ба структураи хӯлаҳои алюминий пайвастагиҳои химиявии душворғудози алюминидҳо, боридҳо ва карбидҳои металлҳои гузаранда ва геном пешниҳод намудани онҳо оварда шудааст.*

**Калимаҳои калидӣ:** модификаторҳо, лигатураҳо, ғудохта, металл, хӯлаҳо, алюминий, структура, кристалл, ирсият, геном.

Гуногуншаклии методикаи хурдандозакунӣ структураи хӯлаҳои металлҳои ранга моро ба кӯшиши ҳалли саволи истифодабарии талаботи асосии модификаторҳо, лигатураҳо ва туршкунандаҳо барои ошкорсозии механизми таъсири онҳо ба ғудохтаи моеи кристаллизатсияшаванда водор намуд.

Чуноне ки маълум аст, аз нуқтаи назари таъсир ба структура модификаторҳоро ба ду гурӯҳ тақсим мекунам [1]. Ба гурӯҳи якум модификаторҳое, ки таъсирашон ба самти зиёдшавии адади чанинҳо аз ҳисоби сулшавии инкишофи он ва ҳосилшавии пардаи адсорбсионӣ дар фазаи кристаллизатсияшаванда равона аст, дохил мешаванд. Чунин иловаҳо ҳалшавии хӯлаи моеъро дар асоси металлӣ тавсиф медиҳад. Зиёдшавии адади чанинҳо монанд ба андозаи муайян бо

структураи фазаҳои кристаллизатсияшаванда барои хурдандозакунӣ структураҳои ғудохта бо ёрии модификаторҳои чинси дуюм, ки дар онҳо ҳалнашудаҳо ва ба сифати заррачаҳои саҳти душворғудоз ифодакунанда ноил мешавад.

Яке аз иловакунандаҳои машхуртарин ва дар истеҳсолот истифодашаванда ба металлҳо ва хӯлаҳо пайвастагиҳои химиявии душворғудоз (алюминидҳо, боридҳо, карбидҳо, оксидҳо ва фосфидҳо бо иштироки элементҳои гузаранда) ба модификаторҳои чинси дуюм дохилшаванда мебошанд. Комёбиҳои ин самтро дар корҳои Бондарев Б.И. [1], Малтсев М.В. [2], Никитин В.И. [3], Самсонов Г.В. [4] ва ғайра, ки ба модифитсионии хӯлаҳои алюминий (бо титан, сирконий, ниобий ва ғайра) бахшида шудаанд, қайд кардан мумкин аст.

Дар натиҷаи тадқиқҳои дар боло овардашуда чунин талабот муайян карда шудааст, ки иловакунанда бояд ҷавобгӯ бошад [1]:

- 1) кифоягии устуворӣ дар ғудохта то ҳарорати баланд бе тағйирёбии таркиби химиявӣ;
- 2) ҳарорати ғудохташавии иловакунанда аз нуқтаи ғудохташавии металл – асос баланд;

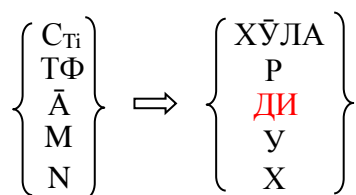
3) чавобгӯйии структурӣ ва андозагии панҷараи кристаллии иловакунанда ва худи металл;

4) ҳосилшавии кифоягии қувваи банди адсорбсионӣ бо атоми хӯлаи модифитсиронидашаванда.

То ҳол дар мавҷудияти банди муайян байни нишондоди зарраҳои саҳти бегонаи химиявӣ, кристаллографӣ ва геометрӣ ва ҳалшавии сатҳӣ-фаъоли ғашҳо – модификаторҳо, ки барои ҳосил намудани таъсири начандони хурдкунии структураҳо муҳиманд, равшанӣ андохта нашудааст.

Дар давраи инкишофи ҳозиразамони илмҳои рехтагарӣ-металлургӣ самти нав пешниҳод шудааст, ки бо ҳодисаи ирсияти структуравӣ (ХИС) ва ҳосилкунии сифатан хӯлаҳои структураи хурддисперсӣ – модифитсиронии генӣ вобастагӣ дорад. Механизми он мувофиқи корҳои Никитин В.И. [3] дар ҳисоби элементҳои структураи гудохта ҳамчун заррача қобилияти истодани чанини кристалли ояндаи маснуот оварда шудааст.

Муаллифони кор [3] дар асоси таҳлили ҳаҷми зиёди маводи эксперименталӣ маҷмӯи параметри лигатураҳои хурдкристаллӣ (ЛХК)-ро ҳамчун геноми лигатураҳо тавсиф намудаанд. Ба сифати мисол ифодаи чамъбастии матритсаҳои геноми лигатураи Al-Ti ва ифодакунанда дар намуди зерин оварда шудааст:



Дар қисми чапи матритсаҳо таркиби ба назар гирифташудаи геноми лигатура оварда шудааст:  $C_{Ti}$  – миқдори титан дар лигатура, %; TF – таркиби фазавии интерметаллид (ИМ);  $\bar{A}$  – андозаи миёнаи ИМ, мкм; M – морфологияи ИМ (Б – блокӣ, П – пластинагӣ, О – омехта, КС ва ХС – калон- ва хурдсӯзаншакл); N – миқдори ИМ (адад/см<sup>2</sup> ё адад/см<sup>3</sup>).

Дар қисми рости матритса объектҳои масъулият ё таъсири геномро ташкилкунанда оварда шудааст: XҶЛА – тамғаи хӯлаи модифитсиронидашаванда ё системаи хӯла; P – сарфаи лигатура, %; ДИ – давраи инкубатсионии таъсири ИМ, дак.; Y – устувории ИМ, с; X – ҳосияти хӯлаи модифитсиронидашаванда.

Аз модели дар қори [4] овардашуда бармеояд, ки механизми модифитсиронӣ ба ҳосилшавии гурӯҳи атомҳои объектҳои модифитсиронидашавандаи дорои вазни статистикӣ ва устувории энергетикӣ начандон калони конфигуратсияи муътадили қисми локализатсияшудаи электронҳои валентӣ оварда мерасонад.

Дар [3-6] нишон додашударо инкишоф дода, мо ҳосилшавии гурӯҳи атомҳои ифодакунандаи тартиби наздик дар кристаллҳо ва элементҳои структура дар гудохтаҳо, инчунин тавсифдиҳандаи микроғайриякҷинсагӣ дар онҳо [7] ифодакунандаи воҳиди химиявӣ-структурии ирсӣ (ВХСИ) – генҳо бо [8] бо конфигуратсияи электронии устувори тетраэдрӣ (ТЭ) ё октаэдрӣ (ОЭ) ва координатсияи бо чор  $sp^3$ -,  $sd^3$ -,  $sp^2d$ - ва шаш  $s^2p^4$ ,  $s^2d^4$ ,  $spd^4$ ,  $sp^3d^2$  – банди эквивалентӣ ва кунҷи байни онҳо дар  $109.5^\circ$  ва  $90^\circ$  ба таври муносиб тасдиқ менамоем.

Ҷадвали 1.

Тавсифи геномҳои пайвастагиҳои алюминидҳо – барандагони хабари структуравӣ

Геном	Алюминид					
	титана	сирконий	ванадий	тантал	ниобий	хром
Пайвастагӣ						
Формулаи химиявӣ	TiAl <sub>3</sub>	ZrAl <sub>3</sub>	VAI <sub>3</sub>	TaAl <sub>3</sub>	NbAl <sub>3</sub>	CrAl <sub>3</sub>
Намуди структуравӣ (тартиби дур)	КПМ*	КПМ	КПМ	КПМ	КПМ	КПМ
Конфигуратсияи коди генетикӣ (тартиби наздик)	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ
Адади координатсионӣ	4	4	4	4	4	4
Кунҷи тетраэдрӣ	109.5°	109.5°	109.5°	109.5°	109.5°	109.5°
Гармии ҳосилшавӣ аз элементҳо, $\Delta H_{298}$ бо КҶ/мол	146.3	–	108.68	109.51	118.71	50.16
Ҳарорати гудозиш, $T_{2d}$ бо К	1628	1853	1633	1900	2023	1213

Эзоҳ: \* – куби паҳлӯҳояш марказонидашуда.

Алюминидҳо, диборидҳо ва карбидҳо хангоми дар алюминий ва хӯлаҳои он ҳамроҳ намудани металлҳои душворгудози

гузаранда, бор ва карбидҳои он ҳосил мешаванд. Алюминидҳо ба типҳои структураи TiAl<sub>3</sub> дорои панҷараи кубии паҳлӯҳояш

марказонидашудаи зич (КПМ) дохил мешавад. Ҳангоми ҳосилшавии кристаллҳои пайвастагиҳо пайдоиши генҳо бо  $sp^3$ -конфигуратсияи тетраэдри доминантии устувор ва банди ковалентӣ ба амал меояд (ниг. чадвали 1). Тасдиқ менамоем, ки онҳо ҳамчун хосияти нимноқилӣ хизмат мекунад [9, 10-11].

Орбитали атоми бор ва металлҳои гузаранда дар ҳолати  $sp^3d^2$ -гибридизатсия қарор доранд. Дар кристаллҳои диборидҳои атомҳои металлҳои гузаранда панҷараи гексагоналии зич ҷойгиршуда ҳосил мешаванд. Барои онҳо типии структурии дибориди алюминий  $AlB_2$  хос аст (ниг. чадвали 2).

Чадвали 2.

Тавсифи геномҳои пайвастагиҳои боридҳо – барандагони хабари структуравӣ.

Геном Пайвастагӣ	Борид						
	Al	Ti	Zr	Nb	Ta	V	Cr
Формулаи химиявӣ	$AlB_2$	$TiB_2$	$ZrB_2$	$NbB_2$	$TaB_2$	$VB_2$	$CrB_2$
Типи структуравӣ (тартиби дур)	ГЗЧ*	ГЗЧ	ГЗЧ	ГЗЧ	ГЗЧ	ГЗЧ	ГЗЧ
Конфигуратсияи коди генетикӣ (тартиби наздик)	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ
Адади координатсионӣ	6	6	6	6	6	6	6
Кунҷи октаэдрӣ	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$
Гармии ҳосилшавӣ аз элементҳо, $\Delta H_{298}$ бо КҶ/мол	–	292.6	320.6	246.62	192.28	259.16	125.4
Ҳарорати гудозиш, $T_{гд.}$ бо К	2973	3253	3473	3273	3310	2673	2473
Микросахтӣ, ГПа	–	30.0	28.0	19.0	20.0	23.0	19.0

Эзоҳ: \* – гексагоналии зич ҷойгиршуда.

Ҳангоми ҳосилшавии кристаллҳои пайвастагиҳои диборидҳо дар гудохта генҳо бо  $sp^3d^2$ -конфигуратсияи октаэдри устувори доминантӣ пайдо мешаванд. Дар онҳо шаш банди эквивалентии ковалентии мустақкам, ки хосияти баланди саҳтӣ ва душворгудозиро пешақӣ муайян мекунад, ҳосил мешавад [7].

Дар кристалли карбидҳо атомҳои металлҳои гузаранда панҷараи кубии зичҷойгиршудаи пахлуҳояш марказонидашуда (КПМ) бо типии структуравии  $NaCl$  ҳосил мешавад. Атомҳои карбон ҳамаи ҳолигиҳои октаэдри (тартиби наздик) ин шакро мегирад. Дар натиҷа адади координатсионии ҳар як атомҳо дар кристалл, ҳам металл ва ҳам карбон ба шаш баробар мешавад. Ба сабаби ҳосилшавии шаш  $\sigma$ -банди мустақками ковалентии эквивалентӣ

байни атоми металл ва карбон гени доминантӣ бо конфигуратсияи октаэдрӣ ва  $sp^3d^2$  гибридатсияи орбиталҳои молекулярӣ ҳосил мешавад. Кристаллҳои карбидҳои таркиби экваторӣ дорои саҳтии хеле зиёд ва душворгудоз мебошад [1].

Дидан мумкин аст, ки ҳамаи пайвастагиҳои дар чадвалҳои 1-3 овардашуда ба талаботи нишон додашудаи лигатура ва модификатор, ки нақши геномро дар он иҷро мекунад, ҷавобгӯ мебошад. Устувори ин пайвастагиҳо критерияи асосии гузаронидани хабари структурӣ аз гудохтаҳои металлӣ ба гудохта ва баъд ба маснуот мебошад. Ғайр аз ин, чунин критерияи худӣ ин пайвастагӣ дар алоқа бо якчанд барор ва нобарорӣ дар эксперименткунонӣ худудгузорӣ мекунад [1].

Чадвали 3.

Тавсифи геномҳои пайвастагиҳои карбидҳо – барандагони хабари структуравӣ.

Геном Пайвастагӣ	Карбид								
	Sc	Ti	V	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W
Формулаи химиявӣ	ScC	TiC	VC	ZrC	NbC	MoC	HfC	TaC	WC
Типи структуравӣ (тартиби дур)	КПМ	КПМ	КПМ	КПМ	КПМ	ГЗЧ	КПМ*	КПМ	ГЗЧ
Конфигуратсияи коди генетикӣ (тартиби наздик)	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ
Адади координатсионӣ	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Кунҷи октаэдрӣ	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$	$90.0^\circ$
Гармии ҳосилшавӣ аз элементҳо, $\Delta H_{298}$ бо КҶ/мол	–	187.3	101.0	184.7	129.9	- 40.6	–	140.9	35.2
Ҳарорати гудозиш, $T_{гд.}$ бо К	2073	3413	3433	3448	3873	3113	4163	4073	2873
Микросаҳтӣ, ГПа	27.2	31.5	28.5	35.8	35.0	15.0	23.0	16.0	17.8

Эзоҳ: \* – типии структурии нешгӯишуда.

Дар навбати худ ба устувориҳои фазабузургии энталпияи ҳосилшавӣ ва ҳарорати ғудозиши он нишон дода мешавад. Мисол, шояд миёни карбидҳо яке аз модификаторҳои таъсирнок карбидҳои ниобий, гафний ва тантал дорои дар муқоиса нишондодҳои баланди ҷунин бузургӣ бошанд (ниг. ҷадвали 3). Ба ғуфтаҳои зерин ҳаминро қайд менамоем, ки вобастагии ин ҳосиятҳо ва микросаҳтӣ аз концентратсия ё ҳиссаи воҳиди химиявӣ-структурии ирсӣ дар ячейкаи элементарии кристалломо ошкор намудем. Мисол, дар ячейкаи элементарии панҷараи кристалли монокарбидҳо ҳамаи ҳолигиҳои октаэдрӣ ва дар дигар карбидҳо бо таркиби стехиометрии махсус – ним ё ба  $\frac{1}{3}$  пур шудаанд. Дар робита бо ҷӣ охири дар қатори модификаторҳои ҳуби ғудохтаҳои алюминий дохил намешавад.

Бо вучуди ин дар асоси истифодабарии назарияи банди валентӣ, орбиталҳои молекулярӣ ва самти банди химиявии муайянкунандаи стереохимияи пайвастагиҳои ғайриорганикӣ, инчунин қонунияти сеюми ҲИС мо ҳаракат намудем оид ба ВХСИ, ки метавонад элементҳои мазкурро дар пайвастагиҳо идора намуда ва илова ба матритсаи геноми ЛХК ҳангоми модифитсиронии генӣ бошад, муаллифони қори [3] аввалин маротиба пешниҳод намудаанд. Қайд кардан бамавридаст, ки барои тартибдиҳии тавсифи геноми алюминидҳо, боридҳо ва карбидҳо се принсипи Лавес Ф. истифода шудааст: принсипи фазой, принсипи симметрия ва ҳамҷоякунӣ. Мувофиқи ин принсипҳо 15 ҳазор пайвастагӣ, ки дар дусад типҳои структурӣ яқоя қарда шудааст, таҳлил қарда шудаанд. Ин рақамҳо ба мо имкон доданд, ки структура ва таъсири фазои геометрӣ ба таркиби стехиометрии ин пайвастагиҳоро муайян намоем.

Муаллифон барои маслиҳати муфид ва тавсияҳои профессор Никитин В.И. миннатдоранд.

#### Адабиёт:

1. Бондарев, Б.И. Модифицирование алюминиевых деформируемых сплавов / Б.И. Бондарев, В.И. Напалков, В.И. Тарарышкин. – М.: Металлургия, 1979. – 223 с.
2. Мальцев, М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов / М.В. Мальцев. – М.: Металлургия, 1964. – 213 с.
3. Никитин, В.И. Наследственность в литых сплавах / В.И. Никитин, К.В. Никитин. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 476 с.

4. Самсонов, Г.В. Конфигурационная модель вещества / Г.В. Самсонов, И.Ф. Прядко, Л.Ф. Прядко. – К.: Наукова Думка, 1971. – 230 с.

5. Явление структурной наследственности с точки зрения коллоидной модели / [П.С. Попель, О.А. Чикова] // Цветные металлы, 1992. – № 9. – С. 53.

6. Гаврилин, И.В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов / И.В. Гаврилин. – Владимир: Владимирский гос. ун-т, 2000. – 260 с.

7. О химико-структурированных единицах, выполняющих роль элементов структуры расплава / [Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев] // Металлургия машиностроения. – М.: Литейное производство, 2012. – № 5. – С. 24.

8. Кристаллизация и структурообразование как особые случаи формирования наследственных признаков веществ / [Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.М. Хакдодов] // Труды VII международной научно-технической симпозиум «Наследственность в литейных процессах» – Самара: СамГТУ, 2008. – С. 299.

9. Синельникова, В.С. Алюминиды / В.С. Синельникова, В.А. Подёргин, В.Н. Речкин. – К.: Наукова Думка. – 1965. – 243 с.

10. Механизм образования химико-структурированных единиц наследственности кристалла с позиции теории плотнейших шаровых упаковок / [Э.Р. Газизова, Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев и др.] // Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе: Сино, 2016. – № ¼ (216). – С. 52-55.

11. Механизм образования химико-структурированных единиц наследственности кристалла с позиции, основанной на квантовой химии / [Э.Р. Газизова, Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев и др.] // Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе: Сино, 2016. – № ¼ (216). – С. 201-206.

#### МЕЛКОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ЛИГАТУРА КАК МАТРИЦА ГЕНОМА ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, Г.К. Ходжиев, М.М. Хакдод*

Приведено обоснование модифицирующего эффекта, оказываемого на структуру алюминиевых сплавов тугоплавкими химическими соединениями алюминидов, боридов и карбидов переходных металлов, и предложен их геном.

**Ключевые слова:** модификаторы, лигатуры, расплав, металлы, сплавы, алюминий, структура, наследственность, геном.

**SMALL- CRYSTALLINE LIGATURE AS THE MATRIX OF THE GENOME WITH THE MODIFICATION OF ALUMINIUM ALLOYS**

*T.D. Djuraev, E.R. Gazizova, G.K. Hojiev, M.M. Hakdod*

The substantiation of the modifying effect exerted on the structure of aluminum alloys by refractory chemical compounds of aluminides, borides and carbides of transition metals is given and their genome is proposed.

**Keywords:** modifiers, ligatures, melt, metals, alloys, aluminum, structure, heredity, genome.

**Маълумот оиди муаллифон:**

Джураев Тухтасун Джураевич – д.и.х., проф. кафедраи «Металлургия», ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, E-mail: mcm45@mail.ru

Газизова Эльвира Рашитовна – н.и.х., дотсенти каф. «Металлургия» ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, E-mail: mcm45@mail.ru

Ҳочиев Ғолибҷон Курбонович – асс. кафедраи «Металлургия» ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, E-mail: Golib\_19@mail.ru

Ҳакдод Маҳмадшариф Маҳмуд – д.и.т., профессори кафедраи «БФИ ва Э», ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

**ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ЭВТЕКТИКИ СИСТЕМ АЛЮМИНИЙ-ЛАНТАНОИДЫ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

*Б.Б. Эшов<sup>1</sup>, М.А. Бадалова<sup>2</sup>, Ш.А. Ахмедов<sup>3</sup>, М. Чаманова<sup>4</sup>, Ш.И. Мирзоев<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>ГНУ «Центр исследований инновационных технологий» при Академии Наук РТ

<sup>2,4</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

<sup>3,5</sup>Таджикский аграрный университет им. Ш. Шохтемур

*Полуэмпирическими и расчётными методами определены и/или уточнена температура плавления эвтектики систем алюминий – лантаноиды, бо-гатых лантаноидом. Закономерность изменения изученной характери-стики эвтектики в зависимости от природы лантаноидов имеет слож-ный характер с проявлением «тетрад-эффект»-а. Эвтектика систем Al-Eu и Al-Ln выпадает из общей закономерности. Получены математические модели этой закономерности для цериевой и иттриевой подгрупп лантаноидов.*

**Ключевые слова:** эвтектика, температура плавления, алюминий, лантаноиды, закономерности изменения.

Получение достоверных сведений о физико-химических и других характеристиках сложных химических систем, в частности металлических, особенности электронного строения, свойства компонентов, влияние их на коллективные свойства системы имеют научно-практическое значение. Эти сведения позволяют установить зависимости эксплуатационных характеристик металлических сплавов от природы компонентов, разработать их математическую модель. Появляется возможность подбора оптимальных условий получения металлических систем с заданными, «запрограммированными» свой-

ствами. Особую важность и актуальность приобретают эти исследования для металлических систем на основе алюминия (Al), легированных лантаноидами (Ln), которые проявляют важные прикладные характеристики и широко применяются.

В продолжение исследований [1-4], посвящённых физико-химическим свойствам сплавов на основе алюминия, легированных лантаноидами, в данной работе приведены результаты системного анализа литературных и полученных и/или уточнённых нами сведений по температуре плавления эвтектик, установленных или виртуальных в системах Al – Ln.

Обобщённые сведения о диаграмме состояния Al – Ln [5] показывают, что в этих системах наряду с образованием интерметаллидов составов AlLn<sub>3</sub>, AlLn<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>Ln<sub>3</sub>, AlLn, Al<sub>2</sub>Ln, Al<sub>3</sub>Ln, α-Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub> и β-Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub> имеет место и эвтектические превращения. Анализ литературных источников, приведённых в работе [5], показывает об отсутствии сведений по температуре плавления эвтектических сплавов для систем Al-Pm, Al-Eu, Al-Tb, Al-Tm и Al-Lu в области богатой лантаноидами и для систем Al-Pm, Al-Lu в области богатой алюминием.

В таблице 1 приведены литературные сведения по температуре плавления, области и типам эвтектических превращений в системах Al – Ln.

Таблица 1.

Температура плавления эвтектики в системах Al – Ln: (а) - [5], (б) – расчёт.

Эвтектика, богатая лантаноидом					Эвтектика, богатая алюминием			
Al-Ln	Превращения	% ат Ln	Т <sub>пл.</sub> , К		Превращения	% ат. Al	Т <sub>пл.</sub> , К	
			(а)	(б)			(а)	(б)
Al-La	La + AlLa <sub>3</sub>		820; 912	920*	Al + Al <sub>11</sub> La <sub>3</sub> Al <sub>11</sub> La <sub>3</sub> +Al <sub>x</sub> La	- -	913 1493	913 -
Al-Ce	Ж=βAlCe <sub>3</sub> Ж=Ce+βAlCe <sub>3</sub>	70,0 89,0	918 853	920	Ж=Al+αAl <sub>11</sub> Ce <sub>3</sub>	96,0	913	913
Al-Pr	AlPr <sub>2</sub> + αPr	82,0	923	909	(Al)+αAl <sub>11</sub> Pr <sub>3</sub>	95,0	913 924	913
Al-Nd	-	-	908	920	-	97,5	913	913
Al-Pm	-	-	-	953	-	-	-	915
Al-Sm	-	-	1023	1007	-	-	906 1487	917 -
Al-Eu	-	-	-	940	-	97,8	901	903
Al-Gd	Ж=αGd+Al <sub>3</sub> Gd <sub>2</sub>	77,0	1148	1148	Al + Al <sub>3</sub> Gd	98,0	923	923
Al-Tb	-	-	-	1210	Ж=(Al)+αAl <sub>3</sub> Tb	90,0	917	917
Al-Dy	Ж=Dy+Dy <sub>2</sub> Al, Ж=Dy <sub>2</sub> Al+Dy <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	81,0 61,0	1278 1279	1241	Ж = (Al) +αAl <sub>3</sub> Dy	97,0	909	913
Al-Ho	AlHo <sub>2</sub> + Ho Al <sub>2</sub> Ho <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub>	76,0	1249 1257	1273	Ж = (Al) + Al <sub>3</sub> Ho	98,0	923	912
Al-Er	- -	88,0 58,0	1278 1318	1305	Ж = (Al) + Al <sub>3</sub> Er	99,0	928	913
Al-Tm	-	-	-	1338	Ж=Al +Al <sub>3</sub> Tm	90,0	918	917
Al-Yb	-	-	930	1150	Ж=Al + Al <sub>3</sub> Yb	96,0	898	902
Al-Lu	-	-	-	1373*	Не изучено			933

Системный анализ по определению и/или уточнению температуры плавления (Т<sub>пл.</sub>) эвтектики проведён полуэмпирическим методом [6,7] по корреляционному уравнению

$$T_{(AlxLn_y)} = T_{(AlxLay)} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' L_{(Ce-Eu)} (\gamma'' L_{(Tb-Yb)}) \quad (1)$$

Значения коэффициентов уравнения (1), приведенные в таблице 2, определяют вклад в (А) числа f - электронов (N<sub>f</sub>), спинового (S) и орбитального (L) угловых моментов количества движений ионов лантаноидов, соответственно.

Таблица 2.

Значения коэффициентов уравнения (1).

Характеристика	Область богатая	α	β	γ'	γ''	Примечание
Т пл., К	алюминием	1,429	0,0	-0,921	-2,860	γ' <sub>Sm</sub> =-3,114
Т кип., К	лантаноидами	32,357	0,429	-21,629	-0,594	γ' <sub>Sm</sub> =-18,44 γ'' <sub>Dy</sub> =6,67

Отсутствующее значение температуры плавления виртуальной эвтектики системы Al-Lu оценено нами расчётным методом [8]. Расчёт основан на линейном характере изменения свойств La, Gd, Lu и их соединений от порядкового номера лантаноидов.

На рис.1(а) и (б) изображены графики закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем Al-Ln от природы лантаноидов. Из рисунка 1 видно хорошее совпадение литературных и расчётных величин для эвтектики систем Al-Ln цериевой подгруппы, что свидетельствует о достоверности полученных результатов. График показывает проявление «тетрад - эффект»-а в закономерности изменения температуры плавления эвтектик систем Al-Ln в зависимости от природы лантаноидов:

- разделение закономерности по подгруппам лантаноидов: - цериевой и иттриевой;
- выпадение характеристики для систем Al-Eu и Al-Yb из общей закономерности, обусловленное их электронным строением;
- для систем Al-Ln цериевой подгруппы (Al-La - Al-Eu), богатых лантаноидами, и эвтектик всех лантаноидов, богатых алюминием, с ростом порядкового номера лантаноида наблюдается незначительное уменьшение величины температуры плавления эвтектик до середины подгруппы Al-Pr и заметное её повышение во второй части подгруппы;
- для систем Al-Ln иттриевой подгруппы (Al-Gd -Al-Lu), богатых лантаноидами, закономерность имеет почти прямолинейный характер с симбатным повышением температуры плавления эвтектик в пределах ΔT<sub>пл.</sub>= 225 К.

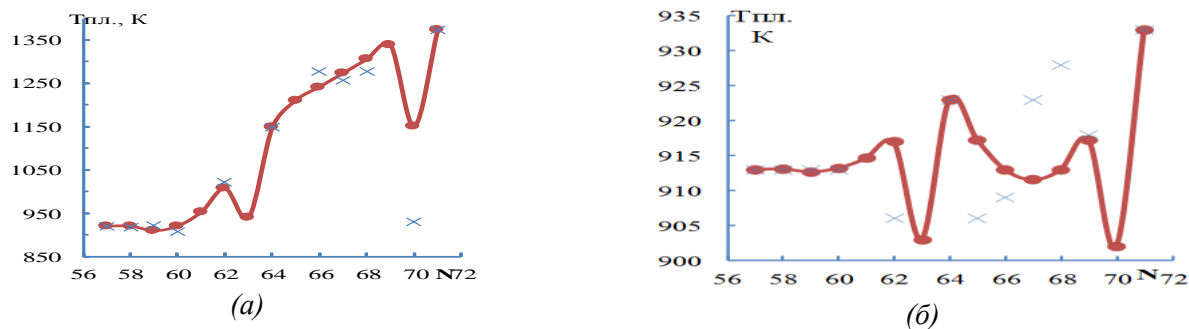


Рис. 1. График закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем Al-Ln ( (а) – богатых лантаноидом, (б) – богатых алюминием) от природы лантаноидов: x – литер.; • – расчёт.

Таблица 3.

Уравнения закономерности изменения температуры плавления эвтектик систем Al - Ln от их порядкового номера лантаноида.

Эвтектика	Функция	Вид уравнений	R <sup>2*</sup>	
Богатая алюминием	T <sub>пл.</sub> , К	(а)	$Y = 0,3328x^2 - 38,888x + 2048,7$	0.973
		(б)	$Y = 1,3024x^2 - 174,45x + 6753,4$	0.996
Богатая лантаноидом	T <sub>пл.</sub> , К	(а)	$Y = 8,0291x^2 - 939,84x + 28410$	0.996
		(б)	$Y = -2,4886x^2 + 367,21x - 12154$	0.995

Примечание: (а) – цериевой; (б) – иттриевой подгруппы; R<sup>2</sup> – степень достоверности; x – порядковый номер металла; y – температура плавления.

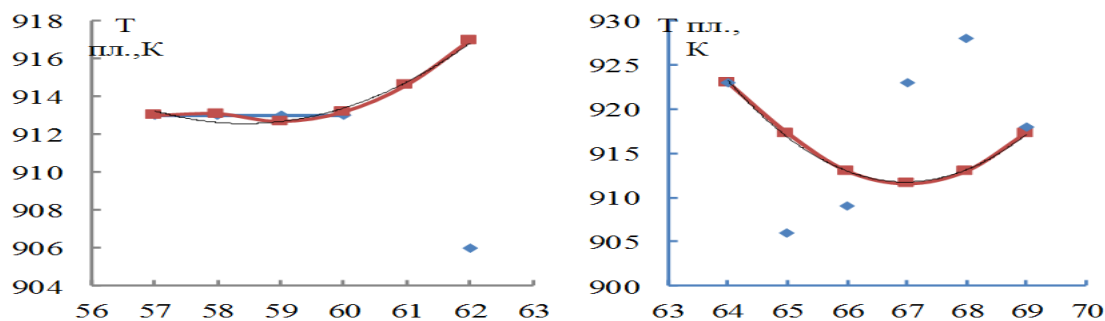


Рис.2. Линия тренда изменения температуры плавления эвтектик, богатых алюминием, от порядкового номера лантаноидов: (а) – цериевая, (б) - иттриевая подгруппы; ♦ – литература; ■ – расчёт

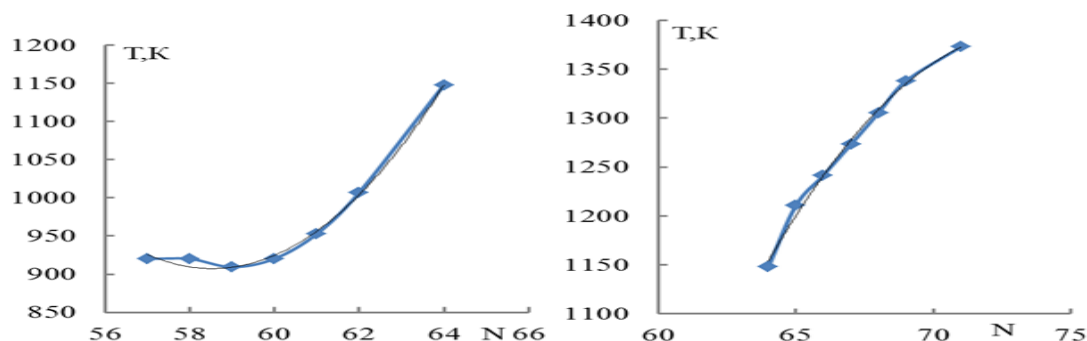


Рис.3. Линия тренда (—) изменения температуры плавления эвтектик, богатых лантаноидом, от порядкового номера (N) лантаноидов цериевой подгруппы: ♦ – литература; ■ – расчёт.

Полученные полные сведения по температуре плавления эвтектик систем Al - Ln позволили провести математическое моделирование закономерности их изменения в зависимости от природы лантаноидов. Моделирование результатов проведено по стандартной программе MICROSOFT EXCEL.

Исходя из разного характера закономерностей в изменениях свойств, обработка данных проведена отдельно для цериевой и иттриевой подгруппы лантаноидов. При расчётах не учтены значения характеристик для ИМ европия и иттербия, так как они выпадают из общих закономерностей. Отличие обусловлено

особенностями электронного строения атомов этих металлов. Полученные уравнения линии тренда приведены в таблице 3. На рисунках 2 ((а), (б)) и 3 ((а), (б)) наглядно изображены эти закономерности.

Полученные математические уравнения позволяют подобрать состав эвтектики систем Al – Ln с нужной температурой плавления.

### Литература:

1. Температура плавления интерметаллидов систем магний - лантаноиды. Кишоварз, ТАУ им. Ш Шотемур, №4(80),2018, с.147-151. Ахмедов Ш.А., Исмоилов И.Р., Мирзоев Ш.И., Бадалов А.

2. Термические и термодинамические характеристики интерметаллидов систем свинец – лантаниды цериевой подгруппы, богатых свинцом. Известия АН РТ, отд. физ. - матем., хим., геол. и тех. наук, №3(172), 2018, с. 66-72.

3. Хайдаров А.М., Эшов Б.Б., Рахмонов Б.Ш., Пирова Ш.Х., Бадалов А.

Закономерности в изменениях температуры плавления эвтектических сплавов систем алюминий – лантаниды, богатых алюминием. Матер.4-й межд.н./пр. конф., Душанбе, ТНУ, 2019, 3-4 мая, с.167-171. М. Чаманова, Ш. Х. Ахмедов\*, Ш. И. Мирзоев\*, А.Х. Бобоева, А. Бадалов

4. Моделирование закономерности изменения температуры и энтальпии плавления интерметаллидов систем алюминий – лантаниды, богатых алюминием. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018;22(12):221-230. DOI:10.21285/1814-3520-2018-12-221-230. М. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Эшов Б.Б., Бадалов А.Б.

5. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. акад. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996, т.1, - 992с.; 1997, т. 2, - 1024с.; 2001, т.3, - 1320 с.

6. Полуэктов Н.С., Мешкова С.Б., Коровин Ю.В., Оксиненко И.И. Корреляционный анализ в физико-химии соединений трёхвалентных ионов лантаноидов.- Докл. АН СССР, 1982, т. 266, №5, с.1157 – 1159.

7. Мешкова, З.Б., Полуэктов Н.С., Топилова З.М., Данилкович М.М. Гадолиниевый излом в ряду трехвалентных лантаноидов. – Коорд. хим., 1986, Т. 12, вып. 4, с. 481 – 484.

8. Киреев В.А. Методы практических расчётов в термодинамике химических реакций. – М.: Химия, 1975. -536 с.

### ҚОНУНИЯТИ ТАҒЙИРЁБИИ АРОРАТИ ГУДОЗИШИ ЭВТЕКТИКАИ СИСТЕМАИ АЛЮМИНИЙ-ЛАНТАНОИДҲО ВА МОДЕЛИРОНИИ ОНҲО

*Б.Б. Эшов, М.А. Бадалова, Ш.А. Ахмедов, М. Чаманова, Ш.И. Мирзоев*

Бо усули полуэмпирий ва ҳисоби ҳарорати гудозиши системаҳои алюминий-лантаноидҳо, ки аз лантаноидҳо бой аст, муайян карда шудааст. Қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои омӯхташудаи эвтектикии лантаноидҳо вобаста ба табиати онҳо бо пайдошавии «тетрад-эффект» мураккаб буда, эвтектикаи системаи Al-Eu ва Al-Lu аз шакли умумӣ берун меоянд. Моделҳои математикии ин қонуниятҳо барои гурӯҳи лантаноидҳо ба даст оварда шуд.

**Калимаҳои калидӣ:** эвтектика, ҳарорати гудозиш, алюминий, лантаноидҳо, қонуниятҳои тағйирёбӣ.

### PATTERN OF CHANGE IN MELTING TEMPERATURE OF EUTECTIC SYSTEMS ALUMINUM-LANTHANIDES AND THEIR MODELING

*B.B.Eshov, M.A. Badalova, Sh.A. Akhmedov, M.Chamanova, Sh.I. Mirzoyev*

The melting point of the eutectic of aluminum – lanthanide systems rich in lanthanide was determined and/or refined by semiempirical and computational methods. The regularity of the change of the studied characteristic of eutectic depending on the nature of lanthanides has a complex character with the manifestation of the "effect notebook". The Eutectic of Al-Eu and Al-Lu systems fall out of the General regularity. The obtained mathematical model of this pattern for caribou and the yttrium subgroup lanthanides.

**Keywords:** eutectic, melting point, aluminum, lanthanides, patterns of change.

### Сведения об авторах:

Эшов Бахтиёр Бадалович – д.т.н., ГНУ «Центр исследований инновационных технологий» при АН РТ. Тел: +(992) 93-488-48-76 E-mail: ishov1967@mail.ru

Бадалова Мамлакат Абдулхайровна – к.т.н., ст. преп. каф. «Автоматизированные системы управления и обработка информации» ТТУ имени ак. М.С.Осими. Тел: +(992) 93-571- 21-25

Чаманова Мунира Чамановна – соискатель кафедры “Общая неорганическая химия” ТТУ им. акад. М.С. Осими. Тел. (+992)93-473-34-32, E-mail: chamanova.munira@mail.ru

Ахмедов Шарафджон Абдухалилович – асс. каф. «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», ТАУ им. Ш. Шотемур. Тел: +(992) 918-23-04- 62

Мирзоев Шамсулло Изатович – ТАУ им. Ш. Шотемур. Тел: +(992) 919-70-14-26, E-mail: shamsulomirzoev@mail.ru



## СВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ И КОЭФФИЦИЕНТОМ АДсорбЦИИ ИРИДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОЙ ОКСИДЫ АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ ВАХШСКОЙ ДОЛИНЫ В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Д.А. Назирмадов<sup>1</sup>, М.М. Сафаров<sup>2</sup>, А.Г. Мирзомамадов<sup>3</sup>, С.С. Абдуназаров<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Институт энергетики Таджикистана Республики Таджикистан

<sup>2</sup>Филиал МГУ имени М.В.Ломоносова в г. Душанбе

<sup>3</sup>Таджикский государственный педагогический университет имени Садриддина Айни

В данной работе приводятся результаты экспериментального определения коэффициента адсорбции иридиевых катализаторов на основе пористой гранулированной оксиды алюминия в процессе увлажнения в системе электролита ( $\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}$ ). Показано существенное влияние характера среды (концентрации соли) на значения теплопроводности и коэффициента адсорбции катализаторов.

**Ключевые слова:** коэффициент адсорбции, теплопроводность, иридиевые катализаторы, цилиндрическая форма с размерами (0,85-1,25)мм, время, цилиндрический бикалориметр, электронные весы.

**Основные характеристики иридиевых катализаторов.** Однократная и многократная пропитка  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (цилиндрической формы) относится к способу приготовления качественных катализаторов (независимо от природы материалов). Пропитка носителей с пористой структурой производится с помощью водных растворов солей. В качестве активного компонента металла используется иридий. Чтобы добиться разложения солей после пропитки,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (в цилиндрической форме) подвергается термической обработке или в воздухе, или в инертном газе. Восстановление разложенных солей из катализаторов [1,2] после их термической обработки осуществляется в среде водорода, чтобы осуществлять разложение и восстановление путем нагрева в максимальной температуре 523-773К. Катализаторы считаем готовыми к применению, его пассивная азотом от температуры 323К до комнатной температуры является последним этапом [3].

**Иридий**, находящийся в диспергированном виде на поверхности носителей  $\text{Al}_2\text{O}_3$

(цилиндрической формы), называют иридиевыми катализаторами. Прочность катализаторов зависит от механической прочности носителя. Пористые гранулированные оксиды алюминия с диспергированными частицами иридия проявляют большую каталитическую активность. Они применяются при разложении гидразина в каталитических реакторах и различных двигателях и гидрогенераторах Республики Таджикистан.

Мы определяем коэффициент адсорбции в данной работе, а также теплопроводности иридиевых катализаторов в температурах 308К и атмосферном давлении 0,101МПа в среде системы  $\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}$  ( $\omega = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5\%$ ). Метод регулярного теплового режима первого рода [4] используется для исследования теплопроводности иридиевых катализаторов.

Нами разработанная и собранная экспериментальная установка методом взвешивания [5] служит для определения коэффициента адсорбции. В сухом и влажном состоянии при измерении массы определяем коэффициент адсорбции по уравнению [5,6]:

$$\Gamma = \frac{(m_2 - m_1) / M_{\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}}}{m_1}, \quad (1)$$

где  $m_2$  – масса объекта во влажном состоянии, гр.;  $m_1$  – начальная масса сухого объекта, гр.;  $M_{\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}}$  – молекулярная масса системы  $\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}$ , кг/мол. В качестве увлажнителя катализаторов использована система растворов соленой воды.

Таблица 1.

Зависимость коэффициента адсорбции катализаторов при изменении массы засыпки в цилиндрическом виде с размером от (0,82-1,25) мм в среде 0,2г. NaCl+40мл. H<sub>2</sub>O.

t, час	m <sub>1</sub> , гр	m <sub>2</sub> , гр				M <sub>NaCl+H<sub>2</sub>O</sub> , гр / мол	Г · 10 <sup>-6</sup> , мол/гр			
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 10%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15%I г	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +30%I г	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +33%I г		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 10%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15%I г	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +30%I г	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +33% %Ir
1,0	0,5	0,522	0,52	0,517	0,515	38,25	575	523	444	392
2,0		0,533	0,529	0,525	0,522		863	758	654	575
3,0		0,542	0,537	0,532	0,529		1098	967	837	758
4,0		0,549	0,544	0,538	0,535		1281	1150	993	915
5,0		0,554	0,548	0,542	0,539		1412	1255	1098	1020
6,0		0,555	0,55	0,544	0,541		1438	1307	1150	1072

Используя значение таблицы 1, вычислим коэффициент адсорбции иридиевых катализаторов таблицы 2 в среде NaCl+H<sub>2</sub>O.

Из таблицы 2 видно, что теплопроводность иридиевых катализаторов зависит от концентрации кобальта. Построим графики зависимости (λ) из (Г) λ = f (Г) (рис. 1) с помощью таблицы 2.

Таблица 2.

Зависимость теплопроводности от коэффициента адсорбции иридиевых катализаторов (цилиндрический вид) в среде 0,2г. NaCl+ 40мл. H<sub>2</sub>O.

λ · 10 <sup>3</sup> Вт/(м · К)			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 10%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +30%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +33%Ir
192 [4]	199[4]	235[4]	241[4]
Г · 10 <sup>-6</sup> мол/гр			
575	523	444	392
863	758	654	575
1098	967	837	758
1281	1150	993	915
1412	1255	1098	1020
1438	1307	1150	1072

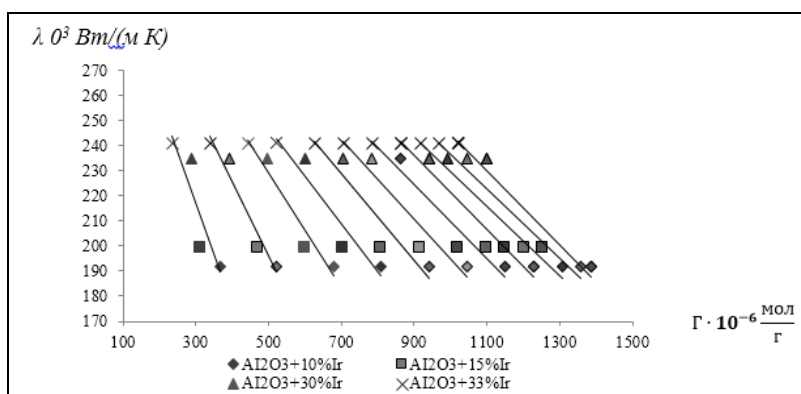


Рис.1. Зависимость теплопроводности и коэффициента адсорбции иридиевых катализаторов на основе пористого гранулированного оксида алюминия увлажнения в электролите (0,2г. NaCl+40мл. H<sub>2</sub>O) при температуре 308 К и атмосферном давлении.

Из рис.1 видно, что за полчаса увлажнения катализатора в среде электролита выявляем связь между коэффициентом теплопроводности λ и коэффициентом адсорбции Г. Принят графоаналитический метод для обработки прямых линий, приведенный на рисунке 1, значений λ<sub>1</sub>=216·10<sup>3</sup> Вт/(м·К) [4] (таблица 2).

Затем для обработки прямых линий, приведенных на рисунке 1, используем функциональную зависимость [5]:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = f\left(\frac{\Gamma}{\Gamma_1}\right) \quad (2)$$

где  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности иридиевых катализаторов на основе пористой оксиды алюминия в гранулированной форме (цилиндрический вид с размерами от (0,85-1,25)мм) при

различных значениях коэффициента адсорбции  $\Gamma$  и  $\Gamma_1$ :  $\lambda_1=216 \cdot 10^3$ , Вт/(м·К) [4].

Построим график зависимости  $\lambda/\lambda_1 = f(\Gamma/\Gamma_1)$  с помощью данных таблиц 3 и 4 (рис. 2).

Таблица 3.

Теплопроводность иридиевого катализатора на основе пористой гранулированной оксиды алюминия (цилиндрический вид) в среде системы растворов NaCl + H<sub>2</sub>O ( $\omega=0,5; 1; 1,5; 2; 2,5\%$ ).

$\lambda \cdot 10^3$ Вт/(м К)				$\lambda_1$	$\lambda / \lambda_1$			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 10%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +15 %Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +30 %Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 33%Ir		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 10%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +1 5%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +3 0%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +33% Ir
192 [4]	199[4]	235[4]	241[4]	216[4]	0,888	0,921	1,087	1,115

Таблица 4.

Результаты относительного коэффициента адсорбции ( $\Gamma/\Gamma_1$ ) от времени (t) увлажнения в электролите ( 0,2г. NaCl + 40мл. H<sub>2</sub>O).

t, час	$\Gamma \cdot 10^{-6}$ , мол/гр				$\Gamma_1$	$\Gamma / \Gamma_1$			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 10%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +1 5%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +3 0%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +3 3%Ir		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 10%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +1 5%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +3 0%Ir	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +3 3%Ir
1,0	575	523	444	392	484	1,19	1,08	0,92	0,81
2,0	863	758	654	575	713	1,21	1,06	0,92	0,81
3,0	1098	967	837	758	915	1,20	1,06	0,91	0,83
4,0	1281	1150	993	915	1085	1,18	1,06	0,92	0,84
5,0	1412	1255	1098	1020	1196	1,18	1,05	0,92	0,85
6,0	1438	1307	1150	1072	1242	1,16	1,05	0,93	0,86

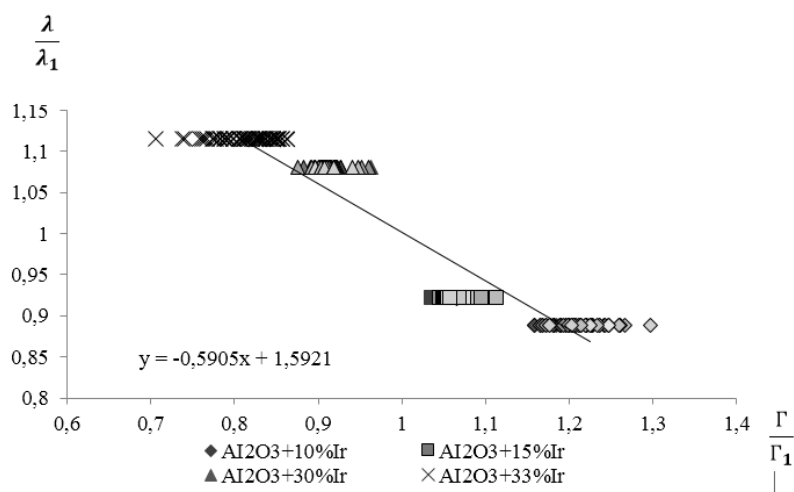


Рис.2. Зависимость относительной теплопроводности ( $\lambda/\lambda_1$ ) от относительного коэффициента адсорбции пористого гранулированного оксиды алюминия с наполнителем иридия (10 % 33% Ir) в увлажнениях в различных растворах системы NaCl+H<sub>2</sub>O ( $\omega=0,5; 1; 1,5; 2; 2,5\%$ ).

Описывается уравнением из прямой линии, приведенной на рис.2.

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = \left(-0,590 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_1}\right) + 1,592\right) \quad (3)$$

получим из уравнения (3):

$$\lambda = \left(-0,590 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_1}\right) + 1,592\right) \cdot \lambda_1, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (4)$$

Подставляя значение  $\lambda_1= 216 \cdot 10^3$ , Вт/(м К) [4] в правую сторону уравнения (4), получим:

$$\begin{aligned} \lambda &= \left(-0,590 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_1}\right) + 1,592\right) \cdot 216 \cdot 10^3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} = \\ &= \left(-127,44 \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_1}\right) + 343,87\right) \cdot 10^3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (5) \end{aligned}$$

Из рис. 2 видно, что между ( $\Gamma_1$ ) и временем (t) есть следующие функциональные зависимости. Кривая линии показана на рис.3.

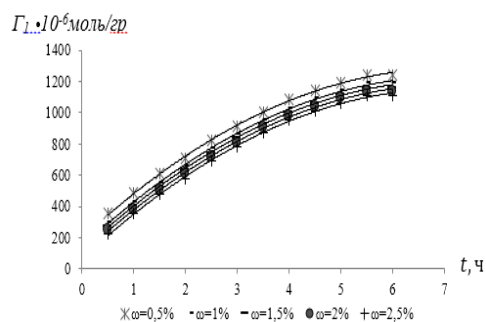


Рис. 3. Зависимости  $\Gamma_1$  от  $t$  в среде соленой воды для иридиевых катализаторов,

имеющих цилиндрический вид с размерами от (0,85-1,25 мм).

Описываем уравнением кривую линию, показанную на рис.3.

$$\Gamma_1 = (-jt^2 + kt + z) \cdot 10^{-6}, \left( \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{ГР}} \right) \quad (6)$$

Из уравнений (5) и (6) получим:

$$\lambda = \left[ -127,44 \left( \frac{\Gamma}{(-j(t)^2 + kt + z) \cdot 10^{-6}} \right) + 343,87 \right] \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad (7)$$

Таблица 5.

Числовые коэффициенты уравнения (6)  $j, k, z$ , для расчета коэф-фициента адсорбции иридиевых катализаторов в системе соленой воды  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$  ( $\omega = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5\%$ ).

$\omega, (\%)$	$j$	$k$	$z$
0,5	21,47	305,5	198,1
1,0	21,5	305,8	145,3
1,5	21,5	305,8	119,3
2,0	21,46	305,5	93,54
2,5	21,44	305,5	67,06

Уравнение (7) является функциональными зависимостями между коэф-фициентом адсорбции и теплопроводностью иридиевых катализаторов на основе оксиды алюминия в среде электролитов (или системы растворов соленой воды). С помощью данного уравнения можно рассчитать коэффициент теплопроводности неисследованных иридиевых катализаторов на основе гранулированной пористой оксиды алюминия.

#### Литература:

1. Кирсанов О.Н., Картавченко А.В. Физическая картина процесса гетерогенного каталитического разложения жидкого однокомпонентного топлива (на примере гидразина).// Тр.ГИПХ.-1976.-Т.38. С.118-125.
2. Кирсанов О.Н., Картавченко А.В. и др. Исследование способов полу-чения генераторного газа заданного состава при каталитическом разло-жении гидразина.// Тр ГИПХ.-1978.-Т.52.-С.44-48.
3. Мухленов И.П., Дробкина Е.И., Дерюкина В.И., Солоко В.Е. Технология катализаторов. Л.:Химия, 1979.-325с.
4. Сафаров М.М. Теплофизические свойства гранулированной пористой окиси алюминия, содержащей металлические наполнители в газовых средах. Дисс. к.т.н, Душанбе, 1986 г, 185с.
5. Сафаров М.М., Мирзомамадов А.Г., Абдуназаров С.С., Зарипова М. А. Адсорбционные свойства катализатора на

основе гранулированной пористой окиси алюминия. Сборник тезисов докладов научной конфе-ренции «Актуальные проблемы современной науки «МИСиС», Душан-бе, 2015.–С.79-80.

6. Сафаров М.М., Джураев Д.С.,Холиков М.М., и др. Способ и устройства для определения коэффициента адсорбции ферромагнитных наночастиц в зависимости от температуры. Патент Республики Таджикистан, №ТJ 825, 2016 г. 5с.

#### АЛОҚАМАНДИИ БАЙНИ ГАРМИГУЗАРОНИ ВА КОЭФФИЦИЕНТИ АДСОРБСИЯИ КАТАЛИЗАТОРҲОИ ИРИДИЙ ДАР АСОСИ ОКСИДИ АЛЮМИНИИ ДОНА- ДОНА ДАР ШАРОИТИ ВОДИИ ВАҲШ ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТҲО Д.А. Назирмадов, М.М. Сафаров, А.Г. Мирзомамадов, С.С. Абдуназаров

Дар мақолаи мазкур тадқиқи алоқамандии байни гармигузаронии коэффитсиенти адсорбсияи катализаторҳои иридий дар асоси оксиди алюминийи дона-дона дар муҳити маҳлули оби намақоб (вобаста бо  $\omega = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5\%$ ) дар ҳарорати 308К ва фишори атмосферии 0,101МПа нишон дода шудааст. Дар асоси таҷрибаи гузаронидашуда муайян намудем, ки бо зиёдшавии микдори наноиридий ( $n$ ) дар таркиби оксиди алюминийи дона-дона гармигузаронии он зиёд шуда, ҳангоми адсорбсия дар муҳити маҳлулҳои намақоб гармигузаронии катализаторҳои номбурда

бетағйир мемонад (графикҳои 1 ва 2). Бо зиёдшавии микдори намак ( $\omega$ ) дар таркиби маҳлули оби намакоб адсорбсияи катализаторҳо кам мешавад (ҷадвалҳои 3 ва 4). Муодилаи натиҷавии алоқамандии байни гармигузаронӣ ва коэффитсиенти адсорбсияи катализаторҳои иридийро дар асоси оксиди алюминийи дона-дона вобаста аз вақт ( $t$ ) дар муҳити маҳлулҳои оби намакоб ҳосил намудем.

**Калимаҳои калидӣ:** коэффитсиенти адсорбсия, гармигузаронӣ, катализаторҳои иридийи шаклаш силиндрӣ бо андозаи (0,85-1,25) мм, вақт, бикалориметри силиндрӣ, тарозуи электронӣ.

**THE RELATIONSHIP BETWEEN THERMAL CONDUCTIVITY AND ADSORPTION COEFFICIENT OF IRRIDIUM CATALYSTS BASED ON GRANULAR POROUS ALUMINIUM OXIDE IN THE CONDITIONS OF THE VAKHSH VALLEY IN THE ELECTROLYTE MEDIUM**

*D.A. Nazirmadov, M.M. Safarov,*

*A.G. Mirzomamadov, S.S. Abdunazarov*

**Abstract** - In this article is considered the relationship between thermal conductivity and adsorption coefficient of iridium catalysts based on porous aluminum oxide in granular form in salt water ( $\omega=0,5;1;1.5;2;2.5\%$ ) in temperature 308C and atmospheric pressure 0.101 MPa. On the basis of this study, we found that when the concentration of nanoiridium ( $n$ ) increases in the medium of porous granular aluminum oxide, the thermal conductivity

increases, while the thermal conductivity of these catalysts does not change during adsorption in salt water (grades 1 and 2). With an increase in the salt concentration ( $\omega$ ) in the medium of the salt water solution system, the adsorption of catalysts decreases (tables 3 and 4). An empirical equation of the relationship between the thermal conductivity and the adsorption coefficients of iridium catalysts based on granular aluminum oxide, which depends on the time ( $t$ ) in the medium of the salt water system, is obtained.

**Keywords:** adsorption coefficient, thermal conductivity, iridium catalysts, cylindrical shape with dimensions (0.85-1.25) mm, time, cylindrical bicalorimeter, electronic scales.

**Сведения об авторах:**

Назримадов Далер Амрохонович – ст. преп. каф. «Электрическая станция и сети» Институт энергетики Таджикистана. Тел: 93-996-95-32, E-mail: daler.nazrimadov@bk.ru

Сафаров Махмадали Махмадиевич – д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Таджикистана, Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. Тел: (+992) 931-63-15-85; E-mail: mahmad1@list.ru

Мирзомамадов Алимамад Гулмамадович – к.т.н., и.о.доцента кафедры «Общей физики» ТГПУ им Садриддина Айни. Тел:+ (992) 501-10-39-44; E-mail: ptuh1985@mail.ru.

Абдуназаров Сунатулло Савзаалиевич – к.т.н., ст. преп. кафедры «Электроснабжение и релейная защита» Института энергетики Таджикистана. Тел: +(992) 919522649, E-mail: abdunazarov2017@mail.ru

**ПРОЦЕСС ПАРООБРАЗОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА МАРКИ ROLF ОПТИМА 20W-50**

*И.Х. Халилов<sup>1</sup>, М.С. Холиков<sup>2</sup>, Д.А. Шарипов<sup>3</sup>, Ш.З. Нажмудинов<sup>4</sup>, А.Б. Бадалов<sup>5</sup>*

<sup>1,3,5</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

<sup>2</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии Наук Республики Таджикистан

*Исследован процесс парообразования моторного масла марки Rolf optima 20W-50 методом тензиметрии с мембранным нуль-манометром в равновесных условиях. Установлено, что в изученном интервале температур ( $\Delta T=300-460$  K) процесс протекает в трёх стадиях. Составлены уравнения барограмм каждой ступени процесса парообразования и рассчитаны их термодинамические брутто-характеристики.*

**Ключевые слова:** техническое масла, горные условия, тензиметрия, эксплуатация,

*парообразование, термодинамические характеристики.*

Доминирующими отраслями производства для перехода Республики Таджикистан от аграрного к промышленно – аграрному являются электро-энергетика, горнорудная, химическая и автомобильная. Опережающими темпами развиваются гидроэнергетика и горнорудная промышленность. Согласно имеющимся сведениям доля горнорудной промышленности в ВВП республики выросла с 1% до 24,8% за период от 2000 до 2018

годов. В перечисленных отраслях промышленности применяются мощные, дорого-стоящие механизмы и машины, которые эксплуатируются в высокогорных условиях свыше 800 - 1000 м и достигают 2500 - 3000 метров над уровнем моря. Обеспечение бесперебойной и эффективной работы карьерной техники, транспорта с дизельными двигателями различных мощностей, строительно-дорожных машин и конструкций зависит от подбора и режима эксплуатации универсальных технических масел (ТМ) и смазочных материалов (СМ), выдерживающих аномальные условия эксплуатации.

Изучение и наличие достоверных данных о физико-химических и термических свойствах ТМ и СМ являются основой правильного подбора их в зависимости от условия эксплуатации, эффективной работы техники в высокогорных условиях [1-7].

В данной работе приведены результаты исследования процесса парообразования моторного масла марки Rolf optima 20W-50 тензметрическим методом с мембранным нуль-манометром [8].

Исследование проведено в неравновесных и равновесных условиях. Исследование процесса парообразования моторного масла марки Rolf optima 20W-50 проведено с целью подбора условия проведения эксперимента и навески образцов. Для достижения равновесия в системе каждая изотермическая

точка на кривой зависимости давления пара от температуры (барограмма) выдерживалась в течение 20-24 часов до достижения постоянного значения давления пара в течение двух часов. Исследование проведено в двух режимах: (а) - без предварительной откачки исследуемого масла и (б) - с предварительной его откачкой. Предварительная откачка масла из мембранной камеры произведена в течение 30 минут при комнатной температуре.

Исследование процесса термического разложения технического масла марки Rolf optima 20W-50 проведено в интервале температур 300–460 К. Результаты измерения давления парообразных (Робщ.) продуктов термического разложения приведены в таблице 1.

Из рис.1 видно, что в изученном интервале температур барограмма процесса парообразования масла марки Rolf optima 20W-50 состоит из трёх ступеней. Первая ступень протекает в интервале температур 300-370 К, вторая – 372-400 К, третья – 415-460 К.

Экспериментальные данные, приведённые в виде зависимости  $LgP_{атм}$  от обратной температуры  $(1/T \cdot 10^3)$  (рис. 2), состоят из трёх прямых линий в изученном интервале температур 300–460 К, которые соответствуют ступеням (I,II и III) процесса парообразования масла.

Таблица 1.

Давление паров термического разложения технического масла марки rolf optima 20W-50.

№	T,С	T,К	Робщ., мм.рт.ст.	№	T,С	T,К	Робщ.,мм.рт.ст
1	54	327	80	7	127	396	710
2	68	341	135	8	133	402	745
3	82	355	235	9	144	417	920
4	99	372	383	10	156	429	1010
5	102	375	468	11	170	443	1122
6	115	388	598	12	185	458	1187

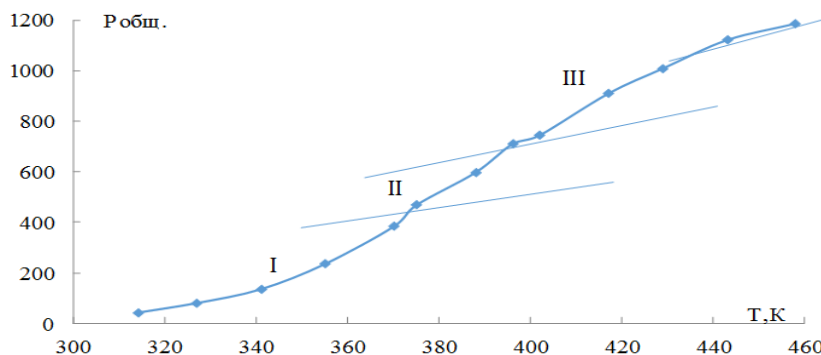


Рис. 1. График зависимости давления паров, образующихся при нагреве технического масла марки Rolf optima 20W-50.

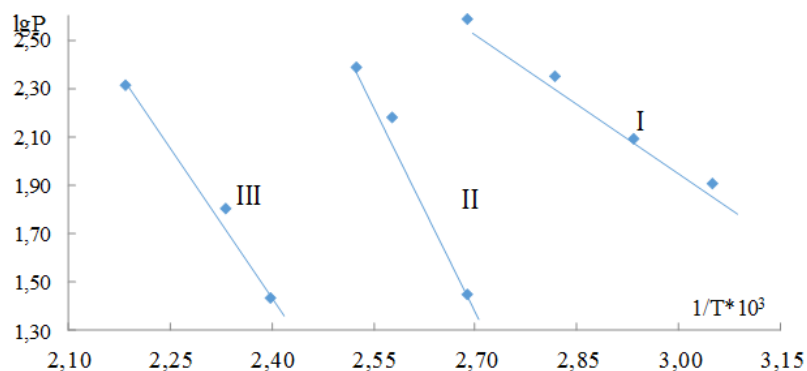


Рис.2. Прямые зависимости  $LgP$  от  $1/T \cdot 10^3$  отдельных ступеней процесса парообразования технического масла марки Rolf optima 20W-50.

Давление пара последующих ступеней (таблицы 2-4) определено путём вычета из общего давления давлению предыдущих ступеней процесса. Прямые линии означают окончание данной ступени процесса и перехода в линии газового расширения. Обработка данных для каждой ступени произведена по методу наименьших квадратов с использованием значения  $t$ -

коэффициента Стьюдента при 95-% доверительном интервале [9].

По полученным уравнениям прямых линий рассчитаны термодинамические брутто – характеристики: энтальпия ( $\Delta H$ , кДж/моль), энтропия ( $\Delta S$ , Дж/моль\*К) и энергия Гиббса ( $\Delta G$ , кДж/моль) всех ступеней процесса парообразования исследуемого масла, которые приведены в таблице 5.

Таблица 2.

Нетто-давление паров первой ступени процесса парообразования технического масла марки Rolf optima 20W-50.

T, C	Робщ.	T.K	1/T(x)	lgP(y)	$x^2$	xy
41	42	314	3,18	1,62	10,11	5,15
54	80	327	3,05	1,90	9,30	5,80
68	124	341	2,93	2,09	8,60	6,14
82	222	355	2,82	2,35	7,93	6,61
99	383	372	2,69	2,58	7,23	6,94

Таблица 3.

Нетто-давление паров второй ступени процесса парообразования технического масла марки Rolf optima 20W-50.

T, C	Робщ.	T.K	1/T(x)	lgP(y)	$x^2$	xy
99	28	372	2,69	1,45	7,23	3,89
102	42	375	2,66	1,62	7,07	4,31
115	150	388	2,58	2,18	6,64	5,61
123	244	396	2,53	2,39	6,38	6,03

Таблица 4.

Нетто-давление паров третьей ступени процесса парообразования технического масла марки Rolf optima 20W-50.

T, C	Робщ.	T.K	1/T(x)	lgP(y)	$x^2$	xy
144	27	417	2,40	1,43	5,75	3,43
156	63	429	2,33	1,80	5,43	4,19
170	186	443	2,26	2,27	5,11	5,13
185	206	458	2,18	2,31	4,77	5,05

Таблица 5.

Уравнения барограмм и термодинамические характеристики ступеней процесса парообразования масла марки Rolf optima 20W-50.

Ступени	ΔT, К	Коэффициенты уравнения $LgP_{(ar)} = B - A \cdot 10^3/T$		Термодинамические характеристики		
		A	B	$\Delta H_T^\circ$ , кДж/моль	$\Delta S_T^\circ$ , Дж/моль*К	$\Delta G_T^\circ$ кДж/моль
I	300 – 375	1,91±0,04	4,83±0,08	8,73±0,2	22,11±0,4	3,4±0,4
II	375 – 400	6,80±0,05	16,77±0,09	31,1±0,2	89,9±0,4	2,6±0,4
III	415 – 460	4,00±0,04	8,20±0,08	18,3±0,2	50,7±0,4	4,3±0,4

Известно, что при образовании одной моли парообразного вещества энтропия системы возрастает и её изменение составляет в среднем  $\Delta S \approx 22$  Дж/моль·К.

Исходя из значений изменения энтропии (ΔS) отдельных стадий, можно предполагать, что процесс парообразования исследованного масла протекает по сложной схеме. На первой стадии выделяется одна моль парообразного вещества, на второй – четыре моли, на третьей – две с половиной молей продуктов парообразования. По значению стандартной энергии Гиббса по формуле  $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$  можно определить начальную температуру самопроизвольного протекания отдельных стадий процесса. Этому состоянию соответствует нулевое значение энергии Гиббса.

**Литература:**

1. Чичинадзе А.В., Браун Э. Д., Буше Н. А. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Учебник для технических вузов. — 2-е изд. переработ., и доп. М.: Машиностроение, 2001. — 664 с.  
 2. Хебда М., Чичинадзе А.В. Справочник по триботехнике. Том 1: Теоретические основы. В 3-х томах. — М.: Машиностроение, 1989. — 400 с.  
 3. Юнусов М. Физико-химические основы утилизации отработанных смазочных материалов: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. — Душанбе, 2006. — 22 с.  
 4. Шарифов Д.А., Халилов И.Х., Юнусов М.Ю., Бадалов А. Термодинамические характеристики процесса испарения трансмиссионного масла марки ТЭП-15. Политехнический вестник: сер. Интеллект. Инновации. Инвестиции., №1 (41), 2018. с.54-60.  
 5. Шарифов Д.А., Халилов И.Х., Юнусов М.Ю., Нажмутдинов Ш.З., Тошев М.А., Бадалов А. Исследование процесса парообразования моторного масла дизельных двигателей. Горные науки и технологии, Сер.

Горные машины, транспорт и машиностроение, Россия, Москва, МИСиС, нац. иссл. технол. универс., 2018, №1, с.99 – 107.

6. Шарифов Д.А., Халилов И.Х., Нажмуудинов Ш.З., Тошев М.А., Бадалов А. Технические масла и смазочные материалы – физико-химические свойства, применение и экология. Матер. междуна. н/пр. конф. «Химия и инженерная экология» -XVIII, Россия, Казань, КНИТУ-КАИ, 27-29.09, 2018,-с.236-238.

7. Халилов И.Х., Шарифов Д.А., Нажмуудинов Ш.З., Юнусов М.Ю., Бадалов А. Переработка отработанных смазочных материалов местными бентонитами Таджикистана. Матер. междуна. н/пр. конф. «Химия и инженерная экология» -XVIII, Россия, Казань, КНИТУ-КАИ, 27-29.09, 2018,-с.225-227.

8. Жарский И.М., Новиков Г.И. Физические методы исследования в неорганической химии.- М.: Высш. шк., 1988.-271с.

9. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. – М.: Мир, 1976. – 541с.

**ҶАРАӢНИ БУХОРШАВИИ РАВҒАНИ МУҲАРРИКИ ТАМҒАИ ROLF OPTIMA 20W-50**

*И.Х. Халилов, М. Холиков, Д.А. Шарифов, Ш.З. Нажмуудинов, А.Б. Бадалов*

Раванди истихроҷи буғи равғани муҳаррики тамғаи ROLF OPTIMA 20W-50 бо усули тензиметрӣ бо мембранаи нулманометрӣ дар шароити муътадил гузаронида шудааст. Дар фосилаи ҳарорати (ΔT=300-460K) раванди бисёрзинагӣ мебошад. Брутто-тавсифдиҳандаҳои ҳамаи се зинаи раванд муайян гардидааст.

**Калимаҳои калидӣ:** равғани техникӣ, шароити кӯҳсор, истифодабарӣ, истихроҷи буғ, хусусиятҳои термодинамикӣ тензиметрия.



## ENGINE OIL VAPORIZATION PROCESS BRANDS ROLF OPTIMA 20W-50

*I.Kh. Khalilov, M.S. Kholikov, D.A. Sharifov,  
Sh.Z. Najmiddinov, A. B. Badalov*

The process of vaporization of motor oil brand Rolf optima 20W-50 by tensimetry with a membrane zero-pressure gauge in equilibrium conditions was investigated. It is established that in the studied temperature range ( $\Delta T=300-460$  K) the process proceeds in three stages. The equations of barograms of each stage of the vaporization process are made and their thermodynamic gross characteristics are calculated.

**Keywords:** technical oil, mining conditions, operation, vaporization, tensimetry, thermodynamic characteristics.

### Сведения об авторах:

Халилов Истамкул Хидирович – ст. преп. кафедры «Производственный менеджмент» ТТУ им.ак. М.С. Осими. Тел. (+992) 918- 65-87-41, E-mail: khalillov\_75@mail.ru

Холиков Муслихиддин Салохиддинович - главный специалист Управления водных ресурсов Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. Тел. 907709407. E-mail: muslihiddin.holi@mail.ru

Шарифов Дилшод Абдусаматович – ст. преп. каф. «Детали машин и строительные дорожные машины». Тел: +(992) 935998939, E-mail: Sharifov.mexroj@mail.ru.

Нажмуудинов Шарофидин Зоирович-к.т.н., зав. лабораторией Энергетики и энергосбережения Института водных проблем, гидро-энергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан. Тел.: 933015555; E-mail: najmiddinovsh2018@mail.ru

Бадалов Абулхайр Бадалович - член-корреспондент Академии наук Республики Таджикистан, доктор химических наук, профессор кафедры “Общая и неорганическая химия” ТТУ им.ак. М.С. Осими. Тел:+ (992) 93-571-21-25 E-mail badalovab@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ В УГЛЯХ ТАДЖИКИСТАНА МЕТОДОМ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

*Р.У. Вахобова, К.М. Шеров, Г.Ч. Хамзаева, Г.Ф. Рачинская, М.Т. Норова, И.Ш. Идиев*  
*Таджикский национальный университет*

*Статья посвящена разработке методики определения ртути в углях Таджикистана методом инверсионной вольтамперометрии. Ртуть наряду с такими экологически вредными элементами, как мышьяк, сурьма и некоторые другие, при сжигании углей переходит в окружающую среду, загрязняя её. Поэтому необходимо контролировать содержание ртути в исходном сырье и продуктах его сжигания.*

*Разработана методика определения ртути в углях Таджикистана методом инверсионной вольтамперометрии. Проанализированы образцы каменных и бурых углей Фан-Ягноба, Зиддов и Шишката, а также угольной пыли, оставшейся после брикетирования. Содержание ртути в указанных образцах колеблется от 40 г/т до 300 г/т, что значительно превышает предельно допустимую концентрацию ртути.*

**Ключевые слова:** ртуть, уголь, инверсионная вольтамперометрия, графитовый электрод, концентрирование (накопления), анодное растворение, электролитический фон, скорость изменения потенциала.

Ртуть является одной из наиболее токсичных микропримесей в ископаемых

углях [1,2]. В процессе сжигания углей на тепловых электростанциях (ТЭ) ртуть переходит в окружающую среду. Для эффективного управления процессами очистки дымовых газов необходимо обладать полной информацией о содержании ртути в исходном сырье, дымовых газах, зольных уносах и других жидких и твердых отходах. Получение этих данных является сложной аналитической задачей, поскольку содержание ртути в каменном угле и продуктах его сжигания может варьироваться в очень широких пределах. В предварительных результатах нейтронно-активационного анализа углей Таджикской депрессии и Зеравшанской долины в большинстве проб углей обнаруживается в аномальных и повышенных концентрациях 30 химических элементов [3-5]. Повышенные и аномальные содержания ряда элементов – примесей в антрацитах Назар-Айлоцкого месторождения создают предпосылки их использования в качестве комплексного энерго – минерального сырья. В то же время при использовании угля в качестве топлива следует учитывать повышенные содержания в них таких токсичных элементов как ртуть,

мышьяк, сурьма и некоторых других, являющихся экологически вредными.

Нами в качестве метода для аналитического контроля содержания ртути в углях Таджикистана выбран высокочувствительный, точный электрохимический метод – инверсионная вольтамперометрия [6-9].

Метод применим для определения крайне низких концентраций веществ, вплоть до  $n \cdot 10^{-9} \text{ М}$  [9]. Его суть заключается в следующем. Определяемое вещество из большого объёма анализируемого раствора концентрируют электролизом на небольшой поверхности индикаторного электрода и затем растворяют вещество при изменении потенциала в направлении более положительных потенциалов по сравнению с потенциалом электролиза. Содержание определяемого вещества находят по величине анодного тока растворения металла, выделяющегося на электроде при электролизе исследуемого раствора. Предварительное концентрирование определяемого вещества позволяет повысить чувствительность его определения во много раз.

Исследования проводили на полярографе переменного тока ППТ в классическом режиме. В качестве индикаторного электрода был использован графитовый электрод, а электрода сравнения – хлорид-серебряный. Изучение поведения  $\text{Hg(I)}$  и  $\text{Hg(II)}$  проводили на фоне  $0,75 \text{ М NH}_4\text{SCN} + 0,75 \text{ М KNO}_3$  в зависимости от ряда физических и химических параметров: потенциала и времени накопления; от скорости изменения потенциала; от степени очистки электрода, от концентрации  $\text{Hg(II)}$ .

С целью выбора оптимального начального потенциала накопления ртути (II) на графитовом электроде изучено влияние величины потенциала накопления (электролиза) на глубину пика ртути от  $0 \text{ В}$ ;  $-0,6 \text{ В}$ ;  $-0,8 \text{ В}$ ;  $-1,0 \text{ В}$  до  $-1,2 \text{ В}$ . Накопление проводили при перечисленных потенциалах, а снятие всех пиков с потенциала  $-1,0 \text{ В}$ . Установлено, что наибольшая величина анодного тока ртути регистрируется при  $E_{\text{нак.}} = -1,2$  и  $E_{\text{нак.}} = -1,0 \text{ В}$ .

Для растворов  $\text{Hg(II)}$  с концентрацией  $1 \cdot 10^{-5} \text{ Моль}$  на фоне  $0,75 \text{ М NH}_4\text{SCN} + 0,75 \text{ М KNO}_3$  при  $E_{\text{нак.}} = -1,0 \text{ В}$  изучена зависимость глубины пика от времени накопления от 1 до 7 минут. Установлен линейный характер зависимости, что находится в согласии с полуэмпирической теорией Стромберга.

Изучение зависимости глубины и потенциала пика  $1 \cdot 10^{-5} \text{ М Hg(II)}$  от скорости

изменения потенциала проводили на фоне  $0,75 \text{ М NH}_4\text{SCN} + 0,75 \text{ М KNO}_3$ ,  $\text{pH}=1$  при скорости от 10 до 50 мВ/с. Скорость изменения потенциала влияет на число пиков, их форму, величину тока и потенциал пика. Установлено, что при  $v=10 \text{ мВ/с}$  регистрируется один пик, отвечающий процессам восстановления  $\text{Hg}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Hg}^0$  и окисления  $\text{Hg}^0 - 2\bar{e} \rightarrow \text{Hg}^{2+}$ .

Пик регистрируется при  $E_{\text{п.}} = +0,25 \text{ В}$ . При увеличении скорости изменения потенциала от 20 до 50 мВ/с и снятии анодных кривых от  $-1,0 \text{ В}$  до  $+1,0 \text{ В}$  на вольтамперограмме регистрируется 2 пика ртути. Первый, отвечающий окислению  $\text{Hg}^0 - \bar{e} \rightarrow \text{Hg}^+$  с  $E_{\text{п.}}^1 = -0,40 \text{ В}$ , и второй, хорошо измеримый пик, с  $E_{\text{п.}}^2 = (+0,26 \div +0,35) \text{ В}$ , соответствующий окислению  $\text{Hg}^+ - \bar{e} \rightarrow \text{Hg}^{2+}$ .

Таким образом, метод инверсионной вольтамперометрии позволяет регистрировать разные степени окисления ртути при варьировании величины скорости изменения потенциала.

Электрохимическую очистку графитового электрода от ртути проводили после концентрирования (электролиза)  $1 \cdot 10^{-4} \text{ М Hg(I)}$  на фоне  $0,75 \text{ М NH}_4\text{SCN} + 0,75 \text{ М KNO}_3$  при диапазоне тока ( $dt$ ) 25, скорости изменения потенциала,  $v=40 \text{ мВ/с}$ , времени накопления,  $\tau_{\text{нак.}} = 2 \text{ мин.}$  и потенциале накопления,  $E_{\text{нак.}} = -1,0 \text{ В}$ . Снятие анодного пика ртути проводили через 2 минуты после накопления. При этом зарегистрирован пик ртути с глубиной 65 мм; затем были сняты вольтамперные кривые сразу после 2<sup>го</sup>, 4<sup>го</sup>, 5<sup>го</sup>, 6<sup>го</sup> и 7<sup>го</sup> снятия. При этом глубина пика уменьшилась до 9 мм, но полностью поверхность электрода не очистилась. Поэтому в дальнейшем очистку поверхности электрода после накопления проводили механически, снимая плёнку ртути фильтровальной бумагой.

При выбранных оптимальных условиях изучена зависимость глубины пиков  $\text{Hg(II)}$  на фоне  $0,75 \text{ М NH}_4\text{SCN} + 0,75 \text{ М KNO}_3$  от её концентрации в интервале от  $1 \cdot 10^{-8} \text{ М}$  до  $1 \cdot 10^{-5} \text{ М}$  ( $dt=20 \text{ мкА}$ ,  $v=40 \text{ мВ/с}$ ,  $\text{pH}=1$ ,  $\tau_{\text{нак.}}=7 \text{ мин.}$ ). Установлена линейная зависимость глубины пиков от концентрации ртути, что позволяет использовать данный метод для аналитических целей. Минимально определяемая концентрация ртути равна  $1 \cdot 10^{-8} \text{ М}$ .

На основании полученных результатов по изучению поведения  $\text{Hg(I)}$  и  $\text{Hg(II)}$  на графитовом электроде была разработана высокочувствительная методика определения

ртути в каменных углях методом инверсионной вольтамперометрии.

**Методика определения ртути в углях Таджикистана.** Ответственной стадией анализа каменных и бурых углей на содержание в них примесей является стадия отделения ртути от основы. Так как ртуть при сжигании углей улетучивается на 90-99 %, нами для отделения ртути от матрицы и других элементов использован быстрый метод возгонки ртути в трубках упрощённой конструкции, предложенный ранее в работе Финкельштейна [10, с.156] для горных пород.

Для углей, содержащих много органических веществ, нами были изготовлены несколько модифицированных трубок с шариком диаметром 30-35 мм и диаметром трубки 10 мм.

Навески пробы угля 0,5-1,0 г смешивали с 0,5 г железных опилок и смесь через воронку ссыпали на дно шарика трубки. Шарик трубки, содержащий пробу угля с опилками железа, нагревали на паяльной горелке при температуре 1000-1200 °С. Ртуть возгонялась и оседала на холодных частях длинной стеклянной трубки. При анализе углей Фан-Ягноба и Зиддов при нагревании выделялись бурные, буровато-оранжевые пары органических веществ, в основном остающихся в виде смолы в шарике и частично на стенках трубки. Шарик с остатками золы углей и смолы отбрасывали. Ртуть со стенок

стеклянной трубки смывали 10 мл раствора фона 0,75 М NH<sub>4</sub>SCN + 0,75 МKNO<sub>3</sub>, pH=1. Этот раствор фона со ртутью помещали в электрохимическую ячейку и полярографировали. При этом на графитовом электроде, являющемся катодом, при потенциале накопления, равном - 1,0 В, происходило восстановление Hg<sup>2+</sup>+2ē→Hg<sup>0</sup> металлическая. Затем концентрат анодно растворяли, изменяя потенциал электрода от -1,0 В до конечного потенциала, равного +1,0 В. При этом регистрировались два анодных пика ртути, отвечающих окислению Hg<sup>0</sup>- ē →Hg<sup>+</sup> и Hg<sup>+</sup>- ē →Hg<sup>2+</sup>. Потенциалы пиков растворения регистрировались в интервале потенциалов E<sub>п</sub><sup>1</sup> = - 0,23 ÷ - 0,28 В, и E<sub>п</sub><sup>2</sup> = + 0,30 ÷ + 0,55 В.

По разработанной методике были проанализированы образцы каменных углей месторождений Фан-Ягноб, Зидди, Шишкат. рис.2, табл.1

Концентрацию ртути в образцах углей определяли методом добавок. Во всех проанализированных пробах была обнаружена ртуть в повышенных концентрациях. Содержание ртути в проанализированных образцах каменных и бурых углей Фан-Ягноба, Зиддов, Шишката, а также в угольной пыли, оставшейся после брикетирования, колеблется от 40 г/т до 300 г/т, что значительно выше предельно допустимой концентрации ртути.

Таблица 1.

Значения величин глубины пиков и потенциалов пиков ртути в образцах углей Таджикистана и в образцах со стандартным раствором Hg (II) Фон: 0,75 М NH<sub>4</sub>SCN + 0,75 МKNO<sub>3</sub>, pH=1; dT=20 мКА; E<sub>нач.</sub>=-1,0В; E<sub>кон.</sub>=+1,0В; τ<sub>нак.</sub>=2 мин; υ=40мВ/с; объём пробы 10 мл.

№	Образец	Место отбора	Глубина первого пика h <sub>1</sub> , мм	Глубина второго пика h <sub>2</sub> , мм	Потенциал первого пика, В	Потенциал второго пика, В
1	2	3	4	5	6	7
1	Образец №1	Зидды				
	Образец №1 без накопления		6,0	8,0	-0,26	+0,10
	Образец №1 с накоплением		2,0	26,0	-0,28	+0,30
	Образец №1 1·10 <sup>-4</sup> М станд. раствора Hg(II)		2,0	50,0	-0,23	0,35
2	Образец №2	Зидды				
	Образец №2 без накопления		3,0	7,0	-0,30	+0,30
	Образец №2 с накоплением		3,0	12,0	-0,28	+0,30
	Образец №2 1·10 <sup>-4</sup> М станд. раствора Hg(II)		3,0	26,0	-0,38	+0,40
3	Образец №3	Зидды				
	Образец №3 без накопления		-	10,0	-	+0,30
	Образец №3 с накоплением		-	4,0	-	+0,34
	Образец №3 1·10 <sup>-4</sup> М станд. раствора Hg(II)		2,0	41,0	-0,28	+0,38

1	2	3	4	5	6	7
4	Образец №4	Зидды				
	Образец №4 с накоплением		3,0	5,0	-0,23	+0,32
	Образец №4 $5 \cdot 10^{-5}$ М станд. раствора Hg(II)		6,0	15,0	-0,28	+0,38
5	Образец №5	Зидды				
	Образец №5 без накопления		-	7,0	-	+0,40
	Образец №5 с накоплением		4,0	3,0	-0,28	+0,42
	Образец №5 $5 \cdot 10^{-5}$ М станд. раствора Hg(II)		4,0	10,0	-0,22	+0,45
6	Образец №6	Ширкат				
	Образец №6 без накопления		-	5,0	-	+0,30
	Образец №6 с накоплением		-	7,0	-	+0,32
	Образец №6 $1 \cdot 10^{-4}$ М станд. раствора Hg(II)		3,0	21,0	-0,28	+0,36
7	Образец №7	Фан-Ягноб				
	Образец №7 без накопления		2,0	5,0	-0,28	+0,26
	Образец №7 с накоплением		3,0	12,0	-0,23	+0,26
	Образец №7 $5 \cdot 10^{-4}$ М станд. раствора Hg(II)		3,0	26,0	-0,28	+0,40

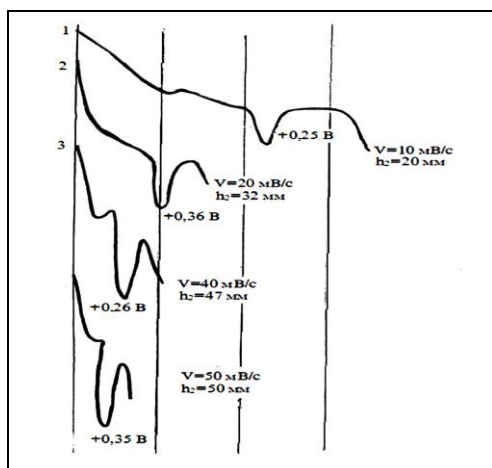


Рис 1. Волтамперограммы Hg(II) на фоне  $0,75$  М  $NH_4SCN + 0,75$  М  $KNO_3$ ,  $pH=1$  в зависимости от скорости изменения потенциала.

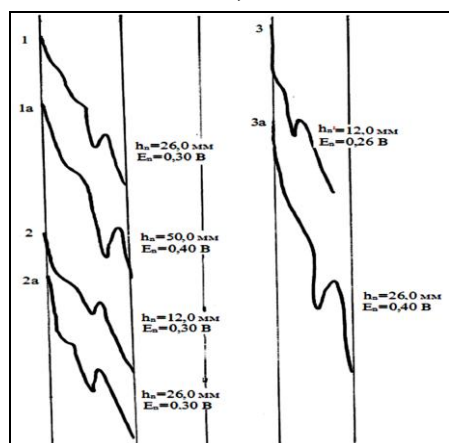


Рис 2. Вольтамперные кривые образцов углей Таджикистана на фоне  $0,75$  М  $NH_4SCN + 0,75$  М  $KNO_3$ ,  $pH=1$  графитовом электроде;  $dT=20$  мкА;  $E_{нач.}=-1,0$  В;  $E_{кон.}=+1,0$  В;  $\tau_{нак.}=2$  мин;  $v=40$  мВ/с;  $V=10,0$  мл (объём пробы).

1. Образец №1 «Зидды», после накопления.

1а. Образец №1 после накопления  $+1 \cdot 10^{-4}$  М станд. раствора Hg(II).

2. Образец №2 «Зидды», после накопления.

2а. Образец №2 после накопления  $+1 \cdot 10^{-4}$  М станд. раствора Hg(II).

3. Образец №3 «Фан-Ягноб», после накопления.

3а. Образец №3 после накопления  $+5 \cdot 10^{-4}$  М станд. раствора Hg(II).

### Литература:

1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы примеси в ископаемых углях. Екатеринбург, 2005, -с. 307-368.

2. Ghosh S.B., Das M.C., Roy R.R. and Banerjee N.N. Mercury in Indian coals. / Indian J / Chem. Technol.-1994, -vol 1. -P/ 237-240.

3. Пачаджанов Д.Н., Валиев Ю.А., Корсун В.Н., Вайнберг В.И. Элементы-примеси в Юрских углях Таджикской депрессии и её горного обрамления. / Докл. АН. Тадж.ССР, -1988. -Т. 31, №3. -с 207-211.

4. Валиев Ю.Я., Гофен Г.Н., Пачаджанов Д.Н. Об аномальных содержаниях некоторых элементов-примесей в Юрских антрацитах Назар-Айлоцкого месторождения. / Докл. АН Тадж. ССР, -1991, -Т.34, №7. -с. 446-449.

5. Валиев Ю.Я., Гофен Г.Н., Пачаджанов Д.Н. Элементы-примеси в Юрских антрацитах Назар-Айлоцкого месторождения (Центральный Таджикистан). / Геохимия, -1993, - №2, -с. 241-251.

6. Выдра Ф., Штулик К., Юлакова Э. Инверсионная вольтамперометрия. М. Мир, - 1980, 278с.

7. Брайнина Х.З., Нейман Е.Я., Слепушкин В.В. Инверсионные электроаналитические методы. М. Химия, -1988, - 240с.

8. Будников Г.К., Евтюгин Г.А., Майстренко В.Н. Модифицированные электроды для вольтамперометрии в химии, биологии и медицине. М. Бином. Лаборатория знаний, - 416с.

9. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. М. Высшая школа. – 1991, - 256с.

10. Финкельштейн Д.Н., Петропавловская И.Б. Быстрый способ определения малых количеств ртути в горных породах. Научный журнал /Заводская лаборатория, - 1954, -№2, -с 155-157.

#### МУАЙЯНКУНИИ СИМОБ ДАР САНГАНГИШТҲОИ ТОЧИКИСТОН БО УСУЛИ ВОЛТАМПЕРОМЕТРИЯИ ИНВЕРСИОНӢ

*Р.У. Ваҳобова, К.М. Шеров, Г.Ч. Ҳамзаева,  
Г.Ф. Рачинская, М.Т. Норова, И.Ш. Идиев*

Мақола ба таҳияи усули муайянкунии симоб дар ангиштҳои Тоҷикистон бо усули волтамперометрияи инверсионӣ бахшида шудааст. Симоб дар қатори элементҳои аз ҷиҳати экологӣ заҳронок, ба монанди арсен, сурма ва баъзе элементҳои дигар ҳангоми сӯзонидани ангишт ба муҳити атроф гузашта, онро ифлос мекунад. Бинобар ин назорати миқдори симоб дар ашёи аввала ва маҳсули сӯзиши он зарур аст.

Усули муайянкунии симоб дар ангиштҳои Тоҷикистон бо усули волтамперометрияи инверсионӣ коркард карда шуд. Намунаҳои ангиштсанг ва ангиштҳои бӯри Фон-Яғноб, Зиддӣ ва Шишкат, инчунин чанги ангишт, ки пас аз брикетиронӣ боқӣ мондааст, таҳлил карда шуданд. Миқдори симоб дар намунаҳои нишон диҳандашуда аз 40 г/т то 300 г/т лаппиш меҳӯрад, ки аз консентратсияи ҳудуди иҷозавии симоб баланд мебошад.

**Калимаҳои калидӣ:** симоб, ангишт, волтамперометрияи инверсионӣ, электроди-графитӣ, концентронидан (чамъшавӣ), ҳалшавии анодӣ, фониэлектролитӣ, суръати тағйирёбии потенциал.

#### DETERMINATION OF MERCURY IN COALS OF TAJIKISTAN BY INVERSION VOLTAMMETRY

*R.U. Vakhobova, K.M. Sherov,  
G.Ch Khamzayeva, G.F. Rachinskaya,  
M.T. Norova, I.Sh. Idiev*

The article is devoted to the development of methods for determining mercury in the coal of Tajikistan by inversion voltammetry. Mercury, along with such environmentally harmful elements as arsenic, antimony and some others, when burning coal passes into the environment, polluting it. Therefore, it is necessary to control the content of mercury in the feedstock and products of its combustion.

The method of determination of mercury in coals of Tajikistan by inversion voltammetry is developed. Samples of stone and brown coals of Fan-Yagnob, Ziddi and Shishkat, as well as coal dust remaining after briquetting were analyzed. The mercury content in these samples ranges from 40 g / t to 300 g / t, which is significantly higher than the maximum permissible concentration of mercury.

**Keywords:** mercury, coal, inversion voltammetry, graphite electrode, concentration (accumulation), anodic dissolution, electrolytic background, rate of change of potential.

#### Сведения об авторах:

Вахобова Раноҳон Узбековна – к.х.н., доцент кафедри аналитической химии, Таджикский национальный университет. Тел: +(992) 93-748-48 71.

Ҳамзаева Гулбахор Чагировна – к.х.н. наук, доцент кафедри аналитической химии, Таджикский национальный университет. Тел: +(992) 919-04-35-49, E-mail: khamzaeva1963@mail.ru

Рачинская Галина Фёдоровна – к.х.н., доцент кафедри аналитической химии, Таджикский национальный университет.

Норова Муаттар Турдиевна – к.х.н., доцент кафедри аналитической химии Таджикского национального университета, E-mail: muattar\_1975@mail.ru).

Идиев Идихуджа Шарифович – ассистент кафедри аналитической химии Таджикского национального университета, E-mail: idikhuja92@mail.ru

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ $Gd_5Sb_3-Pr_5Bi_3$

С.О. Убайдов<sup>1</sup>, В.Д. Абулхаев<sup>2</sup>, Х.Х. Назаров<sup>3</sup>, М.А. Балаев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни

<sup>2</sup>Институт химии им. В.И.Никитина Академии Наук Республики Таджикистан

<sup>3</sup>Институт энергетики Таджикистан

<sup>4</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В статье приведены результаты исследования магнитных свойств твердых растворов, которые образуются в системе  $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$ .

Кристаллохимический анализ показал, что твердые растворы системы  $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$  кристаллизуются в гексагональной структуре типа  $Mn_5Si_3$

Определены температура Кюри и магнитные моменты ионов  $Gd^{3+}$  и  $Pr^{3+}$ .

**Ключевые слова:** сплавы, диаграмма состояния, твердые растворы, температура Кюри, магнитная восприимчивость, магнитный момент.

Ранее диаграммы состояния систем  $Gd - Sb$  и  $Pr - Bi$  в полном диапазоне концентраций нами были исследованы в [1,2]. В указанных системах установлено образование соединений:  $Gd_5Sb_3$ ,  $Gd_4Sb_3$ ,  $GdSb$ ,  $Pr_2Bi$ ,  $Pr_5Bi_3$ ,  $Pr_4Bi_3$ ,  $PrBi$  и  $PrBi_2$ .

Соединения  $Gd_5Sb_3$ ,  $Gd_4Sb_3$ ,  $Pr_2Bi$ ,  $Pr_5Bi_3$ ,  $Pr_4Bi_3$ ,  $PrBi$  и  $PrBi_2$  при 1913, 2043, 1408, 1663, 1908 К, соответственно, по перитектическим реакциям, а  $GdSb$  и  $Pr Bi$  при 2043 и 2093 К плавятся конгруэнтно. При этом  $GdSb$  при 2113 К проявляет полиморфизм.

Все соединения указанных систем являются парамагнетиками [3].

В связи с этим определенным интерес представляет исследование магнитных свойств сплавов, содержащих разные ионы РЗЭ. К таким сплавам могут быть отнесены сплавы, образующиеся в системе  $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$ .

Целью данной работы явилось получение и исследование магнитных свойств сплавов системы  $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$ .

В данной работе при синтезе антимонида  $Gd_5Sb_3$ , висмутида  $Pr_5Bi_3$  и твердых растворов указанных систем, в качестве исходных компонентов использовали дистилляты гадолиния и празеодима (ТУ 48-1303-173-76), сурьму марки СУ-18-4 (ТУ 48-14-18-75) и висмут марки ОСЧ 11-4 (ТУ 05-159-69).

Сплавы системы были приготовлены через каждые 10 мол.%  $Pr_5Bi_3$ . В качестве исходных компонентов использовали предварительно синтезированные  $Gd_5Sb_3$  и  $Pr_5Bi_3$ .

Сплавы системы  $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$  синтезировали следующим образом. Порошки предварительно синтезированных  $Gd_5Sb_3$  и  $Pr_5Bi_3$ , отвечающие конкретному химическому составу сплава, тщательно смешивали, спрессовывали, помещали в герметичный молибденовый тигель и нагревали (со скоростью 20 К/мин) в среде гелия марки ВЧ. Оптимальная температура синтеза составляла  $1623 \pm 50$  К. При этой температуре образцы выдерживали 2-3 часа.

Полученные таким образом сплавы подвергали рентгенофазовому и металлографическому методам анализа. Рентгенофазовый анализ сплавов проводили на дифрактометре «ДРОН-2» с использованием отфильтрованного (фильтр-Ni)  $CuK_{\alpha}$  излучения. Металлографический анализ сплавов осуществляли на микроскопе «НЕОФОТ-21».

Рентгенографическим исследованием установлено, что сплавы, образующиеся в системе  $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$ , представляют собой твердые растворы замещения  $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Pr_xBi_y$ ;  $x = 0.5-4.5$ ;  $y = 0.3-2.7$ ), кристаллизующихся, как и исходные компоненты-  $Gd_5Bi_3$  и  $Pr_5Bi_3$ , в гексагональной сингонии типа  $Mn_5Si_3$ , с пространственной группой  $R\bar{6}_3/mcm$  (табл.1). Из таблицы следует, что параметр элементарной ячейки твердых растворов  $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Pr_xBi_y$  ( $x = 0.5-4.5$ ) во всем диапазоне концентраций изменяется почти аддитивно.

Результаты РФА подтверждают и данные МСА. Твердые растворы  $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Pr_xBi_y$  ( $x = 0.5-4.5$ ;  $y = 0.3-2.7$ ), согласно микроструктурному анализу, представляли собой однофазные образцы. При этом выявлено, что степень гомогенизации образцов твердых растворов в процессе проведения ДТА существенно зависит от скорости их охлаждения. Для примера на рис.1, а-е показаны фотографии микроструктур образцов твердого раствора  $Gd_{2.0}Sb_{1.2}Pr_{3.0}Bi_{1.8}$  (60 мол.%  $Pr_4Sb_3$ ), охлажденных [после плавления со скоростью 120, 80, 60, 40, 20, 10 К/мин.

Микроструктура образцов твердого раствора, охлажденных при указанных скоростях, трехфазны (рис. 1.,а-д). На фотографиях микроструктур темные кристаллы – твердый раствор

Gd<sub>2.0</sub>Sb<sub>1.2</sub>Pr<sub>3.0</sub>Bi<sub>1.8</sub> (с микротвердостью 4800 МПа) Светлые кристаллы - Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub> (с микротвердостью 5200 МПа) и Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> (с микротвердостью 4200 МПа). Заметим, что кристаллы Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub> и Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> на микроструктуре почти одного цвета – светлые. При исследовании микроструктур образцов твердого раствора их различали по значениям микротвердости. Как видно из фотографий микроструктур, при скорости охлаждения 20,

и 40 К/мин. доля кристаллов Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub> и Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> в них резко уменьшается, а твердого раствора Gd<sub>2.0</sub>Sb<sub>1.2</sub>Pr<sub>3.0</sub>Bi<sub>1.8</sub> (темная фаза) растет.

Образец твердого раствора, охлажденного со скоростью 10 К/мин.

(рис. 1, е), однофазен. Темные полосы на фотографии микроструктуры твердого раствора – границы кристаллов, а тонкие полосы – трещины, возникшие в процессе полировки шлифа.

Таблица 1.

Кристаллохимические характеристики твердых растворов системы Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub> – Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub>. Сингония - гексагональная типа Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, пр. группа P6<sub>3</sub>/mcm

Твердые растворы	Параметр элементарной ячейки, ±0.0005 нм		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	
	a	c	экспер.	расчет.
Gd <sub>5</sub> Sb <sub>3</sub>	0.8972	0.6384	8658	8663
Gd <sub>4.5</sub> Sb <sub>2.7</sub> Pr <sub>0.5</sub> Bi <sub>0.3</sub>	0.9016	0.6402	8662	8668
Gd <sub>4.0</sub> Sb <sub>2.4</sub> Pr <sub>1.0</sub> Bi <sub>0.6</sub>	0.9064	0.6414	8686	8691
Gd <sub>3.5</sub> Sb <sub>2.1</sub> Pr <sub>1.5</sub> Bi <sub>0.9</sub>	0.9112	0.6432	8698	8703
Gd <sub>3.0</sub> Sb <sub>1.8</sub> Pr <sub>2.0</sub> Bi <sub>1.2</sub>	0.9160	0.6448	8716	8721
Gd <sub>2.5</sub> Sb <sub>1.5</sub> Pr <sub>2.5</sub> Bi <sub>1.5</sub>	0.9212	0.6464	8722	8728
Gd <sub>2.0</sub> Sb <sub>1.2</sub> Pr <sub>3.0</sub> Bi <sub>1.8</sub>	0.9260	0.6480	8740	8743
Gd <sub>1.5</sub> Sb <sub>0.9</sub> Pr <sub>3.5</sub> Bi <sub>2.1</sub>	0.9308	0.6498	8744	8750
Gd <sub>1.0</sub> Sb <sub>0.6</sub> Pr <sub>4.0</sub> Bi <sub>2.4</sub>	0.9354	0.6514	8758	8765
Gd <sub>0.5</sub> Sb <sub>0.3</sub> Pr <sub>4.5</sub> Bi <sub>2.7</sub>	0.9404	0.6522	8778	8783
Pr <sub>5</sub> Bi <sub>3</sub>	0.9452	0.6542	8728	8733

Молярную магнитную восприимчивость ( $\chi_m$ ) сплавов измеряли в диапазоне температур 298-800 К по методике, приведенной в [4].

Исследование магнитных свойств показало, что в диапазоне 298-773 К температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости ( $\chi_m$ ) твёрдых растворов Gd<sub>5-x</sub>Sb<sub>3-y</sub>Pr<sub>x</sub>Bi<sub>y</sub> (x= 0.5-4.5; y = 0.3-2.7) следует закону Кюри -Вейсса, характерного парамагнитным веществам (рисунок 2 а, б).

Значения  $\chi_m$  и парамагнитной температуры Кюри ( $\theta_p$ ) твёрдых растворов определенной экстраполяцией линейной части зависимости  $1/\chi_m - T$  к оси температур приведены в таблице 2. Как видим из таблицы, во всем диапазоне концентраций значения молярной магнитной восприимчивости и парамагнитной температуры Кюри твёрдых растворов Gd<sub>5-x</sub>Sb<sub>3-y</sub>Pr<sub>x</sub>Bi<sub>3</sub> (x= 0.5-4.5) выше, чем  $\chi_m$  и  $\theta_p$  Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub>, а также выше  $\theta_p$  празеодима [5]. Исходя из этого, можно предположить, что магнетизм твёрдых растворов Gd<sub>5-x</sub>Sb<sub>3-y</sub>Pr<sub>x</sub>Bi<sub>3</sub>

(x= 0.5-4.5), как и самих редкоземельных элементов, устанавливается под действием косвенного обменного взаимодействия через электроны проводимости, так называемым взаимодействием Рудермана-Киттеля-Касуи-Иосиды (РККИ) [6]. Для твёрдых растворов Gd<sub>5-x</sub>Sb<sub>3-y</sub>Pr<sub>x</sub>Bi<sub>3</sub> (x= 0.5-4.5), с нашей точки зрения, обменное взаимодействие определяется взаимодействием по линии: Gd – Gd, поскольку, как видно из таблицы 2, с увеличением концентрации гадолиния в твёрдых растворах растет их молярная магнитная восприимчивость и парамагнитная температура Кюри.

Следует отметить, что рассчитанные по данным эксперимента эффективные магнитные моменты ионов гадолиния и празеодима твёрдых растворов Gd<sub>5-x</sub>Sb<sub>3-y</sub>Pr<sub>x</sub>Bi<sub>3</sub> (x= 0.5-4.5) близки к трехзарядным ионам Gd<sup>+3</sup> и Pr<sup>+3</sup> [5].

Таким образом, результаты данной работы указывают на возможность получения на основе Gd<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> и Pr<sub>5</sub>Bi<sub>3</sub> твёрдых растворов Gd<sub>5-x</sub>Pr<sub>x</sub>Bi<sub>3</sub> (x= 0.5-4.5) с повышенными магнитными свойствами.

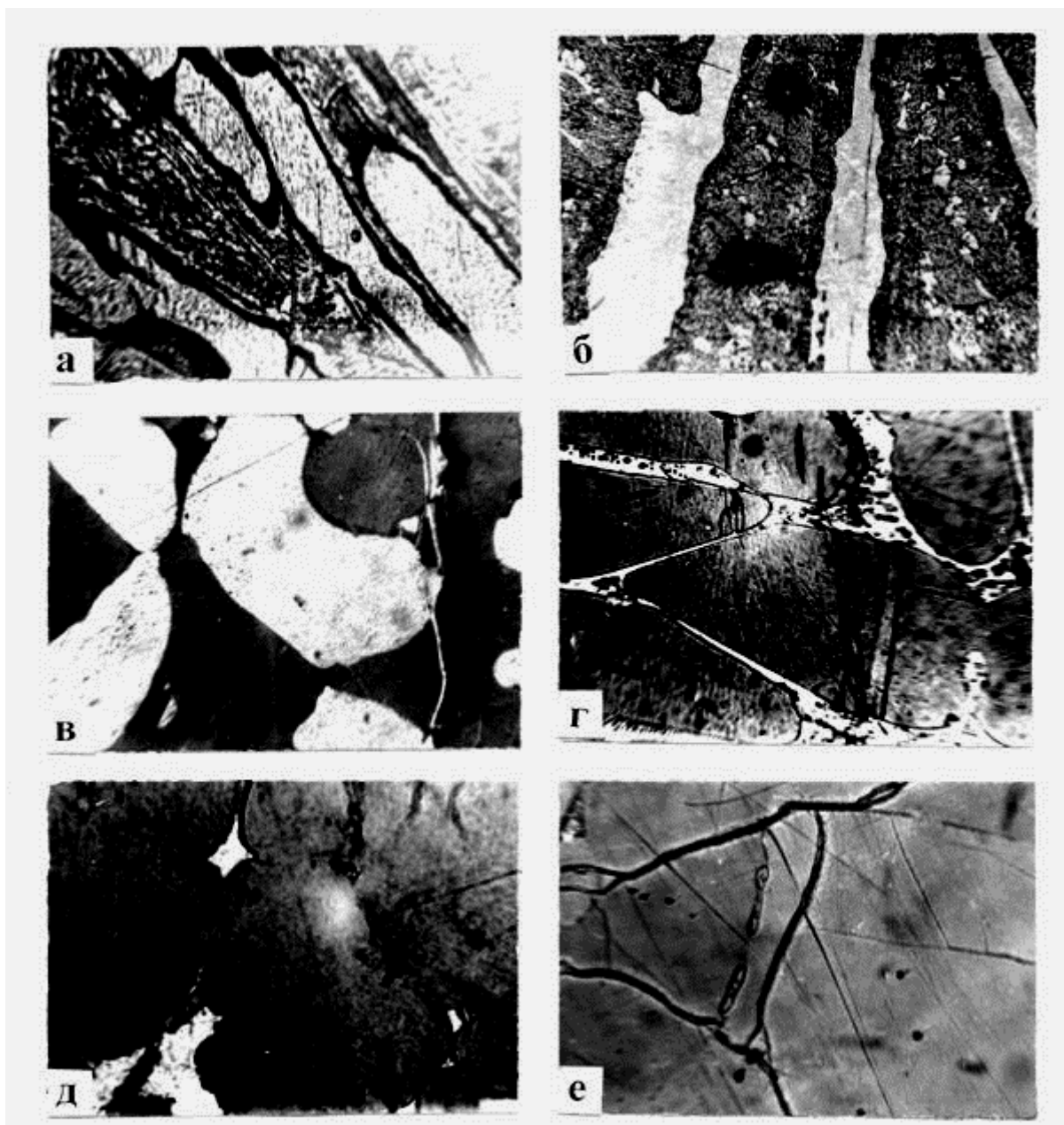


Рис. 1. Микроструктура твердого раствора  $Gd_{2.0}Sb_{1.2}Pr_{3.0}Bi_{1.8}$ , (60 мол.%  $Pr_4Sb_3$ ), охлажденного со скоростью (К/мин): а-120, х240, б-80, х220, в-60, х280, г-40, х180, д-20, х200, е-10, х210.

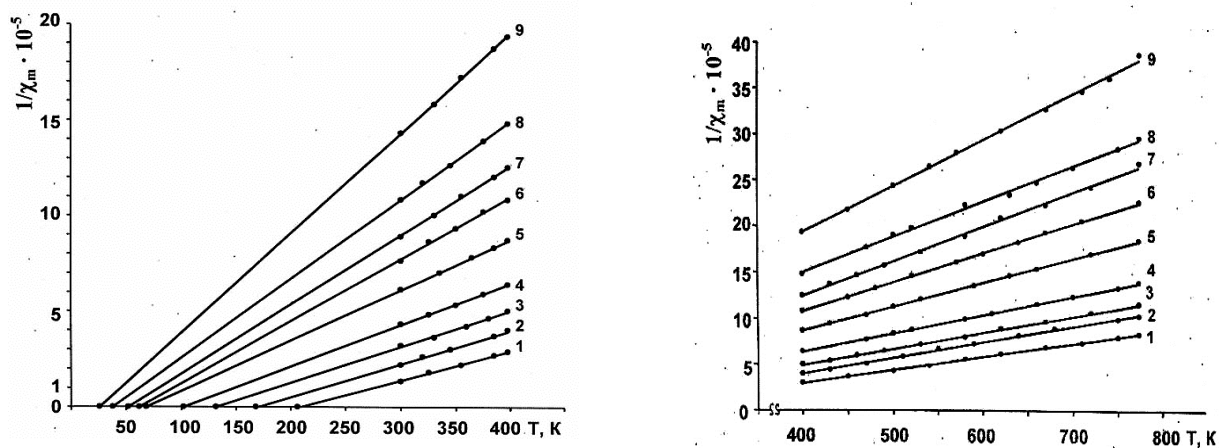


Рис.2. Температурная зависимость обратной молярной магнитной восприимчивости твердых растворов  $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Pr_xBi_y$ , содержащих (1)-10, (2)-20, (3)-30, (4)-40, (5)-50, (6)-60, (7)-70, (8)-80, (9)-90 мол.%  $Pr_5Bi_3$  в диапазоне 298-400 К (а) и 400-773 К (б).



Таблица 2.

Магнитные характеристики твердых растворов  $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Pr_xBi_y$  ( $x = 0.5-4.5$ ;  $y = 0.3-2.7$ ).

Твердые растворы	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	$\theta_p$ , К	$\mu_{эфф.} \times 10^{24}$ , А·м <sup>2</sup>
$Gd_5Sb_3$	237575.7	265	73.45
$Gd_{4.5}Sb_{2.7}Pr_{0.5}Bi_{0.3}$	74021.7	206	68.44
$Gd_{4.0}Sb_{2.4}Pr_{1.0}Bi_{0.6}$	44307.6	168	62.97
$Gd_{3.5}Sb_{2.1}Pr_{1.5}Bi_{0.9}$	30722.8	132	63.75
$Gd_{3.0}Sb_{1.8}Pr_{2.0}Bi_{1.2}$	22960	102	55.64
$Gd_{2.5}Sb_{1.5}Pr_{2.5}Bi_{1.5}$	16347.8	68	50.82
$Gd_{2.0}Sb_{1.2}Pr_{3.0}Bi_{1.8}$	13093.2	62	46.09
$Gd_{1.5}Sb_{0.9}Pr_{3.5}Bi_{2.1}$	11178.8	52	43.49
$Gd_{1.0}Sb_{0.6}Pr_{4.0}Bi_{2.4}$	9230.7	38	40.62
$Gd_{0.5}Sb_{0.3}Pr_{4.5}Bi_{2.7}$	6985.2	26	36.16
$Pr_5Bi_3$	5473.6	13	32.73

**Литература:**

1. Абулхаев В.Д. Диаграмма состояния Gd – Bi. Изв. РАН. Металлы. 1993. №1. с. 187-190.
2. Абулхаев В.Д., Ганиев И.Н. Диаграмма состояния системы Pr – Bi. Неорган. материалы. 2003. Т.39. №1. с. 54-57.
3. Абулхаев В.Д. Синтез и физико-химические свойства сплавов и соединений редкоземельных элементов с сурьмой и висмутом: дис.д-ра хим. наук. – Душанбе, 1996. -355 с.
4. Чечерников В.И. Установка с использованием магнитных весов. Магнитные измерения. М.: Изд. МГУ. 1963. с. 92-94.
5. Савицкий Е.М., Терехова В.Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М.: Наука. 1975. -270 с.
6. Белов К.П. Редкоземельные магнетики и их применение. М.: Наука, 1980.- 239 с.

**ХОСИЯТҲОИ МАГНИТИИ  
МАҲЛУЛҲОИ САХТИ СИСТЕМАИ  
 $Gd_5Sb_3-Pr_5Bi_3$**

***C.O. Ubaidov, V.D. Abulkhaev, X.X Nazarov,  
M.A. Balaev***

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти хосияти магнитии маҳлулҳои сахте, ки дар системаи  $Gd_5Sb_3-Pr_5Bi_3$  ба вучуд меоянд, оварда шудаанд.

Таҳлили булӯршавии кимиёвӣ нишон медиҳад, ки маҳлулҳои сахти системаи  $Gd_5Sb_3-Pr_5Bi_3$  дар сохти гексагоналии навъи  $Mn_5Si_3$  булӯр мешаванд.

Ҳарорати Кюри ва лаҳзаи магнитии ионҳои  $Gd^{3+}$  ва  $Pr^{3+}$  муайян карда шудаанд.

**Калимаҳои калидӣ:** ҳулаҳо, диаграммаи ҳолат, маҳлулҳои сахт, ҳарорати Кюри, таъсирпазирии магнитӣ, лаҳзаи магнитӣ.

**MAGNETIC PROPERTIES OF SOLID  
SOLUTIONS OF THE SYSTEM  
 $Gd_5Sb_3-Pr_5Bi_3$**

***S.O. Ubaidov, V.D. Abulkhaev,  
H.K. Nazarov, M.A. Balaev***

The article presents the results of the study of the magnetic properties of solid solutions that are formed in the  $Gd_5Bi_3 - Pr_5Bi_3$  system.

Crystal-chemical analysis showed that solid solutions of the  $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$  system crystallize in a hexagonal structure of the  $Mn_5Si_3$  type. The Curie temperature and magnetic moments of the  $Gd^{3+}$  and  $Pr^{3+}$  ions are determined.

**Keywords:** alloys, state diagram, solid solutions, Curie temperatures, magnetic susceptibility, magnetic moment.

**Сведения об авторах:**

Убайдов Салмоншо Одинаевич-к.т.н., доцент кафедры «Технология, черчения и дизайн» Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни. Тел: +(992)93- 824- 64- 66, E-mail: ubaydov\_60@mail.ru

Абулхаев Владимир Джалолович, д.х.н., проф., заместитель директора по науке Института химии им В.И. Никитина АН РТ. Тел: +(992)918-85-5-148, E-mail: abulkhaev-48@mail.ru

Назаров Хайрулло Холназарович,- к.т.н., ректор Института энергетики Таджикистана. Тел: +(992) 918-74-85-22 E-mail: nazarov-h2013@mail.ru

Балаев Маҳмадшо Ахтамович,- к.т.н., старший преподаватель кафедры «Электроснабжение» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими. Тел: +(992) 93-508-81 82 E-mail: Muhamad65.balaev@mail.ru

## КИСЛОТНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ФОСФОРИТОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

**Ф.М. Тошов, Ш.Р. Самихов, С.А. Алифшоева, Ш.А. Курбонов,  
М.С. Исмоилова, С.Ш. Сафаров**

*Институт химии им. В.И. Никитина Академии наук Республики Таджикистан*

В статье приведены полученные результаты кислотного разложения фосфоритов Риватского месторождения. Показано, что промывка исходной руды приводит к увеличению концентрации пятиоксида фосфора (V) от 5.0 до 8.31 процентов. Обработка промытой руды с серной кислотой или азотной кислотой приводит к разложению природного фосфорита с образованием растворимой пятиоксида фосфора в виде фосфорной кислоты. При фильтрации этих растворов извлечение фосфоритов с учётом пятиоксида фосфора (V) составляет от 60 до 80 процентов для сернокислотного разложения и от 80 до 99 процентов для азотнокислотного разложения. При добавлении карбида кальция или карбоната кальция в водных вытяжках после сернокислотного разложения были получены суперфосфаты с содержанием пятиоксида фосфора (V) от 39 до 46 процентов, а из водной вытяжки после азотнокислотного разложения при обработке гидроксидом аммония можно получить нитроаммофоск с концентрацией 26 процентов пятиоксида фосфора (V).

**Ключевые слова:** фосфатные руды, фосфорная кислота, извлечение фосфоритов, пятиокись фосфора, фильтрация, суперфосфат, нитроаммофос.

Фосфатные руды представлены, главным образом, фторапатитом  $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ , гидроксипатитом  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ , карбонат-гидроксипатитом  $(Ca_{10}(PO_4)_6(CO_3)_2(OH)_2)$ , франколитом  $(Ca_{10-x-y}Na_xMg_y(PO_4)_6-z(CO_3)_zF_{0.4z}F_2)$ , карбонатпатитом  $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3$ , коллофаном  $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot nCa(CO_3, F_2, O) \cdot xH_2O$  [1, 2].

Природные фосфатные руды различных месторождений отличаются по своим физико-химическим свойствам в зависимости от структуры, минералогического состава, примесного содержания. Они разделяются на два основных вида руд - апатитовые и фосфоритные [3]. Существуют разные способы обогащения фосфоритной руды на примере кислотного выщелачивания карбонатных примесей [4], обжига [5-7], микробной технологии [8], флотации [9,10], кислотного разложения [11,12,15]. Все эти

методы получили в большей и меньшей степени применение в зависимости от физико-химических свойств исходной руды.

Данная работа является продолжением нашей предыдущей работы [13] по разложению фосфоритной руды месторождения Риват и превращению фосфорита в водорастворимую фосфорную кислоту с последующей фильтрацией и получением из него фосфорного удобрения [13]. В данной статье приведены результаты исследования с использованием серной и азотных кислот.

### Обсуждения полученных результатов.

Исходное сырьё из месторождения Риват содержит в среднем  $P_2O_5$  от 4.5 до 6.5 процентов и относится к апатитным фосфоритам с химическим составом  $Na_2O$ -0.33%,  $MgO$ -1.54,  $Al_2O_3$ -3.2,  $SiO_2$ -65.66,  $P_2O_5$ -6.05,  $SO_3$ -4.76,  $K_2O$ -0.90,  $CaO$ -11.18,  $NiO_2$ -0.15,  $Mg_2O_3$ -0.10,  $Fe_2O_3$ -1.06. Нами было взято исходное сырьё с содержанием  $P_2O_5$  5.01 процентов, которое было промыто обычной водопроводной водой. При этом удаляется водорастворимая часть сырья и концентрация  $P_2O_5$  увеличивается до 8.31 процентов. Общую химическую формулу остатка можно представить как смесь из  $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$  фторапатита,  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  гидроксипатита и  $Ca_{10}(PO_4)_4(CO_3)_3(OH)_2$  карбонатного апатита [13].

При полном разложении их с серной кислотой возможно протекание реакции по следующей схеме 1:

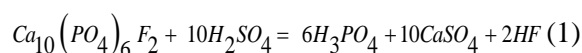


Схема 1. Разложение фторапатита с серной кислотой.

Или по схеме 2 для гидроксипатита

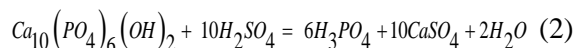


Схема 2. Разложение гидроксипатита с серной кислотой.

Или по схеме 3 для карбонатного апатита

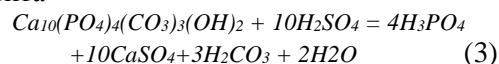


Схема 3. Разложение карбонатного апатита с серной кислотой.

При полном разложении их с азотной кислотой возможно протекание реакций по следующей схеме:

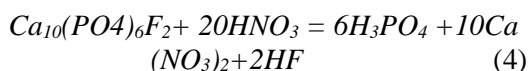


Схема 4. Разложение фторапатита с азотной кислотой.

Или по схеме 5 для гидроксилapatита

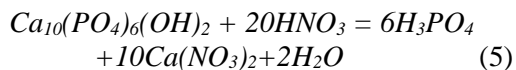


Схема 5. Разложение гидроксилapatита с азотной кислотой.

Или по схеме 6 для карбонатного апатита

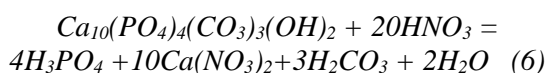


Схема 6. Разложение карбонатного апатита с азотной кислотой.

Как видно из схемы 1-6, исходное сырье разлагается, и образуется свободная фосфорная кислота, и она переходит в водный раствор. Благодаря уникальности своего состава, реакционную массу, полученную из сырья месторождения Риват удалось профильтровать на водную и твердую фракцию фильтрацией обычным бумажным фильтром вместе с фосфорной кислотой.

При такой обработке сырья с серной кислотой нами было взято две пробы по 1000 г промытого фосфоритного сырья с содержанием  $P_2O_5$  8.31 процентов, что соответствует 83.1 г  $P_2O_5$  на 1000 г. К первой добавили 56 мл серной кислоты (98%) и оставили при комнатной температуре на 4 суток, время от времени реакционную массу перемешивали в ручную. После фильтрации твердую массу промыли водой по одному литру каждый раз. После просушки твердой массы, которая составила 1080 г с содержанием  $P_2O_5$  3.11 процентов. Нам удалось извлечь около 60 процентов от 83.1 г. Водную вытяжку объединили вместе и добавили 56 г карбида кальция как источника CaO или Ca(OH)<sub>2</sub> (схема 7), который при соединении с фосфорной кислотой образует смесь фосфатных солей кальция по схеме 8. При такой обработке фосфоритной руды с серной кислотой

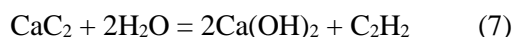


Схема 7. Разложение карбида кальция водой.

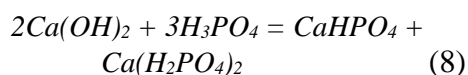


Схема 8. Получение фосфатных солей из фосфорной кислоты и гидроксида кальция.

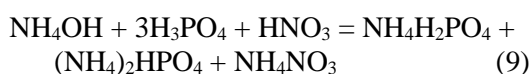
После высушивания было получено 125 г продукта с содержанием  $P_2O_5$  39.11 процентов. Вторую пробу также подвергли обработке наподобие первой пробы до добавления карбида кальция. С этого момента для большего извлечения  $P_2O_5$  твердый фильтрат обрабатывали с 11 мл серной кислоты (98%) в 1 литре воды и прокипятили 1 час. После этого реакционную массу отфильтровали и промывали водой 2 раза (по 1 литру каждый раз). Жидкую массу объединили и добавили к ней 70 г карбоната кальция и оставили для высушивания на открытом воздухе. Твердый фильтрат после просушки имел вес 1060 г с концентрацией  $P_2O_5$  1.58 процентов. Извлечение при этом составляет около 80 процентов от 8.31 г  $P_2O_5$  и водная фракция после высушивания имела вес 130 г с содержанием  $P_2O_5$  46.0 процентов. Возможный ход протекания реакции можно представить по схеме 9:



Схеме 9. Получение фосфатных солей из фосфорной кислоты и карбоната кальция.

Как дополнение к кислотному разложению природного фосфорита, также была проведена его обработка концентрированной азотной кислотой. К 1000 г промытой руды было добавлено 200 мл концентрированной азотной кислоты в 1200 мл воды. Реакционную массу после перемешивания оставили при комнатной температуре на 4 суток и профильтровывали обычным бумажным фильтром. При такой обработке осадок уменьшился на 850 г с концентрацией  $P_2O_5$  2.18, другими словами, около 20 процентов  $P_2O_5$  остается в руде. Извлечение составляет около 80 процентов  $P_2O_5$  от 8.31 г по сравнению с исходной промытой рудой, и поэтому была проведена дополнительная обработка твердого фильтрата с 40 мл концентрированной азотной кислотой в 1040 мл воды и кипячением около 1 часа. После охлаждения и фильтрации твердый фильтрат высушили и получили 817 г твердого осадка с концентрацией  $P_2O_5$  0.3 процентов, что соответствует извлечению из промытой руды  $P_2O_5$  99.7 процентов, который переходит в водную фракцию. После объединения водных фракций, к ним добавили 500 мл 22 процентного  $NH_4OH$  и оставили на открытом воздухе в течение одной недели. Образовалось 900 г полужидкой массы,

которая при сушке (100°C) образовала 302 г твердой массы с концентрацией P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 26.0 процентов. Ход протекания реакции можно представить по вышеуказанным схемам (5,6). Определение концентрации азота в этом образце не было проведено, поскольку оно не входило в рамки наших исследовательских работ. Обычно при такой обработке содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в 1.5 или 2 раза больше по сравнению с концентрацией P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и составляет 35-50 процентов [3]. В ходе обработки с NH<sub>4</sub>OH полученной водной вытяжки после азотнокислотного разложения возможно протекает ряд химических реакций [3]. Здесь мы принимаем во внимание образование только нитроаммофоса при избыточном количестве азотной кислоты и вероятный ход протекания основных продуктов реакции можно представить согласно схеме 9:



Схеме 9. Образование нитроаммофоса.

**Экспериментальная часть.** Химические реагенты были доступны в торговле. Серная кислота и карбид кальция были приобретены на химическом заводе города Яван с концентрацией более 98%. Азотная кислота (69%), гидроксид аммония (22%) и карбонат кальция были использованы российского производства со знаками «ч» и «чда». Вода была использована из-под крана Института химии АН РТ с жёсткостью 3.5 мг-экв/л. Определение концентрации P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в образцах было произведено согласно методу [13-14].

Эксперимент 1. 20 килограммов исходной руды с содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 5.01 % промывали водой до удаления растворимых частей (обесшламливание). После этого полученную нерастворимую массу измельчали и заново промывали водой несколько раз и полученный осадок 12 килограмм с размером частиц 0.074 мм (70%) и содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 8.31 % оставили для следующих экспериментов.

Эксперимент 2. 1000 г полученного осадка с первого эксперимента погружали в 2-х литровую колбу и к нему добавили 1 литр водопроводной воды и 56 мл серной кислоты (98%) и оставили при комнатной температуре на 4 суток и время от времени перемешивали вручную. После этого реакцию массу отфильтровали через обычный бумажный фильтр в фарфоровой воронке с помощью вакуумного насоса (P = 40- 50 мм рт.ст.). Осадок промывали 1x2 литрами

водопроводной воды и объединили растворы вместе. Добавили к массе 56 г карбида кальция и оставили на солнце для сушки в течение одной недели. Далее полученный осадок сушили при 100°C. Было получено 125 г светло-синего осадка с содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 39.01 %.

Эксперимент 3. Эксперимент 3 был проведен аналогично 2-му эксперименту до добавления карбида кальция. Отсюда фильтрат подвергали дополнительной обработке с 11 мл серной кислотой (98%) и прокипятили 1 час, затем объединили растворы вместе и добавили к нему 70 г карбоната кальция и оставили для просушивания на солнце в течение одной недели и затем полученный осадок просушили при 100°C. Было получено 130 г светло-серого осадка с содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46.0 %.

Эксперимент 4. 1000 г полученного осадка с первого эксперимента погружали в 2-х литровую колбу и к нему добавили 1 литр водопроводной воды и 200 мл азотной кислоты и оставили при комнатной температуре на 4 суток и время от времени перемешивали вручную. После этого реакцию массу отфильтровали через обычный бумажный фильтр в фарфоровой воронке с помощью вакуумного насоса (P = 40- 50 ммрт.ст.). Осадок промывали 1 x 2 литров водопроводной воды и к фильтрату добавили ещё 40 мл азотной кислоты в 1040 мл водопроводной воды. Прокипятили 1 час, профильтровали и промыли 1 x 2 раза 1000 мл водопроводной водой и объединили растворы вместе. Добавили 500 мл 22 процентного NH<sub>4</sub>OH. Оставили массу для высыхания на открытом воздухе. Полученную полужидкую массу просушили в сушильном шкафу при 100°C. Получено 302 г сухого вещества с содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 26.0 %.

#### **Выводы:**

Разработаны условия получения сложных удобрений из низкосортных фосфоритов Риватского месторождения;

а) При промывке водой исходной руды Риватского месторождения, концентрация P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> увеличивается от 5.0 до 8.31 процентов за счёт удаления растворимых частиц из её состава.

б) При обработке промытой руды серной кислотой от 60 до 80 процентов P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> переходит в раствор, который поддается фильтрации и при обработке фильтрата карбидом кальция или карбонатом кальция

приводит к образованию 39 и 46 процентного суперфосфата.

в). При обработке промытой руды с азотной кислотой от 80 до 99 процентов  $P_2O_5$  переходит в раствор, который фильтруется и при обработке фильтрата с  $NH_4OH$  приводит к образованию нитроаммофоски с содержанием  $P_2O_5$  26 процентов.

#### Литература:

1. Straaten, P.V. Rocksfor Crops, Agromineralsofsub-Sahara Africa. (CD) / ICRAF, Nairobi, Kenya. -2002. -pp. 7–24.

2. Straaten, P.V. Agrogeology, The Use of Rocks for Crops. / Enviroquest -2007. Chapter 4. -pp. 87–164.

3. Филенко И.А. Кислотное разложение природных фосфоритов с получением различных форм комплексных удобрений / Диссертация, Москва -2019.–С. 141

4. Abu-Eishah, S.I., El-Jallad, I.S., Muthaker, M., Tooqan, M., Sadeddin, W. Beneficiation of calcareous phosphate rocks using dilute acetic acid solutions: optimi-sation of operating conditions for Ruseifa (Jordan) phosphate. / International Journal of Mineral Processing. - 1991. V 31. Issues 1–2. –pp. 115-126.

5. Zafar Z.I., Anwar M.M., Pritchard D.W. Innovations in beneficiation technology for low grade phosphate rocks / Nutrient Cycling in Agroecosystems. -1996. No 46. -pp. 135-151.

6. Shariati S., Ramadi A, Salsani A. Beneficiation of low-grade phosphate de-positis by a combination of calcination and shaking tables / Southwest Iran. Minerals. -2015. 5. -pp. 367-379.

7. Sobczak-Kupiec A., Wzorek Z. The influence of calcination parameters on free calcium oxide content in natural hydroxyapatite / Ceramics International. -2012. No 38. -pp. 641–647.

8. Георгиевский А.Ф. Основные итоги исследований пригодности микробных технологий для обогащения отечественных и зарубежных фосфоритов / Вестник РУДН, сер. Инженерные исследования, 2003. №2. С. 149-154.

9. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А., Курбонов Ш.А., Сафаров С.Ш., Исмоилова М.С., Горенкова Л.Г. Изучение обогащения фосфатной руды месторождения Риват / Доклады АН Республики Таджикистан, 2018. Т. 61. №2. С.190-193.

10. Sis H, Chander S. Reagents used in the flotation of phosphate ores: a criti-cal review / Minerals Engineering, 2003. №16 (7). pp. 577–585

11. Яковкин Г. А. Авторское свидетельство № 55832 / Способ кислотного разложения фосфоритов -1939.

12. Доршин М.И., Сладкова М.В. Авторское свидетельство № 48251 / Способ получения фосфорной кислоты из фосфатов - 1936.

13. Тошов Ф.М., Карамбахшев Х.З., Курбонов Ш.А., Самихов Ш.Р., Горенкова Л.Г., Сафаров С.Ш., Мухидинов З.К. Обогащение фосфоритной руды Риватского месторождения соляной кислотой / Политехнический вестник Серия: Инженерные исследования, 2018. 3(43). С. 34-37

14. Курбонов Ш.А., Хочахон М.И., Кабков Х., Мухидинов З.К., Абулхаев В.Дж., Самихов Ш.Р., Рахими Ф. Минералогический состав фосфоритных руд месторождений Риват и Каратаг / Доклады АН Республики Таджикистан, 2017. Т. 60. №7-8. С. 349-355.

15. Назаров Ш.Б., Сафиев Х., Запольский А.К. Солянокислотная переработка нефелиновых сиенитов методом предварительной активации / Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Кислотные методы комплексной переработки алюмосиликатного сырья», г. Апатиты, 1990. С. 17-18.

#### ТАҶЗИЯИ ФОСФОРИТҲОИ ТАБИЙ БО КИСЛОТА БО ҲОСИЛ КАРДАНИ НУРИҲОИ ФОСФОРДОР

**Ф.М. Тошов, Ш.Р. Самихов,  
С.А. Алифшоева, Ш.А. Курбонов,  
М.С. Исмоилова, С.Ш. Сафаров**

Дар мақола натиҷаи ҳосилкунии таҷзияи фосфоритҳои кони Риват бо кислота оварда шудааст. Нишон дода шудааст, ки шустани маъдани ибтидоӣ ба зиёдшавии оксиди фосфори (V) аз 5,0 то 8,31 ғоиз оварда мерасонад. Коркарди маъдани шусташуда бо кислотаҳои сулфат ё нитрат ба таҷзияи фосфоритҳои табиӣ бо ҳосилшавии ҳалшавии фосфори панҷвалента ба намуди кислотаи фосфат оварда мерасонад. Ҳангоми полудани ин маҳлул ҷудошавии фосфоритҳо бо ҳисоби оксиди панҷвалента фосфор (V) аз 60 то 80 ғоиз таҷзия бо кислотаи сулфат аз 80 то 99 ғоиз ва таҷзия бо кислотаи нитрат ташкил дод. Ҳангоми илова кардани карбиди калсий ё ин ки карбонати калсий дар маҳлул баъди таҷзия бо кислотаи сулфат суперфосфат бо ҳосилнокии оксиди панҷвалента (V) аз 39 то 46 ғоиз ва аз маҳлули витяжка баъди таҷзия бо кислотаи нитрат ҳангоми коркард бо гидрооксиди аммоний мумкин аст

нитроаммофоск бо ғализии 26 фоиз оксиди фосфори панчвалента ҳосил шавад.

**Калимаҳои калидӣ:** маъдани фосфордор, кислотаи фосфат, чудошавии фосфоритҳо, оксиди фосфори панчвалента, полудан, суперфосфат, нитроаммофос.

#### ACID DECOMPOSITION OF NATURAL PHOSPHORITES TO PRODUCE PHOSPHORUS FERTILIZERS

*F.M. Toshov, Sh.R. Samikhov,  
S.A. Alifshoyeva, Sh.A. Kurbonov,  
M.S. Ismoilova, S.Sh. Safarov*

The article presents the results obtained for the acidic decomposition of phosphate rock Rivat field. It is shown that the washing of the initial ore leads to an increase in the concentration of phosphorus pentoxide (V) from 5.0 to 8.31 percent. Treatment of washed ore with sulfuric acid or nitric acid results in the decomposition of natural phosphorite to form soluble phosphorus pentoxide as phosphoric acid. In filtering these solutions, the recovery of phosphorites taking into account phosphorus (V) pentoxide is from 60 to 80 percent for sulfuric acid decomposition and from 80 to 99 percent for nitric acid decomposition. By adding calcium carbide or calcium carbonate in aqueous extracts after sulfuric acid decomposition, superphosphates with phosphorus pentoxide (V) content from 39 to 46 percent were obtained, and from aqueous extract after nitric acid decomposition when treated with ammonium hydroxide, nitroammophosc with a concentration of 26 percent phosphorus pentoxide (V) can be obtained.

**Keywords:** phosphate ores, phosphoric acid, extraction of phosphorites, phosphorus pentoxide, filtration, superphosphate, nitroammophos.

#### Сведения об авторах:

Тошов Фирдавс Мунавварович – аспирант Института химии Академии Наук Республики Таджикистан. Тел: +(992) 902-11-13-33, E-mail: zarafshoni94@mail.ru

Самихов Шонавруз Рахимович – д.т.н., доцент - главный научный сотрудник Института химии Академии Наук Республики Таджикистан. Тел: +(992) 900-19-95-72, E-mail: samikhov72@mail.ru

Алифшоева Сохибсултон Алифшоевна – научный сотрудник Института химии Академии Наук Республики Таджикистан. Тел: +(992) 93-453-98-16, E-mail: sohiba.alifshoeva@mail.ru,

Курбонов Шодком Ахмадбоевич. – аспирант Института химии АН Республика Таджикистан. E-mail: Shodkom\_1990@mail.ru,

Исмоилова Мархабо Сайдуллаевна – старший научный сотрудник Института химии Академии Наук Республики Таджикистан. Тел: +(992) 93-800-61-77, E-mail: cafi@mail.ru

Сафаров Сайфидин Шахобидинович – к.х.н. - заведующий лабораторией обогащения руд Института химии Академии Наук Республики Таджикистан. Тел: +(992) 900-02-24-42, E-mail: cafi@mail.ru.

#### АНАЛИЗ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПАРКА НАДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ИХ ОБНОВЛЕНИЕ

*О. К. Бобобеков, Н. М. Хасанов*

*Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими*

*В статье приведено направление развития образцовых жизненных циклов надземных транспортно-технологических машин (НТТМ), включая мобильный транспорт. Обеспечение работоспособности НТТМ в республике связано с значительными простоями, трудовыми и материальными затратами. Процессы работоспособности парков НТТМ предприятий всех видов формируют одни и те же основные типы технических воздействий: диагностирование, ТО и ремонт и методы организации работ.*

**Ключевые слова:** анализ, работоспособность, структура, обновления, парк машин.

По данным Таджикского Гостехнадзора на 2016 год в различных компаниях (строительных, дорожных, горных и др.) применяются около 150 одноковшовых экскаваторов, 460 автокранов, 311 бульдозеров, 125 башенных кранов, 361 трактор, 159 погрузчиков и 112 автогрейдеров (рис. 1). Среди которых на балансе подрядной строительной компаний находится около 526 существующих НТТМ.

В парке машин в республике преобладают советские и зарубежные машины, около 70% машин 1978-1990 гг. выпуска (рис. 2).

Такие сведения несколько преуменьшены, поскольку не рассматривают парк НТТМ народов. Несмотря на это не возникает

разногласия, потому что главное требование на НТТМ предъявляют строительные предприятия.



Рис. 1. Распределение машин в разных предприятиях.



Рис. 2. Структура парка НТТМ в строительных предприятиях.

При повышении финансового положения строительных предприятий с 2008 по 2016 гг. покупка строительных, коммунальных, дорожных машин и оборудования при помощи личных средств дается нелегко (например, стоимость экскаватора, вероятно, составит от несколько тыс. до млн. рублей или несколько тыс. сомони). По отношению к весьма высокой стоимости машин и удаленности Республики Таджикистан не обновлялся состав парков НТТМ в течение 20-25 лет, который фактически подошел к абсолютному износу. Вместе с тем сохраняется динамика к уменьшению численности строительных машин. Связи с износом парк НТТМ нуждается в повышенных финансовых затратах на воспроизведение технических баз. Вместе с тем организация перестает планировать действия по техническому обслуживанию и ремонту, изучает возможности перемещения техники с этих предприятий на другие предприятия.

За 10 лет, начиная с 1997 по 2007 годы, парк НТТМ в республике заметно сократился как по качеству, так и по количеству машин (рис. 3, 4).

Это подтверждает тот факт, что при условии нехватки финансовых средств компании вынуждены заниматься, прежде всего, не обновлением парка, а сохранением рабочего режима уже имеющегося парка машин.

Проблему обслуживания существующего парка НТТМ можно решить при помощи массовой смены устаревших машин новыми и с помощью модернизации ремонта существующих машин. Для каждого из названных способов требуются разные финансовые ресурсы. Процесс осуществления 1-го требует от 5 до 7 раз больше ресурсов, чем 2-го. Непростая финансовая ситуация многих предприятий объективно вынуждается в ближайшие годы в функции второго способа.

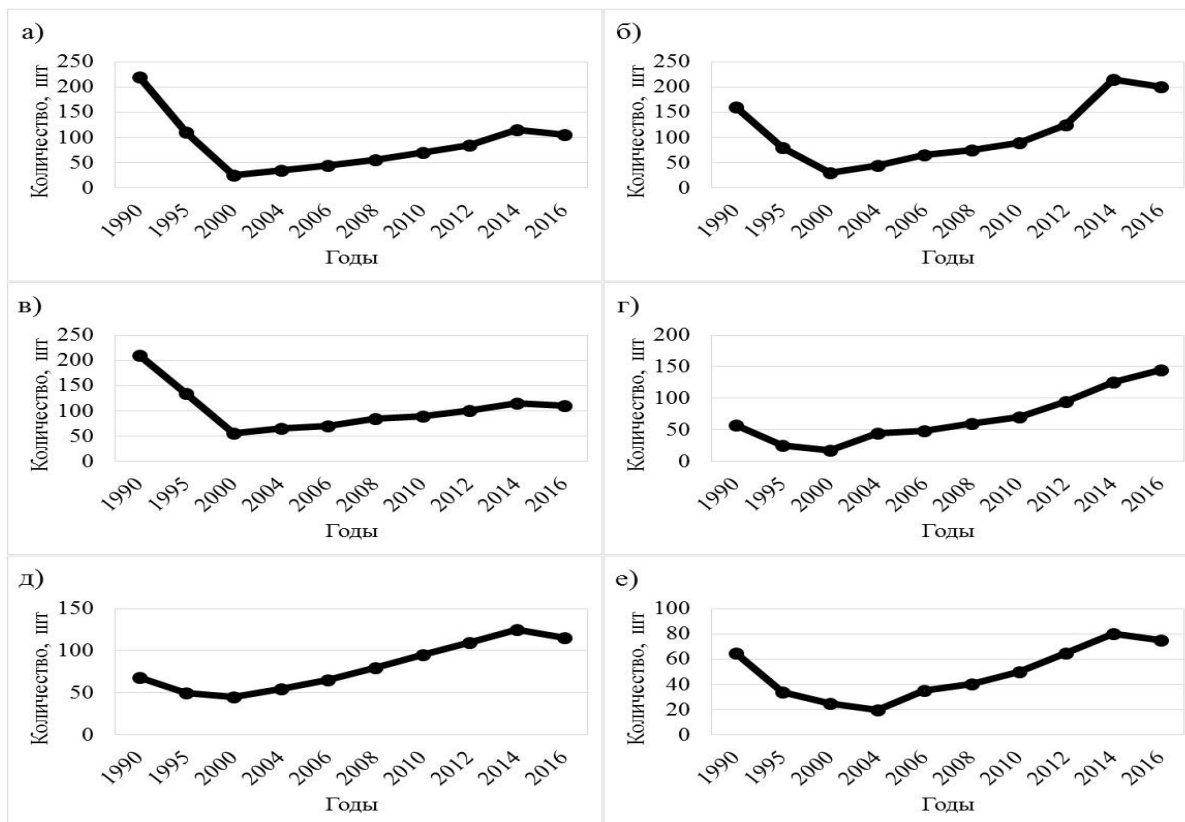


Рис. 3. Динамика парка НТТМ Республики Таджикистан: а) экскаваторы, б) бульдозеры, в) автомобильные краны, г) одноковшовые погрузчики, д) башенные краны, е) автогрейдеры.

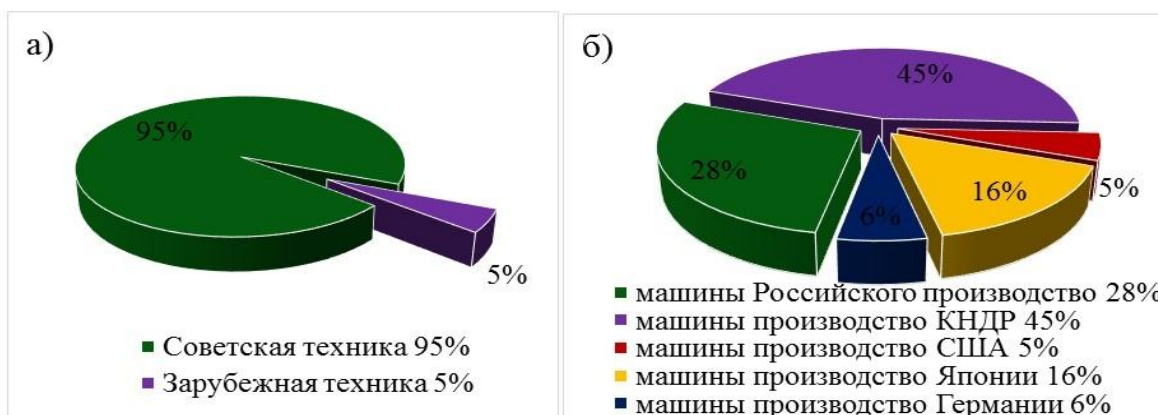


Рис. 4. Соотношение отечественной и импортной техники: а) доля иностранной техники в 1991г., б) доля иностранной техники в 2016г.

На основе этой информации можно определить часть машин в парке со сроком эксплуатации. В таблице. 2 проанализирована действительная наработка машин при разных версиях применения машин, а также сравнение с фактической и нормативной. Вместе с тем совершается прогноз о ТС машин и правдоподобных сроках применения машин.

Парк НТТМ Таджикистана характеризуется следующим свойствами:

– значительное повышение среднего возраста машин в парке, если методика обновления не предоставляет решающего

воздействия на общий показатель возрастной и кратковременной;

– уменьшение расхода на развитие парка в результате нехватки финансовых средств у предприятий.

Несоответствие парка НТТМ поставленной цели распознается в процессе ее обширного исследования.

По итогам исследования таблице 2 подготовлены рекомендации по осуществлению практики работы разных организаций больше всего результативных организационно-правовых форм применения машин.



Таблица 1.

Количество НТТМ на предприятиях на 01.01.2016г.

№	Тип машин	Количество, ед.	С истекшим сроком службы, %
1	Экскаваторы	48	78,4
2	Самосвалы	74	74,2
3	Бульдозеры	55	78,2
4	Погрузчики	16	72,0
5	Автокраны	35	66,5
6	Башенные краны	36	100
7	Автогрейдеры	37	70,2
8	Остальные	13	-
	Итого	314	

Таблица 2.

Организационно-правовые формы применения НТТМ

№	Варианты применения машин	Нормативная среднегодовая наработка, маш. в час.	Загрузка в типичном хозяйстве, маш. в час.	Реальная годовая наработка, маш. в час.
1	В рамках строительных предприятий и организаций	1250	480	215
2	В рамках управления механизации	1026	680	255
3	В рамках совместной организации	725	-	125
4	Иные формы применения машин	-	-	-

Исследование требований финансирования покупок производится для составления прогнозирования о темпах обновления, прихода других инвесторов, либо собственных ресурсов с целью планомерного обновления парка НТТМ.

В последнее время в республике сформирована тенденция непродуманной доставки разных марок зарубежных подержанных НТТМ. Действительно, для строительных отраслей со смягченной инфраструктурой, а также транспортных сетей непозволительно, по мнению автора, избыточная многокачественность НТТМ.

По нашему мнению, главными причинами, сдерживающими обновление парка НТТМ, являются:

- невысокая состоятельность строительных организаций;
- малодоступность приобретения банковских кредитов по причине повышенных размеров процентов;
- ограничение ресурса, выделенного из бюджета государства на лизинг строительных машин, а также поддержание работоспособности парка НТТМ;

- нехватка соперничества на рынке лизинга строительной машины;

- незначительная инвестиция.

Весь вышесказанное является результатом плохого качества ремонта и ТО НТТМ.

Нужно отметить, что в период 20-25 лет большая часть видов НТТМ уменьшилась, бульдозеров почти в 4 раза и башенных кранов в 4 раза. К тому же, в некоторые годы не доставлено ни одной машины (бульдозера, экскаватора, башенного крана, автогрейдера и др.).

При старении структуры парка воспринимается процентное либо количественное разделение парка машин по группам возрастных машин [1, 3].

В парке располагаются различные типы машин, вернее парк машин обладает специфической возрастной структурой.

По ходу эксплуатации, списания и поступления подвижного разряда старая структура парка изменяется. Во время продолжительного отсутствия поступления новейших машин коэффициент парка уменьшается, хотя объемы работ по ремонту и обслуживанию увеличиваются [2, 3]. При усиленной доставке новых машин

совершенствуется особенность парка, а также целесообразно снижается объем ремонта. Следовательно, усиленное обновление не допускает сразу возместить капитальные расходы. Приостановка скорости обновления приведет к повышению количества машин с истекающим жизненным периодом. Отсюда повышение расхода на содержание и эксплуатацию, уменьшение наработки, повышение планового, непланового простоя и повышение капитальных расходов на обновление парка машин.

Следовательно, нужно обнаружить предел срока службы эксплуатации ДСиКМ, где объем капитального ресурса будет приемлемым по объему денежных расходов.

Старение структуры парка машин обуславливает скорость достижения эксплуатируемыми машинами общепринятого срока службы, вернее одобренные скорости выбытия. Регулирование обновления парка машин содержит свою задачу и в заключении предельно приблизит текущие сроки машин к оптимальным. Вместе с тем необходимо рассмотреть тенденцию развития парка НТТМ и возрастной структуры.

Таким образом, определение возрастной структуры парка машин и прогнозирование по отношению прибытия новых, а также

списание возрастных машин является одним из главных вопросов.

При исследовании возрастной структуры парка НТТМ в Таджикистане ощутима динамика, определена разность состояний формирования парка. В 1980 по 1990 годы характеризуется крупным количеством поступивших строительных машин. В настоящее время в парке машин доминируют машины, выпущенные с 1980 до 1990 годов.

Рассматривая нормативные сроки службы машин, зависящих от категории, выстраивающей от 8 до 20 лет, «средний возраст» НТТМ в республике превышает установленные нормативные сроки службы.

На рис. 5 видно, что с 2011 года намечается тенденция к обновлению парков НТТМ в республике.

Выполненные анализы показали, что в парке НТТМ 68% машины имеют истекающий срок службы, более 12 лет, и еще 12% парка имеет возраст от 10 до 12 лет, помимо этого, 8% машин имеет возраст от 8 до 10 лет. Эти возрастные машины переходят к группе изношенных (рис. 5 и 6).

Сложно сохранить управление, при котором бессистемное обновление приводит к тому же (рис. 6), где средний возраст машин в парке колеблется от «молодого» до «старого».

Таблица 3.

Темп и условия покупки НТТМ.

№	Тип покупаемых машин	Количество, ед.	Условия покупки		
			Собственный ресурс	Кредит	Лизинг
1	Экскаваторы	22	50%	50%	-
2	Самосвалы	-	-	-	100%
3	Бульдозеры	20	50%	50%	-
4	Погрузчики	15	50%	50%	-
5	Автокраны	27	50%	30%	20%
6	Башенные краны	-	-	30%	70%
7	Автогрейдеры	12	40%	30%	30%
8	Остальные	-	-	-	-
	Итого	96			

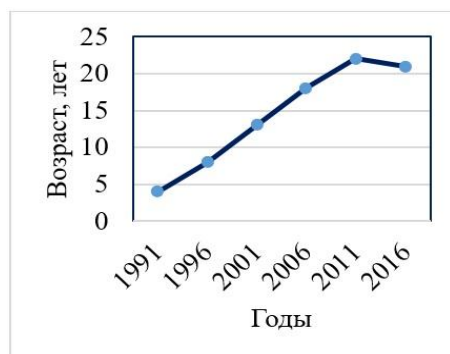


Рис. 5. Средний возраст НТТМ.

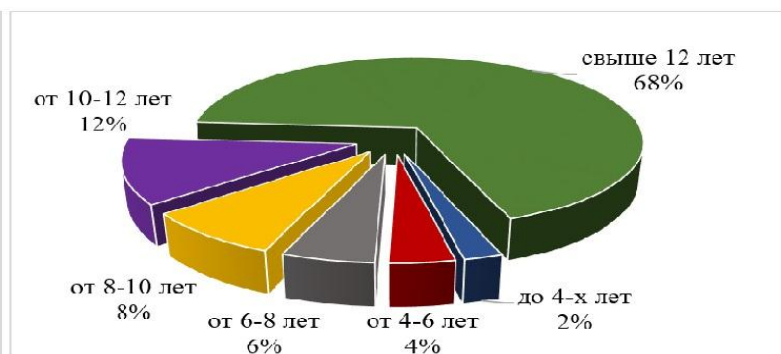


Рис. 6. Возрастная структура НТТМ.

Таблица 4.

Скорости обновления парка НТТМ.

№	Тип машин	Годы, единица					Приобретение за 5 лет
		2012	2013	2014	2015	2016	
1	Экскаваторы	9	7	10	18	13	57
2	Автогрейдеры	-	4	3	7	11	25
3	Погрузчики	8	7	12	15	17	59
4	Самосвалы	11	23	33	48	52	167
5	Катки	5	-	4	7	4	20
Итого		33	41	62	95	97	328

Заметка: Эти данные составлены автором на основе сведений строительных предприятий.

Во многих строительных предприятиях в Таджикистане преобладают машины с существенным износом более 70 %, и поэтому они несут огромные затраты на содержание и эксплуатацию машин. Строительным организациям республики обязательно выяснить научно приемлемые периоды списания НТТМ.

Исходя из вышеизложенного, рассматриваемый парк НТТМ нуждается в полномасштабном обновлении по причине существенного износа.

#### Выводы:

Анализ парка НТТМ в республике показал удовлетворительное состояние на предприятиях. За последние 20-25 лет парк машин сократился в несколько раз. Выполненные анализы показали, что в парке 68% машин имеет истекающий жизненный цикл более 12 лет и еще 12% парка имеет возраст от 10 до 12 лет, помимо этого, 8% машин имеет возраст от 8 до 10 лет.

Таким образом, парки НТТМ в республике составляют меньше половины из технологически потребного количества, все парки имеют морально устаревшие модели. Существенный дефицит машин, некачественное техническое состояние и низкое качество парка НТТМ целиком определили исключительно низкое условие действующей технической и технологической степени производства.

Обновление парков включено в пятилетние инвестиционные проекты с 2016 по 2020 годы.

#### Литература:

1. Бобобеков О. К. Факторы, влияющие на производительность дорожно-строительных и коммунальных машин. // Вестник гражданских инженеров: научно-технический журн. – 2015. - №6(53). 180-184 с.

2. Бобобеков О. К. Влияние природно-климатических особенностей горных регионов Таджикистана на работу водителей. 2015. - №5(52). 206-210 р.

3. Вегер, Л. Л. Обновление машинных парков: проблема эффективности. /Вегер Л.Л.— М.: Наука,1990. 120 с.

4. Евтюков, С.А., Бобобеков О. К., Хасанов Н. М. Основные принципы управления дорожно-строительных и коммунальных машин (ДСиКМ). Вестник Таджикского национального университета. №1/1(192),2016.–167 с.

5. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. /Е.С. Кузнецов.–2-е изд., перераб. и доп.– М.:Транспорт,1990.–272с.

6. Ховалыг Н-Д. К. «Парк машин как объект изучения и воздействия». Докл. 63-й научной конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов ун-та. – СПб: СПбГАСУ, 2006.– Ч. II. –С. 195-199.

#### ТАҲЛИЛИ СОҲТОРИ СИНУСОЛИИ ПАРКИ МОШИНҲОИ НАКЛИЁТ-ТЕХНОЛОГИИ РҶИЗАМИНӢ ВА НАВ КАРДАНИ ОНҲО

*О.К. Бобобеков, Н. М. Хасанов*

Дар мақола самтҳои рушди намунаи муҳлати кори мошинҳои рӯйзаминии нақлиёт-технологӣ (МРНТ), аз он ҷумла нақлиёти зудҳаракат оварда шудааст. Таъмин намудани коршоямии МРНТ дар ҷумҳурӣ бо вақти зиёди бекористии мошинҳо, хароҷоти меҳнатӣ ва моддӣ алоқаманд аст. Раванди коршоямии парки ҳама намуди МРНТ ба шакли муайян дароварда мешавад, аммо ба намудҳои асосии техникӣ – ташхис, хизмати техникӣ таъмир ва дар усули ташкили корӣ таъсир мекунад.

**Калимаҳои калидӣ:** таҳлил, коршоямӣ, сохт, нав кардан, парки мошинҳои МРНТ.

## ANALYSIS OF AGE STRUCTURE OF PARK LAND TRANSPORT- TECHNOLOGICAL MACHINES AND UPGRADE THEM

**O. K. Bobobekov, N. M. Khasanov**

**Abstract** - The article presents the direction of development of exemplary life cycle of above-ground transport and technological machines (AGTTM), including mobile transport. Ensuring the efficiency of AGTTM in the Republic is associated with significant downtime, labor and material costs. Processes of operability of AGTTM parks at the enterprise of all kinds form the same basic types of technical

influences: diagnostics, repair and in methods of the organization of works.

**Keywords:** analysis, performance, structure, updates, fleet.

### Сведения об авторах:

Бобобеков О.К.- к.н.т., старший преподаватель кафедры «Детали машин и строительного-дорожные машины» Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими.  
Email: orifjon-1986@mail.ru

Хасанов Н.М. – к.т.н., доцент кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА, ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

**О.А. Чооду<sup>1</sup>, О. К. Бобобеков<sup>2</sup>, И.А. Сайдаминов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Тувинский государственный университет, г. Кызыл

<sup>2,3</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

*Приведены результаты исследования практики и мировой технической литературы по оптимизации параметров производственных процессов с учётом специфических особенностей производства, начиная с природно-климатических факторов и т.д., показывает неэффективность существующих систем технической эксплуатации. Назрела актуальная необходимость совершенствования систем технической эксплуатации, которая вызвана прогрессом в науке и технике. Для решения проблемы предлагается новая система непрерывного автоматизированного контроля за техническим состоянием горно-строительных, технологических машин и оборудования. Данная система позволяет повысить уровень надёжности и безопасности эксплуатации техники. В свою очередь, мониторинговая система ремонта отражается на технико-экономических параметрах специализированных и горных машин. Суть системы заключается во внедрении контрольно-диагностических средств непрерывного контроля в узлы и агрегаты техники. Повышение надёжности и безопасности, что отражается в технико-экономических показателях как главный критерий выбора методики технической эксплуатации.*

**Ключевые слова:** транспортно-технологические машины, горные машины,

*ремонт, техническая эксплуатация, система ремонта, контрольно-диагностические средства, мониторинг, датчики.*

*Описание фундаментальной научной задачи, на решение которой направлено исследование:* Решение проблем надёжности технической эксплуатации транспортно-технологических и горных машин.

*Актуальность исследования:* сегодня развитие инженерных решений достигла новых высот. Применение возможностей инженерных технологий позволяют по-новому взглянуть на решение проблем технической эксплуатации техники. Одним из важнейших достижений можно считать автоматизацию процессов контроля – это создание новых типов схем, датчиков и программных комплексов. Технологии, которые в прошлом веке применяли только на секретных разработках сегодня можно использовать в широком спектре – это автомобилестроение, эксплуатация сложных систем, поддержание работоспособности сложных систем.

*Анализ современного состояния исследований.* Поддержание жизненного цикла любой техники требует значительных финансовых, ресурсных и трудовых затрат. Это связано со сложностью техники, которую сегодня применяют во всех направлениях жизнедеятельности людей. Требования к качеству надёжности, эргономике и работоспособности сегодня поставлены на

первое место для любых технических устройств. Что, в свою очередь, усложняют конструкцию таких устройств и, соответственно, их техническую эксплуатацию.

При оптимизации параметров производственных процессов необходимо учитывать специфические особенности производства, начиная с природно-климатических факторов до учета профессиональных и личностных качеств рабочих. Современный опыт эксплуатации горно-строительных и технологических машин в различных условиях показывает, что существуют различные подходы и методы, направленные на совершенствование системы планово-предупредительного ремонта техники [1-14].

В настоящее время, в строительно-дорожных и горнодобывающих предприятиях основной системой ремонта является планово-предупредительный ремонт (ППР). ППР специализированных и горных машин трудоемкий и сложный процесс. Использование системы ППР не позволяет эффективно производить ремонтные воздействия, но современные технологии дают возможность по-новому взглянуть на проблему ремонта.

К основным проблемам ППР относятся:

- сложность планирования технических воздействий;
- устаревшая система организации технического обслуживания и ремонта;
- трудоемкость расчета;
- сложность корректировки запланированных работ.

Методы совершенствования эксплуатации техники исследовались многими учеными. Так, вопросы эффективности машин рассматривали С.И. Абрамов, В.И. Баловнев, О.А. Бардыпев, С.А. Волков, М.И. Грифф, С.А. Евтюков, Е.И. Зайцев, В.А. Зорин, С.Е. Канторер, А.П. Ковалев, Р.Н. Колегаев Ю.Г. Котиков, В.С. Лукинский, А.Н. Максименко, С.Н. Николаев, И.В. Петров, А.К. Рейш, В.Н. Тимофеев и другие ученые. В работах показана связь эффективности с вопросами надежности, рационального подбора техники, обслуживания и ремонта.

Решению задач обеспечения общего уровня надежности посвящены работы отечественных ученых: Д.П. Волкова, Б.В. Гнеденко, А.С. Проникова, Б.Ф. Хазова, В.В. Шульца, В.И. Эдельмана; зарубежных ученых Ф. Байхельта, Р. Барлоу, Ф. Прошана, Ф. Франкена. С надежностью связаны процессы старения машин и методы определения оптимального возраста машин.

Данным вопросам специально посвящены работы Л.Л. Вегера, С.Е. Канторера, Р.Н. Колегаева, Р.М. Петухова, А.И. Селиванова, А.М. Трынова, М.В. Фроловой и других.

Эксплуатация парка машин в современных условиях нашла отражение в работах В.И. Баловнева, И.И. Воронкина, Б.Д. Кононыхина, Е.А. Кудашова, С.Е. Максимова, И.А. Недорезова, С.Н. Николаева, Е.П. Панкратова, М.Д. Полосина, А.В. Рубайлова, Н.Д. Тимофеева и других ученых. Современные тенденции совершенствования эксплуатации техники направлены на повышение качества производственных процессов, возрастание роли предприятий-изготовителей в формировании системы эксплуатации, применение новых форм организации жизненного цикла (ЖЦ) машин [1-6].

#### *Современное состояние*

Современные системы технической эксплуатации устарели, проведение технических воздействий по восстановлению и повышению надежности требуют больших трудовых, энергетических и финансовых затрат [1-14].

Новизна исследования заключается во внедрении мониторинговой системы ремонта техники.

#### *Ключевые моменты:*

1. Внедрение контрольно-диагностических средств в узлы и агрегаты техники;
2. Внедрение методики непрерывного контроля;
3. Онлайн взаимодействие с техническими службами;
4. Создание базы данных эксплуатации техники.

Для решения вышеперечисленных проблем предлагается вместо системы «Планово-предупредительный ремонт» использовать систему непрерывного контроля за работоспособностью узлов и агрегатов, а именно «Мониторинговая система ремонта». Данная система основана на внедрении инновационных технологий – постоянный контроль агрегатов и узлов с помощью датчиков температуры, вибрации и т.п., т.е. контрольно-диагностических средств.

*Пути решения, как пример:* Для проведения исследования выберем технику горного предприятия, работающего на открытой добыче угля.

Исходные данные (параметры) предприятия среднестатистические для нашей страны. Основные параметры

вскрыши средней трудоемкости два уступа: Первый уступ работает шагающий экскаватор ЭШ 10/70, второй уступ буровзрывные работы и ЭКГ 8И.

Представим пример, когда у нас техническое обслуживание производится по старой системе «Планово-предупредительного ремонта» и по новой

системе «Мониторинговая система ремонта». Рассмотрим простои и возможные пути решения проблем, которые присущи в существующей системе «ППР».

*Использование системы ППР.* Перечень категорий и видов простоев горнотранспортного оборудования по основным технологическим процессам, приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Перечень категорий и видов простоев.

Тип техники	Категория простоя	Тип простоя	
Вскрышные экскаваторы	Ненормируемые	Отказы оборудования	
		Отсутствие МРТ	
		Взрывные работы	
		Шагание	
		Планировка забоя бульдозером	
		Планировка трассы шагания	
		Подготовка забоя -оконтуривание	
		Подготовка забоя ковшом	
	Нормируемые	прочее	
		Годовой ремонт	
		Перегон	
		Пересменок, сменное ТО	
			Замена расходных материалов
			ППР
		Отсутствие автотранспорта	
		Отсутствие энергии	
		Климатические	
Карьерные автосамосвалы	Ненормируемые	Отказы гидросистемы	
		Отказы двигателя	
		Отказы несущей системы	
		Ремонт шины	
		Сварочные работы	
		Отказ трансмиссии	
		Отказ электрооборудования	
		Прочие	
	нормируемые	Очистка кузова	
		Время на личные нужды	
		Заправка	
		Обед	
	Технологические	Пересменок, сменное ТО	
		Погрузка	
	Организационные	Разгрузка	
		Климатические	
		В ожидании погрузки	
		В ожидании разгрузки	
		Взрывные работы	
		Отсутствие ГСМ	
		Отсутствие шин	
		Отсутствие запасных частей	
Отсутствие бригады			
Отсутствие дорог			
Отсутствие фронта работ			
Перегон экскаватора			
Прочие организационные причины			
		Ремонт экскаватора	

Нерегламентированные простои (см. диаграммы Парето, рис. 1) горного оборудования и выполнение большого

объема второстепенных работ являются одним из самых рас-пространенных видов потерь производительности горного

предприятия. Причинами простоев и других видов потерь является большое количество различных ситуаций, возникающих в процессе функционирования предприятия.

Сложность учета этих факторов при планировании расчетов объема горных работ

связана с не системностью их возникновения. Это нередко приводит к невыполнению плановых объемов работ, а, следовательно, к увеличению себестоимости продукции и уменьшению прибыли предприятия.

Таблица 2.

Типы простоев ЭШ 10/70 и ЭКГ-5А №706.

Экскаватор	Категория	Тип простоя	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	
ЭШ 10/70	Ненормируемые	Отказы оборудования	71,97	35,29	57,6	
	Ненормируемые	Шагание	9,41	6,49	7,44	
	Ненормируемые	Подготовка забоя ковшом	14,78	11,17	6,01	
	Ненормируемые	Подготовка забоя – оконтуривание		0,94		
	Ненормируемые	Прочие	1,88	29,3	0,95	
	Ненормируемые	Взрывные работы	3,78	17,17	5,99	
	Ненормируемые	Планировка забоя бульдозером	4,51	0,93	3,4	
	Нормируемые	ППР	95,91	23,6	59,79	
	Нормируемые	Пересменок, сменное ТО	22,48	35,16	26,72	
	Нормируемые	Перегон	2,38	5,21	4,33	
	Нормируемые	Обед	11,55	10,6	11,82	
	Нормируемые	Личные надобности	1,02	1,77	0,36	
	Нормируемые	Замена расходных материалов	39,2	17,26	14,64	
			Отсутствие энергии	4,03	7,07	7,15
		Режимный простой	72		24	
ЭКГ-5А №706	Ненормируемые	Подготовка забоя ковшом	5,03	2,96	0,62	
	Ненормируемые	Прочие	1,53	10,57		
	Ненормируемые	Взрывные работы	0,87	6,37	0,45	
	Ненормируемые	Планировка забоя бульдозером	5,5	12,45	4,49	
	Ненормируемые	Отказы оборудования	182,43	76,85	51,32	
	Нормируемые	Обед	32,39	43,5	27,76	
	Нормируемые	Пересменок, сменное ТО	24,81	35,11	32,12	
	Нормируемые	Перегон	6,77	9,57	5,97	
	Нормируемые	Замена расходных материалов	26,04	24,84	28,1	
	Нормируемые	Личные надобности	0,4	0,22	0,13	
	Нормируемые	ППР	11,92		12	
			Не классифицирован		0,04	0,05
			Климатические		17,62	0,46
			отс.а транспорта	156,77	126,11	255,26
			Отсутствие энергии	12,26	24,64	26,47
			Режимный простой	16,67	0,13	24

Анализ графиков данных показывает, что наибольшее время простоя связано с ППР техники. На втором месте внезапные отказы оборудования и на третьем месте пересменок, сменное ТО.

**Использование «Мониторинговой системы ремонта»** После установки (см. рис. 2) датчиков (см. рис. 4) в узлы и агрегаты горной техники датчики работают преимущественно в режиме наблюдения (монито-

ринга) за техническим состоянием горно-транспортного оборудования и событиями, происходящими на борту этого горнотранспортного оборудования. Неотъемлемой частью эксплуатации датчиков является анализ информации (см. рис. 3), получаемой от системы, и применение результатов этого анализа для оптимизации деятельности предприятия.

Принципиальная схема ЭШ 10/70

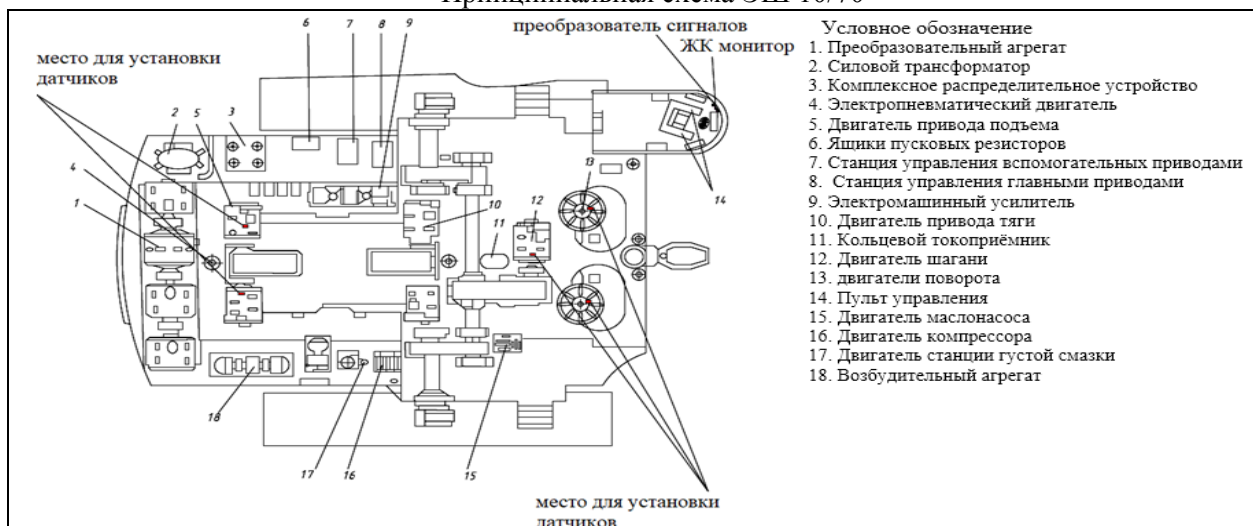


Рис. 2 Схема установки датчиков контроля для ЭШ 10/70.

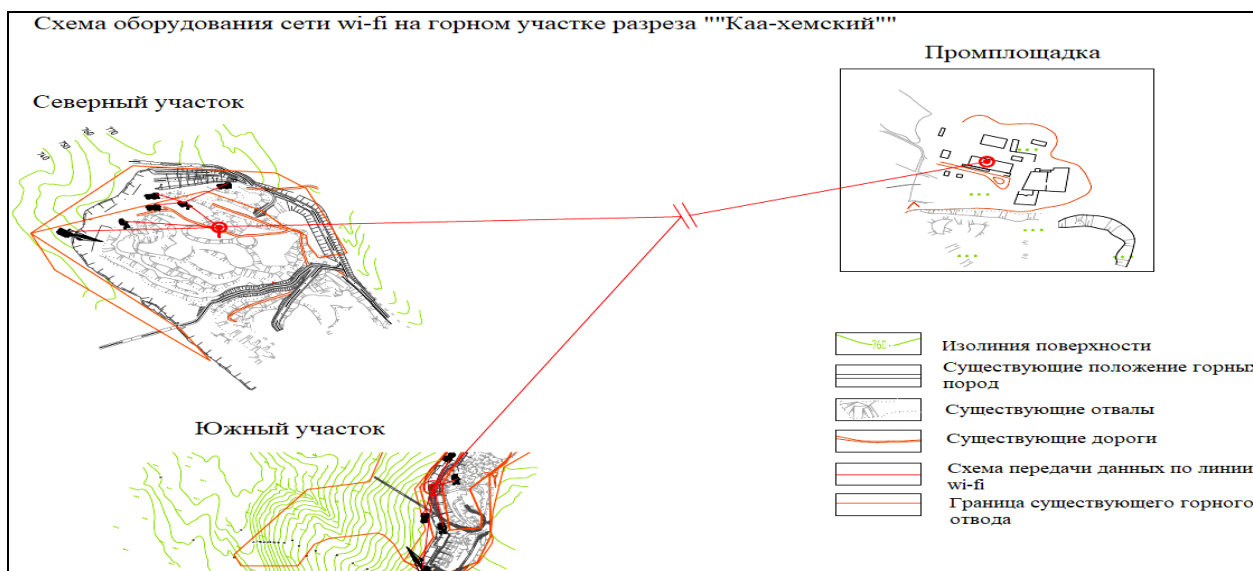


Рис.3. Схема охвата беспроводными технологиями в карьере.

Цифровой термодатчик ZET 7021		Датчик вибрации ДВЦ 301	Анализатор спектра А 19-U2	
Техническая характеристика		Техническая характеристика	Техническая характеристика	
Погрешность измерения, абсолютная	± 0,1°C	Вибрация в диапазоне 10-1000 Гц	Количества аналоговых входов	2
Погрешность измерения, приведенная	0,05%	Виброускорение в диапазоне частот 0..98 м/с <sup>2</sup> или 0..19,6 м/с <sup>2</sup>	Количества разрядов АЦК	24
Диапазон измерения сигналов	0,2-450 Ом	Виброперемещения в диапазоне 0..2,0 мм	Частоты диапазоны одновременно анализируемых сигналов	10-100-1000-10000-1000000-2000000 Гц
Сопротивления	1 Гц	Погрешность ±10%	Частота преобразования по каждому каналу	до 250 кГц
Частота обновления данных	4800, 14400, 115200	Средняя наработка до отказа – не менее 10000 ч.	Входное сопротивление	100 кОм
Скорость объема	Modbus RTU	Средний полный срок службы – не менее 10 лет.	Диапазон частот генерируемого синусоидального сигнала	1
Протокол объема	71x39x17 мм	Предельная длина линий связи между датчиком и контроллером не более 700 м.	Выходное сопротивление	0,03...200000 Гц
Габаритные размеры	35 г	Потребляемая электрический ток – не более 15 В	Цифровой вход/выход	Гц
Масса	от 9 до 24 В	Габаритные размеры 20x40x50	Неидентичность каналов в полосе пропускания	50 Ом
Питание устройства	0,5 В	Масса - 0,6 кг	Габаритные размеры, Вес	8 бит
Потребляемая мощность	от -50 до +125 °C		Потребляемая мощность	0,1%
Температурный диапазон			Скорость обмена	180x115x35 мм, 1 кг
			Время записи на флэш-накопитель по всем каналам при максимальной частоте	не более 500 ВА
				480 Мбит/сек
				11 часов





Рис. 4 Типы датчиков контроля.

На рис.5 показана предлагаемая упрощенная схема мониторинговой системы ремонта, которая состоит из двух циклов, требующих ремонтные и прогнозные воздействия.

В результате определения оценки прогнозируемого состояния выявляется ресурс до отказа узла или агрегата, что дает возможность определения времени

безопасной эксплуатации техники до проведения ремонтных работ. Прогнозный цикл непрерывный и контролируемый. Анализ графиков данных показывает, что наибольшее время простоя связано с ППР техники. На втором месте внезапные отказы оборудования и на третьем месте пересменок, сменное ТО.

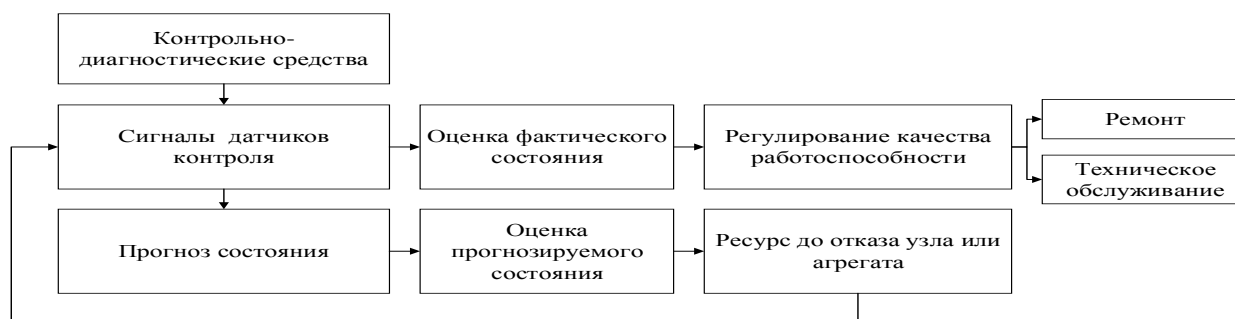


Рис. 5. Схема организации работы мониторинговой системы.

Эффективность новой системы в разных вариациях доказана в авиастроении, военной технике, а также в системах, где требуется очень высокая надежность.

### Выводы

Мониторинговая система ремонта дает преимущество во всех направлениях технической эксплуатации (учет особенностей карьера их физических свойств [3]), это соблюдение регламента ремонтных воздействий, прогнозирование ресурса [1-14], предотвращение аварийных состояний, эффективное управление запасными частями, также немаловажный фактор экологии [10] и многое другое. Самое главное, это эффективность работы предприятия, отраженная в денежном эквиваленте.

Благодарности

Результаты исследования получены в рамках исследований повышения качества технической эксплуатации горной техники в ООО «Тувинская горнорудная компания».

Начальнику смены – Ховалыг А.А.

Заместителю генерального директора – Монгуш А.А.

### Литература:

1. Дрыгин М. Ю., Курышкин Н. П. Диагностика состояния тяжёлой горной техники при планово-предупредительных ремонтах // Динамика систем, механизмов и машин. –2017. №2 Т.5. С. 115-122.
2. Епифанцев Ю. А. Особенности перехода от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по техническому состоянию // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2011. № 27. С. 213-217.
3. Мандровский, К. П. Системы мониторинга дорожно-строительных, транспортных машин и дорожных покрытий // The Materials of International Scientific-Technical Conference "Interstroimech: сб. науч. ст. – КГАСУ, 2015. С. 310-315.

4. Монгуш, С. Ч. Сравнительный анализ методов определения оптимальных сроков службы машин. Монгуш С.Ч., Ховалыг Н.Д.К.О. Вестник Туvinского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки. 2014. № 3 (22). С. 84-91.

5. Монгуш, Э. С. Влияние климатических факторов на эксплуатационные показатели дорожно-строительных машин. Монгуш Э.С., Чооду О.А. Вестник Туvinского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки. 2013. № 3 (18). С. 107-116.

6. Озорнин С. Ф., Бердиков И. Е. Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации // Вестник ЗабГУ. 2014. № 08 (111). С. 64-69.

7. Сизиков С. А., Евтюков С. А., Скрипилов А. П. Оптимизация комплексно-механизированных работ в строительстве. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. 159 с.

8. Чооду О. А. Обеспеченность дорожно-эксплуатационных предприятий дорожно-строительной техникой, состояние и влияние на экологию. Чооду О.А., Майны Ш.Б. В сборнике: Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 20-летию юбилею Туvinского государственного университета, Году народных традиций в Республике Тыва. Туvinский государственный университет. 2015. С. 264-266.

9. Чооду О. А. Проблемы эксплуатации дорожных и строительных машин // Научно-технические ведомости – 2008. – № 70. С. 67-73.

10. Чооду О. А. Разработка методики оценки влияния климатических условий на эксплуатацию дорожно-строительных машин (на примере территории Республики Тыва): Автореферат. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2009. 20 с.

11. Чооду О. А. Эксплуатация горных транспортно-технологических машин на месторождениях полезных ископаемых на территории РТ // Вестник ТувГУ 2014. № 3(22). С. 92–102.

12. Чооду О. А., Монгуш С. Ч., Евтюков С. А. Анализ условий технической эксплуатации строительно-дорожной и

горной техники при открытой разработке Одегелдейского участка Актальского месторождения каменного угля // Вестник гражданских инженеров 2018. Вып. 1 (66). С. 154-163.

**ВАЗЪИ МУОСИРИ ТАЪМИРИ  
НАҚШАВӢ, ИМКОНЯТИ  
МИНБАЪДАИ РУШДИ  
ХИЗМАТРАСОНИИ ТЕХНИКИИ  
МОШИНӢОИ НАҚЛИЁТИЮ  
ТЕХНОЛОГӢ**

**О.А. Чооду, О.К. Бобобеков,  
И.А. Сайдаминов**

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти таҷрибавӣ ва адабиёти техникии муосир оид ба муътадилгардонии андозаҳои раванди истеҳсолӣ бо назардошти хусусияти истеҳсолот нишон медиҳад, ки системаи истифодабарии техникии мавҷудбуда каммаҳсуланд. Имрӯз зарурати такмилдиҳии системаи истифодабарии техники ба миён омадааст. Барои ҳалли ин масъала системаи бефосилаи назорати автоматӣ оид ба ҳолати техникии мошин ва таҷҳизоти кӯҳкорӣ сохтмонӣ ва технологӣ пешкаш карда мешавад. Системаи мазкур сатҳи эътимотнокӣ ва беҳатарии истифодабарии техниро метавонад баланд намояд. Дар навбати худ системаи мониторингии таъмир ба нишондиҳандаҳои технику иқтисодии мошинҳои кӯҳкорӣ ва маҳсусгарданидашуда инъикос менамояд. Мақсади система дар қорӣ намудани воситаҳои ташхиси назорати бефосила дар ҷузъҳо ва қисмҳои мошинҳо мебошад. Баланд намудани эътимоднокӣ ва беҳатарӣ дар нишондиҳандаҳои технику иқтисодӣ ҳамчун критерияи асосии интиҳоби методикаи истифодабарии техники инъикос гардааст.

**Калимаҳои калидӣ:** мошинҳои нақлиётӣ-технологӣ, мошинҳои кӯҳӣ, таъмир, истифодабарии техники, системаи таъмир, воситаи назоратӣ-диагностикӣ, мониторинг.

**THE CURRENT STATE OF PREVENTIVE  
MAINTENANCE, POSSIBLE WAYS OF  
DEVELOPMENT OF MAINTENANCE OF  
TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL  
MACHINES**

**O.A. Choodu, O.K. Bobobekov,  
I.A. Saidaminov**

Results of research of practice and the world technical literature on optimization of parameters of production processes taking into account specific features of production, since natural and climatic factors, etc. are resulted,

shows inefficiency of existing systems of technical operation. There is an urgent need to improve the systems of technical operation, which is caused by progress in science and technology. To solve the problem, a new system of continuous automated control over the technical condition of mining and construction, technological machines and equipment is proposed. This system allows to increase the level of reliability and safety of equipment operation. In turn, the monitoring system of repair is reflected in the technical and economic parameters of specialized and mining machines. The essence of the system is the introduction of control and diagnostic means of continuous control in the units and units of equipment. Increase of reliability and safety that is reflected in technical and economic indicators as the main criterion of a choice of a technique of technical operation.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*С.Ч. Монгуш<sup>1</sup>, О.А. Чооду<sup>2</sup>, С.А. Евтюков<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup>*Тувинский государственный университет, Республика Тыва, г. Кызыл*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Санкт-Петербург.*

*В данной статье описано влияние климатических факторов на эксплуатационные показатели наземных транспортно-технологических машин. Среди факторов воздействия на машины рассмотрены температура воздуха, его влажность и запыленность, суточные колебания температуры, солнечная радиация, высота над уровнем моря, скорость ветра, сезонные колебания условий эксплуатации машин.*

**Ключевые слова:** *моделирование, воздействие, климатический фактор, локальный рельеф, производительность, транспортно-технологическая машина.*

К общим природно-климатическим факторам относятся температура воздуха и его влажность, атмосферное давление, солнечная радиация, туман, скорость ветра и т.п. Действие этих факторов приводит к определенным видам отказов машин вследствие увеличения нагрузок, изменения свойств материалов или условий трения в парах и т.д.

Температура воздуха является основным климатическим фактором, который влияет на техническое состояние наземных транспортно-технологических машин

**Keywords:** transport and technological machines, mining machines, repair, technical operation, repair system, control and diagnostic tools, monitoring, sensors.

#### Сведения об авторах:

Чооду Остап Андреевич – к.т.н., доцент, Тувинский государственный университет, Кызыл, E-mail: ostap1981@mail.ru

Бобобеков Орифджон Кобилович - к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Детали машин и строительного-дорожные машины» ТГУ им. М. С. Осими. Email: orifjon-1986@mail.ru

Сайдаминов Исохон Абдулфайзович - д.т.н., доцент каф. «Детали машин и строительного-дорожные машины» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Email: saydaminov@mail.ru

(НТТМ). По Республике Тыва (РТ) она колеблется от минус 600С до плюс 490С. Наименьшее количество отказов элементов НТТМ приходится при температуре окружающего воздуха в интервале от минус 500С до плюс 150С [1].

Для низких температур наиболее характерны отказы ковшей экскаваторов, стрел, отвалов бульдозеров, звеньев гусениц, осей и полуосей, валов, зубчатых колес машин. Основная причина увеличения числа отказов машин при низких температурах заключается в том, что металлы переходят из вязкого состояния в хрупкое. При этом снижается сопротивляемость материалов к трещинообразованию и увеличивается чувствительность деталей к концентрации напряжений.

Являясь базовым показателем, производительность НТТМ позволяет формировать другие показатели. Соотношения для определения производительности связывают технико-экономические параметры машины с параметрами, определяющими условия ее эксплуатации. Применительно к НТТМ эксплуатационная производительность включает в себя информацию о

функциональном назначении и полезности машины, а также информацию, которая позволяет оценить уровень организации работ, квалификацию, физическое и психологическое состояние оператора машины.

Вероятность безотказной работы НТТМ при действии факторов «климат и рельеф» (КР) в течение времени  $\tau$  определяется с использованием следующей зависимости:

$$P_{\text{К.Р.}} = \chi_{\text{рел.}} \cdot \prod_{i=1}^m [1 - q_i(\tau)],$$

где  $q_i(\tau)$  – вероятность отказа машины при действии  $i$ -го климатического фактора. То есть:

$$P_{\text{К.Р.}}(\tau) = [1 - q_Q(\tau)][1 - q_T(\tau)][1 - q_\sigma(\tau)] \\ [1 - q_\nu(\tau)][1 - q_\phi(\tau)][1 - q_\tau(\tau)]\chi_{\text{рел.}}$$

где  $Q$  – суммарный уровень солнечной радиации;

$T$  – температура окружающего воздуха;

$\sigma$  – среднее значение амплитуды колебаний температуры воздуха в течение суток;

$\nu$  – среднее значение скорости ветра;

$\phi$  – уровень относительной влажности воздуха;

$n$  – атмосферные явления, которые влияют на показатель надежности машин;

$\tau$  – продолжительность действия положительных и отрицательных температур воздуха за год;

$\chi_{\text{рел.}}$  – коэффициент, который учитывает рельеф местности.

При резервировании машины вероятность безотказной работы определяется из соотношения:

$$P_{\text{К.Р.}}(\tau) = 1 - [1 - q_Q(\tau)][1 - q_T(\tau)] \\ [1 - q_\sigma(\tau)][1 - q_\nu(\tau)][1 - q_\tau(\tau)]\chi_{\text{рел.}}$$

В настоящее время основанием для климатического районирования РФ является ГОСТ 16350-80 [3]. Согласно этому стандарту территория Республики Тыва относится к П4 умеренно холодной зоне. Однако данные статистического анализа влияния КР местности республики на эксплуатацию технических изделий показывают, что климатические факторы и рельеф территории РТ негативно воздействуют в значительно большей степени, чем условия П4 климатического района. В качестве объекта статистического исследования был взят парк бульдозеров и экскаваторов ОАО ДЭП – 365 (г. Кызыл). Определялась эксплуатационная производительность этих машин с вычислением математического ожидания, дисперсии, среднеквадратического отклонения. Использо-

вание этих фактических данных повышает достоверность результатов, определяемых посредством разработанной математической модели.

Расчёты по математической модели проводились с использованием прикладных программ MS EXCEL и Mathcad 14 [1].

Модель, описывающая влияние КР факторов на производительность НТТМ, приведена на рисунке 1.

Модель состоит из 7 укрупненных блоков. Работа имитационной модели построена следующим образом.

В блоке 1 формируются исходные данные и определяются особые состояния. В качестве исходных данных в модели используются следующие основные параметры:

$Q$  – суммарный уровень солнечной радиации;

$T$  – температура окружающего воздуха;

$\sigma$  – среднее значение амплитуды колебаний температуры воздуха в течение суток;

$\nu$  – среднее значение скорости ветра;

$\phi$  – уровень относительной влажности воздуха;

$n_{\text{а.я.}}$  – атмосферные явления, влияющие на надежность машин;

$\tau_{\text{х.я.}}$  – длительность воздействия положительных и отрицательных температур воздуха за год;

$M_{\text{НТТМ}}$  – модель (тип) НТТМ.

Подготовленные исходные данные по климатическим условиям и типу НТТМ передаются из блока 1 в блок 2. В блоке 2 определяется момент очередного состояния «климат – рельеф». Затем в блоке 3 выбирается один или несколько вариантов комбинации «НТТМ – КР». В блоке 3 арабскими цифрами обозначены климатические районы РТ, а буквенным обозначениям соответствуют горные районы (г); равнинные районы (р) и водная поверхность (в).

В блоке 4 конкретизируется время года, когда планируется эксплуатация НТТМ. Причем можно рассматривать одну или несколько ситуаций одновременно. В этом блоке через «К1 ÷ К4» обозначены кварталы года, а буквы «я – д» соответствуют начальным буквам месяцев года.

В блоке 5 определяется жесткость воздействия КР факторов в данных условиях работы НТТМ. В блоке 6 рассчитываются параметры  $P(\square)$  и  $K_{\text{в}}$  НТТМ за исследуемый промежуток времени. На завершающем этапе управление передается блоку 7, где высчитывается производительность НТТМ [2].

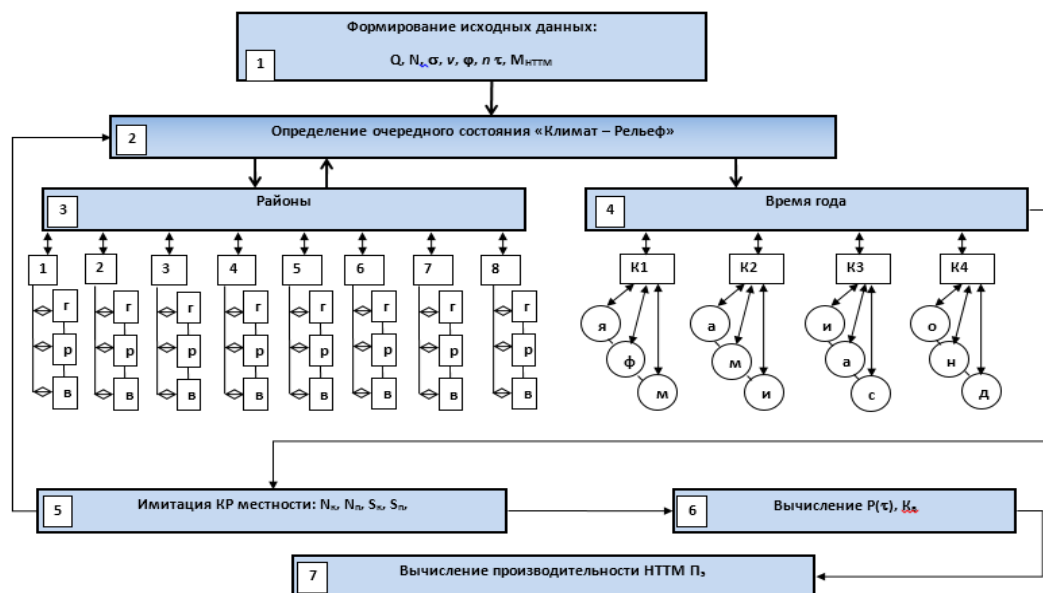


Рис. 1. Модель, описывающая влияние факторов «Климат – Рельеф» на производительность НТТМ.

### Выводы:

1. Предложено в соотношение для расчета интенсивности влияния факторов «климат и рельеф» ввести поправочный коэффициент на рельеф местности. Путем рангового анализа для холодного климата наиболее существенными были определены отрицательные температуры и их продолжительность, амплитуда суточных колебаний температуры, влажность воздуха, скорость ветра наличие тумана и метели. Для жаркого сухого климата на надежность машин наиболее существенно влияют солнечная радиация, высокие температуры воздуха, большие суточные амплитуды температуры воздуха, низкая влажность воздуха, туман, песчаные и пыльные бури.

2. Эффективность строительных машин на этапе эксплуатации формируется на стадиях создания и обновления парка техники, использования по назначению, обеспечения работоспособности с участием служб коммерческой, производственной и технической эксплуатации. В качестве экономического показателя общей эффективности оборудования может быть использован уровень рентабельности, определяемый доходом и затратами, связанными с эксплуатацией машин. Степень вклада отдельных служб эксплуатации в общую эффективность оценивается своим набором показателей: для коммерческой эксплуатации – это коэффициенты технического использования и использования работоспособных машин; для производственной эксплуатации – коэффициент производительности; для технической эксплуатации – коэффициенты соответствия расчетному

времени пребывания в плановых ремонтах и доли простоя в неплановых ремонтах.

3. Приведено описание структурной схемы модели и порядка расчетов производительности машин, работающих в конкретных условиях «климат – рельеф».

### Литература:

1. Чооду, О.А. Разработка методики оценки влияния климатических условий на эксплуатацию дорожно-строительных машин (на примере Республики Тыва) / Остап Андреевич Чооду // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: – Санкт-Петербург. 2009.– 20 с.

2. Чооду О.А. Развитие систем обслуживания горных и дорожно-строительных машин: монография / О.А. Чооду, С.Ч. Монгуш. – Кызыл: Издательство ТувГУ, 2018. – 152 с.

3. ГОСТ 16350-80. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. – М.: ИПК Издательство стандартов. Введен. 01.07.81. – 114 с.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И РЕЛЬЕФА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МАШИНЫ В УСЛОВИЯХ МАХАЛ БА МАХСУЛНОКНИИ МОШИНОҲОИ НАҚЛИЁТ-ТЕХНОЛОГИИ РҶИЗАМИНИ

С.Ч. Монгуш, О.А. Чооду, С.А. Евтюков

Дар мақолаи мазкур таъсири омилҳои иқлимӣ ба нишондиҳандаҳои истифодабарии мошинҳои нақлиёт-технологии рӯйзаминӣ оварда шудааст. Дар байни омилҳои таъсири ҳарорат, ҳаво, намнокӣ ва ҷанголуҷии он, қалавиши шабонарӯзии ҳарорат, радиатсияи

офтоб, баландӣ аз сатҳи баҳр, суръати шамол, калавиши мавсимии шароити истифодаи мошин дида баромада шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** моделиронӣ, таъсир, омили иқлимӣ, релефи маҳал, маҳсулноқӣ, мошини нақлиётӣ-технологии рӯйизаминӣ.

#### MODELING THE EFFECT OF CLIMATE AND TERRAIN ON THE PERFORMANCE OF LAND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINES

*S.C. Monush, O.A. Choovoo, S.A. Yevtukov*

This article describes the influence of climatic factors on the performance of land transport and technological machines. Among the factors affecting the machine considered air temperature, humidity and dust, daily temperature fluctuations, solar radiation,

altitude, wind speed, seasonal variations in operating conditions of machines are considered.

**Keywords:** modeling, impact, climatic factor, local relief, productivity, vehicle-technological machine.

#### Сведения об авторах:

Монгуш Сылдыс Чамбаевич – к.т.н., доцент каф. «Транспортно-технологические средства» ТувГУ. Тел. +(7) 913-352-70-2  
E-mail: syldys-mongush@yandex.ru

Чооду Остап Андреевич – к.т.н., доцент кафедры «Транспортно-технологические средства» ТувГУ. Тел. +(7) 9233896021  
E-mail: ostap1981@mail.ru

Евтюков Сергей Аркадьевич – д.т.н., профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические машины» СПбГАСУ. Тел. +(7) 911-258-85-55, E-mail: s.a.evt@mail.ru

#### РОЛЬ ОТРАЖЕННОЙ РАДИАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ МИКРО- И БИОКЛИМАТА ЗАСТРОЙКИ ЮЖНЫХ ГОРОДОВ

*А. Гиясов<sup>1</sup>, Ю.Г.Баротов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, (НИУ МГСУ)*

<sup>2</sup>*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

*В данной работе исследованы воздействие солнечной радиации на здания и отраженная радиация от здания на прилегающую территорию путем аналитического расчета и методом натурных наблюдений. Приведены результаты отражённой радиации от вертикальных элементов стен зданий городской застройки и её влияние на показатели микро- биоклимата придомовых территорий. Разработаны рекомендации по эффективному озеленению, снижающие прямую солнечную радиацию на территории застройки и отражённую радиацию от инсолируемых зданий.*

**Ключевые слова:** здания, инсоляция, застройка, человек, тепловой баланс, микроклимат, биоклимат, экран, озеленение.

Создание оптимальных условий проживания человека в городе является одной из важнейших задач современного градостроительства.

Учет воздействия солнечной радиации на здания и прилегающие к ним территории - одна из самых характерных черт современной архитектуры и градостроительства районов с жарким экстремальным климатом.

Суммарная солнечная радиация складывается из прямых солнечных лучей,

рассеянной радиации мельчайшими частицами атмосферы и радиации, отраженной от противостоящих и прилегающих поверхностей городского ландшафта. Такой комплекс воздействия испытывает человек, пребывающий на территории между зданиями, что определяет модель теплового баланса человека в городской застройке (рис 1).

Высокая интенсивность солнечной радиации, а также цвет окраски, текстура и фактура построек формируют характер отраженной радиации инсолируемых поверхностей застройки города. Однако до недавнего времени этому не уделялось должного внимания в большинстве расчетов, связанных с воздействием солнца на застройку [1-5]. В то же время вопросу обратного влияния застройки на окружающую среду человека уделено было внимания значительно меньше. При этом учёт теплового воздействия элементов застройки на биоклиматическое состояние человека имел частичный и неполный характер, несмотря на то, что в формировании модели теплового баланса человека, роль отраженной радиации от энергоактивных поверхностей застройки является значительной. В этой связи при формировании модели теплового баланса

человека в структурах городской застройки следует учитывать отраженную от энергоактивных элементов городской

застройки радиацию, участвующую в регулировании микро- и биоклиматического состояния среды.

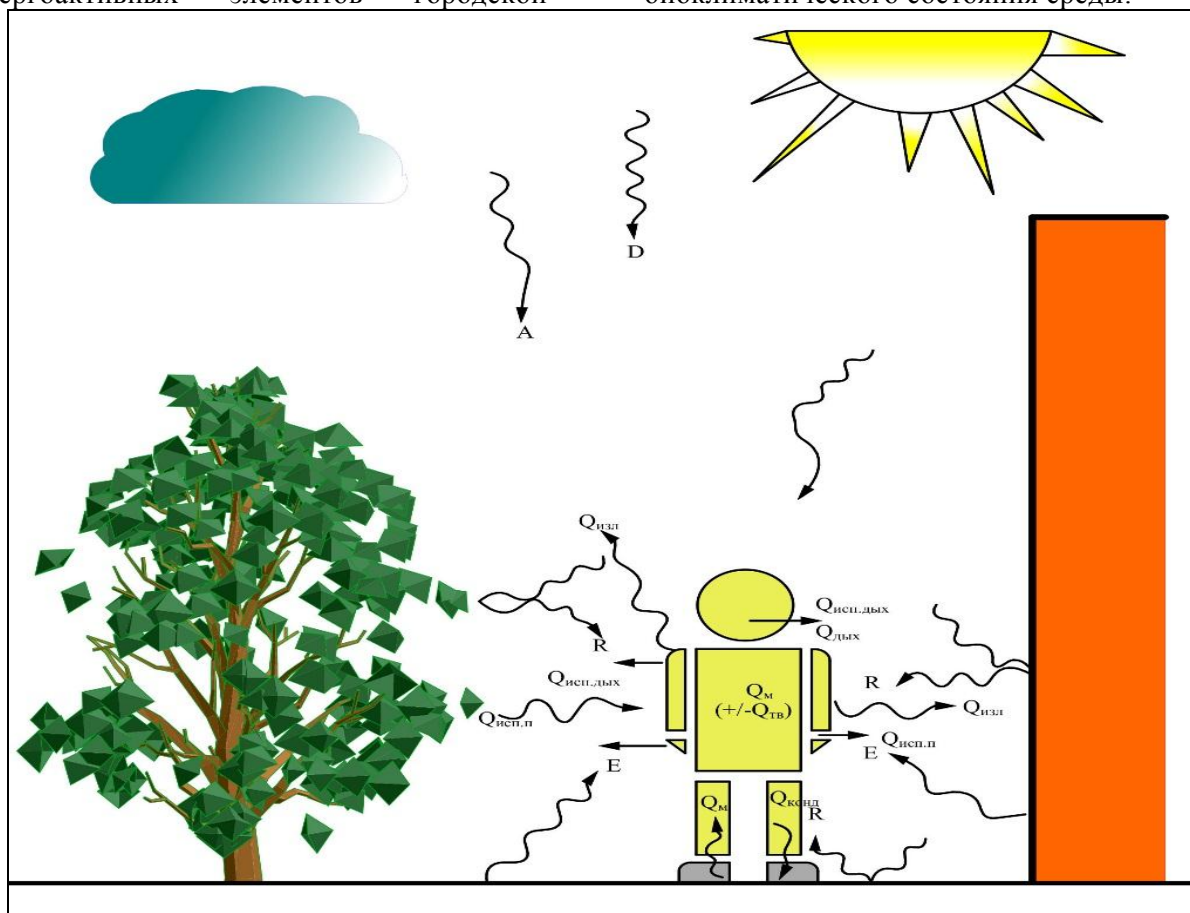


Рис. 1. Модель теплового баланса человека на территории застройки.

$Q_m$  - тепло, продуцируемое человеком;

$Q_{т.в}$  - тепло, поступающее извне от нагретых поверхностей стен и мостовых;

$Q_{изл}$  - теплоотдача излучением;

$Q_{конв}$  - теплоотдача конвекцией;

$Q_{конт}$  - теплоотдача кондукцией;

$Q_{исп.диф}$  - теплоотдача вследствие испарения диффузионной влаги с поверхности кожи;

$Q_{исп.дых}$ ,  $Q_{исп.п}$ ,  $Q_{дых}$  - соответственно, теплоотдача вследствие испарения влаги с верхних дыхательных путей, испарение пота, нагревания вдыхаемого воздуха.

Характер распространения отраженной радиации между зданиями аналогичен закономерностям длинноволнового теплового облучения поверхностей. Использование работ по лучистому теплообмену между телами, а также данных исследований [6] позволило рассчитать влияние отраженной радиации от одного здания на другое. Результаты расчетов были проверены и подтверждены натурными наблюдениями.

Облучение двух зданий за счет отраженной радиации зависит от отражающих свойств их поверхностей и от геометрических характеристик взаимного облучения (размеров объектов и расстояния между ними).

Для двух противостоящих домов одинаковой длины  $l$  и высоты  $h$  лучистый теплообмен за счет отраженной радиации может быть рассчитан по формуле:

$$Q_{рез} = (J_1 \cdot a_1 - J_2 \cdot a_2) \cdot l \cdot h \cdot \varphi_{1,2} \quad (1)$$

где  $Q_{рез}$  - результирующий поток тепла за счет отраженной радиации, ккал/час;  $J_1$  и  $J_2$  - интенсивность суммарного солнечного облучения фасадов противостоящих домов, Вт/м<sup>2</sup>ч;  $\varphi_{1,2}$  - коэффициент взаимной облученности фасадов;  $a_1$  и  $a_2$  - коэффициент отражения солнечной радиации от фасадов.

На рис. 2 приведены расчетные и экспериментальные данные о приходе солнечной радиации к фасаду девятиэтажного дома длиной 60 м северо-

западной ориентации от противостоящего на расстоянии 26 м фасада дома юго-восточной ориентации.

Расхождения между этими данными незначительны, что подтверждает формулу (1).

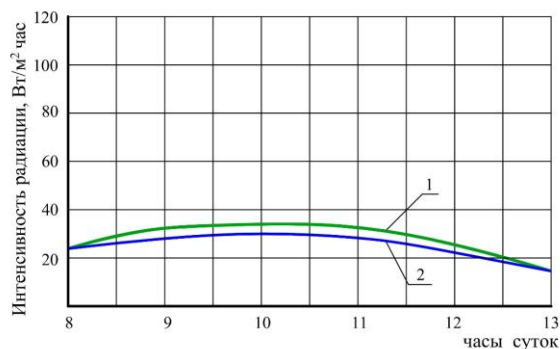


Рис. 2. Данные по приходу отраженной радиации к фасаду жилого дома северо-западной ориентации от противоположного здания. Душанбе, микрорайон №13, 2019 г.

1 - расчетные; 2 – натурные.

Для выяснения вопроса о влиянии отраженной радиации от одного здания на другое в зависимости от расстояния между ними и ориентации были выполнены соответствующие расчеты, результаты которых приведены в таблице 1.

При удалении от отражающей поверхности интенсивность радиации первоначально снижается довольно быстро, а затем уже незначительно.

В расчетах были использованы данные натурных замеров солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности многоэтажных зданий путем актинометрических приборов. Коэффициент отражения солнечной радиации стен зданий при этом равен 0,65, что соответствует светлой окраске зданий, характерной для цветового решения фасадов зданий южных городов.

В таблице приведено выражение радиационных данных через эквивалентную температуру поверхности стены  $t_{эkv}$ , что дает возможность оценить дополнительную тепловую нагрузку на ограждающие конструкции зданий.

$$t_{эkv} = \frac{Q_{рез} (1-a)}{\alpha} \quad (2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоперехода у наружной поверхности стен, равный 15,24 Вт/м²·час, что соответствует среднемесячной величине скорости ветра в Душанбе летом, равной 1,3 м/сек в июле 2019 году.

Данные показывают, что для расстояний между фасадами зданий, имеющих практическое значение (1,5 высоты и более), дополнительное тепловое воздействие за счет отраженной радиации невелико. Например, при расстоянии между домами в 1,5 высоты и наихудшем по инфляционным условиям сочетании ориентаций восток-запад максимальная интенсивность отраженной радиации равна лишь 75,8 Вт/м²·час. Это менее 18% от суммы тепла, получаемого стенами за счет непосредственного облучения солнцем. Следует иметь в виду, что цифры эти характеризуют одномоментное тепловое воздействие внешней среды на ограждение зданий, в остальные часы суток оно еще меньше.

Таким образом, в градостроительной практике при значительных разрывах между зданиями влияние отраженной солнечной радиации может не учитываться, так как изменение показателей микро- и биоклимата не наблюдается.

Более существенным, на наш взгляд, является вопрос воздействия солнечной радиации, отраженной от стен зданий на человека, находящегося от них на сравнительно небольшом расстоянии: пешеходные дорожки, игровые, спортивные и прочие площадки на придомовой территории. В этом случае интенсивность радиации резко увеличивается, ухудшая тепловое состояние человека на этих участках застройки и в целом микро- и биоклиматический режим среды.

Расчеты показали, что отрицательное действие солнечной радиации, отраженной от фасада зданий восточной и западной ориентации, проявляется на расстоянии до 4 м, а для южной — до 5 м.

Для зданий западной ориентации радиус действия отраженной радиации фасада увеличивается еще больше. Так для северо-западного фасада он составляет 6 - 7 м, для юго-западного — 8-9 м, а для западного фасада достигает 10 - 11 м. Температура воздуха в удалении 1 м от инсолируемой стены западной ориентации составляет около 6 °С.

По планировочным требованиям, учитывающим отмостку у здания и полосы озеленения, дорожки (раздельные или совмещенные с проездами) располагаются обычно на расстоянии 4-5 м от домов. На таком расстоянии можно расположить и некоторые другие элементы городской застройки.



Следовательно, для дорожек и площадок вдоль фасадов западных румбов необходимы дополнительные мероприятия по их защите от воздействия отраженной солнечной радиации, а также длинноволнового теплового излучения энергоактивных при инсоляции поверхностей стен и мостовых.

Возможны два принципиально различных приема защиты: ограничение доступа солнечной радиации к отражающим поверхностям и ограничение прихода отраженной радиации к дорожкам или площадкам путем установки специального защитного экрана.

Первый прием может быть осуществлен при помощи дополнительных конструктивных устройств, защищающих стены от прямых солнечных лучей: горизонтальных козырьков и выступов на фасадах, ориентированных на юг, некоторых сочетаний (весьма ограниченных) горизонтальных и вертикальных жалюзи на фасадах, ориентированных на юго-восток и юга-запад. При таких видах защиты основная поверхность фасада будет оставаться в тени, а падающие лучи солнца отразятся и рассеются вне зоны влияния роста на человека.

Второй прием предъявляет особые требования к теплофизическим свойствам солнцезащитных экранов в приземных высотах фасада. Они должны меньше нагреваться и отражать лучи солнечной радиации и одновременно меньше отдавать в окружающее пространство поглощенное тепло. Из имеющихся в природе такими оптическими свойствами обладают преимущественно зеленые насаждения, отражательная способность листвы которых не превышает 30%, а поглощенное листвой кроны тепло расходуется на испарение влаги с их поверхности за счет процесса транспирации [7].

В июле - августе 2019 г. в застройках города Душанбе были проведены натурные метеорологические и теплофизические наблюдения факторов по определению эффективности защиты экранов и зеленых насаждений территории застройки от отраженных солнечных лучей и теплового воздействия стен зданий.

Исследовалось несколько жилых зданий с разной фактурой и текстурой поверхности отделки фасада (А и Б), ориентированные главными фасадами на юго-запад. Перед фасадами домов на расстоянии 6 м размещены пешеходные дорожки. Дорожка у здания А отделена от здания полосой

зеленых насаждений из различных пород. Ширина полосы озеленения - 3,5-4,5 м.

Замеры элементов микроклимата производились на уровне 1,5 м от поверхности земли. Средняя отражательная способность поверхностей фасадов - 38%, а зеленого экрана кустарниками - 29%. Максимальный приход солнечной радиации на здания в 15-16 час и составлял 440 Вт/м<sup>2</sup>час. Наличие зеленого экрана вдвое сократило интенсивность отраженной радиации и значительно улучшило тепловой режим среды, т.е. температура поверхности дорожки у здания А, защищенной экраном, была в среднем на 8°С ниже температуры дорожки у здания Б, покрытого асфальтом (рис. 3). Снижение температуры поверхностей, а также холодные поверхности листьев, в свою очередь, уменьшили температуру воздуха над дорожкой на 1,2°С в среднем.

В этот же период были проведены теоретические исследования и натурные наблюдения с целью выявления эффективности различных приемов озеленения.

Сравнивались следующие экранирующие элементы озеленения: вьющиеся растения, закрывающие фасад дома на треть высоты приземного слоя; сочетание вьющихся растений и древесных насаждений перед зданием на половину высоты; группа деревьев (клен, чинар) - более чем на половину высоты дома.

Таблица 1.

Расстояние между домами, кратное их высоте	Ориентация взаимоблучаемых поверхностей зданий		
	Ю	СЗ	В, З
	Радиация, Вт/м <sup>2</sup>		
1,0	55,7	86,9	98,1
1,5	38,7	60,3	75,8
2,0	26,4	41,0	51,5
2,5	21,7	33,8	42,4
3,0	15,6	21,2	30,3
4,0	9,6	15,0	18,8

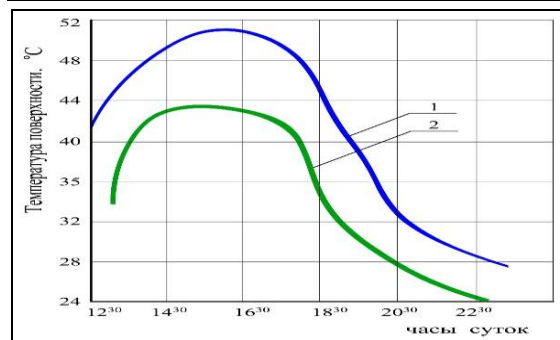


Рис. 3. Температура поверхности дорожки 1 — незащищенной от теплового воздействия стены; 2 — защищенной от теплового воздействия.

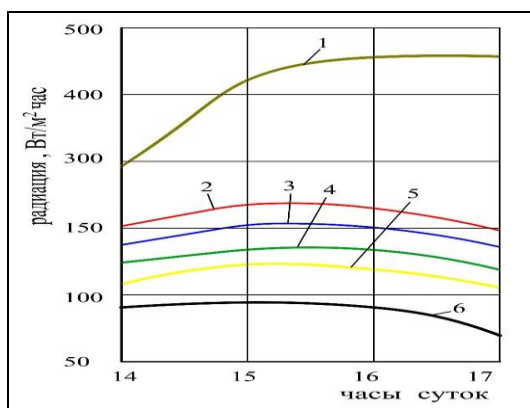


Рис. 4. Отражательная способность экранирующих элементов озеленения и стены: 1 - падающая солнечная радиация; 2 - радиация, отраженная стеной; 3 - радиация, отраженная низкими кустарниками; 4 - радиация, отраженная группой деревьев; 5 - радиация, отраженная экранирующие элементы озеленения на треть высоты приземного поверхности; 6 - радиация, отраженная экраны из вьющихся растений.

Ориентировочные показатели отражения солнечной радиации от исследованных экранирующих элементов озеленения представлены на рис. 4. Степень эффективности защиты ассортимента насаждений зависит от густоты листвы и ее геометрических размеров. При полноте насаждений 0,8 эффект в снижении интенсивности солнечной радиации до 95%, температуры поверхности мостовых достигает до 16-20°C, температуры воздуха в подкронном пространстве до 1,2 -1,5°C.

Наилучшими защитными свойствами обладают экраны из вьющихся растений, в связи с тем, что мелколистные породы зелени по своим оптическим свойствам отражают солнечную радиацию в прилегающую территорию значительно меньше, чем крупнолистные (в нашем случае клен и чинара).

Пешеходные дорожки требуют защиты не только от радиации, отраженной от зданий, но и от непосредственного прямого солнечного облучения. В этой связи нами были сформулированы некоторые практические рекомендации, отвечающие этим требованиям (рис. 5).

Особое внимание необходимо уделить вьющимся растениям, которые позволяют в короткие сроки создавать большие зеленые поверхности, а также кустарнику, образуя плотный вертикальный экран.

С целью беспрепятственной аэрации территории между вертикальными и горизонтальными зелеными плоскостями

экранов рекомендуется предусматривать разрывы для улучшения воздухообмена.

В результате проведенных исследований установлено, что общей особенностью стен зданий и мостовых, имеющих различные теплотехнические качества, является относительно низкая отражательная способность солнечных лучей от 10 до 27%. Поэтому большая часть солнечной радиации и значительная часть длинноволновой радиации искусственные строительные конструкции трансформируют в тепло, доводя нагрев поверхностей до 50-60°C. В результате температура нагрева последних может превышать температуру воздуха на 20-30°C.

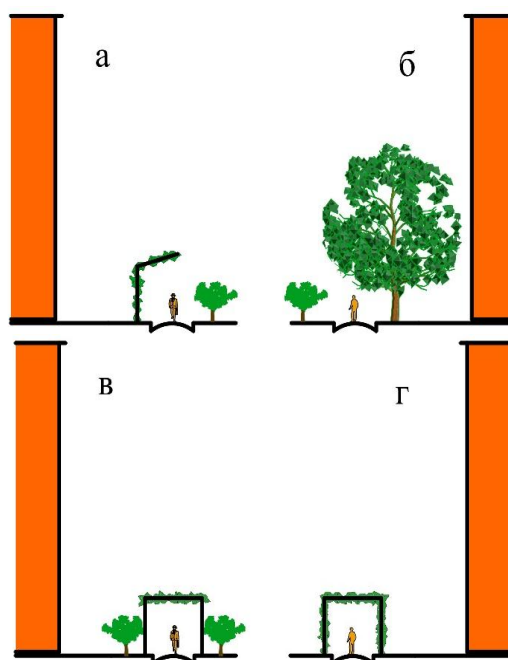


Рис. 5. Приемы защиты дорожек от прямой и отраженной солнечной радиации а - экраны с вьющимися растениями в сочетании с кустарником; б - из древесных насаждений и кустарника; в - экраны с вьющимися покрытиями в сочетании с кустарниками; г - навесы с вьющимися растениями.

Обобщая материалы исследований, установлено, что микро- и биоклимат городских территорий южных городов формируется в результате взаимодействия инсоляции с деятельной поверхностью застройки и существует реальная возможность корректировать их показатели за счёт градостроительных факторов (эффект планировочного решения застройки, озеленение, благоустройство).

### Литература:

1. Айзенштат Б.А. Метод расчета некоторых биоклиматических показателей. Журнал Метеорология и Гидрология № 12, 1964. -с. 9-16.
2. Гиясов Б.И. Роль солнечной радиации в формировании тепло-ветрового режима междомового пространства. МГСУ Вестник 3/2012. -с 12-15.
3. Гиясов А. Тепло-ветровой режим городского каньона, взаимосвязь его с воздушной средой помещений. Инженерный вестник Дона, Ростов-на-Дону №1 (2018). [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4737](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4737). - 13с.
4. Rizka A. A., Henze G. P. Improved airflow around multiple rows of buildings in hot arid climates. – Energy and Buildings, 2010. Vol. 42(10).– pp. 1711-1718.
5. Louka P., Belcher S. E., Harrison R. G. Modified street canyon flow. – J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998. № 74-6. – pp. 485-493.
6. Рекомендации по методике учета радиационного влияния элементов городской среды на тепловые состояния человека при градостроительном проектировании. -Л: Гидрометеиздат, 1988. -87с.
7. Гиясов А., Баротов Ю.Г. Роль зеленых насаждений в оздоровлении микроклимата городской застройки южных районов. Журнал. Экология урбанизированных территорий. №3 2018. -с.90-98.

### МАВҚЕИ НУРҲОИ ИНЪИКОСЁФТА ДАР ТАШАККУЛЁБИИ МИКРО ВА БИОИҚЛИМИ МАҲАЛҲОИ ПУРИМОРАТИ ШАҲРҲОИ ЧАНУБӢ

*А. Гиясов, Ю.Г. Баротов*

Дар мақолаи мазкур тадқиқоти таъсири нурҳои офтоб ба бино ва инъикоси он аз бино ба ҳудуди маҳалҳои пуриморат бо роҳи ҳисоби аналитикӣ ва мушоҳидаҳои воқеӣ дар натиҷаи тадқиқоти нурҳои инъикоси аз унсури амудии девори бинои маҳалҳои пуриморат ва таъсири он ба нишондоди микро- биоиклими ҳудудҳои наздииморатӣ, тавсияҳо оид ба кабудизоркунии самаранок, паст намудани таъсири нурҳои инъикосшудаи офтоб ба ҳудуди маҳалҳои

пуриморат аз биноҳои нурпошишаванда оварда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** бино, нурпошӣ, маҳалҳои пуриморат, инсон, ҳолати гармӣ, микроиклим, биоиклим, равзана, кабудизоркунии.

Обобщая материалы исследований, установлено, что микро- и биоклимат городских территорий южных городов формируется в результате взаимодействия инсоляции с деятельной поверхностью застройки и существует реальная возможность корректировать их показатели за счёт градостроительных факторов (эффект планировочного решения застройки, озеленение, благоустройство).

### ROLE OF REFLECTED RADIATION IN THE FORMATION OF MICRO- AND BIO- CLIMATE BUILDING OF SOUTHERN CITIES

*A. Giyasov, Y. G. Barotov*

In this work, examined the effect of solar radiation on buildings and reflected radiation from the building to the surrounding area by analytical calculation and field observations. The results of reflected radiation from the vertical elements of the walls of buildings of urban development and its impact on the indicators of micro-bioclimate of local areas are presented. Recommendations for effective landscaping, reducing direct solar radiation in the building area and reflected radiation from insulated buildings.

**Key words:** buildings, insolation, people, heat balance, microclimate, bioclimate, screen, landscaping.

### Сведения об авторах:

Гиясов Адхам - д.т.н., профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), профессор кафедры Проектирование зданий и сооружений. Тел. +(7) 985-481-80-33, E-mail: [adham52@mail.ru](mailto:adham52@mail.ru).

Баротов Юнусджон Гулмуродович, старший преподаватель, Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими, кафедра Архитектура зданий и сооружений. Тел. +(992) 989 01-70-38. E-mail: [yungajon@mail.ru](mailto:yungajon@mail.ru)

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ОПЫТНОГО ФУНДАМЕНТА

*А. Рузиев, Л. Шарипов, И.Ш. Аиууров*

*Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими*

*Излагается напряженно-деформированное состояние двухслойного основания модели каркасного здания, построенного для натурного испытания. Выявлено, что напряженно-деформированное состояние основания зависит от механических свойств грунтов (модуль деформации  $E$ ) и схемы расположения слоев. При достаточно прочном подстилающем слое ( $E_2 \gg E_1$ ) развитие деформации основания имеет затухающий характер, а при более слабом ( $E_2 < E_1$ ) подстилающем слое - прогрессирующий (возрастающий) характер.*

**Ключевые слова:** *основание, фундамент, напряжение, деформация, испытание, напряженно-деформированное состояние, активная зона основания.*

**1. Постановка вопроса.** В Таджикистане построены десятки зданий серии «КУБ» (каркас универсальный безригельный), отличающиеся от известных отсутствием ригелей. В таких зданиях роль ригелей, обеспечивающих общую пространственную жесткость здания, выполняют монолитные плиты перекрытий, жестко соединяющиеся со стойками - колоннами. Несмотря на то, что эти здания надежно эксплуатируются в сейсмических условиях, однако всё еще продолжают натурные испытания их отдельных узлов и фрагментов. В настоящее время натурные испытания моделей зданий с безригельным каркасом продолжают на опытно-экспериментальном полигоне факультета «Строительство и архитектура» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими сотрудниками кафедры «Промышленное и гражданское строительство» [1,2].

Известно, что надёжность надземных конструкций и отдельных узлов зданий во многом зависит от вида грунтов и напряженно-деформированного состояния основания. При слабых грунтах (слабом основании) трудно обеспечить надёжность и устойчивость сооружения, если даже надземная часть выполнена достаточно надёжно. С учетом этого при очередном испытании модели здания серии «КУБ» параллельно было исследовано напряженно-деформированное состояние основания.

**2. Объект испытания.** Для очередного испытания был возведен фрагмент модели каркасного здания, состоящего из одиночной колонны сечением 400x400мм и монолитной плиты перекрытия квадратной формы размерами 3,0x3,0м<sup>2</sup> толщиной 160мм. Консольная плита размерами в грузовую площадь посередине жестко соединяется с монолитной колонной (рис.1). Колонна опирается на отдельно-стоящий фундамент в виде усеченной пирамиды высотой 0,8м с квадратной подошвой размерами 1,6x1,6=2,56м<sup>2</sup>. Фундамент заложен на глубине 2,0м от дневной поверхности. Все три элемента фрагмента здания – фундамент, колонна и плита перекрытия выполнены из монолитного железобетона и жестко соединены между собой, образуя единую пространственную конструкцию.

Этот модель по существу представляет фрагмент первого этажа в объеме грузовой площади. На уровне поверхности земли устроен выравнивающий бетонный пол толщиной около 10см. Некоторый зазор с колонной обеспечивает свободное оседание бетонного пола.

Для выявления грунтовых условий рядом с объектом был пройден шурф глубиной 4,5м с отбором монолитов и проб грунтов. До глубины 1,5-1,6м залегали насыпной грунт с содержанием строительно-бытового мусора.

Далее, до глубины 4,2-4,3м залегали пылевато-глинистые грунты природного сложения, подстилаемые гравийно-галечниковыми отложениями. Свойства грунтов приведены в таблице 1.

Непосредственно под фундаментом залегают тугопластичные суглинки толщиной 2,3м (несущий слой основания), которые подстилаются гравийно-галечниковыми отложениями. По данным архивных материалов (ТаджикГИИНТИЗ, САНИИОСП) мощность гравийно-галечниковых отложений составляет более 5,0м. Таким образом, основание испытываемого объекта представляется как двухслойное, где модуль деформации нижнего подстилающего слоя ( $E_2$ ) значительно превышает модуль деформации несущего слоя ( $E_1$ ).



Рис.1. Общий вид испытуемой модели и опытного фундамента.

Таблица 1.

Грунты основания	Влажность грунта, %	Плотность сухого грунта, т/м <sup>3</sup>	Влажность, % на пределах		Число пластичности, %	Кoeff. пористости	Модуль деформ. МПа
			теку-чести	пластичности			
Несущий слой - суглинок	25,3	1,48	32,4	19,6	12,8	0,838	9 -10
Подстилающий слой – галечник	3,8	2,00	-	-	-	0,34	38-39

**3. Методика и программа испытания.** В соответствии с поставленной задачей нагружение опытного фундамента производилось ступенями с замером деформаций основания до достижения условной стабилизации. За условную стабилизацию принималась деформация 0,1мм/сутки. Собственный вес объекта (плита перекрытия, колонна и фундамент) составил около 6,5тс и при площади подошвы фундамента равной  $1,6 \times 1,6 = 2,56 \text{ м}^2$  давление на основание составило около  $2,5 \text{ тс/м}^2$  (0,025МПа). Это давление примерно равно природному (напряжению от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента), следовательно, давление от внешней нагрузки в полном объеме принимается за осадочное давление.

Внешняя статическая нагрузка из бетонных плиток ставилась равномерно на плиту перекрытия ступенями из расчета по 0,05МПа давления на основание (рис.2). Исходя из условия достижения условной стабилизации деформаций основания, внешняя нагрузка на плиту перекрытия ставилась с одинаковым интервалом через каждые 7 суток. Фактические деформации основания замерялись прогибомерами часового типа (см. рис.2) с ценой деления 0,1мм. Замеры производились по четырем сторонам относительно внешних краев бетонного пола с частотой: первые сутки после нагружений - через каждые 6 часов, вторые сутки – через 12 часов, последующие сутки – один раз. Нагружение опытного

фундамента доводилось до давления 0,2 МПа на основание.



Рис.2. Поэтапное статическое нагружение фундамента.

В таблице 2 приведены фактическая (конечная стабилизированная) и расчетная деформации основания от каждой ступени нагружения (давления на основание). Расчетная деформация основания определялась исходя из компрессионного уплотнения грунта (без учета бокового расширения грунтового массива), рассматривая задачу как одномерную при сплошной равномерной

распределенной нагрузке. Расчетная схема основания принималась в виде линейно-деформируемого полупространства с условным ограничением глубины сжимаемой толщи [3,4,5]. В соответствии с требованиями метода послойного суммирования несущий слой основания разбит на элементарные слои толщиной по  $0,2b=32\text{см}$ . Так как несущий слой основания подстилается более прочным крупнообломочным грунтом, активная зона основания ограничена на кровле подстилающего слоя.

Расчетные деформации основания определялись с учетом некоторого повышения значения модуля деформации грунта, так как от каждой ступени давления несущий слой основания (суглинок тугопластичный) уплотняется и становится более плотным. При исходном (природном) значении модуля деформации несущего слоя основания (тугопластичного суглинка) равно 9 МПа после каждой ступени нагружения оно принималось в среднем на 1 МПа больше, чем предыдущее (см. табл. 2). При сравнительном анализе учтены расчетные деформации только несущего слоя (тугопластичного суглинка) толщиной 2,5 м, так как деформации нижнего подстилающего слоя (гравийно-галечникового отложения) с модулем деформации 38 МПа незначительны. По данным таблицы 2 построены графики и эпюры, характеризующие напряженно-деформированное состояние основания при поэтапном статическом нагружении.

На рис.3 представлены эпюры дополнительных давлений (от внешней нагрузки) и расчетных послойных деформаций в несущем слое основания. Эти эпюры наглядно характеризуют напряженно-деформированное состояние основания опытного фундамента при поэтапном (ступенчатом) возрастании статической нагрузки. Как видно, на кровле нижнего подстилающего крупнообломочного грунта давления незначительны и, следовательно, деформации практически затухают. Следовательно, за активную зону основания включается только несущий слой (тугопластичные суглинки) толщиной 2,5 м.

На рис. 4 представлены графики развития расчетных (1) и конечных фактических (2) деформаций основания при постепенно возрастающей статической нагрузке на фундамент. Как видно, фактическая деформация основания несколько превышает расчетную. Это объясняется тем, что деформация основания (осадка) в действительности происходит не строго вертикально, а при одновременном боковом расширении грунтового массива за счет деформации сдвига.

Что касается расчетных деформаций, то они рассчитаны без учета сдвиговых деформаций грунта, что заложено в основу модели основания в виде линейно-деформируемого полупространства (метода послойного суммирования) [4]. Область между графиками 1 и 2 очевидно является зоной сдвиговых деформаций.

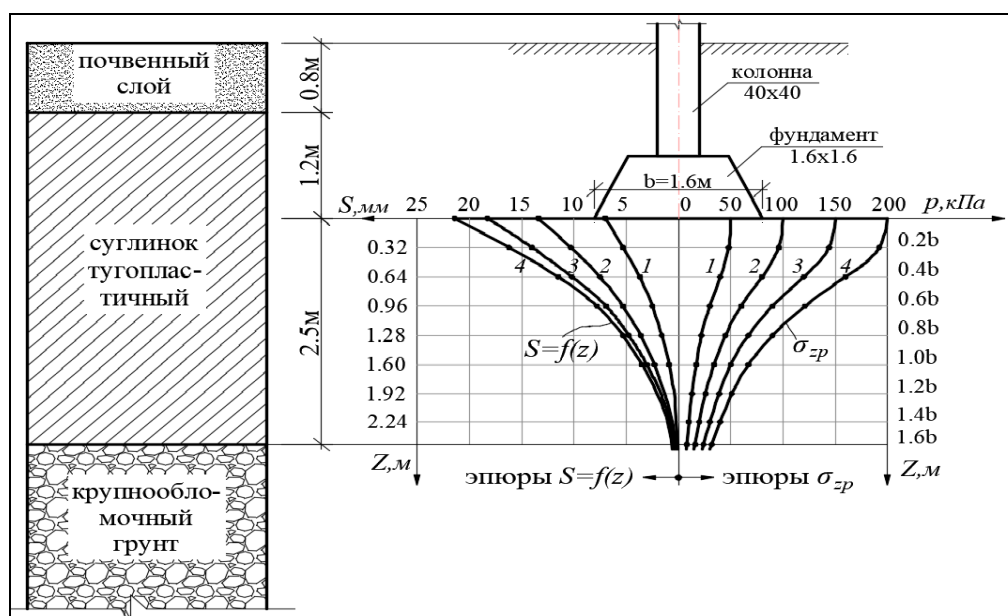


Рис.3. Эпюры дополнительных давлений  $\sigma_{zp}$  и расчетных послойных деформаций  $S=f(z)$  в пределах несущего слоя основания: 1, 2, 3, 4 – соответственно при давлениях 50, 100, 150, 200 кПа.

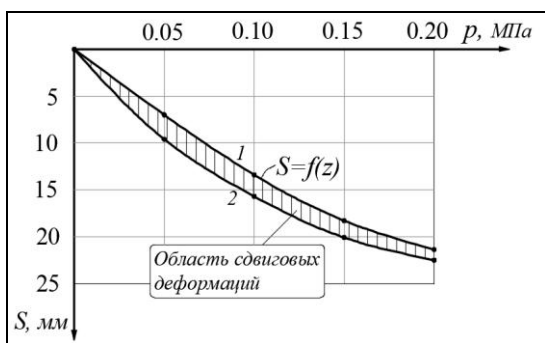


Рис.4. Графики развития расчетных (1) и фактических (2) деформаций основания.

Как видно, развитие как фактических, так и расчетных деформаций имеет стабилизирующий (затухающий) характер (см. рис.4). На наш взгляд, это связано с тем, что подстилающий слой является намного прочнее несущего слоя ( $E_2 \gg E_1$ ). При более слабом подстилающем слое ( $E_2 < E_1$ ), деформации будут иметь не затухающий, а возрастающий (прогрессирующий) характер.

**Выводы**

1. Напряженно-деформированное состояние оснований зданий и сооружений зависит от прочностных и деформационных свойств грунтов, а также схемы напластования несущего и подстилающих слоев основания.

2. При достаточно прочном подстилающем слое ( $E_2 \gg E_1$ ) графики развития деформации основания имеют затухающий характер, а при более слабом ( $E_2 < E_1$ ) подстилающем слое они будут иметь возрастающий характер.

**Литература:**

1. Д.Н. Низомов, Л.Ш. Шарипов, И.С. Муминов. Исследование динамических параметров модели фрагмента здания на основе конструкции безригельного каркаса. Вестник ТГУ №4 (44) – 2018, с 170 -175.
2. Л. Шарипов, И.С. Муминов, А.К. Рафиев, А.Д. Рахмонов, И.Ш. Ашуров. Безригельный каркас со смешанным армированием из монолитного железобетона для сейсмических районов. Вестник ТГУ №4 (44) – 2018, с 183 -188.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). -М.: Высшая школа, 1979. 272с.
4. СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений.
5. А. Рузиев. Строительная геотехника и геотехнология. Часть 1. Геотехнические испытания и расчеты. Душанбе, 2014. ЗАО «РЕАЛАЙН». 244 с.

Таблица 2.

Расчеты напряжений и деформаций в грунтах по глубине под фундаментом

Напряжения $\sigma_{zp}$ , при давлении на основание $p$ , кПа				Среднее напряжение в элементарном слое, $\bar{\sigma}_{zp}^{cp}$ , кПа, при				Толщина элемент. слоя, см	Расчетная послойная деформация основания $S_i = (\bar{\sigma}_{zp}^{cp} * h) / E_i$ , см, при $P_i$ и $E_i$ , кПа			
$p_1=50$	$p_2=100$	$p_3=150$	$p_4=200$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$		$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$
Несущий слой основания – суглинки тугопластичные									$E_1=9000$	$E_2=10000$	$E_3=11000$	$E_4=12000$
50	100	150	200									
48	96	144	192	49	98	147	196	32	0,17	0,31	0,43	0,52
40	80	120	160	44	88	132	176	32	0,16	0,28	0,38	0,47
30	60	90	121	35	70	105	140	32	0,12	0,22	0,31	0,37
22	45	67	90	26	52	78	106	32	0,09	0,17	0,23	0,28
17	34	50	67	20	40	59	79	32	0,07	0,13	0,17	0,21
13	26	39	51	15	30	45	59	32	0,05	0,10	0,13	0,16
10	20	30	40	12	23	35	46	32	0,04	0,07	0,10	0,12
8	16	24	32	9	18	27	36	26	0,03	0,06	0,08	0,01
Расчетная деформация основания, см									$\Sigma = 0,73$	$\Sigma = 1,34$	$\Sigma = 1,83$	$\Sigma = 2,14$
Фактическая деформация основания, см									<b>0,96</b>	<b>1,57</b>	<b>2,01</b>	<b>2,25</b>

**ҲОЛАТИ ШИДДАТНОКӢ – ДЕФОРМАТСИЯШАВИИ АСОСИ ДУҚАБАТАИ ТАҲКУРСИИ ТАҶРИБАВӢ ҲАНГОМИ БОРГУЗОРИИ СТАТИКӢ**  
 А.Р. Рӯзиев, Л.Ш. Шарипов, И.Ш. Ашӯров  
 Дар мақола ҳолати шиддатнокӣ-деформатсияшавии асоси дуқабатаи модели бинои син-

ҷии таҷрибавӣ ҳангоми боргузори статикӣ оварда шудааст. Муайян карда шудааст, ки ҳолати шиддатнокӣ-деформатсияшавӣ аз ҳосиятҳои механикӣи хокҳои асос (модули деформатсияшавӣ  $E$ ) ва ҷойгиршавии қабатҳо вобастагӣ дорад. Дар ҳолати мустаҳкам будани қабати поёнӣ инкишофи деформатсияи

асос намуди хомӯшшавӣ дошта, хангоми суст будани қабати поёни ( $E_2 < E_1$ ) деформатсияи асос намуди афзоишӣ дорад.

**Калимаҳои калидӣ:** асос, таҳкурси, шиддат, деформатсия, озмоиш, ҳолати шиддатнокӣ-деформатсияшавӣ, қабати ғаёол.

### STRESS-STRAIN STATE TWO-LAYER BASE WITH STATIC LOADING OF THE EXPERIMENTAL FOUNDATION

R. A. Ruziev, L. S. Sharipov, I. Sh. Ashurov

The stress-strain state of a two-layer base of a model of a frame building constructed for full-scale testing is described. It is revealed that the stress-strain state of the base depends on the mechanical properties of the soil (deformation modulus  $E$ ) and the layout of the layers. With a sufficiently strong underlying layer ( $E_2 \gg E_1$ ), the development of deformation of the base has a

damped character, and with a weaker ( $E_2 < E_1$ ) underlying layer, they have an increasing character.

**Keywords:** base, Foundation, stress, deformation, test, stress-strain state, active zone of the base.

### Сведения об авторах:

Рузиев Ахмадхон – к.т.н., доцент кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» ТТУ им. академика М. Осими. Тел: + (992) 93-531-97-55

Шарипов Лутфулло – к.т.н., доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТТУ им. академика М. Осими.

Ашуров Идрис Шарифхонович – асс. кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТТУ им. акад. М.С. Осими.

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧАХ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Д.Н.Низомов<sup>1</sup>, О.А.Ходжибоев<sup>2</sup>, А.А.Ходжибоев<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан

<sup>3</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Рассматривается решение статической задачи по расчету двумерной задачи теории упругости в условиях плоского напряженного состояния методом граничных интегральных уравнений. Разработаны алгоритмы и компьютерные программы численного моделирования, позволяющие исследовать концентрацию напряжений в угловых зонах балок-стенок. Достоверность результатов численного решения подтверждается их сопоставлением с данными других авторов на примере тестовых задач.

**Ключевые слова:** граничные уравнения, фундаментальное решение, сплайновая аппроксимация, квадратичная аппроксимация.

**Дифференциальные уравнения равновесия.** Рассмотрим упругое изотропное двумерное тело с внутренней областью  $\Omega$ , ограниченной контуром  $\Gamma$ . Предполагается, что на одной части границы  $\Gamma$  могут быть заданы напряжения, а на другую – перемещения.

Решение двумерных задач в напряжениях сводится к интегрированию дифференциальных уравнений равновесия [1] (Тимошенко, Гудьер, 1975)

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \gamma_x = 0 \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \gamma_y = 0, \quad (1)$$

вместе с условием совместности

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = -\nu_0 \left( \frac{\partial \gamma_x}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_y}{\partial y} \right), \quad (2)$$

и граничными условиями

$$P_x = \sigma_x n_x + \tau_{xy} n_y, \quad P_y = \tau_{xy} n_x + \sigma_y n_y. \quad (3)$$

Здесь:  $\gamma_x, \gamma_y$  – компоненты объемной силы;

$\nu_0 = (1 + \nu)$  – в случае плоского напряженного состояния;  $\nu_0 = 1 / (1 - \nu)$  – в случае плоской деформации;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;

$n_x = \cos \alpha_x, n_y = \cos \alpha_y$  – направляющие косинусы нормали к границе;  $\alpha_x, \alpha_y$  – углы между нормалью и осями  $x$  и  $y$  соответственно;  $P_x, P_y$  – заданные на поверхности тело нагрузки (напряжения).

Система из трех уравнений (1) и (2) с тремя неизвестными напряжениями  $\sigma_x, \sigma_y$  и



$\tau_{xy}$  с учетом граничных условий (3) позволяет определять напряженное состояние двумерной конструкции от заданной нагрузки на контуре  $\Gamma$  и объемные силы, заданные внутри области  $\Omega$ . В случае, когда объемные силы  $\gamma_x$  и  $\gamma_y$  постоянны, правая часть в (2) обратится в ноль, то можно заметить, что распределение напряжений в плоской задаче не зависит от свойств материала. Следовательно, уравнения (1) и (2), при  $\gamma_x, \gamma_y = const$ , могут применяться как при упругой, так и неупругой работе материала конструкции. Когда учитываются только силы тяжести, где  $\gamma_x = 0$ ,  $\gamma_y = -\rho g = -\gamma_0$ ,  $\rho$  – плотность материала,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\gamma_0$  – объемный вес, решение плоской задачи упрощается введением новой функции  $\varphi(x, y)$  (функция Эри), которая связана с компонентами напряжения зависимостями [1]

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \gamma_0 y, \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \gamma_0 y, \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \quad (4)$$

Видно, что выражения (4) удовлетворяют уравнения (1) при любых значениях функции  $\varphi(x, y)$ , но действительным решением задачи будет то, которое удовлетворяет также уравнению совместности (2), представленное в виде

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = 0. \quad (5)$$

Подставив (4) в (5), получаем

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0. \quad (6)$$

Таким образом, решение двумерной задачи в напряжениях, когда объемной силой является вес тела, сводится к рассмотрению (6) с учетом граничных условий (3). Бигармоническое уравнение (6) представляет собой условие совместности деформаций, записанное через функцию напряжений  $\varphi(x, y)$ . В общем, из решения (6) определяется  $\varphi(x, y)$ , а затем поля напряжений вычисляются по формулам (4). Уравнение (6) можно представить в виде системы

двух дифференциальных уравнений второго порядка

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0, \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\psi, \quad (7)$$

В работе [2] с использованием системы уравнений вида (7) проведены численные исследования задач с особенностями типа действия сосредоточенной силы и концентрации напряжений в угловой зоне квадратной балки-стенки с заземленными вертикальными гранями.

Если принять за основные неизвестные функции перемещения  $u_x(x, y)$  и  $u_y(x, y)$ , то заменяя в дифференциальных уравнениях (1) компоненты напряжений через компоненты деформаций согласно обобщенному закону Гука, а затем с использованием геометрических уравнений Коши, представляя компоненты деформаций через компоненты перемещений, получаем систему дифференциальных уравнений в перемещениях (уравнения Ламе), которая в условиях плоской деформации записывается в виде [3]

$$\begin{aligned} G_1 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial y} + \gamma_x &= 0, \\ G_1 \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial y} + \gamma_y &= 0, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $G_1 = 2G(1-\nu)/(1-2\nu)$ ,  $G_2 = G/(1-2\nu)$ ,  $G$  – модуль упругости при сдвиге. Заменяя в (7) коэффициент Пуассона  $\nu$  на  $\nu/(1+\nu)$ , получаем уравнения, соответствующие плоскому напряженному состоянию

$$\begin{aligned} G_1^* \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + G_2^* \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial y} + \gamma_x &= 0, \\ G_1^* \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + G_2^* \frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial y} + \gamma_y &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

здесь  $G_1^* = 2G/(1-\nu)$ ,  $G_2^* = G(1+\nu)/(1-\nu)$ . Следует отметить, что здесь нет необходимости в использовании уравнения совместности деформаций (2), так как мы имеем два уравнения с двумя неизвестными  $u_x(x, y)$  и  $u_y(x, y)$ .

**Фундаментальные решения Кельвина.** Фундаментальное решение системы уравнений (8), определяющее поле перемещений в неограниченной изотропной упругой плоскости от действия единичных сил  $e_x$  и  $e_y$ ,

строится на основе решения Кельвина [4]. Решение Кельвина в условиях плоской деформации можно записать в виде [3]

$$u_{xx}^* = -a \left[ (3-4\nu) \ln r_{pk} - \cos^2 \beta_1 \right],$$

$$u_{xy}^* = u_{yx}^* = a \cos \beta_1 \cos \beta_2$$

$$u_{yy}^* = -a \left[ (3-4\nu) \ln r_{pk} - \cos^2 \beta_2 \right], \quad (10)$$

здесь  $a = 1 / 8\pi G(1-\nu)$ ,

$r_{pk} = [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]^{1/2}$  – расстояние между точками  $k(x, y)$  и  $p(\xi, \eta)$ ,  $\beta_1, \beta_2$  – углы наклона радиус-вектора  $r_{pk}$  к осям  $x$  и  $y$ , соответственно, в точке  $p(\xi, \eta)$ . Компоненты перемещений (10) удовлетворяют системе дифференциальных уравнений

$$G_1 \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial y^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial x \partial y} = -\delta(k, p) e_x,$$

$$G_1 \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial x^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial x \partial y} = -\delta(k, p) e_y, \quad (11)$$

где  $u_x^* = u_{xx}^* + u_{xy}^*$ ,  $u_y^* = u_{yx}^* + u_{yy}^*$ ,

$G_1 = 2G(1-\nu) / (1-2\nu)$ ,  $G_2 = G / (1-2\nu)$ ,

$G$  – модуль упругости при сдвиге. Из (10) получим компоненты фундаментальных напряжений

$$p_{xx}^* = -b(c + 2m_1^2) \cos \gamma / r_{pk},$$

$$p_{xy}^* = -b[c(m_1 n_2 - m_2 n_1) + 2m_1 m_2 \cos \gamma] / r_{pk},$$

$$p_{yx}^* = b[c(m_1 n_2 - m_2 n_1) - 2m_1 m_2 \cos \gamma] / r_{pk},$$

$$p_{yy}^* = -b(c + 2m_2^2) \cos \gamma / r_{pk}. \quad (12)$$

Здесь  $b = 1 / 4\pi(1-\nu)$ ,  $c = 1 - 2\nu$ ,  $m_1 = \cos \beta_1$ ,  $m_2 = \cos \beta_2$ ,  $\cos \gamma = \cos \alpha_1 \cos \beta_1 + \cos \alpha_2 \cos \beta_2$ ,  $\gamma$  – угол наклона между радиус-вектором  $r_{pk}$  и нормалью  $n$  в точке  $k(x, y)$ . Следует отметить, что фундаментальные решения (12) получены для условия, когда напряжения на границе бесконечной области равны нулю.

**Граничные интегральные уравнения.** Граничные интегральные уравнения двумерных задач теории упругости можно получить исходя из тождества Сомильяна [5], полученные на основе теоремы о взаимности работ. Погружая конечную область  $\Omega + \Gamma$ , с заданными на поверхности  $\Gamma$  компонентами напряжений и перемещений, в

неограниченное пространство, которое последовательно загружается единичными силами и описывается дифференциальными уравнениями (11), согласно теореме Бетти [6], получаем

$$\int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega =$$

$$= \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma + \int_{\Omega} \delta(p, k) u_x d\Omega, \quad (13)$$

здесь  $u_{xx}^*, \dots, p_{yx}^*$  – фундаментальные перемещения и напряжения Кельвина. С учетом свойств дельта-функции Дирака

$$\delta(p, k) = 0 \text{ при } p \neq k, \quad \delta(p, k) = \infty \text{ при } p = k,$$

$$\int_{\Omega} \delta(p, k) u_x(k) d\Omega(k) = u_x(p),$$

второй интеграл в правой части будет равняться  $u_x(p)$ , где точка  $p(\xi, \eta) \in \Omega$ , тогда уравнение (13) можно представить в виде

$$u_x(p) = \int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma_k -$$

$$- \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma_k + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega, \quad (14)$$

$$u_y(p) = \int_{\Gamma} (p_x u_{xy}^* + p_y u_{yy}^*) d\Gamma_k -$$

$$- \int_{\Gamma} (p_{xy}^* u_x + p_{yy}^* u_y) d\Gamma_k + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xy}^* + \gamma_y u_{yy}^*) d\Omega, \quad (15)$$

где  $p_x, p_y$  – поверхностные напряжения,  $u_{xx}^*, p_{xx}^*$  – перемещения и напряжения, возникающие в точке  $k(x, y)$  в направлении оси  $x$  от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по этой же оси,  $u_{yx}^*, p_{yx}^*$  – перемещения и напряжения, возникающие в точке  $k(x, y)$  в направлении оси  $y$  от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по оси  $x$ .

**Пример.** В качестве примера исследуем напряжённо-деформированное состояние балки-стенки, жестко защемленную боковыми гранями, находящуюся под действием равномерно распределенной нагрузки, приложенной к верхней грани (рис.1).

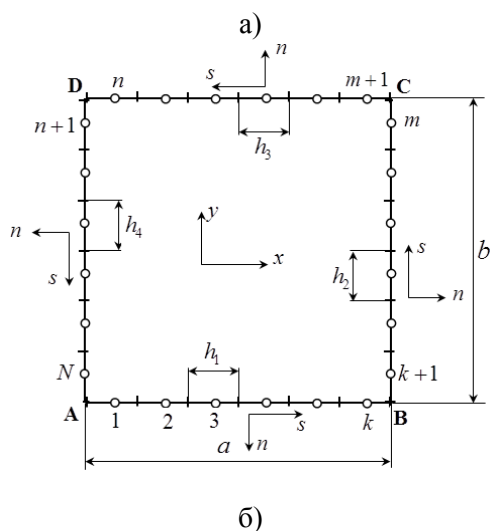
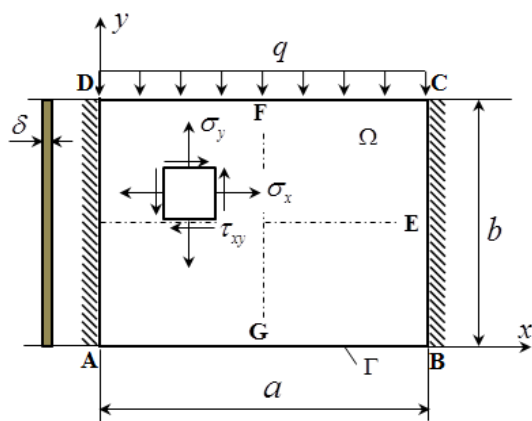
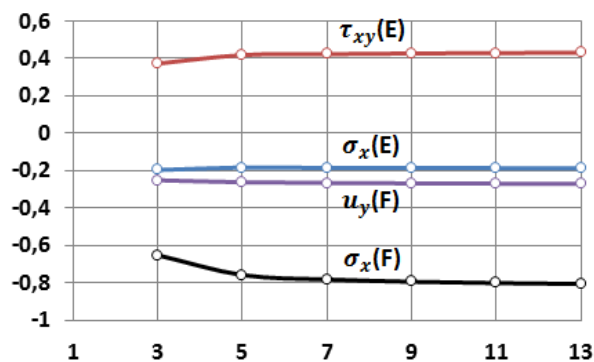


Рис.1. Геометрия балки-стенки (а) и схема разбивки контура (б).

На рис.2 показаны графики изменения перемещения и напряжений в характерных точках системы в зависимости от числа граничных элементов на каждой из четырех граней квадратной балки-стенки. Видно, что при  $n > 5$  результаты напряжений  $\tau_{xy}, \sigma_x$  в точке  $F$ ,  $\sigma_x$  в точке  $E$  и вертикального перемещения в точке  $F$  практически совпадают, что показывает сходимость численного решения.

СХОДИМОСТЬ. ПЛОСКОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ



Число разбиение одной грани квадратной пластины

Рис.2. Графики сходимости напряжений и перемещения в центре граней.

На рис.3 приведены графики нормальных и тангенциальных перемещений граней балки-стенки, откуда следует, что максимальное вертикальное перемещение грани  $CD$  в 3 раза больше, чем на грани  $AB$ .

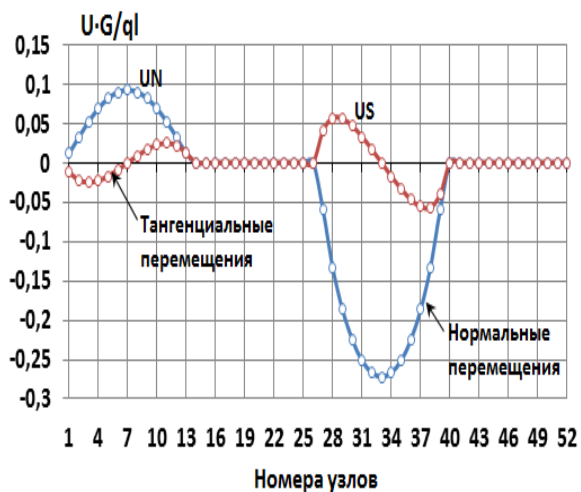


Рис.3. Графики изменения нормальных и тангенциальных перемещений вдоль контура балки-стенки.

Таблица 1.

Сравнение результатов касательных и нормальных напряжений на вертикальной грани BC балки-стенки

№ точек	$y/h$	$\tau_{xy}/q$		$y/h$	$\sigma_x/q$		$y/h$	$\sigma_x/q$
		ВРМ	МГУ		ВРМ	МГУ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	0,188	0,2406	0	-0,655	-0,7806	0,5	-0,4995
2	1,5	0,232	0,2386	1	-0,247	-0,3304	1,5	-0,1613
3	2,5	0,278	0,2853	2	-0,138	-0,1416	2,5	-0,1218
4	3,5	0,317	0,3235	3	-0,113	-0,1209	3,5	-0,1201
5	4,5	0,358	0,3624	4	-0,119	-0,1303	4,5	-0,1405
6	5,5	0,401	0,4051	5	-0,140	-0,1556	5,5	-0,1708
7	6,5	0,453	0,4539	6	-0,166	-0,1877	6,5	-0,2046

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	7,5	0,514	0,5104	7	-0,193	-0,2198	7,5	-0,2350
9	8,5	0,587	0,5759	8	-0,210	-0,2428	8,5	-0,2506
10	9,5	0,671	0,6558	9	-0,198	-0,2357	9,5	-0,2208
11	10,5	0,745	0,7235	10	-0,104	-0,1694	10,5	-0,1181
12	11,5	1,257	1,3000	11	0,279	0,4793	11,5	1,0770
				12	1,935	2,0840		

В табл.1 результаты, полученные по методу граничных уравнений (МГУ) при разбивке каждой грани на 12 элементов, сравниваются с данными работы [7], полученными вариационно-разностным методом (ВРМ), где  $h$  – длина носителя В-сплайна нулевого порядка. В графах 3 и 4 сравниваются касательные напряжения, где

координаты узлов по обеим методам совпадают. В графах 6 и 7 сравниваются нормальные напряжения на вертикальной грани, где координаты узлов не совпадают. Поэтому в МГУ проведена линейная интерполяция результатов, приведенных в графе 9. Что касается значения напряжений, в точках 0 и 12 графа 7, то они получены с использованием квадратичной аппроксимации

$$\sigma_{x0} = (15\sigma_{x|0,5} - 10\sigma_{x|1,5} + 3\sigma_{x|2,5}) / 8 =$$

$$= -(15 \cdot 0,4995 - 10 \cdot 0,1613 + 3 \cdot 0,1218) \cdot q / 8 = -0,7806 \cdot q$$

$$\sigma_{x12} = (15\sigma_{x|11,5} - 10\sigma_{x|10,5} + 3\sigma_{x|9,5}) / 8 =$$

$$= (15 \cdot 1,0770 + 10 \cdot 0,1181 - 3 \cdot 0,2208) \cdot q / 8 = 2,0840 \cdot q$$

### Выводы

На основе проведенных исследований можно сделать выводы. Численная реализация метод граничных интегральных уравнений при использовании В-сплайна нулевого порядка позволяет получать результаты, которые удовлетворительно совпадают с известными решениями.

### Литература:

1. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: «Наука», 1975, 575 с.
2. Габбасов Р.Ф., Габбасов А.Р., Филатов В.В. Численное построение разрывных решений задач строительной механики. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 2008.
3. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. М.: Изд-во АСВ, 2000, 282 с.
4. Ляв А. Математическая теория упругости. – М.-Л.: ОНТ Издательство НКБ СССР, 1935. – 674 с.

5. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.

6. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. -М.: Мир, 1987. - 524с.

7. Вайнберг Д.В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. – Киев, «Будівельник», 1973. – 488 с.

### ТАДҚИҚОТИ КОНСЕНТРАТСИЯИ ШИДДАТҲО ДАР МАСЪАЛАҲОИ ДУЧЕНАКАИ НАЗАРИЯИ ЧАНДИРӢ БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ КАНОРӢ

*Д.Н. Низомов, О.А. Хоҷибоев, А.А. Хоҷибоев*

Ҳалли масъалаи статикӣ бо усули муодилаҳои канорӣ интегралӣ оид ба ҳисоби масъалаи дученакаи назарияи чандирӣ лар ҳолати шиддатнокии ҳамвор дида баромада мешавад. Алгоритм ва барномаҳои моделкунонии ададӣ, ки имконият медиҳад концентратсияи шиддатҳоро дар мавзъҳои кунҷии болордевор тадқиқ карда шавад, коркард гардад. Ҳақиқияти натиҷаҳои ҳалли ададӣ бо сабаби мувофиқии онҳо бо натиҷаҳои дигар муаллифон дар натиҷаи ҳалли мисолҳои тестӣ исбот карда мешавад.

**Калимаҳои калидӣ:** муодилаҳои канорӣ, ҳалли фундаменталӣ, аппроксиматсияи сплайнӣ, аппроксиматсияи квадратӣ.

### RESEARCH OF STRESS ONCENTRATION IN TWO-DIMENSIONAL PROBLEMS OF ELASTICITY THEORY BY THE METHOD OF BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS

*J.N.Nizomov, O.A.Hojiboev, A.A.Hojiboev*

The solution of the static problem for calculating the two-dimensional problem of the theory of elasticity under conditions of a plane stress state by the method of boundary integral equations is considered. Algorithms and computer programs for numerical modeling have been developed that allow one to study the stress concentration in the corner zones of beam walls. The reliability of the results of the numerical solution is confirmed by their comparison with

the data of other authors on the example of test problems.

**Keywords:** boundary equations, fundamental solution, spline approximation, quadratic approximation.

**Сведения об авторах:**

Низомов Джахонгир - д.т.н., проф., член.-корр. АН РТ. Институт геологии, сейсмо-

стойкого строительства и сейсмологии АН РТ. Тел: +(992) 919-35-57-34.

Ходжибоев Орифджон Абдуазизович - СЧС, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ,

Ходжибоев Абдуазиз Абдусатторович – д.т.н., и.о. доцента кафедры ПГС ТТУ им.акад.М.С. Осими. Тел.:+(992) 918-89-35-14. E-mail: hojiboev@mail.ru

**ВОПРОСЫ ПРЕЕМСТВЕННОСТИ ТРАДИЦИЙ В АРХИТЕКТУРЕ И ИСКУССТВЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

*Д.Ш. Ганизода<sup>1</sup>, С.Р. Хаитова<sup>2</sup>, Ф.Н. Турдиева<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Государственный институт изобразительного искусства и дизайна Таджикистана*

<sup>2,3</sup>*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими*

Зрелое и позднее средневековья в архитектуре и искусстве Центральной Азии охватывает XI - XVII вв., подразделяясь внутренне на несколько важных этапов: XI начало XIII вв.; XIV- XV вв. и XVI -XVII вв. Основной отличительной особенностью рассматриваемого первого этапа зрелого средневековья является необычайно стремительный взлет всей культуры Мавераннахра и Хоросана во всех ее проявлениях, в том числе синтезе искусств и архитектуры, где важное значение приобретает преемственность традиций как в архитектуре, так и пластических видах искусства. Уже в XI-XII вв. в Средней Азии практиковался широкий взаимообмен мастерами художественных профессий, в частности приглашение порой издалека снискавших добрую славу зодчих. Так, зодчий Али бини Мухаммад из Серакса осуществил строительство джаркурганского минарета; другой архитектор, Мухаммад бини Атзыз был создателем мавзолея султана Санджара, а зодчий Абу-Наср ибни Ахмад и Термези трудился в хоросанском городе Анбаре (современный Сарьпуль в Афганистане). Это не могло не сказаться на взаимообогащении и взаимопреемственности творческих идей во всем обширном среднеазиатском регионе. Вместе с тем при общности стиля здесь сохранялась приверженность к традициям местных архитектурно-художественных школ.

Архитектура и пластические искусства региона XI-начало XIII вв. развивались в тесном взаимодействии с зодчеством лежащих к югу и юго-западу сопредельных зон современного Афганистана и Ирана (Хоросана). Тесные экономические и историко-культурные связи и обмен

мастерами способствовали слиянию художественных течений в общий поток средневековой культуры этих областей.

Руины загородного дворца Термеза представляют пример удачного синтеза архитектуры и изобразительного искусства. Здесь синтез искусств лаконичен и сдержан: он исчерпывается фигурными кирпичными кладками с рельефными узорами, образованными перевязкой кирпичей. В XII в. все поверхности аудиенц-зала дворца от панелей и до замков, сводов были покрыты слоем ганча, по которому была нанесена богатейшая глубокая трехслойная резьба [1].

На территории Кобадияна на юге Таджикистана наиболее интересным памятником XI-XII вв. является мавзолей и медресе Ходжа Машад, где на южном фасаде западного здания сохранились остатки богатого декоративного убранства в виде арочных панно, выполненных разнообразной «елочной» кладкой и разделенных широкими лопатками [2].

В долине Заравшана одним из известных памятников XI- XII и XIV вв. является мавзолей-мечеть Мухаммада Бошаро близ Пенджикента в селении Мазори Шариф. 1332 году к сооружению, состоящего из центрального квадратного купольного здания с угловыми комнатами, был пристроен портал, украшенный резной терракотой и цветными глазурованными плитками. По декоративному богатству и изысканности он не имеет себе равных в архитектуре Центральной Азии и является шедевром мирового значения. Портал Мухаммада Бошаро демонстрирует новую черту в архитектуре послемонгольского времени - введение в монументальное строительство интенсивной многоцветности с помощью майоликовых облицовок.

В селении Чоркух Исфаринского района уцелел мавзолей XI-XII вв. Хазрати пошо мир Хамза, представляющий деревянный айван (4 x 4,75 м), открытый на две стороны, а с двух сторон ограниченный стенами. Эта постройка заключена внутри нового здания с порталом. Особенностью памятника является то, что он полностью вырезан из дерева и собран без единого гвоздя. Все части мавзолея покрыты резьбой. Опоры покрыты (их семь) стилизованным растительным мотивом с бордюрами из перлов по краям. Поперечные балки потолка покоятся на восьми резных фигурных консолях, опирающихся, в свою очередь, на три прогона и глинобитную стену [3].

В целом резное дерево в Чоркух подтверждает, что в горной долине Исфары, как и на Заравшане, сохранились пережитки доисламской идеологии и здесь уцелели мифологические зооморфные образы. В частности, консоли, длиной около 80 см, удивительно напоминают заравшанские. Но, повторяя форму заравшанских консолей (оббурдонские), резчики Чоркух ее детализируют и насыщают орнаментом. Головки консолей, орнаментированные веерным рисунком, спиралью, растительным узором, утратили сходство с бычьей головой и лишь одна воспроизводит сангистонский вариант.

Роль изобразительных искусств в духовной жизни предков таджиков в раннем средневековье была огромна. Настенная тематическая живопись и скульптура были составной частью архитектурных произведений и не выпадали из круга архитектурных идей. В XI-XII вв. эти виды пластических искусств сошли на нет. Выдвинулись вперед отделочные работы, скульптура и монументальная живопись выключилась из обихода. Скульптурные изваяния были не просто уничтожены, но они распались изнутри под воздействием новых художественных идей, сменивших старые. Был утрачен язык пластических форм, и это сломило скульптуру больше любых запретов и насильственной расправы с ней. Скульптуру заменил плоский орнамент, а живопись, хотя и некоторым образом сохраняла интерес к сюжетам придворной жизни, но испытывала сильное воздействие прикладных искусств, а в них образ человека и животный мир растворялись чаще в орнаменте. Таким образом, потеря синтеза архитектуры с изобразительным искусством была восполнена орнаментом, как средство

художественного обогащения архитектурных сооружений. Творчество зодчих региона, в том числе и на территории Таджикистана, было направлено на развитие систем сводов и куполов, отработке техники фигурных и резных облицовок, совершенствованию орнаментальной резьбы по дереву, ганчу и общепринятой на всем Среднем Востоке арабской графике. И в этой области таджикские зодчие XI-начало XIII вв. выработали художественные формы, отвечающие идейному содержанию эпохи.

В XIV-XV вв., во времена правления Тимура и Тимуридов, в результате создания централизованного государства вновь возрождается утраченный в период монгольского владычества ход развития архитектуры и монументального искусства, теперь уже многоцветные облицовки построек целиком скрывают их архитектурно-конструктивную основу. Многое здесь было унаследовано от предшествующей практики зодчих, но никогда изразцовый декор еще не достигал такого технологического и художественного совершенства. При этом, сохраняя традиционную местную основу. В это время широко используются достижения архитектуры и искусства других народов Среднего и Ближнего Востока.

В оформлении интерьеров использовался живописно-орнаментальный декор. Он наносился на бело-ганчевой подготовку с применением неорганических красок - кобальта, киновари, охры, употреблявшихся то в чистом виде, то с добавками белил, чем достигались различные оттенки цвета, то в виде смесей. Нередко росписи обогащает также позолота - в самом рисунке или в окраске фона. Особенно эффектна в этом отношении получившая распространение по всей территории региона со второй половины XV в. техника "кундаль" с рельефным узором, поверх которой наносилась многокрасочная роспись с применением позолоты.

На рубеже XIV-XV вв. в двух грандиозных зданиях Самарканда - мечети Биби-Ханым и Гур-Эмире был использован особый род архитектурного декора - папье-маше в виде фигурных картушей из проклеенной и прессованной бумаги, покрытой позолотой и изысканной росписью. Они крепились гвоздиками на поверхности куполов и покрывались тонкой росписью [4].

Одна из примечательных черт архитектуры рассматриваемого периода - это

взаимообогащение зодчества разных районов огромной тимуридской державы путем проникновения и слияния творческих идей и направлений, формировавшихся как в столичных центрах, как и на периферии. В целом же зодчество данной эпохи характеризует целостная система, единый синтетический стиль, как бы выбравший в себя наивысшие достижения предшествующих эпох, обогативший их новыми творческими открытиями и тем самым поднявшим архитектуру и искусство Среднего Востока на совершенно новую ступень. Весь строй его художественно-образных средств выражает общественные идеи новой эпохи и эстетические идеалы создавших его народов [5].

В основе объемных построений XVI в. лежит блестящая инженерная разработка сводчато-купольных систем, выразившаяся в упразднении внешней оболочки куполов, в развитии конструкции пересекающихся арок и щитовидных парусов, появившиеся еще в XV в. Принцип пересекающихся арок разрабатывает множество вариантов декоративных куполов. В интерьере сочетание пространственной системы пересекающихся арок с сетчато-звездчатыми парусами дополняется сталактитами, украшающими паруса, софиты арок и карнизы. Во второй половине XVI в. возникает особый монохромный стиль белого интерьера с геометрической логикой объемов и строгой системой линий обнаженной конструкции. Все эти приемы составляют настоящую революцию в архитектуре интерьера.

Происходят большие перемены и в пластических видах искусства. Появляются сборные бесшовные мозаики, порталные ниши украшаются алебастровыми сталактитами. Появляется двухцветная стукковая мозаика «часпак». Этот вид декора, экономичный и несложный по технике, дает прекрасный эффект даже в монументальных масштабах. Все эти виды декора применяются на фасадах и интерьерах монументальных памятников Бухары, столицы Шейбанидского государства XVI в.: мадраса Мири-Араб (1535-1536 гг.), мечети-ханака Ходжа Зайнеддина, XVI в., мечеть Баянд, ханака в селении Бахауддин, близ Бухары (первой половина XVI в.), мадраса Абдуллахана (1588-1590 гг.) и многие другие [6].

К памятникам XVI в. на территории Таджикистана следует отнести мечеть Бобо-Таго (купольный зал XVI в.) в Ура-Тюбе

(ныне Истаавшан), мавзолее Махдуми Азам в Гиссаре, мечеть-намозгох в селении Навгилем близ г. Исфары (XVI в.) и другие [7].

В XVII веке, хотя и большой размах строительства как - бы продолжает традиции XVI в., однако зодчие уже не создают новых решений ни в конструкции, ни в формах, ни в декоре: все это заимствовано из опыта прошлого иногда в усложненном и развитом, иногда в огрубленном и менее совершенном выполнении (майолика, мозаика). Правда, это еще не упадок, но уже застой творческой мысли. Строились в основном культовые сооружения в двух центрах Мавераннахра - Бухаре и Самарканде. В это время углубляется тенденция деления на архитектурно-художественные школы.

Из наиболее интересных построек XVII в. в Бухаре следует назвать мадраса Абдулазизхана (1651/52 гг.). Богато отделанное мозаикой, кое-где рельефной, здание все - же уступает шедеврам прошлого столетия. В майоликах интересны изобразительные сюжеты, а в интерьере мечети и аудиторий - пышно разработанные декоративные «сталактитовые» покрытия с полихромной росписью и настенные панно с пейзажной росписью.

В XVII в. новый расцвет архитектуры наступает для Самарканда, где обновляется ансамбль площади Регистан, где появились мадраса Шир-Дор и Тилля-Кори. Хороши в мадраса Шир-Дор мозаики. Особенностью мадраса является изображение в тимпанах портала льва и диска восходящего солнца с чертами человеческого лица.

На территории Таджикистана, вдалеке от столичных центров, уменьшаются строительные работы, декор становится доступным только для наиболее крупных зданий. Так, мавзолее XVII-XVIII вв. Хол Бойкаро в Кофарнихонском районе декорирован только двумя угловыми башнями и кирпичами с резными «бантиками», что воспроизводит характерный прием архитектуры XI-XII вв. В Канибадаме в 1660 году строится мадраса Мирраджаб Додхо, украшенный монументальным порталом. В XVI- XVIII вв. формируется городская площадь средневекового Гиссара: здесь появляются два мадраса Кухна и Нав, чуть позднее-каравансарай Хиштин, а еще позднее - монументальные ворота гиссарского арка [7].

Как показал анализ эволюции архитектуры и пластических искусств на территории распространения таджикской

культуры, т.е. Средней Азии в целом, произведенный выше, одной из характерных особенностей этого региона на протяжении всего историко-культурного развития становится преемственность и устойчивость архитектурно-художественных традиций с последующим их обновлением (инновацией). Это вынуждает к необходимости уяснения вопроса как происходит преемственность и обновление местных, таджикских традиций.

Известно, что преемственность в архитектуре и монументальном искусстве Центральной Азии означает не прямое заимствование выработанных в предшествующий период (в данном случае, Сасанидский), но и их существенное обновление с соответствующей критической оценкой, пересмотром, использованием и развитием в соответствии с новыми общественными критериями и конкретно-историческими задачами общества IX-X вв. Вообще, стремление к новизне, инновации отличает всю архитектуру Среднего и Ближнего Востока и здесь к этому постоянному процессу оказывает воздействие развитие науки и техники, строительного дела и материалов, рост материальных и духовных потребностей и т. п. Воронина В.Л. отмечает, что традиция дает основу для развития форм только при условии творческого подхода и вырождается до компиляции в периоды культурного застоя (так, например, было в XVIII веке на территории региона, охваченной кризисом) [8].

Период IX-X века затем и XI-начало XIII вв. в истории зодчества Центральной Азии характеризуется выработкой ряда приемов художественных, планировочных, композиционных, строительных и других, которые стали определяющими для облика монументальных сооружений исламского зодчества - мадраса, мечетей, мавзолеев, ханака, каравансараев и др. В частности, основным ведущим архитектурно-планировочным приемом для архитектуры мадраса, мечетей и каравансараев становится 4-х или 2-х айванно-дворовая система, которая легла в основу хоросанских жилищ и парфянских дворцов Сасанидского периода [9].

В целом айванно-дворовая система, разработанная в Иране, а позже ставшая достоянием и других народов и стран, нашла свое воплощение в крупных дворцовых и жилых сооружениях древности. Впоследствии она оказала заметное влияние на сложение

средневекового культового зодчества Среднего и Ближнего Востока.

Их характерный признак - сочетание центрально расположенного двора со сводчатым залом, лежащим на оси двора и целиком раскрытым в его сторону одним торцом. Этому ядру сопутствуют меньшие помещения, фланкирующие зал-айван и раскрытые во двор, так что в «классическом» воплощении зал-айван обращен во двор триумфально симметричным трём арочным фасадам.

В отличие от Ирана земли Средней Азии в доарабскую эпоху не составляли единого государства (хотя территориально часть региона была подвержена влиянию Сасанидского Ирана). Поэтому дворово-айванная композиция воплотилась здесь в менее грандиозные, но по-своему выразительные сооружения.

Исламизация Средней Азии не уничтожила причин жизнестойкости дворово-айванных систем. Прямым потомком Сасанидских дворцов выглядит дворец правителей Термеза (XI-XII вв.), каравансарай Дая-Хатын в Туркменистане, дворец в Шахрияр-Арк в Мерве, дворец Тимура в Шахрисябзе, жилой дом XI в. в Чильдухтароне и ряд других культовых и мемориальных зданий, генетически восходящих к жилому зодчеству [6].

Прошедшая сквозь смену веков, социальных формаций и стилей, дворово-айванная композиция являет собой пример историко-культурных связей архитектуры Ирана и Средней Азии, преемственности и обновления традиций в архитектуре и монументальном искусстве.

Начиная с X в. широкое распространение получают арки стрельчатой формы, которые обладают большой сопротивляемостью сейсмическим усилиям, простотой производства работ без кружал и т. п.

Характерной особенностью декорирования фасадов в X-XI вв. является отсутствие штукатурок и тщательность кирпичных кладок, где нередко на лицевой поверхности кирпичей вырезались орнаментальные рельефы, создающие особую пластику игры света и тени на фасадах. Начиная с XII в. в архитектуре появляются новые средства художественной выразительности: использование облицовочных мелких шлифованных кирпичиков в виде резной терракоты, в интерьерах применяется резной ганч, из которого составлялись орнаментированные панели, колонки, карнизы и т.п.



(например, загородный дворец в Термезе, Узбекистан, XII в., дворец в Хульбуке, Таджикистан, X-XII вв. и др.) [10].

Дальнейшее творческое развитие монументального искусства X-XII вв. идет по пути постепенного перехода от кирпичного декора поверхностей стен к введению цветных изразцовых вставок на терракотовых облицовках фасадов и интерьеров зданий и сооружений. Да и сами терракотовые облицовочные плитки в XII в. являются новым явлением в декорировке зданий. Здесь фантазия керамистов получила простор для составления узоров растительных и геометрических сложнейших переплетений фигур. Как предполагает А. М. Прибыткова, развитие терракоты началось в Самарканде, кроме того, раскопки последних двух десятилетий в некрополе Шахи - Зинда обнаружили остатки мавзолеев X-XII вв. с фрагментами резной терракоты [11]. В XII в. в памятниках Мавераннахра появляется голубая глазурь (терракотовые надписи минарета Калян, мечети Магоки-Аттори в Бухаре, внешний купол мавзолея Султана Санджара в Мерве). На рубеже XII-XIII вв. мавзолей Фахр ад-Дина Рази и Такеша в Ургенче были перекрыты шатрами, облицованными голубыми изразцами [6].

Обновление и совершенствование конструктивных структур, выбор строительных материалов также являются новым явлением в архитектуре и строительном деле IX-X вв., совершенным на основе преемственности и инновации доисламских традиций. В частности, постепенная замена сырцовых стен на кирпичные обожженные, также введение прочных связующих растворов (например, ганча) привели к совершенствованию подкупольных конструкций, арочно-сводчатых структур, развитию архитектурных форм и декоративных приемов. Сырец, правда, не исчезает из практики монументального зодчества.

Стены построек иногда возводились по-прежнему из сырца, в то время как перекрытия выкладывались из обожженного кирпича. Сырцовые стены иногда облицовывались обожженным кирпичом, что также было инновационным явлением в архитектуре IX-X вв.

Таким образом, можно заключить, что преемственность традиций дает основу для развития архитектурных форм. И это преемственность с инновацией осуществлялась в результате творческого подхода зодчих Средней Азии к применяемым

традициям прошлого и выясняется роль традиции в ходе исторического развития.

#### Литература:

1. Мамаджанова, С.М. Синтез искусств и архитектуры Таджикистана (проблемы развития, взаимодействия и преемственности) [Текст] / С.М. Мамаджанова, Р.С. Мукимов, Д.С. Ганиев. – Душанбе: ТаджикНИИПАГ 2006. – С. 63-64.
2. Хмельницкий, С.Г. Мадраса Ходжа Машхад [Текст] / С.Г. Хмельницкий // В кн.: По следам древних культур Таджикистана. – Душанбе: Ирфон, 1978. – С. 117-142.
3. Рузиев, М.А. Резное дерево Чорку [Текст] / М.А. Рузиев. - Душанбе: Изд. «Ирфон», 1975. – 62 с., ил.
4. Воронина, В.Л. Архитектурные памятники Средней Азии. Бухара, Самарканд. / В.Л. Воронина – Л.: Аврора, 1969. – С. 17-37.
5. Пугаченкова, Г.А. Зодчество Центральной Азии. XV век [Текст] / Г.А. Пугаченкова. -Ташкент: Изд. литер. и искусство, 1976. - 115 с., ил.
6. ВИА, в 12 - ти томах. - Т.8. - М.: Стройиздат, 1969. – 491 с.
7. Мукимов Р.С. Зодчества Таджикистана [Текст] / Р.С. Мукимов. С.М. Мамаджанова – Душанбе, 1990. – 175 с.
8. Воронина, В.Л. Традиции в архитектуре Средней Азии [Текст] / В.Л. Воронина. – АН-1978.- № 26.- С. 157.
9. ВИА, в 12 - ти томах. - Т.1. - М.: Стройиздат, 1970.- С. 337.
10. Прибыткова, А.М. Развитие орнамента в архитектуре Средней Азии. [Текст] / А.М. Прибыткова // АН-1978.- № 26.- С. 135-145.
11. Прибыткова А.М. Архитектурные школы Средней Азии [Текст] / А.М. Прибыткова // АН-1982.- № 30.- С. 103-119.

#### МАСЪАЛАҲОИ МУТТАСИЛИ АНЪАНАҲО ДАР МЕЪМОРӢ ВА САНЪАТИ ОСИӢИ МАРКАЗӢ

*Ҷ.Ш. Ғанизода, С.Р. Ҳаитова,  
Ф.Н. Турдиева*

Дар мақола масъалаҳои давомати анъанаҳо дар меъморӣ ва санъати Осии Марказӣ, аз ҷумла синтези санъат дар меъморӣ, ки аҳамияти муҳими анъанаҳои муттасили дар меъморӣ ва намудҳои санъати пластикиро пайдо менамояд, мавриди назар қарор гирифтааст.

**Калимаҳои калидӣ:** меъморӣ, тараққиёт, анъана, муттасили, нақшу ниғор, санъат, марҳила, услуб.

## QUESTIONS OF CONTINUITY OF TRADITIONS IN ARCHITECTURE AND ART OF CENTRAL ASIA

*J.Sh. Ganizoda, S.R. Haitova, F.N. Turdieva*

The article deals with the continuity of traditions in architecture and art of Central Asia, including the synthesis of arts and architecture, where the continuity of traditions in architecture and plastic arts becomes important.

**Keywords:** Architecture, period, tradition, continuity, ornament, arts, development, style.

### Сведения об авторах:

Ганизода Джамшед Шуджоат, кандидат архитектуры, ректор Государственного

института изобразительного искусства и дизайна Таджикистана. Тел:+(992) 904-17-11-17 E-mail: jamna@mail.ru

Хайтова Савлатби Рахмановна – кандидат архитектуры, старший преподаватель кафедры «Архитектура и дизайн», Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Тел:+(992)904-35-74-76. E-mail: H.Savlat@mail.ru

Турдиева Фарангис Нуруллаевна - ассистент кафедры "Архитектура и дизайн" Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими. г. Душанбе. E-mail: farangisturdieva@gmail.com

## ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ДУШАНБЕ

*Ш.И. Рахматуллозода, К. Усмонзода*

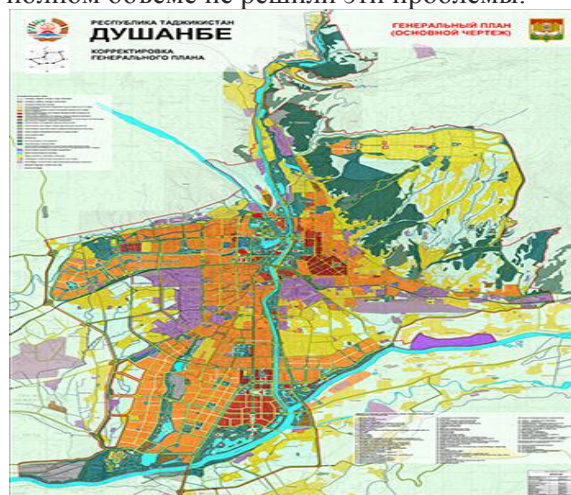
*Комитет по делам архитектуры и строительства при Правительстве Республики Таджикистан*

*В статье рассматриваются факторы, способствующие развитию инфраструктуры городов, характерной для столицы с учетом ее современного и будущего развития. Приведены примеры откорректированного нового Генерального плана города Душанбе, концепция его развития, поиск путей размещения различных общественных и обслуживающих объектов, а также пути решения транспортной инфраструктуры и разгрузки центра, паркинг и стоянки городов Америки и Европы. Предлагается комплекс мероприятий по оптимизации транспортного обслуживания в городе Душанбе.*

**Ключевые слова:** инфраструктура, корректировка, транспортная схема, городская проблема, паркинг и стоянки, урбанизация, проектирование, реконструкция, городская среда.

Город Душанбе является столицей и крупнейшим культурным центром Таджикистана, обновленный город становится символом единства, независимости и прогресса. Вся инфраструктура города Душанбе становится основной проблемой для развития комфортной жизнедеятельности горожан, т.е. развития городской среды, взаимодействия планировочной системы и условий внутри города – человек + город, которую необходимо решать планомерно(7). Факторы, которые способствуют развитию инфраструктуры города, такие как транспорт (транспортные развязки), (4) объём строительства новых кварталов - жилых и общественных построек, производства,

средства связи и укрупнения объектов. Чем разнообразнее функции города, тем более устойчивое его социально-экономическое положение (12). Качество инфраструктуры городской среды, характерное для столицы, требует изменения в стратегии использования территории города с учетом современного состояния и будущего развития, имея в виду не только сегодняшние, но и завтрашние нужды города. В крупных городах существует как большой рост численности населения, так и огромный рост автотранспорта. Проведя анализ некоторых городов Америки и Европы, можно проследить планомерное их развитие в сторону постепенного решения проблем транспорта и дорог, хотя и эти страны в полном объеме не решили эти проблемы.



*Рис.1. Генеральный план г. Душанбе.*



Рис.2. Транспортная схема г. Душанбе.

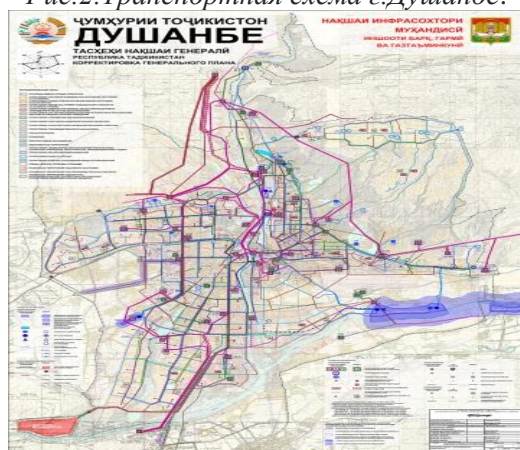


Рис.3. Инженерная схема коммуникаций г. Душанбе (8).

Все мы понимаем о неизбежности расширения городов и ищем ответы, планируя город по новому, то город - спутник, то город - будущего, и всегда мечтаем о пространстве, где будет воздух, просторные дворы и зелень.

Пути решения транспортной инфраструктуры городов может проходить по-разному, то есть: пытаются строить больше дорог, делают ставку на развитие сети общественного транспорта, стараются ограничить въезд транспорта в центры, строят больше стояночных площадей, рисуют больше парковочных мест и т.д. При строительстве большого количества дорог и парковочных мест пространство полностью заполняется дорогами и машинами, кольцевые многополосные дороги заполняют жилое и общественное пространство. В Соединенных Штатах Америки общественный транспорт, особенно вне крупных городов, развит существенно слабее, чем в Европе, хотя практически в любом городе США имеется та или иная форма общественного транспорта. Кроме того, в ряде городов, таких как Нью-Йорк, Бостон, Бруклин, существует паромное сообщение через водные массивы. (3). США в

отношении наземных транспортных средств - самая автомобильная держава в мире. Подавляющая часть американских городов и пригородов создается и развивается с учётом нужд автотранспортного транспорта. На примере огромной державы хотелось бы только подчеркнуть некоторые пути развития и решения проблем транспортной системы.

Еще один факт можно рассмотреть для разгрузки центра, опять же на примере Нью-Йорка, там общественный транспорт в связке с такси работает превосходно. 7-дневный билет по городу на метро и автобусы стоит 30 долларов. Одна небольшая поездка в такси — 10-15 долларов. А вот парковка автомобиля на Манхэттене обойдется в целых 15-30 долларов (за час). Т. е. жителям, работающим в центре крупнейшего города США, на работу ездить на машине не особенно и выгодно. А простым гражданам — тем более (13).

Они пытаются решить данную проблему и для этого сделали пешеходной центральную улицу Нью-Йорка – Тайм Скуэр. Ещё он называется «перекресток мира», «Великий Белый Путь», имеет статус быть знаковым ориентиром мира и символом этого города и всех США. Где сосредоточены крупнейшие бродвейские театры, а также другие театры, кинотеатры, рестораны, отели и прочие развлекательные учреждения. Также все рекламы, которые находятся на таких улицах, приносят большой доход в казну государству.

Большое значение в городском устройстве имеют паркинги и стоянки. Без них современный город немислим. Стоянки на тротуарах само собой недопустимы, штрафы за нарушение правил парковки на улицах также довольно высоки в этих городах.

Примеры западных стран могут помочь не только не повторить ошибки, но и прогнозировать новые варианты решения и развития транспортных сетей в городе, есть как удачные, так и неудачные примеры модернизации развития инфраструктуры. Но мы должны искать новые и интересные моменты использования городских пространств с дорогами и пешеходными пространствами.

Душанбе, построенный в основном по советским стандартам и опыту, и уже 28 лет развивающийся независимо, требует новой, современной и может даже национально-традиционной формы проектирования и градостроительства. (1). Для этого необходимо применить основные методы решения инфраструктурных проблем,

предложенные наукой урбанистической, которые включают в себя многие направления инфраструктуры: транспортное, инженерное, социальное, промышленное и т. д., что в последнее время (Еще с 20 века) становится очень популярным в западных и европейских странах. Это также означает, что для градостроителя настало время решительнее, чем когда-либо, вывести наружу все проблемы транспортной инфраструктуры:

- разгрузка магистральной сети центрального ядра городов от потоков транзитного транспорта;

- снижение транспортной нагрузки на наиболее напряжённых участках существующей магистральной сети. Обнажить все то, что десятилетиями копилось в скрытой форме. Нужно заново пространственно организовать существующие системы связей и, учитывая необходимое значение, имея в виду не только сегодняшние, но и завтрашние нужды города. (6). Как связать между собой возникшие или проектируемые зоны человеческой активности? Необходимо перевернуть картину и посмотреть, каковы же “законные” требования эффективной коммуникации к пространству деятельности горожан.

Количество легковых автомобилей в городе Душанбе за последние 20-25 лет увеличилось в 5-6 раз. Ожидаемый рост количества легковых автомобилей к концу 2040г. в городе - до 400 автомобилей на 1 тыс. жителей, что неминуемо приведет к исчерпанию пропускной способности магистральной сети города. (9). Изучая проблемы урбанизации и городского планирования, общественных пространств, можно дать определенную оценку развитию нашего города - развивать общественный транспорт в полном его объёме. Резюмируя этот факт можно сказать, что Душанбе на правильном пути решения этого вопроса. По новому Генеральному плану и Проекту Детальной Планировки(ПДП) некоторых районов города разработанные проектными институтами республики.

Строительство и реконструкция двух - трёх уровневых автодорог и магистралей города запроектированы и внесены в корректировку Генерального плана скоростные трамвайные пути на 1 и 2 очередь строительства, что также разгрузит транспортный поток (8) (Приложение – Генеральный план, схема транспортной инфраструктуры города). В этом году было закуплено большое количество автобусов для города и районов республиканского

подчинения (РРП), ликвидировав маршрутное такси, тем самым сократив «пробки» на главных магистралях города. Душанбе и турецкая компания АКІА заключили договор о приобретении 100 единиц автобусов марки АКІА со сборкой в Душанбе. Правительством дан старт строительству автобусного завода в Душанбе (9). Производственная мощность будущего предприятия, которое планируется построить в течение года, составит 250-300 автобусов в год. (11). Город уделяет большое внимание развитию общественного транспорта для достижения максимального удобства и высокого качества пользования жителями и гостями столицы Республики. (9). Решается также проблема стоянок внутри города – это многоуровневые и подземные парковки, стоянки, вывод транзитного движения за пределы центра городов. Открыта первая эстакада, которая состоит из трёх уровней на втором уровне эстакады возведено круговое движение, по которому движение транспорта осуществляется посредством специальных знаков. На третьем уровне с востока на запад проложен мост длиной 125 метров и шириной 24,8 метра. Также запланировано строительство второй трехуровневой эстакады в Душанбе. Необходимо отметить, что эффективная и качественная реализация коммуникационных проектов, возведение автомобильных и железных дорог, тоннелей и мостов является весьма важным для достижения одной из стратегических целей Правительства Республики Таджикистан (2).

Для развития транспортной инфраструктуры в данной статье предлагается комплекс мероприятий по оптимизации транспортного обслуживания в городе для приведения улично-дорожной сети в нормативное состояние:

1. Снижение транспортной нагрузки на наиболее напряжённых участках существующей магистральной сети;

2. Усиление транспортных связей ряда периферийных районов с центральной частью города, имея ввиду и общественный транспорт;

3. Обеспечение реального преимущества пешеходного трафика и общественного транспорта в городах перед автомобильным;

4. Развитие сети общественного транспорта и обеспечение качества подвижного состава, проектирование и реконструкция крупных пересадочных зон (хабов) общественного транспорта, организация посадочных комплексов доступных для маломобильных групп населения;

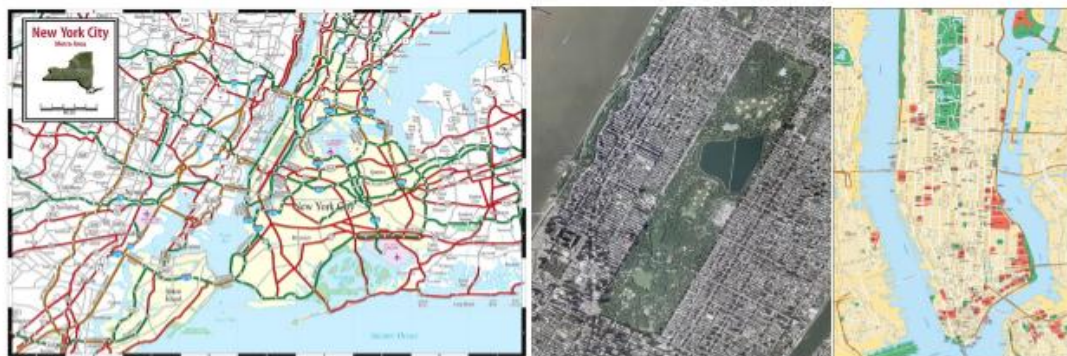


Рис.4. карты г. Нью Йорка на русском языке, карты Манхэттена, схема метро Нью-Йорка.



Рис.5. Эскиз проект ПДП одного из микрорайонов района И. Сомони.



Рис. 6. Новая 3-х уровневая транспортная развязка 82 микрорайона, на пересечении проспектов Н.Махсум, Б. Гафурова г. Душанбе.

Хотелось бы остановиться на таком мероприятии как создание комплексных схем пешеходного, автомобильного и велосипедного трафика, схем общественного транспорта, где можно ввести картирование передвижения пешеходов и туристов по городу и республике. Еще раз хочется остановиться на этом пункте и развить эту тему подробнее, и может действительно какие-то улицы полностью освободить от автомобильного транспорта и сделать пешеходными – это было бы интересно для города, как раз, когда идёт процесс строительства новых дорог и автомагистралей.

1. Организация перспективного планирования парковочных зон, внедрение

нормативов и требований к организации парковок во дворах;

2. Введение платной парковки в отдельных перегруженных транспортом зонах города, преимущественно у базаров (центров современной торговли) и других торговых точек.

С целью повышения роли общественности в создании и управлении городской средой необходимо активно использовать практику социологических и иных исследований разных, предваряющих проектирование благоустройства городских пространств, а также расширить практику привлечения горожан, коммерческих и некоммерческих организаций к проектированию и

преобразованию городских пространств (5). Должен быть обеспечен принципиально новый уровень взаимодействия с общественностью при принятии решений, касающихся городской среды и учёт результатов общественных слушаний при принятии решений. Реализация обозначенных мероприятий позволит не только создать условия для комфортной жизни в больших городах республики, но будет серьёзно способствовать удержанию и привлечению талантливой молодёжи и путешественников. Кроме того, формирование современной городской среды даст значительный экономический эффект, стимулируя развитие рынка комфортного жилья и рост инвестиционной привлекательности городов республики (10).

#### Литература:

1. Акбаров А. Воситаи таълими // Лоихаи бинои истикоматии пастошёна барои дехоту шаҳрҳои Тоҷикистон. Душанбе – 2016с.
2. Avesta.Tj. Открытие первой эстакады в 82-м микрорайоне города Душанбе. 06.09.2018г.
3. Бадиров Камран Давуд оглы. Транспортная инфраструктура Соединенных Штатов Америки. Курсовая работа. 2009г.
4. Глазычев В.Л. - архитектор, к. ф. н., исследователь. Транспортная инфраструктура города. 1970г.
5. Гутнов А.Э.- Мир архитектуры 1985г..
6. Журнал «Вокруг Света», август 2008 г.
7. Мукимов Р.С., Каримов М.Д. Учебное пособие // Город на 40 тысяч жителей в условиях Таджикистана. Душанбе – 2010г.
8. И.М. Шнайдер., главный архитектор проекта В.А Бугаев. «Корректировка Генерального плана города Душанбе». Основные положения проекта. Том 1. Москва 2015 г. Директор по градостроительству, архитектуре и проектным работам
9. Информационный журнал «Транспорт Таджикистана». Информационно – познавательный портал о Таджикистане. 2010г.
10. Рахматуллаева Ш.И. Вопросы устойчивого развития населенных мест и формирования жилых образований в условиях горных районов Таджикистана. Москва – 1999г.
11. Sputnik Таджикистан.
12. Согачева О.В. «Особенности формирования и функционирования социальной инфраструктуры региона» (ключевые слова). 2009г., 2016г.

13. Эдуард Гавайлер. Парковки и стоянки в Нью-Йорке. 2013г.

### ОМИЛҲОИ ТАРАҚҚИЁТИ МУҲИТИ ШАҲР ДАР БАРОБАРИ ИНФРАСОХТОРИ НАҚЛИЁТИИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ

*Ш.И. Рахматуллозода, К. Усмонзода*

Дар мақола омилҳои ҳоси мусоидаткунандаи инфрасохтори шаҳр дар баробари тараққиёти замони муосир ва оянда нисбат ба пойтахтҳо дида баромада шудааст. Мисолҳои тасҳеҳи Нақшаи генералии шаҳри Душанбе, нуктаи назари тараққиёт, тарзи ҷойгиронии иншооти гуногуни ҷамъиятӣ ва хизматрасонӣ, инчунин роҳҳои ҳалли мушкилоти инфрасохтори нақлиётӣ ва холишавии марказ паркинг-таваққуфгоҳҳои Амрико ва Аврупо оварда шуда, маҷмӯи ҷорабиниҳои беҳтарини хизматрасонии нақлиётӣ дар шаҳри Душанбе пешниҳод карда мешавад.

**Калимаҳои калидӣ:** инфрасохтор, тасҳеҳ, нақшаи нақлиётӣ, масъалаҳои шаҳр, таваққуфгоҳҳо, зиёдшавии аҳоли, лоихакашӣ, азнавсозӣ, муҳити шаҳр.

### FACTORS OF DEVELOPMENT OF URBAN ENVIRONMENT TAKING INTO ACCOUNT THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF DUSHANBE CITY

*Sh.I. Rakhmatullozoda, K. Usmonzoda*

The article discusses the factors contributing to the development of urban infrastructure characteristic of the capital, taking into account its modern and future development. Examples of the revised new General Plan of the city of Dushanbe, the concept of its development, the search for ways to accommodate various social and service facilities, as well as solutions to the transport infrastructure and unloading the center, parking of cities in America and Europe are given. A set of measures to optimize transport services in the city of Dushanbe is proposed.

**Keywords:** infrastructure, adjustment, transport scheme, urban problem, parking, urbanization, design, reconstruction, urban environment.

#### Сведения об авторах:

Рахматуллозода Ш.И. – кандидат архитектуры, заместитель Председателя Комитета по делам архитектуры и строительства при Правительстве Республики Таджикистан, E-mail: rsi-design@mail.ru

Усмонзода К. – Главный архитектор г. Душанбе, E-mail: [archdushanbe@mail.ru](mailto:archdushanbe@mail.ru).

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В научно-теоретическом журнале Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Таджикского технического университета («Паёми политехникӣ. Баҳши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ.») публикуются научные сообщения по следующим направлениям: энергетика, строительство и архитектура, транспорт, химическая технология и металлургия.

1. Статья, представленная в редколлегию, должна иметь экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати от учреждения, в котором выполнена данная работа, а также рецензию специалиста в данной области науки.

2. Редколлегия принимает статьи, подготовленные в системе Word, тщательно отредактированные и распечатанные в 2-х экземплярах через 1,5 интервала (размер шрифта кегль 14 Times New Roman), на белой бумаге формата А4 (297x210 мм), поля: левое - 30 мм; правое – 20 мм; верхнее – 30 мм; нижнее – 25 мм). Одновременно текст статьи представляется в электронном виде или присылается по электронной почте: nisttu1@mail.ru или fariduny@mail.ru

3. Размер статьи не должен превышать 10 страниц компьютерного текста включая текст, иллюстрации (графики, рисунки, диаграммы, фотографии) (не более 4), список литературы (не более 15), тексты резюме на таджикском и английском языках (не более 100 слов). Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках не допускается. В тексте необходимо дать ссылки на все приводимые таблицы, рисунки и фотографии. В цифровом тексте десятичные знаки выделяются точкой.

4. В правом углу статьи указывается научный раздел, в котором следует поместить статью. Далее в центре следующей строки - инициалы и фамилия автора, ниже – полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), ключевые слова. Сразу после текста статьи приводится список использованной литературы и указывается название учреждения, в котором выполнялось данное исследование. Затем приводится аннотация на таджикском (редактор Times New Roman Tj), русском и английском языках.

5. Формулы, символы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation и Math Type (шрифт 12). Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

6. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактная информация.

7. Цитируемая литература приводится под заголовком «Литература» в конце статьи. Все ссылки даются на языке оригинала и нумеруются. Цитируемая литература должна иметь сквозную нумерацию в порядке упоминания работ в тексте. Ссылки на литературу в тексте должны быть заключены в квадратные скобки. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

8. Электронная версия опубликованной статьи размещается в сайте ТТУ имени академика М.С.Осими и в системе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

9. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

10. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

# POLYTECHNIC BULLETIN

3(47)

2019

**SERIES: ENGINEERING STUDIES**

Published since  
January 2008

**SCIENTIFIC - TECHNICAL JOURNAL**

**ISSN 2520-2227**

**Founder and publisher:**

**Tajik Technical University named  
after academician M. Osimi  
(TTU named after  
acad.M.Osimi)**

**EDITORIAL TEAM:**

**H.O. ODINAZODA**

Corresponding member of Academy of Sciences of the Republic of  
Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor - Chief Editor

**M.A. ABDULLOEV**

Candidate of technical sciences, associate professor, Deputy Chief Editor

**A.J. RAKHMONZODA**

Candidate of technical sciences, associate professor, Deputy Chief Editor

**A.B. BADALOV**

Corresponding member of Academy of Sciences of the Republic of  
Tajikistan, Doctor of Chemistry, professor

**I.N. GANIEV**

academician of AS RT, Doctor of Chemistry, professor

**A.G. GIYASOV**

Doctor of technical sciences, professor

**R.A. DAVLATSHOEV**

Candidate of technical sciences, Associate professor

**T.J. JURAEV**

Doctor of technical sciences, professor

**V.S. IVASHKO**

Doctor of technical sciences, professor (Republic of Belarus)

**L.S. KASOBV**

Candidate of technical sciences, Associate Professor

**T.I. MATKERIMOV**

Doctor of technical sciences, professor (Kyrgyz Republic)

**R.S. MUKIMOV**

Doctor of Architecture, Professor

**D.N. NIZOMOV**

Corr. member of AS RT, Doctor of technical sciences, professor

**F.I. PANTELEENKO**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Republic of Belarus)

**A.I.SIDOROV**

Doctor of technical sciences, professor (Russian Federation)

**V.V. SILYANOV**

Doctor of technical sciences, professor (Russian Federation)

**A.G. FISHOV**

Doctor of technical sciences, professor (Russian Federation)

**M.M. KHAQDOD**

Corr. member of AS RT, Doctor of technical sciences, professor

**A.SH. SHARIFOV**

Doctor of technical sciences, professor

**D.H. SAIDZODA**

Doctor of technical sciences, professor

**A. AKBAROV**

Doctor of Engineering, Professor

**A. RUZIYEV**

Candidate of technical sciences

**M.YU.YUNUSOV**

Candidate of technical sciences

Scientific directions of periodical  
edition:

— 05.14.00 Energy

— 05.16.00 Metallurgy and Materials

— 05.17.00 Chemical technology

— 05.22.00 Transport

— 05.23.00 Construction and  
Architecture

The certificate of registration of  
organizations that have the right to  
print in the Ministry of Culture under  
number 0261 / JR from January 18,  
2017.

Frequency of edition - quarterly.

Subscription index in the catalogue  
"Tajik Post"-77762

Договор с Научно-электронной

Journal included in the Russian  
scientific citation index

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=62828](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=62828)

Договор -08/09-1 о включении жура в  
Российский индекс  
научноцитирования

A full-text version of the journal is  
located at the site <http://vp-es.ttu.tj/>

**Editorial address:**

734042, Dushanbe,

10A, acad. Rajabovs ave.

Tel .: (+992 37) 227-01-59

Fax: (+992 37) 221-71-35

**E-mail:** nisttu1@mail.ru

*Журнал с 30 мая 2018 года включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК при РТ.*



<b>Мухаррири матни русӣ:</b>	<b>М.М. Якубова</b>
<b>Мухаррири матни тоҷикӣ:</b>	<b>Ф.М. Юнусов</b>
<b>Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ:</b>	<b>С.Р. Чоршанбиев</b>
<b>Редактор русского текста:</b>	<b>М.М. Якубова</b>
<b>Редактор таджикского текста:</b>	<b>Ф.М. Юнусов</b>
<b>Компьютерный дизайн и верстка:</b>	<b>С.Р. Чоршанбиев</b>

**Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо, 10<sup>А</sup>**

**Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раҷабовых, 10<sup>А</sup>**

Ба матбаа 30.09.2019 супорида шуд. Ба чоп 3.10.2019 имзо шуд.

Чопи офсетӣ. Қоғози офсет. Андозаи 60x84 1/8

**Адади нашр 200 нусха.**

**Матбааи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ  
ш. Душанбе, қўчаи акад. Раҷабовҳо, 10<sup>А</sup>**