ISSN 2520-2227

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

2 (66) 2024

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Серия: Инженерные исследования

POLYTECHNIC BULLETIN
Series: Engineering studies

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

БАХШИ ТАҲҚИҚОТҲОИ МУҲАНДИСӢ

ISSN 2520-2227

2(66) 2024

МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

http://vp-es.ttu.tj/ E-mail: vestnik_politech@ttu.tj | Published since January 2008

Маҷалла ба рӯйхати нашрияҳои тақризии КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, КОА-и назди Вазорати таҳсилоти олӣ, илм ва инноватсияҳои Ҷумҳурии Узбекистон ва равияи металлургияи он ба рӯйхати нашрияҳои тақризии КОА-и Федератсияи Россия ворид карда шудааст.

Журнал включен в перечень рецензируемых изданий ВАК при Президенте Республики Таджикистан, ВАК при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, а его металлургическое направление в перечень рецензируемых изданий ВАК Российской Федерации.

The journal is included in the list of peer-reviewed publications of the HAC under the President of the Republic of Tajikistan, the HAC under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan, and its metallurgical direction in the list of peer-reviewed publications of the HAC of the Russian Federation.

Маҷалла дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст
№ 231/МҶ-97 аз 27 январи соли 2022
Индекси обуна 77762

РАВИЯИ ИЛМИИ МАҶАЛЛА	НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЖУРНАЛА	SCIENTIFIC DIRECTION
05.14.00 Энергетика *05.16.00 Металлургия ва маводшиносӣ* *05.17.00 Технологияи химиёвӣ* *05.22.00 Нақлиёт* *05.23.00 Сохтмон ва меъморӣ*	*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*	*05.14.00 Energy* *05.16.00 Metallurgy and materials science* *05.17.00 Chemical technology* *05.22.00 Transport* *05.23.00 Construction and architecture*

Муассис ва ношир	Учредитель и издатель	Founder and publisher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
Ҳар семоҳа нашр мешавад	Издается ежеквартально	Published quarterly

Нишонӣ	Адрес редакции	Editorial office address
734042, г. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10А Тел.: (+992 37) 227-57-87	734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10А Тел.: (+992 37) 227-57-87	734042, Dushanbe, Avenue of Academicians Radjabovs, 10A Tel.: (+992 37) 227-57-87

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

POLYTECHNIC BULLETEN
SERIES: ENGINEERING STUDIES

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ

САРДАБИР

Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА
доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА
н.и.т., дотсент, муовини сармухаррир

Ш.А. БОЗОРОВ
н.и.т., дотсент, муовини сармухаррир

АЪЗОЁН

А.И. СИДОРОВ
д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

А.Г. ФИШОВ
д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

З.Ш. ЮЛДАШЕВ
д.и.т., дотсент

Л.С. КАСОБОВ
н.и.т., дотсент

А.К. КИРГИЗОВ
н.и.т., и.в. дотсент

И.Н. ГАНИЕВ
академики АМИТ, д.и.х., профессор

Х.О. ОДИНАЗОДА
узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

Т.Ҷ. ҶУРАЕВ
д.и.т., профессор

М.М. ҲАКДОД
узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

А.Б. БАДАЛОВ
узви вобастаи АМИТ, д.и.х., профессор

А.С. ФОХАКОВ
д.и.т., дотсент

В.В.СИЛЯНОВ
д.и.т., профессор (Федерацияи Россия)

Р.А. ДАВЛАТШОЕВ
н.и.т., дотсент

М.Ю. ЮНУСОВ
н.и.т., и.в. дотсент

Р.САЛОМЗОДА
н.и.т., дотсент

Ҷ.Н. НИЗОМОВ
узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

И. КАЛАНДАРБЕКОВ
д.и.т., и.в. професс

А. Г. ГИЯСОВ
д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

Н.Н. ҲАСАНОВ
доктори меъморӣ, и.в. профессор

Р.С. МУҚИМОВ
доктори меъморӣ, профессор

Ҷ.Ҳ. САИДЗОДА
доктори илмхои техникӣ, профессор

Р.Ҳ. РАСУЛОВ
д. и. т., профессор (Ҷумҳурии Узбекистон)

Н.М. ҲАСАНОВ
д.и.т., дотсент

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

К.К. ДАВЛАТЗОДА
д.э.н., профессор

Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА
к.т.н., доцент, зам. главного редактора

Ш.А. БОЗОРОВ
к.т.н., доцент, зам. главного редактора

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

А.И. СИДОРОВ
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

А.Г. ФИШОВ
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

З.Ш. ЮЛДАШЕВ
д.т.н., доцент

Л.С. КАСОБОВ
к.т.н., доцент

А.К.КИРГИЗОВ
к.т.н., и.о. доцента

И.Н. ГАНИЕВ
академик АН РТ, д.х.н. профессор

Х.О. ОДИНАЗОДА
член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

Т.Дж. ДЖУРАЕВ
д.т.н., профессор

М.М. ХАКДОД
член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

А.Б. БАДАЛОВ
член-корр. АН РТ, д.х.н., профессор

А.С.ФОХАКОВ
д.т.н., доцент

В.В.СИЛЬЯНОВ
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Р.А. ДАВЛАТШОЕВ
к.т.н., доцент

М.Ю. ЮНУСОВ
к.т.н., и.о. доцента

Р.САЛОМЗОДА
к.т.н., доцент

Д.Н. НИЗОМОВ
член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

И.КАЛАНДАРБЕКОВ
д.т.н., и.о. профессора

А. Г. ГИЯСОВ
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Н.Н. ХАСАНОВ
доктор архитектуры, и.о. профессора

Р.С. МУКИМОВ
доктор архитектуры, профессор

Дж.Х. САИДЗОДА
д.т.н., профессор

Р.Ҳ. РАСУЛОВ
д.т.н., профессор (Республика Узбекистан)

Н.М. ХАСАНОВ
д.т.н., доцент

Материалы публикуются в авторской редакции, авторы опубликованных работ несут ответственность за оригинальность и научно-теоретический уровень публикуемого материала, точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений. Редакция не несет ответственность за достоверность информации, приводимой авторами.

Автор, направляя рукопись в Редакцию, принимает личную ответственность за оригинальность исследования, поручает Редакции обнародовать произведение посредством его опубликования в печати.

МУНДАРИҶА – ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY 5

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБОКОГО ВВОДА НАПРЯЖЕНИЕМ 35/0,38 кВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН 5
М.Д. Додхудоев, М.М. Вохидов 5

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ..... 11
Р.А. Джалилов 11

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НЕГЛУБОКИХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ 20
В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН 20
С.А. Тагоев, Ш.М. Султонзода, У.У. Косимов 20

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК..... 27
О.С. Сайфиддинзода 27

ВЫБОР ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН 32
[1]А.Х. Хабибов, [2]Р.З. Юлдашев, [2]З.Ш. Юлдашев 32

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ 39
Дж.Х. Худжасаидов 39

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА, КАК НАПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА..... 46
К.Х. Гуломзода 46

МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE..... 54

КОМПЛЕКСҲОСИЛКУНИИ МИС (II) БО 1-МЕТИЛ-2-МЕРКАПТОИМИДАЗОЛ ДАР МАҲЛУЛҲОИ ОБӢ..... 54
А.Ҳ. Раҳимзода, С.М. Сафармамадзода, М.М. Сангов 54

ТАДҚИҚОТИ РАВАНДҲОИ ХӮРДАШАВИИ КАВИТАТСИОНӢ ВА СУНБОДАГӢ ҲАНГОМИ КОРКАРДИ САЙЁРАВИИ МАРКАЗШИТОБ 61
И. Мирзоалиев, А.И. Мирзоалиев, Т.А. Хоҷаев, М.А. Иззатуллоев 61

ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY 65

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ..... 65
Д.Ч. Равшанов[1], Х.А. Бабаханова[2], О.Д. Хакназарова[2] 65

ПРОИЗВОДСТВО ОПЫТНОЙ ПАРТИИ ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ ИЗ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРИДА НАТРИЯ 70
С.М. Шокаримов[1], Н.А. Наимов[2], Р.С. Рафиев[1], Дж.Р. Рузиев[1] 70

RESEARCH ON THE COMPOSITION OF OFFSET PRINTING PAINTS..... 75
Kh.A. Babakhanova, D.I. Abdirakhmanova, Z.K. Galimova 75

КИНЕТИКАИ ТАҶЗИЯИ ГИДРОКСИДИ АЛЮМИНИЙ ДАР ОМЕХТАИ КИСЛОТАҲОИ ГИДРОГЕНСИЛИТСИЙФТОРИД ВА ФТОРИД 79
С.М. Шокаримов[1], Н.А. Наимов[2], Р.С. Рафиев[1], Ҷ.Р. Рузиев[1] 79

ДАР БОРАИ МОДЕЛСОЗИИ РАВАНДИ ПИРОЛИЗИ КОНДЕНСАТҲОИ ГАЗӢ ДАР ПЛАЗМАИ ҲАРОРАТАШ ПАСТ 86
М.Т. Идиев, Б.С. Сафаров, У.Н. Файзуллоев 86

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ АНТРАЦИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЗАРАЙЛОК РАШТСКОЙ ДОЛИНЫ 91
А. Муродиён[1], Н.Ю. Пулодов[3], Б.С. Джамолзода[2], Х.О. Одиназода[2], К. Ботуров[3] 91

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ИОНИЗАЦИИ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ МЕТОДОМ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ 99
Ф. Мираминзода[1], М. Рахимова[2], Дж.А. Давлатшоева[2], К.Дж. Суяриён[2], Г.Б. Эшова[1] 99

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ РТУТИ (II) С N – АЦЕТИЛТИОМОЧЕВИНОЙ 106
ПРИ ИОННОЙ СИЛЕ 0,1 МОЛЬ/Л $NaClO_4$ И ТЕМПЕРАТУРЕ 318К 106
Р.С. Халимова, Ф.Ш. Курбонова, С.И. Сафаров 106

ПРОЦЕССЫ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ Fe(II)-Fe(III)-H_4Cit-H_2O 110
Ф. Мираминзода[1], М. Рахимова[2], Дж.А. Давлатшоева[2], К.Дж. Суяриён[2], Г.Б. Эшова[1] 110

НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT 117

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В Г. ДУШАНБЕ 117
А.М. Умирзоков, Ф.М. Махмудова, Б. Нуралиев 117

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ПОКРЫТИЙ 122
С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев 122

ТАҲЛИЛИ ТАМОЮЛ ВА ҚОНУНИЯТҲОИ РУШДИ СИСТЕМАИ МУСОФИРБАРӢ 129
Ф.М. Юнусов, А.А. Рачабов, Ш.Ф. Самиев 129

СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE 134

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНОМАТЕРИАЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН .. 134
И.К. Каландарбеков, И.И. Каландарбеков, А.Ш. Шарифзода 134

МАГНЕЗИАЛЬНО-КАРНАЛЛИТОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ 139
О.Б. Косимов[1], А.А. Акрамов[2], К.О. Косимов[2] 139

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТУРОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ 143
С.С. Зарифов, Р.Р. Саидов, И.С. Муминов 143

АНАЛИЗ ТИПОВ КРЕПИ ПОРОДЫ НА УЧАСТКЕ РАЗВЕТВЛЕНИЯ СТ-4 149
С МЕТОДОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 149
М.Х. Саидов, Н.М. Хасанов, Д.К. Давронов 149

ТАДҚИҚОТИ ДИАФРАГМАИ МАЗБУТӢ БО МЕТОДИ ДЕФОРМАТСИЯҲОИ МУТАМАРКАЗШУДА 155
Р.Р. Саидов, И.С. Муминов, С.С. Зарифов, И.Ш. Ашуров 155

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА 160
И.И. Нигматов, Ш.З. Усмонов 160

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИЗГИБА ПЛАСТИН С ЗАЩЕМЛЕННЫМИ КРАЯМИ МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ 163
Д.Дж. Исвалиев 163

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ БЕТОНА МОДЕЛЕЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК 167
О.Р. Нуманов, Т.С. Сафаров, У.Р.Тешаев 167

НАҚШИ АНЪАНАҲОИ МЕЪМОРИИ ХАЛҚӢ ДАР РУШДИ ШАҲРАКҲОИ БОСТОНӢ 171
Р.Ш. Зокиров 171

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАЗРЕЗНОЙ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ 178
Дж.Н. Низомов, О.Р. Нуманов 178

УДК 621.311(07)

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБОКОГО ВВОДА НАПРЯЖЕНИЕМ 35/0,38 кВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

М.Д. Додхудоев, М.М. Вохидов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе рассматривается эффективность внедрения и эксплуатации глубокого ввода напряжением 35/0,38 кВ для электроснабжения потребителей сельских населённых пунктов в стеснённых горных условиях ГБАО при большом разбросе потребителей, малой плотности нагрузки и сложным рельефом местности. Указываются положительные результаты использования глубокого ввода и даются рекомендации по дальнейшему улучшению системы электроснабжения этого региона и её влияние на энергетическую безопасность всей страны.

Ключевые слова: *электрические сети, потребители, глубокий ввод, допустимое напряжение, линия электропередачи, качество электроэнергии.*

ТАҶРИБАИ НИГОҲУБИНИ ШИДДАТИ ҶУҚУР ДАРОВАРДАШУДАИ 35/0,38 кВ ДАР СИСТЕМАИ ЭЛЕКТРОТАЪМИНКУНИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

М.Д. Додхудоев, М.М. Вохидов

Дар мақола самаранок ҷорӣ ва нигоҳубин намудан шиддати чуқур даровардашудаи 35/0,38 кВ барои электротаъминкунии хоҷагиҳои қишлоқ дар шароити кӯҳистони ВАБК дар ҳолати кам будани зичӣ ва парокандагии борҳои электрикӣ дида баромада шудааст. Тарафҳои мусбати истифодабарии схемаҳои чуқур даровардашуда нишон додашуда, тавсияҳо барои боз ҳам беҳтар намудани системаи электротаъминкунии ин минтиқа ва таъсири он ба баланд бардоштани дараҷаи бехатарии энергетикии тамоми Ҷумҳурӣ пешкаш карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *шабакаҳои электрикӣ, истеъмолкунандаҳо, чуқур даровардашуда, шиддати имконпазир, хати интиқоли электрикӣ, сифати энергияи электрикӣ.*

EXPERIENCE OF OPERATION OF DEEP ENTRYING VOLTAGE 35/0.38 kV IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE REPUBLICTAJIKISTAN

M.D. Dodkhudoev, M.M. Vohidov

In this article examines the effectiveness of the implementation and operation of deep input voltage 35/0.38 kV for power supply to consumers in rural settlements in the cramped mountainous conditions of the Badakhshan Autonomous Mountain Region with a wide spread of consumers, low load density and difficult terrain. The positive way of using deep input are indicated and recommendation are given for further improvement of the power supply system of this region and its impact on the energy security of the entire country.

Keywords: *electrical networks, consumers, deep input, permissible voltage, power line, quality.*

Напряжение 35 кВ считается глубоким вводом только в том случае, когда оно преобразовывается непосредственно на напряжение до 1000 В, т.е. 35/0,38-0,66 кВ. В условиях промышленных предприятий при соблюдении определённых условий, применения глубокого ввода напряжением 35/0,38 кВ рекомендуется всегда и даёт большой экономический эффект [1]. Причём оно уже применяется не только на обычных предприятиях, но и в горных выработках шахт [2]. В системе электроснабжения городов и сельских населённых пунктов с обычными условиями применение напряжения 35 кВ пока явно нецелесообразно.

Практика применения глубокого ввода напряжением 35/0,38 кВ в сельской местности при низкой плотности нагрузки имеется в системе электроснабжения Республики Таджикистан, впервые реализованного в системе электроснабжения ГБАО ООО «Памир Энержи». Целесообразность использования напряжения 35/0,38 кВ обусловлена тем, что в условиях горного рельефа местности плотность нагрузки очень мала, а расстояние между отдельными населёнными пунктами чрезмерно велико. Применение в этих условиях тройной трансформации напряжения с прокладкой по узкому ущелью линий электропередачи трёх напряжений абсолютно неэффективно [3, 4, 5].

Система электроснабжения сельских населённых пунктов Горно-Бадахшанской автономной области начала образовываться в 70-е годы, постепенно вводилась в эксплуатацию до начала 90-х годов прошлого столетия. До образования единой системы электроснабжения электроэнергией в основном обеспечивались областной центр г. Хорог и ближайшие к нему населённые пункты, а также районные центры от собственных маломощных автономно работающих гидравлических электрических станций. Наиболее отдалённые, относительно большие населённые пункты только в ночное время снабжались электроэнергией от дизельных электростанций.

По мере расширения электрификации сельских населённых пунктов, расположенных вдоль ущелья между районными центрами, производилось строительство новых и реконструкция старых малых ГЭС.

Поскольку потребители электроэнергии в основном располагаются между этими источниками, электрическая связь между ними образовалась естественным путём по мере присоединения к ним отдельных сельских населённых пунктов и сближения их между собой.

К концу 80-х годов прошлого столетия, то есть еще до развала Советского Союза, образовалась единая электроэнергетическая система ГБАО, присоединенная к общей электроэнергетической системе Таджикской ССР. Однако недостаточная мощность источников питания, значительные расстояния между ними, а также значительная длина линии распределительной сети напряжением 6-10 кВ и 0,38 кВ приводили к значительным потерям напряжения и мощности, а, следовательно, и электроэнергии в сетях этих трёх напряжений.

Линии напряжением 6-10 кВ в горных условиях часто прокладываются в двух направлениях от понижающей ПС 35/6-10 кВ по ущелью, где расположены потребители электроэнергии. Нагрузка на электрическую сеть настолько мала, что для полной загрузки трансформатора потребуется значительное увеличение длины передачи электроэнергии с целью большего охвата потребителей. Тем самым длина линий электропередачи увеличивается настолько, что независимо от незначительной нагрузки потери напряжения велики. Для снижения потери напряжения требуется сокращения длины линий электропередачи и увеличения количества ПС напряжением 35/6-10 кВ, что с экономической точки зрения явно нецелесообразно. Не менее сложным оказывается выполнение распределительной сети напряжением 0,38 кВ. Отдельные потребители в условиях высокогорья находятся на больших расстояниях друг от друга (порой до 1,5 -2 км). Поэтому количество потребителей, присоединённых к одной ПТП, должно быть ограничено с тем, чтобы сократить длину линий и уменьшить потери напряжения в них. Для этого требуется разукрупнение ПТП. Разукрупнение ПТП и приближение их к потребителям в прошлом, как было выше изложено, было невозможно, так как трансформаторы малой мощности не выпускались. Поэтому для наиболее отдалённых потребителей потери напряжения были значительны. Из-за этого даже в летнее время, когда нагрузка электрической сети была минимальная, в отдалённых населённых пунктах на вводах потребителей напряжение снижалось настолько, что использование бытовых электроприборов было невозможно. Реально при наличии электрической сети для освещения использовались керосиновые лампы. Бытовые электроприёмники не могли выполнять свои функции. Один из авторов этой статьи был свидетелем такого качества электроэнергии в одном из отдалённых населённых пунктов Шугнанского района (село Ванкала) и Ванчского района (село Пянджшанбе), расположенного около районного центра, недалеко от ГЭС «Вандж».

В этих условиях с целью привлечения инвестиции для реконструкции системы электроснабжения в начале 90-х годов прошлого столетия с приобретением нашей страной государственного суверенитета система электроснабжения ГБАО была преобразована в компанию ОАО «Памир Энерджи», как самостоятельное подразделение при Министерстве энергетики Республики Таджикистан. При поддержке Правительства страны и Управления фонда Ага Хана по экономическому развитию компания ОАО «Памир Энерджи» приступила к решению существующих проблем с дефицитом мощности и качеством электрической энергии и в особенности отклонения напряжения на вводах потребителей. Началась реконструкции старых и строительство новых мини-ГЭС в районных центрах и в местах возможного их сооружения, и реконструкции линий электропередач. В это же время на рынке электрооборудования уже имелись трансформаторы малой мощности напряжением 35/0,38 кВ, позволяющие переходить на схему глубокого ввода с установкой ПТП непосредственно у небольшого количества потребителей, имеющих незначительную нагрузку, и способствующие отказу от тройной трансформации напряжения. В больших населённых пунктах, где использование напряжения 35 кВ для распределения электроэнергии между ПТП оказалось нецелесообразным, сохраняется схема с использованием тройной трансформации напряжения. Ныне существующая схема электроснабжения приведена на рис. 1, системообразующая часть которой по существу осталась неизменной, то есть она и в прошлом имела такую же конфигурацию и напряжение 35 кВ.

Анализ этой схемы показывает, что длина линии электропередачи системообразующих электрических сетей напряжением 35 кВ, которая в отдельных местах также является распределительной электрической сетью, превышает 500 км. Она проложена вдоль ущелья на границе с Афганским эмиратом, и начиная от ПС «Тавилдара», расположенном в предгорье Памира со стороны центральной части страны, и кончая восточной границей страны, находящейся в конце Ишкашимского района. При этом на всём протяжении сети к ней подключены мины ГЭС, расположенные на достаточно большом расстоянии друг от друга. В частности, на промежутке между ПС «Тавилдара» и ПС «Калаи хумб» расстояние составляет 61,5 км. К ПС «Калаи хумб» подключена ГЭС «Ширг-1» с установленной мощностью 1200 кВт и ГЭС «Ширг-2» с установленной мощностью 500 кВт. Поскольку на этом промежутке источники питания расположены с двух сторон линии электропередачи, реальная длина линии по потере напряжения составляет 30,75 км. От ПС «Калаи хумб» до ПС «Даштак» Ванчского района 98,6 км, где к сети подключены ГЭС «Вандж» мощностью 1200 кВт, находящегося на расстоянии 30 км и ГЭС «Техарв» мощностью 360 кВт, находящегося на расстоянии 65 км от магистрали.

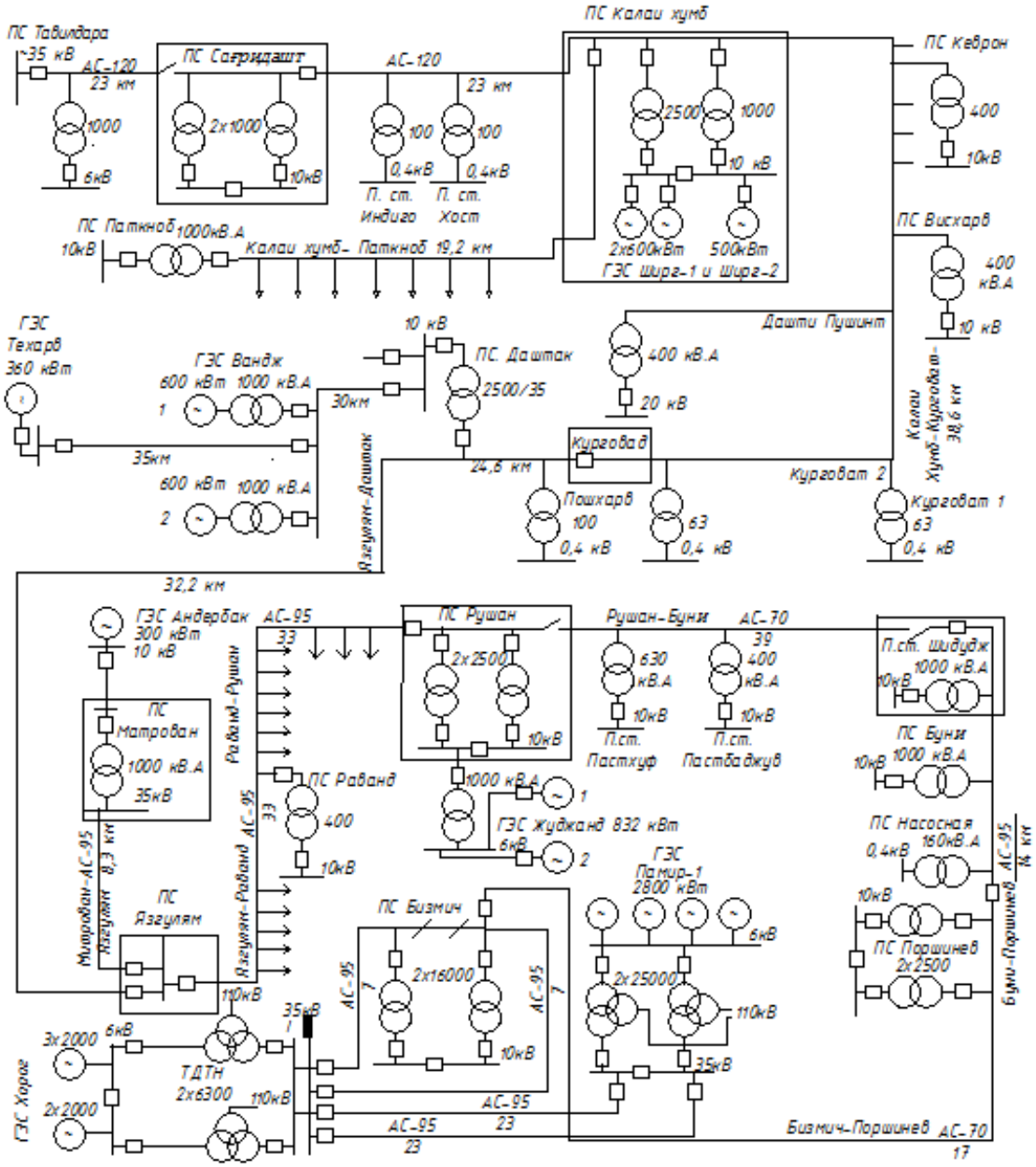


Рисунок 1 – Сокращённая системообразующая схема электроснабжения ГБАО

Таким образом, между ближайшими источниками электроэнергии ГЭС «Ширг» и ГЭС «Вандж» расстояние магистрали составляет 128,6 км. При двухстороннем питании точка токораздела приблизительно находится на расстоянии 64,3 км. Далее подстанция «Даштак» соединяется с ПС «Язгулям» (32 км), к которой присоединяется ГЭС «Андербак» мощностью 300 кВт, находящаяся на расстоянии 8,3 км от подстанции «Язгулям». По такой же схеме магистральная сеть подводится к подстанции «Рушан», к которой подключена ГЭС «Шуджанд», с установленной мощностью 832 кВт. Расстояние между этими подстанциями 66 км. От ПС «Шуджанд» линия 35 кВ с расстоянием 77 км доходит до ГЭС «Хорог» с установленной мощностью 10000 кВт, а оттуда до ГЭС «Памир -1» с установленной мощностью 28000 кВт, находящейся на расстоянии 23 км от ГЭС «Хорог».

Основная магистральная линия напряжением 35 кВ от ПС. «Бизмич», расположенный в г. Хороге, идёт в направлении районного центра Ишкашим Ишкашимского района, где к этой магистрали присоединяется ГЭС «Намангут» с установленной мощностью 3500 кВт. От этой же ПС продолжение этой магистральной линии идёт по другому ущелью в направлении районного центра Рошткала Рошткалинского района. В этом районе сооружается ГЭС «Себзор» с установленной мощностью 10 МВт, которая в ближайшее время присоединится

к этой системе. От ГЭС «Памир-1» магистральная линия 35 кВ продолжается до ПС «Вир», от которой на напряжение 10 кВ производится электроснабжение группы населённых пунктов Гунтского ущелья до конечных населённых пунктов Шугнанского района.

На рис.2 приведена скелетная схема магистральной сети в промежутке между ПС «Язгулям» и ПС «Рушан». На этом участке к этой магистрали подключено большое количество ПТП напряжением 35/0,38 кВ для электроснабжения мелких населённых пунктов с небольшой нагрузкой, которые на схеме (рис. 1) указаны в виде стрелки.

Мощность трансформаторов таких ПТП, как видно (рис.2), колеблется в пределах 10÷160 кВ.А. Именно в таких местах в прошлом использовалась тройная трансформация 35/6-10/0,38 кВ, которая была вынужденным решением.

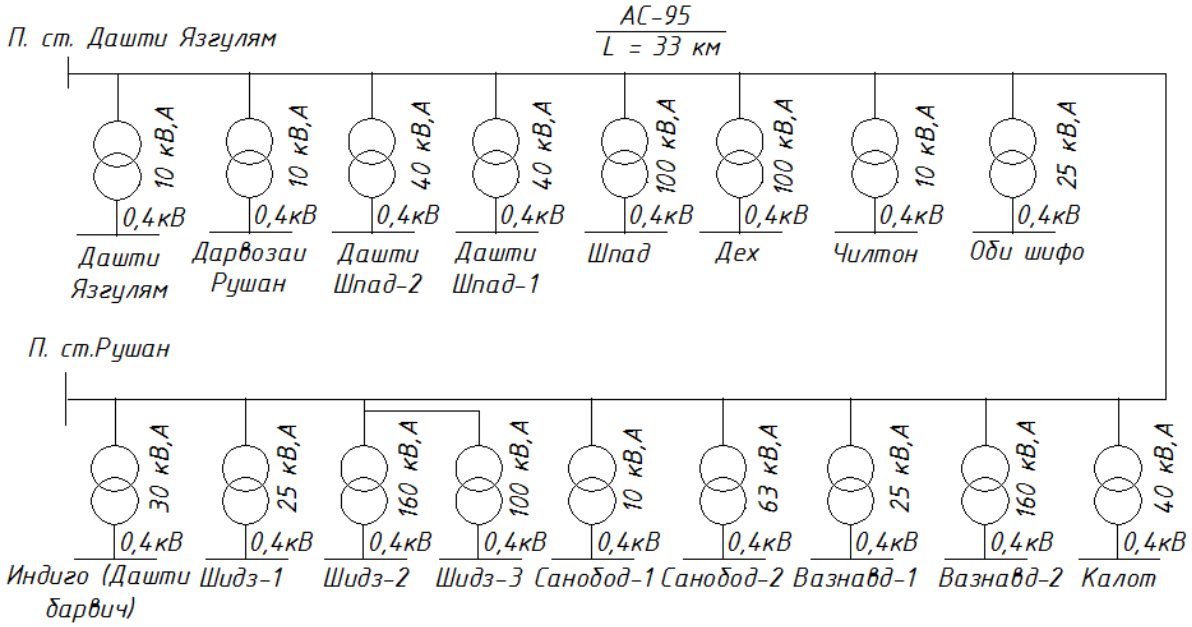


Рисунок 2 – Схема участка магистральной сети от ПС «Дашти язгулям» до ПС «Рушан» с ответвлением к ПТП 35/0,38 кВ

Схемы наподобие (рис.2) использованы на участках сети ПС «Бизмич» в направлении Ишкашимского и Рошткалинского районов, а также в других направлениях от основной магистрали. В частности, одно из таких ответвлений показано на рис. 1 от ПС «Калаи хумб» до ПС «Паткноб». Другие ответвления на схеме (рис.1) не показаны.

Непосредственное преобразование напряжения 35 кВ на напряжения 0,38 кВ на участках с малой плотностью нагрузки и разукрупнения ПТП дало возможность приблизить их к центру электрических нагрузок. Это привело к уменьшению длины распределительной сети 0,38 кВ и снижению потери напряжения в сети, повышению уровня напряжения на вводах потребителей. Заметим, что в этих условиях понятие «центр нагрузок» в принципе не соответствует принятой терминологии. Скорее всего, можно говорить о равновеликом расстоянии между ПТП и потребителями по двум направлениям от неё.

Глубокий ввод напряжением 35 кВ в сложных климатических условиях и горного рельефа местности привел не только к улучшению качества электроэнергии, что очень важно, но и к значительному сокращению распределительной сети 6-10 кВ, что в целом повышает технико-экономические показатели всей системы электроснабжения региона. Значительно снизились технические потери активной мощности в сети за счёт сокращения сети 6-10 кВ, что очень важно при дефиците мощности в зимний период в системе электроснабжения в целом по стране [6, 7]. За счёт сокращения трансформаторных подстанций напряжением 35/6-10 кВ и линий электропередачи напряжением 6-10 кВ произошло сокращение первоначальных капитальных затрат. Сократились естественно эксплуатационные расходы на сети 6-10 кВ. Инженерно-технический персонал, обслуживающий систему электроснабжения, сократился приблизительно на 32%. В целом, по предварительным расчётам, в зависимости от различных условий, затраты по системе электроснабжения снижаются в пределах от 1,8 до 2,6 раза. При этом снизились аварийные простои в 1,42 раза, а соответственно повысилась надёжность электроснабжения потребителей.

Из рассмотренной схемы (рис.1) на первый взгляд создаётся впечатление, что при такой длине линий электропередачи напряжением 35 кВ невозможно обеспечить нормальный уровень напряжения на вводах потребителей. Однако сеть выполнена по замкнутой схеме с двухсторонним питанием каждого участка. В пределах этих участков нагрузка для сети 35 кВ минимальная, что и обеспечивает минимальные потери напряжения. Поэтому основную проблему, связанную с качеством электроэнергии на данном этапе, можно считать решённой.

Наряду с глубоким вводом для повышения напряжения и снижения технологических потерь активной мощности целесообразно осуществить компенсацию реактивной мощности в сети. Известно, что в нынешних условиях в сельских населённых пунктах используются различные электроприёмники, имеющие низкий коэффициент мощности. Например, это такие электроприёмники как ручные электроинструменты разного назначения (дрель, болгарка, электропила и т.д.), электрокосилки, электрические освещения и им подобные приёмники электроэнергии. Передача реактивной мощности по элементам электрической сети от источников питания (ГЭС) приводит к дополнительным потерям напряжения и мощности от протекания по ним реактивной мощности. Для снижения дополнительных потерь напряжения и мощности необходимо повышение коэффициента мощности в сети до номинального значения коэффициента мощности генераторов электрических станций. Для этого необходимо на всех ПТП напряжением 10/0,38 кВ и 35/0,38 кВ установить конденсаторные батареи на стороне напряжения 0,38 кВ для выработки реактивной мощности, что позволяет разгрузить все вышестоящие элементы электрической сети от протекания по ним реактивной мощности, в том числе генераторов ГЭС. Тем самым снижаются потери напряжения в узлах схемы электроснабжения, что также приводит к снижению технологических потерь мощности во всех элементах сети.

Статические косинусные конденсаторы на напряжение до 400 В имеют как небольшую стоимость, так и малые габаритные размеры, не требуют больших эксплуатационных затрат, но дают невообразимо колоссальный эффект. Отпадает необходимость перевода части генераторов в режим синхронного компенсатора. Тем более, что современные конденсаторные батареи имеют автоматическое регулирование выдачи реактивной мощности в зависимости от различных факторов.

С ростом нагрузок напряжение 35 кВ не может дальше использоваться в качестве системообразующего напряжения. Поэтому параллельно прокладывается сеть напряжением 110 кВ, которая уже существует между ГЭС «Памир-1» и ГЭС «Хорог» и прокладывается дальше в сторону центральной части страны по той же трассе, что и сеть напряжения 35 кВ. Очевидно, в пунктах с большой электрической нагрузкой будут установлены понижающие трансформаторные ПС напряжением 110/35 кВ для подключения к ней существующей сети 35 кВ. Сети напряжением 110 кВ обеспечивают полноценную связь между центральной электроэнергетической системой страны и ОАО «Памир Энерджи». Тем самым создаётся единая объединённая электроэнергетическая система страны. При сооружении ГЭС «Санобод» мощностью в 500 МВт в некоторой степени увеличивается уровень энергетической безопасности страны [8].

В условиях ГБАО на реках и речушках, возможно, сооружать в зависимости от конкретных условий каскад мини- и малых ГЭС разного типа. Они могут работать автономно или в составе системы в зависимости от места нахождения и мощности. Использование автоматизированных удалённых от системы мини- и малых ГЭС позволяет в быту заменить все виды топлива электроэнергией, эффективность использования которой можно регулировать тарифом на электроэнергию [9].

Опыт сооружения и эксплуатации глубокого ввода ОАО «Памир Энержи» даёт возможность её использования не только в других регионах нашей страны, но и в других странах с горным рельефом местности.

Рецензент: Сидоров А.И. — д.т.н., профессор, зав. кафедрой БЖД ЮУрГУ

Литература

1. Ермилов А.А. Основы систем электроснабжения промышленных предприятий. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983.–208 с.

2. Напряжение 35 кВ в системе электроснабжения подземных электроприёмников /А. Г. Мнухин [и др.] Уголь Украины, сентябрь 2012, С. 21-25.

3. Додхудоев М. Д., Шарипов М. М. Электроснабжение горных районов с глубоким вводом на напряжение 35 кВ. Материалы межд. научн.-практ. конф. Электроэнергетика. Проблемы и перспективы развития региона. Душанбе, ТТУ, 21 декабря 2018 г. С.262-265.

4. Додхудоев М. Д., Вохидов М. М. Анализ схемы электроснабжения Варзобского района и оценки целесообразности её реконструкции //Политехнический вестник. Серия: Инж. иссл. № 4 (51) 2020. С. 26-29.

5. Додхудоев М. Д. Пути повышения качества напряжения в электроэнергетической системе компании «Памир-Энерджи» Республики Таджикистан. Материалы межд. науч. - практ. конф. «Энергетика- состояние и перспективы». Душанбе 20 декабря 2021. С.45-50.

6. Практические мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электроэнергетической системе Республики Таджикистан/М. Д. Додхудоев [и др.]//"Перспективы развития науки и образования Ч.1". Мат. VII Междунар. науч.-практ. конф. 22 окт. 2014 г., Душанбе, 2016. С. 74-78.

7. Мираков О.А., Додхудоев М.Д., Таваров С.Ш. Возможности энергосбережения в системе электроснабжения Республики Таджикистан. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования. № 2 (42). 2018. С. 27-31.

8. Додхудоев М. Д. О возможных путях обеспечения энергетической безопасности Республики Таджикистан //Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования № 3 (51). 2020. С.24-28.

9. Додхудоев М. Д., Ниёзи С. Р. Тарифы на электроэнергию как средства повышения эффективности электроэнергетических систем с преобладанием ГЭС. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования. № 2 (50). 2020. С. 28-31.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Додхудоев Мамадризо Додхудоевич	Додхудоев Мамадризо Додхудоевич	Dodkhudoev Mamadrizo Dodkhudoevich
н.и.т. дотсенти кафедраи «Электротаъминкунӣ»	к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение»	Candidate of Technical Sciences., acting Associate Professor, Department of Power Supply
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: rizo-1917@mail.ru		
TJ	RU	EN
Воҳидов Миробид Мирвоҳидович	Вохидов Миробид Мирвохидович	Vohidov Mirobid Mirvohidovich
н.и.т. и.в. дотсенти кафедраи «Электротаъминкунӣ»	к.т.н., и.о. доцента кафедры «Электроснабжение»	Candidate of Technical Sciences., acting Associate Professor, Department of Power Supply
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: supergold84@mail.ru		

УДК 621.311.24

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Р.А. Джалилов

Таджикский технический университет им. М.С. Осими

В статье рассмотрены флуктуации режимных параметров ветродизельной системы, обусловленные пульсациями скорости ветра. Получено выражение для комплексной амплитуды отклонения мощности ветроэлектрического генератора. Рассчитаны и построены частотные и спектральные характеристики режимных параметров ветродизельной системы. Показано, что в рассчитанных спектрах взаимного угла, электромагнитной мощности, тока статорной цепи генераторов ветродизельной системы падал удельный вес как малых, так и собственных частот, что в свою очередь благоприятно сказывалось на показателях качества режимных параметров. Применение стабилизирующих параметров в автоматическом регулировании возбуждения генераторов и регулирование дизеля могут позволить существенно демпфировать электромеханические колебания.

Ключевые слова: *ветроэлектрический генератор, ветродизельная система, частотная характеристика, спектральная характеристика, режимные параметры.*

ТАВСИФОТҲОИ ЭҲТИМОЛИИ ТАҒЙИРЁБИИ ПАРАМЕТРҲОИ РЕҶАВИИ СИСТЕМАИ БОДӢ-ДИЗЕЛӢ

Р.А. Ҷалилов

Дар мақола тағйирёбии параметрҳои реҷавии системаи бодӣ-дизелӣ вобаста ба каму зиёдшавии суръати шамол баррасӣ карда шудааст. Муодила барои муайян намудани амплитудаи комплексии тағйирёбии иқтидори генератори бодӣ ҳосил карда шудааст. Тавсифотҳои басомадӣ ва спектралии системаи бодӣ-дизелӣ ҳисоб ва сохта шудааст. Нишон дода шудааст, ки дар спектрҳои кунҷи мутақобила, иқтидори электромагнитӣ, ҷараёни занҷири статори генераторҳои система бодӣ-дизелӣ вазни хоси ҳам басомадҳои хурд ва ҳам басомадҳои хусусӣ коҳиш меёбад, ки ин ба нишондиҳандаҳои сифати параметрҳои реҷавӣ таъсири мусбат мерасонад. Истифодаи параметрҳои тасбиткунанда дар танзими автоматии ангезиши генераторҳо ва танзими дизел барои қатъиян как намудани лаппишҳои электромеханикӣ имконият медиҳад.

Калимаҳои калидӣ: *генератори бодӣ, системаи бодӣ-дизелӣ, тавсифоти басомадӣ, тавсифоти спектралӣ, параметрҳои реҷавӣ.*

PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF FLUCTUATIONS OF WIND-DIESEL SYSTEM OPERATING PARAMETERS

R.A. Dzhalilov

The article examines fluctuations in the operating parameters of a wind-diesel system caused by pulsations of wind speed. An expression is obtained for the complex amplitude of the power deviation of a wind-electric generator. The frequency and spectral characteristics of the operating parameters of the wind-diesel system are calculated and constructed. It is shown that in the calculated spectrums of the mutual angle, electromagnetic power, and current of the stator circuit of wind-diesel system generators, the proportion of both low and natural frequencies decreased, which in turn had a beneficial effect on the quality indicators of operating parameters. The use of stabilizing parameters in the automatic regulation of excitation of generators and regulation of diesel engines can significantly dampen electromechanical oscillations.

Keywords: *wind-electric generator, wind-diesel system, frequency response, spectral response, operating parameters.*

Введение

Порывистость ветра является метеорологическим фактором, могущим вызвать существенные отклонения режимных параметров ветроэлектрических агрегатов от их установившихся, а в ряде случаев и номинальных значений.

При исследовании параллельной работы ветроэлектрического генератора с мощной сетью и дизель-генераторами важное место занимают вопросы, связанные с оценкой отклонений его режимных параметров вследствие пульсаций скорости ветра и анализом мероприятий, направленных на снижение этих отклонений. В [1,2] были выполнены расчетные исследования в различных ветровых условиях режимов работы синхронных, асинхронных и асинхронизированных ветроэлектрических генераторов с сетью.

Рассмотрим особенности параллельной работы на автономную нагрузку синхронных ветроэлектрических генераторов с дизель-генераторами. Данную задачу целесообразно решать как в детерминированной, так и вероятностной постановке.

Частотные характеристики режимных параметров

Согласно теории стационарных случайных процессов, спектральная плотность выходного сигнала $S_{вых}(\omega)$ любой динамической системы связана со спектральной плотностью входного возмущающего воздействия $S_{вх}(\omega)$, представленного стационарной случайной функцией, соотношением:

$$S_{\text{вых}}(\omega) = |\Phi(\omega)|^2 S_{\text{вх}}(\omega) \qquad (1)$$

где $|\Phi(\omega)|$- модуль частотной характеристики системы, определяемый отношением амплитуд колебаний выходного параметра км входному при гармоническом изменении последнего.

В этой связи прежде всего возникает необходимость в определении частотных характеристик режимных параметров, под которыми понимают отношение в комплексной форме какого-либо режимного параметра (мощности, напряжения, тока статорной цепи, угла и т.д.) генератора к входному возмущающему воздействию [3].

Линеаризованное уравнение процессов ветроэлектрического генератора в осях d и q, жестко связанных с ротором, имеет вид:

$$\left.\begin{array}{c} p\Delta\Psi_{r1} - \omega_s\rho_r\left(\Delta U_{f1} - \Delta E_{q1}\right) = 0, \\ p\Delta\Psi_{r1} - \omega_s\rho_r\left(\Delta U_{f1} - \Delta E_{q1}\right) = 0, \\ p\Delta\Psi_{r1} - \omega_s\rho_r\left(\Delta U_{f1} - \Delta E_{q1}\right) = 0, \\ T_{j1}p\Delta S_1 + \Delta M_{e1} = \Delta M_{\text{в}}, \\ p\Delta\delta_1 - \omega_S\Delta S_1 = 0, \\ \Delta M_{e1} - U_{d01}\Delta I_{d01} - I_{d01}\Delta U_{d1} - U_{q01}\Delta I_{q01} - I_{q01}\Delta U_{q1} = 0 \\ x_{d1}\Delta I_{d1} + \Delta E_{q1} + \Delta E_{rq1} - \Delta U_{q1} = 0 \\ x_{q1}\Delta I_{q1} + \Delta E_{rd1} + \Delta U_{d1} = 0 \\ \Delta\Psi_{r1} - \mu_{d1}x_{d1}\Delta I_{d1} - \Delta E_{q1} - g_{11}\Delta E_{rq1} = 0 \\ \Delta\Psi_{rd1} - \mu'_{d1}x_{d1}\Delta I_{d1} - g_{21}\Delta E_{q1} - \Delta E_{rq1} = 0 \\ \Delta\Psi_{rq1} - \mu_{q1}x_{q1}\Delta I_{q1} - \Delta E_{rd1} = 0 \end{array}\right\} \quad (2)$$

где I_d, I_q – d, q составляющие тока статорной цепи; U_d, U_q – проекции вектора напряжения на оси d, q соответственно; Ψ_r, Ψ_{rd}, Ψ_{rq} – потокосцепления обмотки возбуждения, продольного и поперечного демпферных контуров соответственно; E_r, E_{rd}, E_{rq} – э.д.с., индуктируемые в фазах статора обмотками возбуждения, продольного и поперечного демпферных контуров соответственно; s – скольжение; δ - угол между осью q генератора и синхронной осью; x_d, x_q - индуктивные сопротивления генераторов в продольной и поперечной осях; μ_d, μ_d', μ_q – коэффициенты магнитной связи отдельных контуров генератора; ρ_r, ρ_{rq}, ρ_{rd} – декременты роторных контуров; ω_s – синхронная угловая частота; $M_{\text{в}}$ – момент на валу ветроколеса; p - символ дифференцирования.

Аналогичный вид после замены индекса «1» на «2» и $\Delta M_{\text{в}}$ на $\Delta M_{\text{д}}$ имеют уравнения процессов, протекающих в дизель-генераторе.

Уравнения процессов во внешней сети в осях d, q первого генератора:

$$\left.\begin{array}{c} \Delta U_{d1} - \Delta U_{d\text{ш}}^{(1)} - \text{x}_{\text{вн}1}\Delta I_{q1} = 0 \\ \Delta U_{q1} - \Delta U_{q\text{ш}}^{(1)} + \text{x}_{\text{вн}1}\Delta I_{d1} = 0 \end{array}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{array}{c} \Delta U_{d2}^{(1)} - \Delta U_{d\text{ш}}^{(1)} - \text{x}_{\text{вн}2}\Delta I_{q2}^{(1)} = 0 \\ \Delta U_{q2}^{(1)} - \Delta U_{q\text{ш}}^{(1)} + \text{x}_{\text{вн}2}\Delta I_{d2}^{(1)} = 0 \end{array}\right\} \quad (4)$$

где $U_{d\text{ш}}^{(1)}$, $U_{q\text{ш}}^{(1)}$ – проекции вектора узла коммутации на оси d, q первого генератора; U_{d1}, U_{q1}, I_{d1}, $I_{d2}^{(1)}$ – проекции напряжения тока генераторов на оси d, q первого генератора.

Уравнения процессов в нагрузке, заданной шунтом постоянной проводимости в осях d, q первого генератора:

$$\left.\begin{array}{c} \Delta U_{q\text{ш}}^{(1)} g_{\text{н}} + \Delta U_{d\text{ш}}^{(1)} b_{\text{н}} - \Delta I_{q\text{н}}^{(1)} = 0 \\ -\Delta U_{q\text{ш}}^{(1)} b_{\text{н}} + \Delta U_{d\text{ш}}^{(1)} g_{\text{н}} - \Delta I_{d\text{н}}^{(1)} = 0 \end{array}\right\} \quad (5)$$

где $g_{\text{н}}$, $b_{\text{н}}$ – активные и реактивные проводимости нагрузки; $I_{d\text{н}}^{(1)}$, $I_{q\text{н}}^{(1)}$- проекции тока нагрузки на оси d, q первого генератора.

Уравнения баланса токов в осях d, q первого генератора:

$$\left.\begin{array}{c} \Delta I_{q1} + \Delta I_{q2}^{(1)} - \Delta I_{q\text{н}}^{(1)} = 0 \\ \Delta I_{d1} + \Delta I_{d2}^{(1)} - \Delta I_{d\text{н}}^{(1)} = 0 \end{array}\right\} \quad (6)$$

Линеаризованные уравнения преобразования координат:

$$\left.\begin{aligned}\Delta I_{q2}^{(1)} - \Delta I_{q2}cos\delta_{210} + \left(I_{q20}sin\delta_{210} + I_{d20}cos\delta_{210}\right)\Delta\delta_{210} + \Delta I_{d2}\sin\delta_{210} = 0\\ \Delta I_{d2}^{(1)} - \Delta I_{q2}sin\delta_{210} - \left(I_{q20}cos\delta_{210} - I_{d20}sin\delta_{210}\right)\Delta\delta_{210} - \Delta I_{d2}\cos\delta_{210} = 0\end{aligned}\right\} \quad (7)$$

$$\left.\begin{aligned}\Delta U_{q2}^{(1)} - \Delta U_{q2}cos\delta_{210} + \left(U_{q20}sin\delta_{210} + U_{d20}cos\delta_{210}\right)\Delta\delta_{210} + \Delta U_{d2}\sin\delta_{210} = 0\\ \Delta U_{d2}^{(1)} - \Delta U_{q2}sin\delta_{210} - \left(U_{q20}cos\delta_{210} - U_{d20}sin\delta_{210}\right)\Delta\delta_{210} - \Delta U_{d2}\cos\delta_{210} = 0\end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Закон регулирования возбуждения генераторов:

$$\Delta U_{f1}(1 + pT_{в}^{1}) + K_{0U}^{(1)}\Delta U_1 - \frac{1}{1+pT_{БЧ}}\left(\frac{K_{0\omega}^{(1)}}{1+pT_{0\omega}}p\Pi_1 + \frac{K_{1\omega}^{(1)}}{1+pT_{1\omega}}p\Pi_1\right) = 0 \quad (9)$$

$$\Delta U_{f2}(1 + pT_{в}^{1}) + K_{0U}^{(1)}\Delta U_2 - \frac{1}{1+pT_{БЧ}}\left(\frac{K_{0\omega}^{(2)}}{1+pT_{0\omega}}p\Pi_1 + \frac{K_{1\omega}^{(2)}}{1+pT_{1\omega}}p\Pi_1\right) = 0 \quad (10)$$

где П1, П2 – параметры стабилизации, в качестве которых в дальнейшем используются частота напряжения, частота э.д.с., либо разность частот э.д.с. генераторов; $T_{БЧ}$, $T_{0\omega}$, $T_{1\omega}$ – постоянные времени блока частоты и измерительных органов, формирующих отклонения частоты от входного значения и ее производную; $K_{0\omega}^{(1)}$, $K_{1\omega}^{(1)}$, $K_{0\omega}^{(2)}$, $K_{1\omega}^{(2)}$ -коэффициенты усиления.

Режимные частотные характеристики генераторов рассчитывались при гармоническом возмущении по скорости ветра. Найдем взаимосвязь между гармоническим изменением скорости ветра и соответствующим ему изменением момента ветроколеса. Полагая, что скорость ветра претерпевает периодические во времени с угловой частотой ω изменения около среднего u(t) значения, т.е.

$$u = u(T) + u_n sin\omega t \quad (11)$$

(u_n – амплитуда пульсации скорости ветра) подставляем это выражение в уравнение момента ветроколеса [4]:

$$M_{в} = \frac{\pi R^3 \delta u^3}{2\omega}\xi(z,\varphi) \quad (12)$$

где *R*- радиус ветроколеса, ρ - массовая плотность воздуха, *u* -скорость ветра, $z = \frac{\omega R}{u}$ – число модулей быстроходности колеса, φ - угол разворота лопастей, ξ - коэффициент использования энергии ветра, представляющий собой отношение полезной механической мощности вращающегося колеса к полной мощности воздушного потока, ометаемого ветроколесом.

После преобразований приходим к следующему выражению:

$$M_{в} = A(\xi)\left[u(T)\left(u^2(T) + \frac{3}{2}u_n^2\right) + 3u_n\left(u^2(T)\right) + \frac{1}{4}u_n^2)sin\omega t - \frac{3}{2}u(T)u_n^2 cos2\omega t - \frac{1}{4}u_n^3 sin3\omega t\right] \quad (13)$$

где

$$A(\xi) = \frac{\pi R^2 \rho}{2\omega}\xi(z,\varphi)$$

Анализ $A(\xi)$ показывает, что при гармоническом изменении скорости ветра около ее среднего значения u(T) момент ветроколеса содержит наряду с основной гармонической, изменяющейся с частотой ω, составляющие двойной и утроенной частоты колебаний, а также постоянную составляющую.

В таблице 1 приводятся величины отдельных составляющих момента ветроколеса, вызванных пульсациями скорости ветра, при различных u_n, неизменном *A(ξ)* и расчетной скорости ветра $u(T)=u_p=1$, при которой мощность агрегата равна номинальной, P_0=0,8.

Таблица 1

u_n	Амплитуды различных составляющих момента $M_в$			
	Постоянная составляющая	Основная гармоническая частоты	Вторая гармоническая частоты	Третья гармоническая частоты
0,1*u(T)*	0,012	0,241	0,012	0,0002
0,2*u(T)*	0,108	0,736	0,108	0,007
0,3*u(T)*	0,3	1,275	0,3	0,031

Анализ данных таблицы показывает, что даже при значительных пульсациях скорости ветра амплитуды второй и третьей гармоник значительно меньше амплитуды основной гармонической составляющей и в первом приближении можно принять:

$$\Delta M_в = A(\xi) - 3u_p^2 u_n \tag{14}$$

Записав уравнения (2...14) в комплексных амплитудах были рассчитаны частотные характеристики отклонений основных режимных параметров генераторов. Активные мощности ветро- и дизель-генераторов, приведенные к полной установленной мощности ветроагрегата составляли: P_{10}=0,8; P_{20}=0,4 и P_{10}= P_{20}=0,8 при соотношении установленных мощностей 1:1 и 1:2 соответственно. Коэффициент загрузки двигателя принимался $K_д$=0,5. Профиль лопастей ветроколеса соответствовал профилю NASA-230; в исходном режиме рабочей точки на характеристике $\xi(z,\varphi)$ соответствовало положение на максимуме характеристики. Другие данные исходного режима: Q_{10}=0,4, Q_{20}=0,2; 0,4 (при соотношениях мощностей $P_д$:$P_в$=1:1, 2:1 соответственно), внутренние углы генераторов, - δ_{10}=33,8^0, δ_{20}=20^0; узловые напряжения и э.д.с., - U_{10}=1,04, U_{20}=1,019, $U_{Ш0}$=1,0, E_{q10}=1,61, E_{q20}=1,25. Амплитуда гармонического возмущения при расчете частотных характеристик задавалась равной 0,1U_p. Спектральные характеристики отыскивались при задании спектра ветра в виде рис.1.

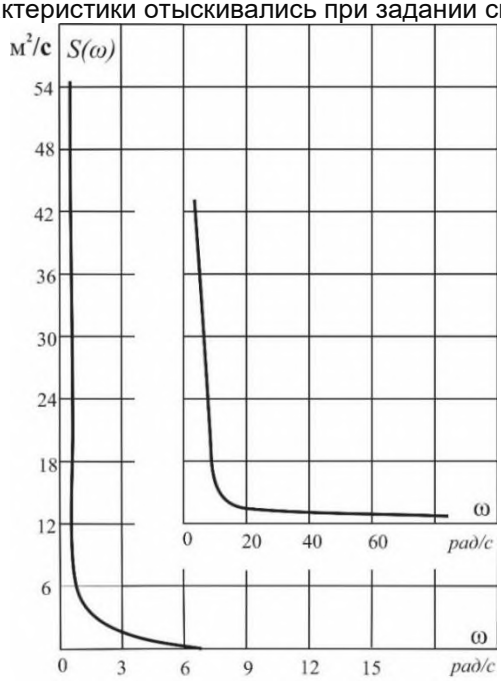


Рисунок 1 – Спектральная плотность скорости ветра при U(t)=10 м/с, $\varepsilon = 100 см^2/с^3$

На рис. 2,3 приведены частотные характеристики отклонений электромагнитного момента ветроэлектрического генератора $|\Delta \underline{M}_{e1}|$ от его исходного значения (характеристика $|\Delta \underline{M}_{e2}|$практически идентична $|\Delta \underline{M}_{e1}|$), взаимного угла $|\Delta \underline{\delta}_{21}|$ между осями q генераторов, напряжения $|\Delta \underline{U}_{Ш}|$ и частоты $|\Delta \underline{f}|$ напряжения в узле нагрузки при $P_д$:$P_в$=1:1 (рис.2) и $P_д$:$P_в$=2:1 (рис.3) и отсутствии регулирования возбуждения генераторов (ΔU_{f1}=0, ΔU_{f2}=0) и момента первичных двигателей (φ=const, $\Delta M_д$=0). Сравнительный анализ полученных характеристик с режимными частотными характеристиками синхронного ветроэлектрического генератора при параллельной его работе с мощной сетью в тех же расчетных условиях [5] показывает, что амплитудно-частотные характеристики $|\Delta \underline{M}_{e1}|$ и $|\Delta \underline{\delta}_{21}|$ при работе ветроэлектрического и дизель-генераторов на

общую нагрузку заметно ниже амплитудно-частотных характеристик аналогичных параметров при параллельной работе ветроэлектричеких генераторов с мощной сетью. Это можно пояснить следующими аналитическими выкладками.

Представим уравнение взаимного движения генераторов ветродизельной системы в линеаризированной форме:

$$\frac{p^2(\Delta\delta_{21})}{\omega_0} = \frac{\Delta P_в - \Delta P_1}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_д - \Delta P_2}{T_{J2}}, \tag{15}$$

где $\Delta P_в$, $\Delta P_д$, ΔP_1, ΔP_2 – вариации мощности ветроколеса, дизеля и сопряженных с ними генераторов соответственно.

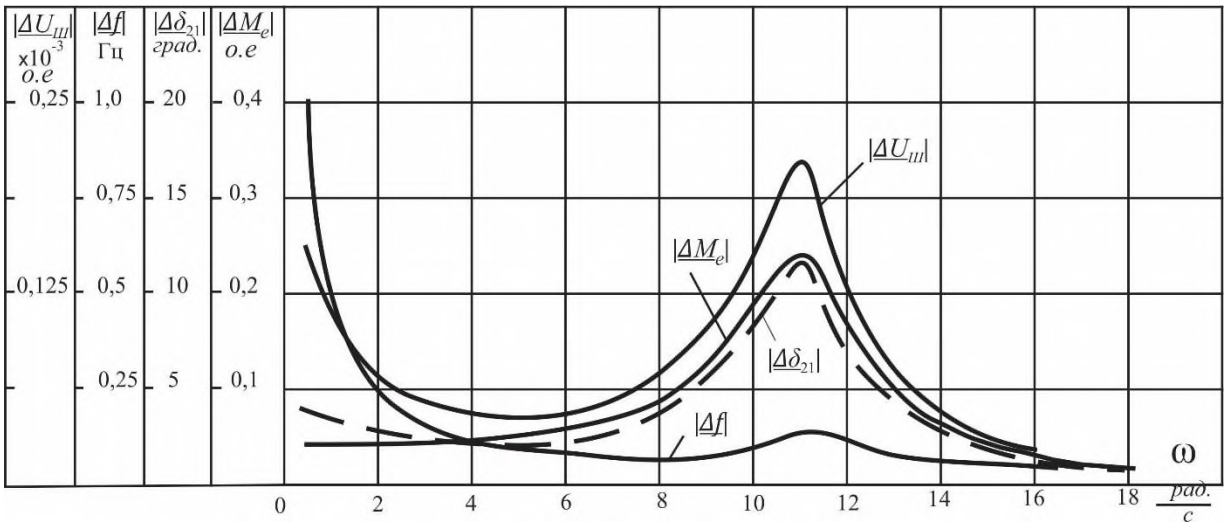


Рисунок 2 – Режимные частотные характеристики при $P_д$:$P_в$=1:1 и отсутствии регулирования возбуждения генераторов и момента первичных двигателей

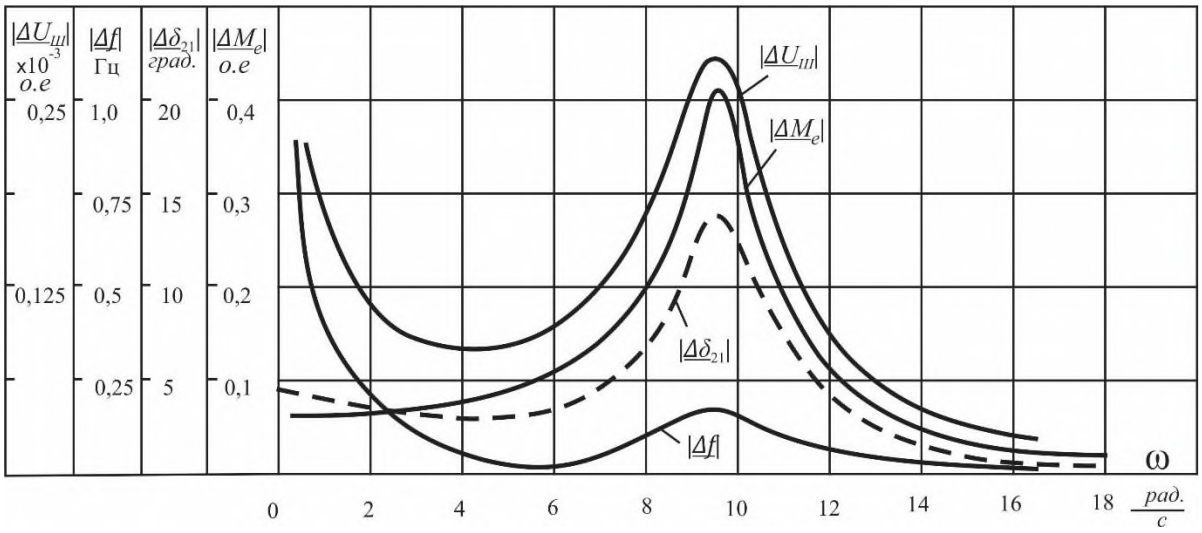


Рисунок 3 – Режимные частотные характеристики при $P_д$:$P_в$=2:1 и отсутствии регулирования возбуждения генераторов и момента первичных двигателей

Полагая, что возмущенное движение во времени близко к гармонически изменяющемуся с частотой β, в случае с нерегулируемым дизелем ($\Delta P_д$=0) можно записать:

$$(j\beta^2)\frac{\Delta\underline{\delta}_{21}}{\omega_0} = \frac{\Delta\underline{P}_в}{T_{J1}} - \frac{\Delta\underline{P}_1}{T_{J1}} + \frac{\Delta\underline{P}_2}{T_{J2}} \tag{16}$$

При неизменном $U_Ш$ (такое возмущение как видно из рис.3 является приемлемым)

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = \frac{2P_{н0}}{U_{ш0}}\Delta U_ш,$$

т.е. $\Delta P_2 = -\Delta P_1$. Следовательно,

$$-\beta^2\frac{\Delta\underline{\delta}_{21}}{\omega_0} = \frac{\Delta\underline{P}_в}{T_{J1}} - \Delta\underline{P}_1\left(\frac{1}{T_{J1}} + \frac{1}{T_{J2}}\right) \quad (17)$$

Принимая $\Delta P_1=(S_E+D_P)$ или в комплексных амплитудах $\Delta P_1=(S_E+Dj\beta)\Delta\delta_{21}$ (S_E – синхронизирующая мощность - коэффициент демпфирования), окончательно имеем:

$$\Delta\delta_{21}\left[-\frac{\beta^2}{\omega_0} + S_E\left(\frac{1}{T_{J1}} + \frac{1}{T_{J2}}\right) + D\left(\frac{1}{T_{J1}} + \frac{1}{T_{J2}}\right)j\beta\right] = \frac{\Delta P_в}{T_{J1}} \quad (18)$$

Отсюда,

$$\Delta\underline{P}_1 = \frac{(S_E + Dj\beta)\Delta\underline{P}_в}{T_{J1}\left[-\frac{\beta^2}{\omega_0} + S_E\left(\frac{1}{T_{J1}} + \frac{1}{T_{J2}}\right) + D\left(\frac{1}{T_{J1}} + \frac{1}{T_{J2}}\right)j\beta\right]} \quad (19)$$

При затухании α=0,4 1/с (как будет показано далее, данная величина отвечает декременту рассматриваемой ветродизельной системы при отсутствии регулирования) коэффицент демпфирования составит:

$$D = \frac{2\alpha}{\left(\frac{1}{T_{J1}} + \frac{1}{T_{J2}}\right)} = 2{,}67$$

Поскольку S_E не превышает 1,5…2,0, то на частоте свободных электромеханических колебаний исследуемой системы (β=11рад/с) справедливо неравенство:

$$|Dj\beta| >> S_E$$

С учетом сказанного,

$$\left|\Delta\underline{P}_1\right| + \left|\Delta\underline{P}_2\right| = \frac{\left|\Delta\underline{P}_в\right|T_{J2}}{T_{J1} + T_{J2}} \quad (20)$$

При работе ветроэлектрического генератора с сетью на основании аналогичных выкладок нетрудно получить:

$$\left|\Delta\underline{P}_1\right| = \left|\Delta\underline{P}_в\right| \quad (21)$$

При гармоническом возмущении нулевой частоты ($\Delta u=0{,}1u_р$) уравнения для нового установившегося режима рассматриваемой системы при принятой выше идеализации (не учёте зависимостей характеристик всех элементов системы от изменения частоты) можно записать в виде:

$$\left.\begin{aligned}
P_1 &= \frac{E_{q1}U_ш}{x_1}sin\delta_{1U}\\
P_2 &= \frac{E_{q2}U_ш}{x_2}sin\delta_{2U}\\
P_1 + P_2 &= P_н\\
Q_1 &= \frac{U_ш}{x_1} + \frac{E_{q1}U_ш}{x_1}cos\delta_{1U}\\
Q_2 &= \frac{U_ш}{x_2} + \frac{E_{q2}U_ш}{x_2}cos\delta_{2U}\\
Q_1 + Q_2 &= Q_н\\
Q_н &= U_ш^2 b_н\\
P_н &= U_ш^2 g_н\\
p(s_1 - s_2) &= \frac{P_в - P_1}{T_{J1}} - \frac{P_д - P_2}{T_{J2}}
\end{aligned}\right\} \quad (22)$$

где $P_в$, $P_д$ – мощности турбин ветро- и дизель-генераторов, P_1, P_2, Q_1, Q_2, $P_н$, $Q_н$ – активные и реактивные мощности генераторов и нагрузки, δ_{1U}, δ_{2U} – угол между осью q каждого из генераторов и вектором напряжения $U_Ш$.

После линеаризации уравнения (21), полагая, как и прежде, $\Delta U_Ш=0$, после преобразований приходим к выражениям, аналогичным (19), а именно:

$$\Delta P_1 = \frac{\Delta P_в T_{J2}}{T_{J1} + T_{J2}}, \tag{23}$$

$$\Delta P_2 = -P_1 = \frac{\Delta P_в T_{J2}}{T_{J1} + T_{J2}}, \tag{24}$$

На нулевой частоте при параллельной работе ветроэлектрического генератора с сетью, очевидно, что $\Delta P_1 = \Delta P_в$.

Из изложенного следует, что как в областях малых (близких к нулю) частот, так и на частоте свободных электромеханических колебаний генераторов при принятых соотношениях P_{20}: P_{10} и реальных значениях T_{J1} и T_{J1} отклонения ΔP_1 и ΔP_2 существенно ниже $\Delta P_в$; тогда как при параллельной работе ветроэлектрического генератора с мощной сетью отклонения мощности генератора и ветроколеса равны между собой. Однако при этом в области малых частот значительный подъем имеет амплитудно-частотная характеристика частоты напряжения в узле нагрузки, изменение которой на нулевой частоте при принятой идеализации можно записать в виде [3]:

$$p\Delta f = \frac{\Delta P_в 50}{T_{J\Sigma}} \tag{25}$$

где $T_{J\Sigma} = T_{J1} + T_{J2}$ - эквивалентная постоянная агрегатов.

Сказанное физически можно объяснить тем, что в автономной системе значительная часть отклонения мощности ветроколеса, обусловленного изменением скорости ветра, расходуется на изменение частоты системы, снижая тем самым возмущаемость других режимных параметров.

Спектральные характеристики режимных параметров

Рассчитанные по частотным спектральным характеристикам режимные параметры системы приведены на рис. 4 и 5.

Сравнение кривых рис. 4 и 5. показывает, что спектральные характеристики электромагнитного момента и взаимного угла генераторов системы значительно ниже таковых для синхронного ветроэлектрического генератора, работающего параллельно с мощной сетью. При этом в спектрах S_{Me}, $S_{\delta 21}$ в существенной мере падает вес как малых, так и собственных частот, что в свою очередь, благоприятно сказывается на показателях качества этих режимных параметров. Величины дисперсий D_{Me}, $D_{\delta 21}$ и среднеквадратичных отклонений σ_{Me}, $\sigma_{\delta 21}$ для нерегулируемых агрегатов при различном соотношении их установленных мощностей сведены в табл.2.

Из сопоставления приведенных результатов и данных табл. 3, полученных при параллельной работе ветроэлектрического генератора с сетью, видно, что в последнем случае величины среднеквадратичных отклонений электромагнитного момента и угла много больше их значений при параллельной работе ветроэлектрических и дизель-генераторов.

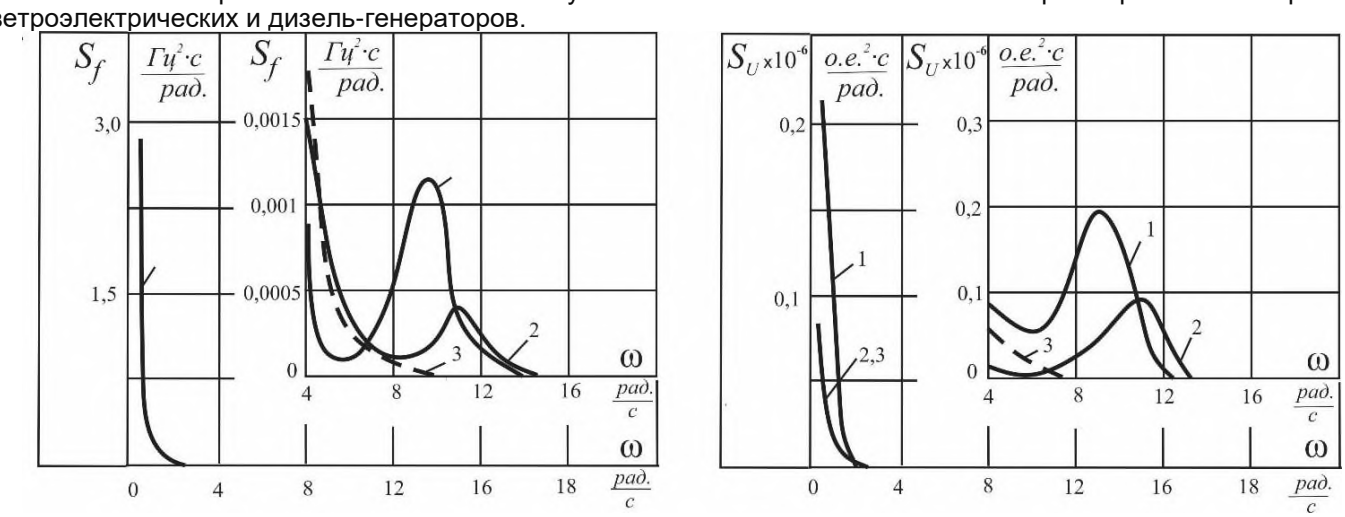


Рисунок 4 – Спектральные характеристики системы
1 - Рд:Рв=2:1; 2 - Рд:Рв=1:1; 3 - Рд:Рв=1:1, генераторы с АРВ-СД

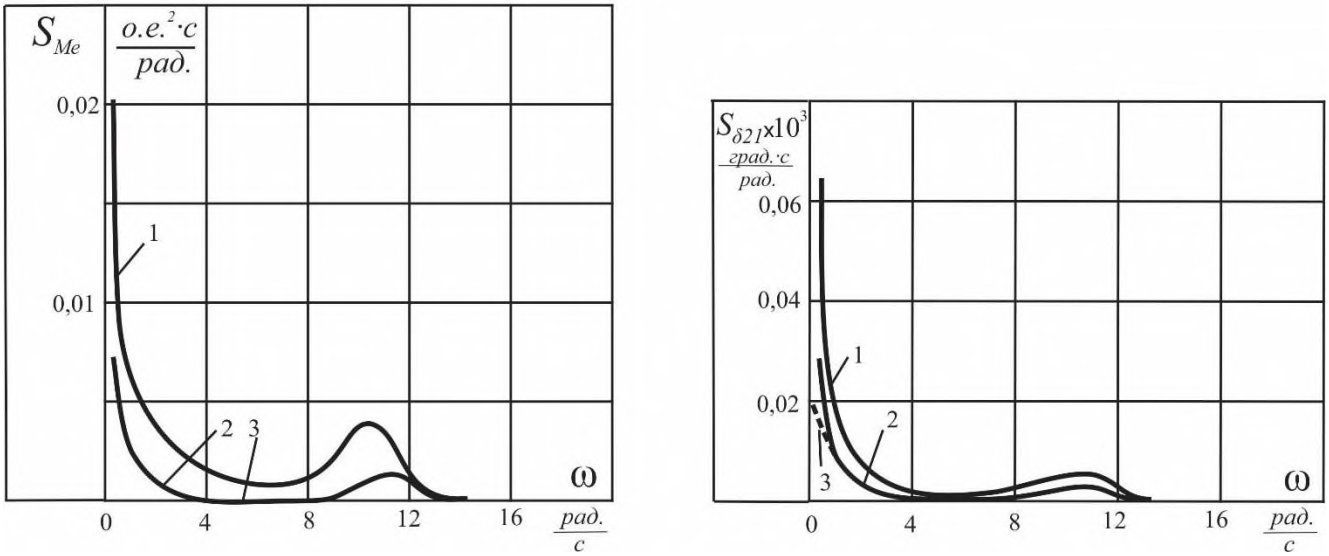


Рисунок 5 – Спектральные характеристики системы
1 - $P_д$:$P_в$=2:1; 2 - $P_д$:$P_в$=1:1; 3 - $P_д$:$P_в$=1:1, генераторы с АРВ-СД

Таблица 2

Параметр	Соотношение мощностей агрегатов	
	P_{20}:P_{10}=1:1	P_{20}:P_{10}=2:1
Дисперсия D_{Me}, (о.е.)^2	0,0068	0,025
Среднеквадратичное отклонение σ_{Me}, о.е.	0,082	0,16
Дисперсия $D_{\delta 21}$, град.^{2}	25	45,8
Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{\delta 21}$, град.	5,0	6,7

Таблица 3

Параметр	M_e	δ	I
Дисперсия, D	D_{Me}=0,48 (о.е.)^2	D_δ=845,9 град.^{2}	D_I=0,41(о.е.)^2
Среднеквадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{D}$	σ_{Me}=0,69 о.е.	σ_δ=29 град.	σ_I=0,64 о.е.

Среднеквадратичные отклонения напряжения в узле нагрузки от его номинального уровня, рассчитанные по спектральным характеристикам $S_{UШ}$ (рис. 5), даже при отсутствии регулирования возбуждения, не превышали 0,02% при соотношении мощностей P_{20}:P_{10}=1:1 и 0,05% при P_{20}:P_{10}=2:1. Спектральные характеристики напряжения на шинах нагрузки представлены на рис. (рис.5). Величины среднеквадратичных отклонений σ_f при соотношении мощностей P_{20}:P_{10}=1; P_{20}:P_{10}=2:1 составили 0,71 Гц и 0,69 Гц соответственно.

Применение стабилизирующих параметров в АРВ генераторов может позволить существенно повысить демпфирование их электромеханических колебаний.

Улучшение демпфирования обуславливало и регулирование дизеля по обычно реализуемому в нем закону. При этом заметно снизятся и среднеквадратичные отклонения режимных параметров.

Заключение

Анализ флуктуаций режимных параметров показал, что величины дисперсий и среднеквадратичных отклонений режимных параметров (мощности, тока статорной цепи и т.д.) агрегатов ветродизельной системы значительно ниже таковых при работе ветроэлектрического генератора с сетью.

В автономной системе значительная часть отклонения мощности ветроколеса, обусловленного изменением скорости ветра, расходуется на изменение частоты системы, снижая тем самым возмущаемость других режимных параметров.

В спектре флуктуаций режимных параметров системы преобладают как низкие частоты, обусловленные большим удельным весом их в спектре скорости ветра, так и частоты, близкие к частоте собственных электромеханических колебаний. Удельный вес последних значительно может быть снижен за счет регулирования частоты вращения дизеля. Дополнительный эффект здесь может быть получен за счет применения регулирования возбуждения генераторов по производным режимных параметров.

Рецензент: Сидоров А.И. — д.т.н., профессор, зав. кафедрой БЖД ЮУрГУ

Литература

1 Рагозин А.А., Пинегин А.Л. Анализ условий работы асинхронных и синхронных ветроэлектрических установок в энергосистеме // Электричество -1996 -№2 - С. 16- 24.

2 Джалилов Р.А. Режимы работы асинхронизированных синхронных ветроэлектрических генераторов в энергосистеме // ВЕСТНИК Института энергетики Таджикистана (Научный журнал) Серия инженерных, инновационных и инвестиционных исследований №3 (3) - Кушониён, 2022. – с. 9-14.

3 Костин В.Н., Пинегин А.Л. Характеристики режимных параметров ветроагрегата при параллельной работе с дизель-генератором // Естественные и технические науки – 2005 - №3(81) – С. 111-116.

4 Ahmed G. Abo-Khalil., Saeed Alyami., Khairy Sayed., Ayman Alhejji. Dynamic modeling of wind turbines based on estimated wind speed under turbulent conditions// Energies 2019, 12, 1907; doi:10.3990/en12101907.

5 Пинегин А.Л., Рагозин А.А. Режимы работы синхронного ветроэлектрического генератора в энергосистеме // Электричество -1994 -№5 - С. 17 - 24.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Ҷалилов Рустам Абдуҳамидович	Джалилов Рустам Абдухамидович	Dzhalilov Rustam Abduhamidovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences., associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: drustam@mail.ru		

УДК 620.9-62

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НЕГЛУБОКИХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

С.А. Тагоев, Ш.М. Султонзода, У.У. Косимов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе рассматриваются перспективы внедрения и развития неглубоких геотермальных систем в условиях Республики Таджикистан. Проведен анализ опытов зарубежных стран в области использования геотермальной энергии и направления применения неглубоких геотермальных систем – теплонасосных установок для теплоснабжения. Проведена оценка параметров теплонасосных установок в условиях г. Душанбе.

***Ключевые слова**: геотермальная энергетика, тепловой насос, трансформация тепла, низкопотенциальное геотермальное тепло.*

ДУРНАМОИ ИСТИФОДАБАРИИ СИСТЕМАҲОИ ГЕОТЕРМАЛИИ НАЧАНДОН ЧУҚУР ДАР ШАРОИТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

С.А. Тағоев, Ш.М. Султонзода, У.У. Қосимов

Дар кори мазкур дурнамои ҷоринамоӣ ва рушди системаҳои геотермалии начандон чуқур дар шароити ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ карда мешавад. Таҳлили таҷрибаҳои кишварҳои хориҷӣ дар соҳаи истифодаи энергияи геотермалӣ ва самти истифодаи системаҳои геотермалии начандон чуқур бо имстифодаи насосҷои гармӣ барои гармитаъминкунӣ гузаронида шудааст. Параметрҳои насосҳои гармидиҳӣ дар шароити шаҳри Душанбе арзёбӣ карда шудаанд.

***Калидвожаҳо:** энергетикаи геотермалӣ, насоси гармӣ, трансформатсияи гармӣ, гармии геотермалии потенсиалаш паст*

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

S.A. Tagoev, Sh.M. Sultanzoda, U.U. Qosimov

The paper examines the prospects for the introduction and development of shallow geothermal systems in the Republic of Tajikistan. The analysis of the experiences of foreign countries in the field of geothermal energy use and the direction of application of shallow geothermal systems – heat pump installations for heat supply is carried out. An assessment of the parameters of heat pump installations in the conditions of Dushanbe was carried out.

***Keywords:** geothermal energy, heat pump, heat transformation, low-potential geothermal heat, geothermal probes.*

Введение

Геотермальная энергетика — это использование естественной энергии, исходящей из недр Земли, за счет тепла радиоактивного распада минералов и геологической активности планеты. Неглубокая геотермальная энергетика – это использование энергии под поверхностью земли глубиной примерно до 50-100 м, а также в глубине водоемов и рек (гидротермальная энергия). Геотермальные энергетические ресурсы могут находиться на различной глубине под поверхностью земли. С увеличением глубины под земной поверхностью температура постепенно повышается (1^0С на каждые 33 м), а в некоторых местах эта энергия выходит наружу (вулканы, горячие источники). Поверхность суши и воды также нагревается за счет поглощения солнечного излучения, в результате чего происходит аккумулирование энергии в толще земли и воды. Использование этой низкопотенциальной энергии возможно посредством трансформаторов тепла – теплонасосными установками. Геотермальная энергия используется в различных отраслях (рис. 1).

Обзор использования геотермальной энергии в мире

Геотермальная энергетика наиболее распространена в регионах с высокой тектонической активностью. Лидерами в области прямого использования геотермальной энергии (теплоснабжения), включая теплонасосные установки, являются Китай, США, Швеция, Германия, Турция и др. Тепловые насосы обеспечивают теплом Стокгольм, используя в качестве низкопотенциального источника Балтийское море со среднегодовой температурой воды всего +8 °С. В Швеции теплонасосы обеспечивают половину всего тепла, в США — 37% [1]. К достоинствам геотермальных ресурсов можно отнести [2]: а) использование местных энергетических ресурсов; б) замена традиционных источников энергии на геотермальные обеспечивает существенное улучшение экологической обстановки и здоровья населения; в) экономия дефицитного органического топлива (природный газ, нефть).

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), к 2020 году во всем мире было установлено 177 миллионов тепловых насосов. Большинство этих тепловых насосов было в Китае (33%), за ним следовали Северная Америка (23%) и Европа (12%). Однако до недавнего времени рынок тепловых насосов рос гораздо медленнее, чем того требовали сценарии декарбонизации МЭА или Комитета по изменению климата Великобритании (ССС). Это очевидно из данных МЭА по глобальным запасам тепловых насосов: при нынешних темпах к 2030 году в мире будет установлено только 253 миллиона тепловых насосов

по сравнению с 600 миллионами единиц, необходимыми к этому году в сценарии МЭА с нулевым балансом - дефицит 58%. Сюда входят тепловые насосы «воздух-воздух», «воздух-вода», «вода-вода» и «земля-вода». В Европе четырьмя странами с наибольшей долей тепловых насосов являются Норвегия (60% домохозяйств), Швеция (43% домохозяйств), Финляндия (41% домохозяйств) и Эстония (34% домохозяйств). Эти четыре страны также сталкиваются с самыми холодными зимами в Европе [3].

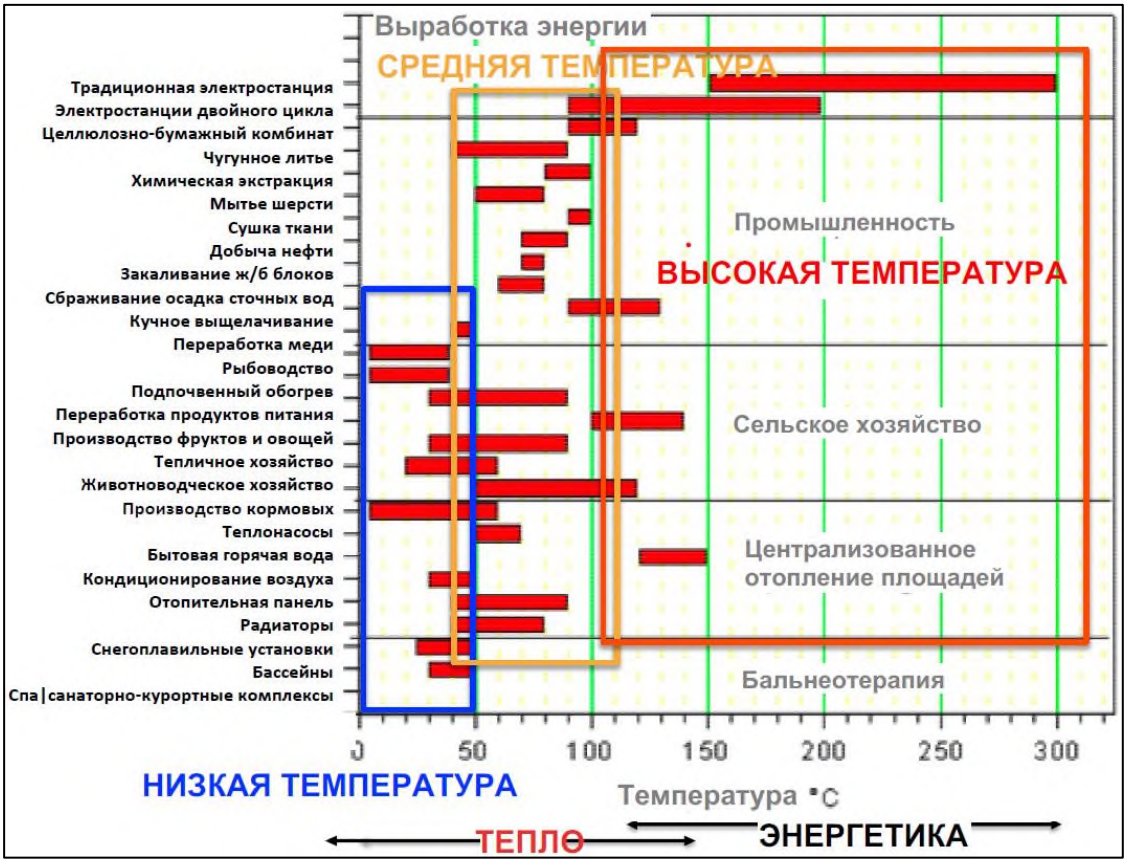


Рисунок 1 – Использование геотермальной энергии в различных отраслях

Данные МЭА показывают, что мировой рынок тепловых насосов в 2020 году вырос всего на 3%. До этого рынок рос примерно на 10% в год. Путь «чистого нуля», предложенный МЭА, требует роста рынка на глобальном уровне примерно на 13% в годовом исчислении до 2030 года.

Первоначальные данные свидетельствуют о том, что после замедления в 2020 году рынок тепловых насосов резко восстановился в 2021 году, при этом в некоторых странах, где доступны данные, рост выражается двузначными числами.

Например, Европейская ассоциация тепловых насосов (EHPA) ожидает, что в Европе рост рынка превысит 25% в 2021 году, впервые достигнув 2 млн единиц, продаваемых в год.

Польская ассоциация тепловых насосов Port PC сообщила об увеличении количества тепловых насосов на 60% в 2021 году, главным образом благодаря правилам о поэтапном отказе от угольного отопления в частных домах в стране.

В Германии рынок тепловых насосов вырос на 28% в 2021 году, когда было продано 154 000 единиц – в основном из-за расширения продаж воздушных тепловых насосов. Наблюдаемый рост частично объясняется введением налога на выбросы углерода в топливе для отопления в 2021 году.

США, еще один мировой лидер по производству воздушных тепловых насосов, в 2021 году прибавили 15%, ограничив период последовательного ежегодного роста выше 5% с 2015 года.

По данным Финской ассоциации тепловых насосов, в 2021 году Финляндия продемонстрировала аналогичный рост, что и Германия, с увеличением на 25% до 130 000 установленных тепловых насосов. Учитывая небольшой размер страны с точки зрения численности населения, это примечательно: в 2021 году почти 5% всех домов установят тепловой насос.

А сравнивать крупнейшие в мире системы тепловых насосов сложно, поскольку зачастую они состоят из нескольких меньших по размеру тепловых насосов, соединенных вместе. Возьмем, к примеру, систему

централизованного теплоснабжения в Стокгольме, Швеция, которую часто называют крупнейшей системой тепловых насосов в мире. Их максимальная мощность составляет 215 МВт, но эта сумма представляет собой сумму семи тепловых насосов, двух устройств по 40 МВт и пяти устройств по 27 МВт, согласно утверждению представителя энергетической компании Stockholm Exergi. В другом месте Швеции, в Гетеборге, имеется система тепловых насосов мощностью 160 МВт, состоящая из четырех агрегатов. Две из них больше, чем в Стокгольме, их мощность составляет 50 МВт каждая.

В Европе основное внимание уделяется стимулам до тех пор, пока рынок не вырастет до таких размеров, что потребуется регулирование/нормативы. Наиболее эффективными субсидиями являются те, которые направлены на затраты на установку и бурение.

Швеция: это зрелый рынок. Многие банки предлагают кредиты с нулевым процентом. Кроме того, цены на жилье напрямую зависят от геотермальных тепловых насосов. В 2022 году дома с ГТН продавались на 10-12 000 евро дороже. В 2023 году цены на недвижимость упали на 11 %, но только на 5 % для домов с ГТН. Регулярные опросы, проводимые компаниями, занимающимися продажей недвижимости, показывают, что геотермальные тепловые насосы занимают 4-е или 5-е место по важности при покупке дома.

Германия: скидка 40% на общую стоимость установки теплового насоса. Дополнительные 5% даются за геотермальную установку. В настоящее время очередь на бурение составляет 18 месяцев из-за нехватки бурильщиков. Это примерно 18 000 евро для ГТН и 15 000 евро для Тепловых насосов с воздушным источником тепла. Стоимость установки составляет €22-18 000 для ГТН.

Франция: MaPrimeRenov предоставляет €15000 для малообеспеченных и €12000 для среднеобеспеченных домохозяйств на установку геотермальных тепловых насосов и €9000 на установку тепловых насосов с воздушным источником тепла. Средняя стоимость установки составляет €18000 для жилых домов с ГТН.

Нидерланды: субсидии в размере 3750-5000 евро для ГТН и 1900-3500 евро для ТН с воздушным источником тепла.

Польша: 19 400 злотых (4 500 евро) - для высокоэффективного теплового насоса с воздушным источником тепла и 28 500 злотых (6 500 евро) - для ГТН. Средняя стоимость установки составляет 10-12 000 евро в зависимости от региона.

Эстония: электроэнергия, используемая в ГТН, оплачивается по коммерческой ставке НДС в размере 5%, а не по некоммерческой ставке в 12%.

Россия обладает огромными запасами геотермальной энергии, потенциал которой в 8-12 раз превышает потенциал всех углеводородных видов топлива. Перспективность освоения геотермальных месторождений с целью выработки электроэнергии очевидна. Технология выработки электрической энергии на основе глубинного тепла Земли позволяет конкурировать с традиционными тепловыми станциями. В 2010 году себестоимость электроэнергии на Мутновских ГеоЭС (Камчатка), являющихся флагманами геотермальной энергетики России, за киловатт-час по отношению к обычным ТЭС была в 3,7 раза ниже [4].

В Казахстане тепловые насосы производятся в промышленном масштабе.

На территории Республики Таджикистан также имеются геотермальные источники. Они отличаются физико-химическим составом и географическим положением. В северной части Таджикистана (Согдийская область) источники расположены, в основном, на равнинах и в предгорьях, в центральной и южной части они находятся в долинах, предгорьях и среднегорье, в Горно-Бадахшанской автономной области они находятся в предгорьях [5]. Основная доля геотермальных ресурсов Таджикистана расположена в Горно-Бадахшанской автономной области. Геотермальные воды представляют интерес для выработки электроэнергии, если их температура не ниже 150 и даже 300°С. Термальная вода с температурой более 60°С представляет интерес для отопления. По сути, любую энергию можно преобразовать в электрическую или тепловую энергию. В этом случае особый интерес представляет геотермальная тепловая энергетика, поскольку с точки зрения электроэнергии она не является существенной. В то же время, как источник тепловой энергии, он может представлять большой интерес, особенно при использовании современных технологий в виде тепловых насосов. В этом случае можно использовать все низкопотенциальное тепло геотермального источника, соответствующее температуре воды выше 15°С [6].

Особенности работы теплонасосной установки

Тепловой насос — это установка, позволяющая концентрировать низкотемпературное тепло и переносить его от теплоносителя с низкой температурой (4-5°С) к теплоносителю с более высокой температурой (до 80°С). По-другому, тепловой насос – это трансформатор тепловой энергии, повышающий температуру теплоносителя. Основными элементами теплового насоса являются четыре элемента: испаритель, компрессор, конденсатор и дроссель (рис. 2).

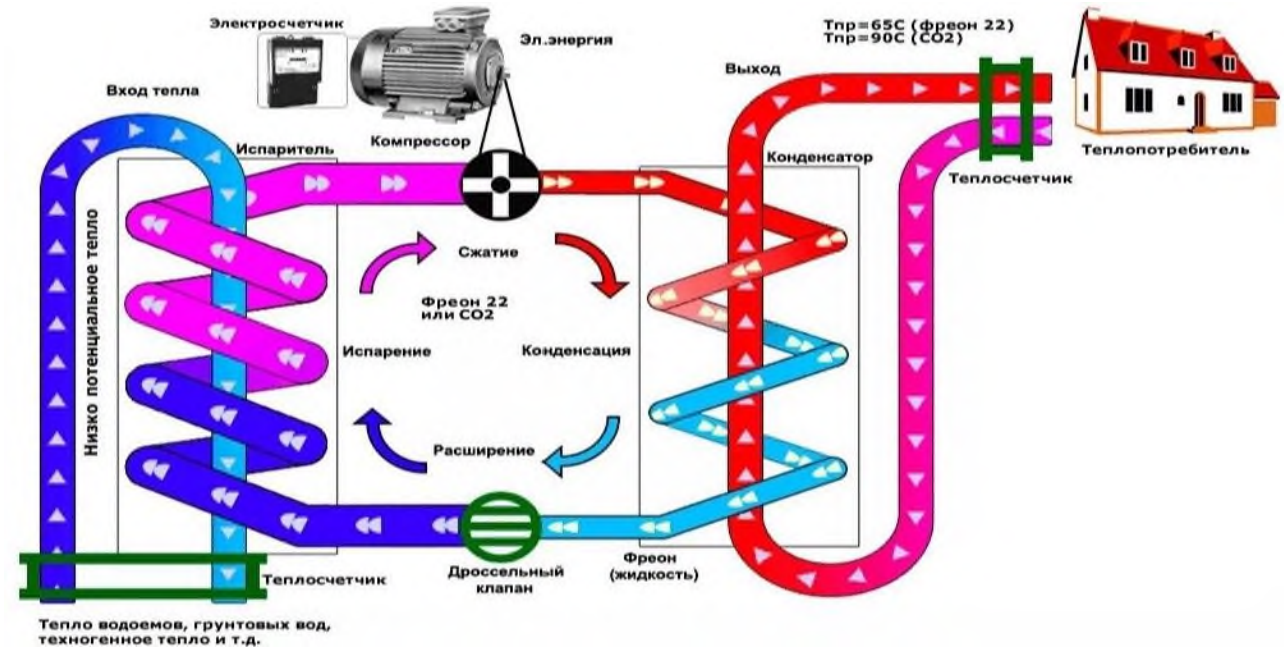


Рисунок 2 – Принцип работы теплового насоса

По испарителю теплонасоса циркулирует хладагент — фреон. Эта незамерзающая и легкоиспаряющаяся жидкость, которая закипает и преобразуется в пар при получении низкопотенциального (низкотемпературного) геотермального тепла, доставленная другим теплоносителем (вода, антифриз), циркулирующей по внешнему контуру, расположенному в толще земли или воды.

Парообразный фреон поступает в компрессор, где затрачивается электроэнергия, под воздействием высокого давления пар хладагента разогревается, температура сжатых паров фреона может достигать до 128 °С.

В конденсаторе горячий фреоновый пар передаёт тепловую энергию в контуре отопления на нагрев воды, охлаждается и снова переходит в жидкое состояние, но сохраняет при этом высокое давление.

Для того, чтобы продолжить цикл, необходимо понизить давление и температуру фреона, поэтому после конденсатора фреон проходит через дроссельный вентиль, где понижается его давление и температура. После этого фреон проходит испаритель для прохождения повторного цикла.

Получение низкопотенциального тепла из земли и водоема.

На практике применяется три варианта получения низкопотенциального геотермального тепла из грунта и водного объекта (рис. 3):

- геотермальные зонды (металлопластиковые трубы диаметром 25–40 мм), уложенные в траншеи глубиной 1,2–2 м [7];
- геотермальные зонды (U-образные трубы диаметром 25–40 мм), опущенные в вертикальные скважины глубиной 20-100 м;
- геотермальные зонды (металлопластиковые трубы диаметром 25–40 мм), погруженные в водный объект глубиной 1,2–2 м;

Трубы также можно укладывать в виде спиралей в широкую траншею глубиной 2–4 м. По данным зарубежных компаний, срок службы траншей и скважин составляет более 100 лет.

Съем тепла с каждого метра трубы зависит от глубины укладки, наличия грунтовых вод, свойства грунта и т.д. Для траншей он составляет: сухая глина – 20, влажная глина – 25, глина с водой – 35 Вт/м. Разницу температуры теплоносителя в прямой и обратной линии петли при расчетах принимают обычно равной 3°С. На участке над горизонтальным зондом не следует возводить строений, чтобы тепло земли пополнялось за счет солнечной радиации.

Минимальное расстояние между проложенными трубами должно быть 0,7–0,8 м. Длина одной траншеи составляет от 30 до 100 м. Длина каждой ветви горизонтальной трубы не должна превышать 100 м, иначе потери давления в трубе и требуемая мощность насоса становятся слишком велики. В качестве теплоносителя первичного контура можно использовать воду или 25-процентный раствор гликоля (антифриза) для предотвращения замерзания при температурах ниже 0^0С. При использовании антифриза потери давления в

трубах в 1,5 раза больше, чем при циркуляции воды. В условиях Таджикистана во внешнем контуре и контуре отопления можно использовать в качестве теплоносителя воду, так как вероятность замерзания низкая.

Количество трансформируемого тепла, а, следовательно, и размер необходимой поверхности для расположения грунтового коллектора существенно зависят от теплофизических свойств грунта и климатических условий местности. Теплофизические свойства, такие как теплоемкость и теплопроводность, очень сильно зависят от состава и состояния грунта. В этом отношении определяющими являются доля воды, содержание минеральных составляющих (кварц, полевой шпат), доля и размер пор, заполненных воздухом. Аккумулирующие свойства и теплопроводность грунта тем выше, чем больше доля воды, минеральных составляющих и чем ниже содержание пор.

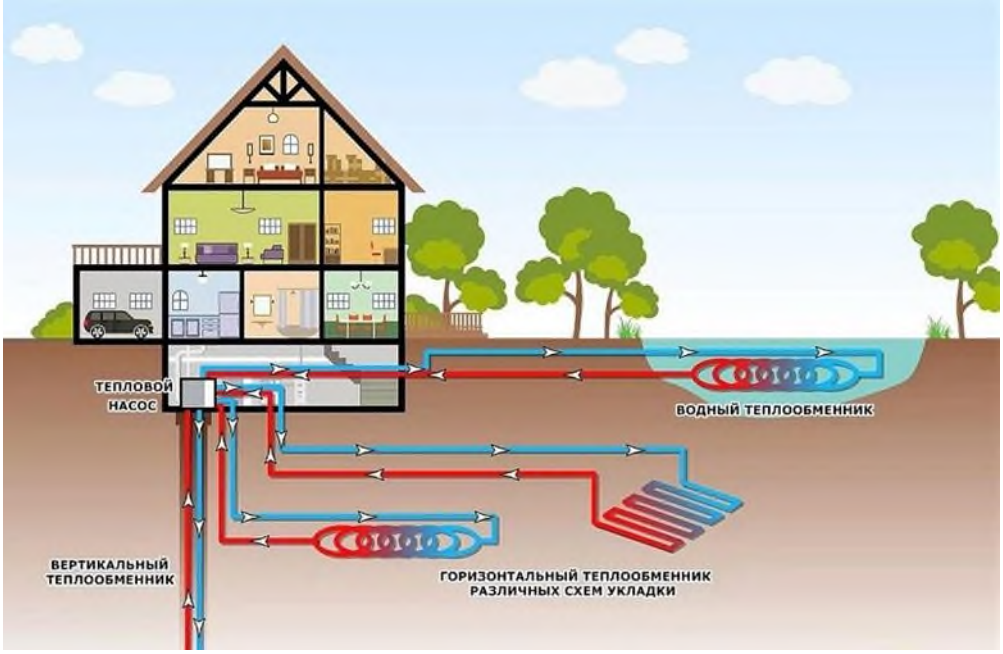


Рисунок 3 – Варианты получения низкопотенциального тепла из земли и водоема

Оценка параметров и выбор оборудования

Расчет необходимой тепловой мощности теплонасоса:

$$Q=V_п\times\Delta t\times K,\ кВт, \quad (1)$$

где $V_п$ - Объем обогреваемого помещения, м³; Δt - разница температур между наружного воздуха и необходимой температурой внутри помещения, °С; K - коэффициент рассеяния (зависит от типа конструкции и изоляции помещения), K = 1,0 - 1,9 - стандартная конструкция, двойная кирпичная кладка, небольшое число окон, стандартная кровля, средняя теплоизоляция.

Например, при объеме помещения Vп = 293 м², Средней температуре наружного воздуха в январе tн=+2°С, температуре внутри помещения tн=+20°С, разности температур Δt=20-2=18°С получим:

$$Q=292\times18\times1,9 = 9986,4\ Вт \approx 10\ кВт.$$

Требуемая площадь для расположения горизонтального зонда (коллектора) рассчитывается по формуле:

$$S = Q_x/q, \quad (2)$$

где: Qx - холодопроизводительность, Вт; q — удельная мощность грунтового коллектора, Вт/м2.

Холодопроизводительность:

$$Q_x = Q_т - P_н, \quad (3)$$

где: Qт — теплопроизводительность теплонасоса, Вт; Рн — потребляемая мощность теплонасоса от сети, Вт.

Например, если холодопроизводительность теплонасоса составит 10 кВт, то во влажном грунте (q = 25 Вт/м2) для размещения коллектора потребуется площадь:

$$S = Q_x/q = 10000/25 = 400\ м^2.$$

Чтобы трансформировать тепло с такой площади, необходимо проложить в грунте полиэтиленовые трубы диаметром 25×2,3 мм и длиной l = 400×1,4 = 560 м (1,4 — удельный расход трубы на квадратный метр площади). Трубы необходимо прокладывать отдельными контурами по 94 м каждый, т.е. 6 контуров.

При вертикальном варианте расположении труб бурится скважина глубиной 60–200 м, в которую опускается несколько U-образных трубопроводов (рис. 2). В глинистом влажном грунте (теплосъем q = 100 Вт/м) при холодопроизводительности теплового насоса 10 кВт длина зонда (глубина скважины) должна быть:

$$L_c = Q_x/q = 10000/100 = 100 \text{ м}.$$

Можно сделать две U-образных трубопроводов диаметром Dy = 32×3 мм с глубиной скважины Lc = 50 м. Общая длина труб составит Lтр =200 м. Скважина с трубами заливается бетонитом, хорошо проводящим тепло. Количество теплоносителя определяется внутренним объемом труб коллектора (зонда) и подводящих труб:

$$V= (nL_кS_к+L_пS_п)\times10^3, \text{ л}, \quad (4)$$

где: n – количество трубопроводов; Lк – длина одного U-образного трубопровода, м; Sк – площадь сечения трубопровода коллектора, м^2; Lп - длина подводящего трубопровода, м; Sп – площадь сечения подводящего трубопровода коллектора, м^2; 103 переводной коэффициент от м^3 на л.

Диаметр подводящих труб берут на размер большим, чем труба коллектора. Например, при длине U-образного трубопровода коллектора Lк = 100 м с диаметром Dук = 32×3 мм и длине подводящей трубы Lп = 100 м с диаметром Dуп = 40×2,3 мм объем теплоносителя составит:

$$V= (2\times100\times0{,}00053066 + 10\times0{,}00098373)\times10^3 = 116 \text{ л},$$

где сечения трубопроводов:

$$S_к=\pi(D_{ук}/2)^2 = 3{,}14(0{,}026/2)^2 = 0{,}00053066 \text{ м}^2;$$

$$S_п=\pi(D_{уп}/2)^2 = 3{,}14(0{,}0354/2)^2 = 0{,}00098373 \text{ м}^2.$$

Расход теплоносителя теплового насоса находят по паспорту на тепловой насос. Выбираем циркуляционный насос внешнего контура с объемным расходом теплоносителя GV = 1600 л/ч, тогда расход на один U-образный трубопровод коллектора составит GV1 = 800 л/ч. Потери давления в трубах зависят от диаметра труб, плотности и расхода теплоносителя и определяется по данным завода-изготовителя труб. Например, для труб HDPE (полиэтилен высокой плотности) диаметром 32×3 мм и расходе 800 л/ч величина потерь составляет $\Delta p_к$ = 154,78 Па/м, а для труб диаметром 40×2,3 — $\Delta p_п$ = 520,61 Па/м. Общее падение давления в сети составит:

$$\Delta P_c = L_{тр}\Delta p_к + L_п\Delta p_п = 200\times154{,}78 + 10\times520{,}61 = 36162 \text{ Па},$$

что необходимо учесть при выборе циркуляционного насоса.

Срок службы грунтового коллектора зависит от кислотности почвы: при нормальной кислотности (pH = 5) эта величина составляет 50–75 лет, при повышенной (pH>5) — 25–30 лет.

Поскольку температура теплоносителя меняться, в первичном контуре теплонасосной установки необходим расширительный бак. Рекомендуется также установить на возвратной линии накопительный бак: компрессор теплового насоса работает в режиме «включено-выключено». Слишком частые пуски могут привести к ускоренному износу его деталей. Бак полезен и как аккумулятор энергии – на случай отключения электроэнергии. Его минимальный объем принимается из расчета 10–20 л на 1 кВт мощности теплового насоса. При использовании второго источника энергии (электрического, газового, жидко- или твердотопливного котла) он подключается к схеме через смесительный клапан, привод которого управляется тепловым насосом или общей системой автоматики.

Мощность теплового насоса можно подбирать исходя из моновалентного или бивалентного режима его работы. В первом случае предполагается, что тепловой насос используется как единственный генератор тепловой энергии.

Следует принимать во внимание, что в условиях Таджикистана продолжительность периодов с низкой температурой воздуха составляет незначительную часть отопительного сезона. Например, для Душанбе температура наружного воздуха для расчета отопления принята –13 °С, продолжительность отопительного сезона – 112 суток, а средняя температура января составляет примерно +2°С. Поэтому наиболее целесообразной является работа теплового насоса в бивалентном режиме, предусматривающая включение дополнительного теплогенератора в периоды, когда температура воздуха опускается ниже определенного значения, например –5 °С. Это позволяет снизить стоимость теплового насоса и, особенно, работ по монтажу первичного контура (прокладка траншей, бурение скважин и т.п.), которая сильно увеличивается при возрастании мощности установки.

В условиях Таджикистана для примерной оценки при подборе теплового насоса, работающего в бивалентном режиме, можно ориентироваться на соотношение 70/30: 70 % потребности в тепле покрываются тепловым насосом, а оставшиеся 30 – электрическим котлом или другим теплогенератором.

Отметим, что при установке тепловых насосов в первую очередь следует позаботиться об утеплении здания и установке стеклопакетов с низкой теплопроводностью.

Выводы

Геотермальная низкопотенциальная энергия практически доступна везде, использование которой возможно посредством трансформаторов тепла – теплонасосными установками. Преимуществом геотермального теплового насоса является универсальность - с помощью теплового насоса можно решить не только задачу отопления, но и охлаждения. Тепловой насос не зависит от наличия источника тепла. Геотермальная система долговечна, единственный элемент которой подвергается механическому износу — это компрессор. Тепловой насос является пожаробезопасным – получение тепла не сопровождается процессом горения. Срок окупаемости низкий (3-5 лет). Источник энергии является возобновляемым. Недостатком является высокая стоимость начальных затрат. Геотермальную низкопотенциальную энергию можно применять в условиях Республики Таджикистан с учетом опытов передовых зарубежных стран.

Рецензент: Зоиров Х.А. — к.т.н., начальник КТЦ ФДПЭЦ-2 ОАО "Барки Тоҷик"

Литература

1 John W. Lund, Aniko N. Toth. Direct Utilization of Geothermal Energy: 2020 Worldwide Review. Proc. of the 2020 World Geothermal Congress. Reykjavik, Iceland. 2020. 39 p.

2 Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр [Электронный ресурс]: монография. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2020. – 435 с. – URL: https://publishing.intelgr.com/archive/osvoenie-teplovoy-energii-nedr.pdf..

3 Rosenow, J., Gibb, D., Nowak, T. et al. Heating up the global heat pump market. Nat Energy 7, 901–904 (2022). https://doi.org/10.1038/s41560-022-01104-8.

4 А.Н. Шулюпин, А.А. Чермошенцева / Современные тенденции в освоении геотермальных ресурсов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. Вып. 1. С. 165-175.

5 Inom Normatov / Geothermal Water Resources of the Republic of Tajikistan and a Perspective on Their Use // Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010. pp. 1-6.

6 Mamadsho Ilolov, Ahmadsho Ilolov, Sakina Karimova, Anvar Kodirov, Artur Khudonazarov / Geothermal Resources of Tajikistan // Proceedings World Geothermal Congress 2020+1 Reykjavik, Iceland, April - October 2021. pp. 1-12.

7 http:// teplovoi-nasos.com.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Тагоев Сафовидин Асоевич	Тагоев Сафовидин Асоевич	Tagoev Safovidin Asoyevich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: safovidin.tagoev@yandex.ru		
TJ	RU	EN
Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо	Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо	Sultonzoda (Sultonov) Sherkhon Murtazo
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: sultonzoda.sh@mail.ru		
TJ	RU	EN
Қосимов Улуғбек Умриевич	Косимов Улугбек Умриевич	Qosimov Ulugbek Umrievich
н.и.т., и.в. дотсент	к.т.н., и.о. доцента	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: Ulugbek.78@mail.ru		

УДК 681.3 (075.8) + 621.3.053

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

О.С. Сайфиддинзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Для решения проблемы надёжности и безопасности электроустановок необходимо знание состояния элементов заземляющего устройства (ЗУ). В настоящее время для оценки и контроля состояния элементов ЗУ существует множество стандартов и нормативно-технических документов. Суть всех действующих методов заключается в оценке состояния заземляющих устройств путём проведения измерения их электрических параметров и визуальных осмотров. Дело в том, что визуальный осмотр производят при вскрытии грунта над элементами заземлителя, и при измерении электрических параметров применяются различные виды измерительных приборов, т.е. для оценки фактического состояния заземляющих устройств требуется большое количество трудовых, финансовых и временных затрат.

В данной статье рассматриваются основные вопросы, связанные с созданием совершенного программного обеспечения автоматизированной системы, повышающего безопасность и надёжность электроустановок. Изложены этапы разработок данного устройства для оценки и контроля состояния ЗУ, которое было разработано на основе программируемого микроконтроллера Atmega328P. Также приводятся назначения основных алгоритмов, которые были использованы в программном обеспечении микроконтроллера. Применение таких современных микроконтроллеров по заданным алгоритмам позволяет определить состояние элементов ЗУ и возможные повышение надёжности электроустановок и обеспечение безопасности обслуживающих персоналов.

Ключевые слова: *надежность, безопасность, автоматизированная система, заземляющее устройство, Atmega328P, GSM-модуль, программный код, программируемый микроконтроллер.*

ТАЪМИНОТИ БАРНОМАВИИ СИСТЕМАИ АВТОМАТОНИДАШУДА БАРОИ БАҲОДИҲИИ ЭЪТИМОДИЯТ ВА БЕХАТАРИИ ТАҶҲИЗОТИ БАРҚӢ

О.С. Сайфиддинзода

Барои ҳалли масъалаҳои эътимодият ва бехатарии таҷҳизоти барқӣ донистани ҳолати кории унсур таҷҳизоти заминваслак (ТЗ) лозим аст. Дар айни ҳол барои арзёбӣ ва назорати ҳолати унсурҳои заминваслак стандартҳо ва ҳуҷҷатҳои меъёрӣ-техникии зиёд мавҷуд мебошанд. Моҳияти ҳамаи усулҳои мавҷуда дар баҳодиҳии ҳолати таҷҳизоти заминваслак бо роҳи ченкунии параметрҳои электрикии он ва гузаронидани санҷиши айёнӣ мебошад. Мушкилӣ дар он аст, ки дар вақти ченкунии параметрҳои электрикӣ ва гузаронидани корҳои санҷиши айёнӣ асбобҳои зиёди ченкуна истифода мешаванд, яъне борои муайян кардани ҳолати воқеии таҷҳизоти заминваслак харҷи зиёди қувваи корӣ, вақт ва маблағи зиёд ба назар мерасад.

Дар мақолаи мазкур масъалаҳои асосӣ доир ба таҳияи таъминоти барномавии системаи автоматонидашуда барои баҳодиҳии эътимодият ва бехатарӣ аз назар гузаронида шудааст. Марҳилаҳои коркарди таъминоти барномавии таҷҳизоти мазкур барои санҷиши ҳолати заминваслак оварда шудаанд, ки ин таҷҳизот дар асоси микроконтроллери барномарезишавандаи Atmega328P сохта шудааст. Ҳамчунин таъйиноти алгоритмҳои асосие, ки дар таъминоти барномавии микроконтроллер истифода шудаанд, оварда шудаанд. Истифодаи чунин микроконтроллерҳои ҷадид бо алгоритмҳои барномарезишуда имкон медиҳад, ки ҳолати унсурҳои ТЗ муайян шавад, эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва таъмини бехатарии ҳайати хизматрасон баланд бардошта шавад.

Калимаҳои калидӣ: *эътимодият, бехатарӣ, системаи автоматонидашуда, таҷҳизоти заминваслак, Atmega328P, GSM-модул, рамзи барнома, микроконтроллери барномарезишаванда.*

SOFTWARE FOR AUTOMATED SYSTEM FOR ASSESSING RELIABILITY AND SAFETY OF ELECTRICAL INSTALLATIONS

O.S. Sayfiddinzoda

To solve the problem of reliability and safety of electrical installations, it is necessary to know the state of the elements of the grounding device (GD). Currently, there are many standards and regulatory documents for assessing and monitoring the state of GD elements. The essence of all current methods is to assess the state of grounding devices by measuring their electrical parameters and visual inspections. The fact is that a visual inspection is carried out when opening the soil above the grounding elements, and when measuring electrical parameters, various types of measuring devices are used, i.e. to assess the actual state of grounding devices, a large number of labor, financial and time costs are required.

This article discusses the main issues related to the creation of perfect software for an automated system that increases the safety and reliability of electrical installations. The stages of development of this device for assessing and monitoring the state of the ZU, which was developed on the basis of the Atmega328P programmable microcontroller, are described. The purposes of the main algorithms that were used in the microcontroller software are also given. The use of such modern microcontrollers according to specified algorithms allows determining the state of the ZU elements and possible increases in the reliability of electrical installations and ensuring the safety of service personnel.

Keywords: *reliability, safety, automated system, grounding device, Atmega328P, GSM module, program code, programmable microcontroller.*

Повышение надёжности электроустановок и обеспечение безопасности обслуживающих персоналов зависят от успешного решения комплекса вопросов, среди которых видное место занимают вопросы устройства ЗУ. Повреждаемость ЗУ является одним из важнейших показателей, определяющих надёжность и безопасность электроустановок. В связи с этим исследование состояния ЗУ важное значение как при

проектировании, так и при эксплуатации электроустановок имеет обобщенная оценка надёжности и безопасности основных элементов.

Таким образом, ЗУ считается одним из важнейших узлов электрических сетей, которое необходимо для обеспечения надёжности работы электроустановок и электробезопасности обслуживающих персоналов. При работе ЗУ подвергается воздействию различных факторов окружающей среды. При этом все электрические параметры элементов заземлителей постоянно изменяются. Одним из факторов, характеризующих фактическое состояние заземлителей, является ее коррозия, которая существенно влияет почти на все электрические параметры и долговечность ЗУ [1-8]. Согласно действующим нормативно-техническим документам коррозийность элементов заземлителей определяют путем вскрытия грунта над ее элементами и измерения различных электрических параметров [9-12].

Характеристики ЗУ должны отвечать требованиям обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и обеспечивать в нормальных и аварийных условиях следующие эксплуатационные функции электроустановки [13 – 17]:

- надежность релейной защиты узлов электрических сетей от замыкания на землю;
- обеспечение электробезопасности обслуживающих персоналов;
- надежность защиты от атмосферного перенапряжения;
- отвод токов несимметрии электрических сетей в нормальных режимах;
- обеспечение электромагнитной совместимости;
- выравнивание потенциалов между электрическим оборудованием и землей.

В системе микропроцессорной релейной защиты применяют функциональное заземление, которое необходимо для обеспечения нормального режима работы микропроцессорных терминалов и обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала.

Контроль параметров ЗУ всегда считается актуальным вопросом. С целью осуществления автоматического контроля состояния заземлителей нами было разработано микропроцессорное устройство [18, 19] на основе программируемых микроконтроллеров.

Сущность данной разработки заключается в постоянной проверке параметров ЗУ с помощью соответствующих датчиков, обработке полученных данных с помощью действующих алгоритмов в программируемом микроконтроллере Atmega328P и их передаче через GSM-модуль в пункт назначения.

В программируемом микроконтроллере можно загрузить программу, которая будет управлять всеми элементами по заданному алгоритму. Программы для Arduino пишутся на языке C++, дополненным простыми и понятными функциями для управления вводом-выводом на контактах. С помощью программы можно определить влажность грунта и передавать полученные данные в удаленное устройство посредством GSM-модуля, а также можно будет задавать время замера влажности грунта и значение тока.

С помощью ***const int dry = 550***; и ***const int wet = 380;*** автоматизированная система контролирует влажность грунта. Назначением ***short smsSend = 0*** является отправка информации посредством GSM-модуль. Время замера влажности грунта управляет ***const long timeInterval = 3600000; // 1h***, которое определяет минимальный интервал времени между показаниями датчика, измерение значения тока в заземлителе и влажность грунта в месте нахождения заземлителя производятся автоматически каждые 60 минут. Посредством кода ***double currentIrms = emon1.calcIrms(1480)/10; // Calculate Rims only*** датчик тока обрабатывает значение тока заземлителя и отправляет его на программируемый микроконтроллер для обработки и передачи на GSM-сеть [20].

Ниже приводятся основные программные алгоритмы, которые были использованы в процессе разработки программного обеспечения автоматизированной системы контроля и оценки состояния ЗУ.

Алгоритмы:

- #include "Adafruit_FONA.h"- эта функция необходима для включения и отключения «Библиотека» Arduino включить библиотеку Adafruit FONA. Все программные элементы Arduino находятся в ее «Библиотеке»;

- #define FONA_RX 2 - строка #define FONA_RX 2 - код Arduino необходим для директивы препроцессора программируемого микроконтроллера, которая определяет постоянные величины с именем FONA_RX со значением 2;

- #define FONA_TX 3 - строка #define FONA_TX 3 - код Arduino соответствует основному принципу, который необходим во всех этапах программирования #define FONA_RX 2;

- #define FONA_RST 4 - строка #define FONA_RST 4 код Arduino соответствует тому же шаблону, что и предыдущие строки #define FONA_RX 2 и #define FONA_TX 3;

- #define BUTTON_PIN 8 - строка #define BUTTON_PIN 8 код Arduino определяет постоянные величины с именем BUTTON_PIN со значением 8;

- #include "EmonLib.h" - эта строка включает библиотеку EmonLib в ваш эскиз Arduino. Эта библиотека предоставляет функции и классы для работы с датчиками тока (напряжения для расчета различных электрических параметров).

- const int dry = 550 - строка определяет постоянную целочисленную переменную с именем Dry со значением 550. Это представляет собой показания аналогового датчика, когда окружающая среда вокруг датчика сухая;

- const int wet = 380 - строка определяет постоянную целочисленную переменную с именем «мокрый» и значением 380. Это представляет собой показания аналогового датчика, когда среда вокруг датчика влажная;

- const long timeInterval = 3600000; // 1h - в этой строке определяется постоянная длинная переменная с именем time Interval со значением 3600000. Это значение представляет один час в миллисекундах (1 час * 60 минут * 60 секунд * 1000 миллисекунд). Эта константа определяет минимальный интервал времени между показаниями датчиков влажности грунта и тока;

- short smsSend = 0 - назначение этой переменной указывает, было ли отправлено SMS или нет (0 = не отправлено, 1 = отправлено), через GSM-модуль;

- char smsMessage - в этой строке представляется массив символов с именем SMS Message размером 20. В этом массиве будет храниться содержимое текстового сообщения, которое будет отправлено через SMS;

- char *smsNumber = "+992*******"** - эти строки определяют указатель на символ с именем SMS Number. Получателем SMS-сообщения может быть любая телекоммуникационная компания;

unsigned short gusIsSend_Bef = 0 – фрагмент, кода unsigned short gusIsSend_Bef = 0; объявляет переменную с именем gusIsSend_Bef и инициализирует ее значением 0. Разбивка компонентов приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Разбивка компонентов функции *gusIsSend_Bef*

№	Функции	Назначение
1	***unsigned:***	это ключевое слово указывает, что переменная *gusIsSend_Bef* может хранить только неотрицательные целые значения (0 и положительные числа).
2	***short:***	это указывает на то, что переменная представляет собой короткое целое число, которое обычно использует 16 бит памяти.
3	***gusIs Send_Bef:***	это имя, присвоенное переменной. Значение «*gus*» и «*Bef*», вероятно, зависит от вашего кода и может быть аббревиатурой чего-то, связанного с отправкой SMS.

- char imei = {0}; // MUST use a 16-character buffer for IMEI! - Эта строка объявляет массив символов с именем imei размером 16 элементов. = {0} инициализирует все элементы значением 0, обеспечивая чистоту хранения цифр *IMEI*. В комментарии подчеркивается важность 16-значного размера для размещения 15-значного номера *IMEI* и нулевого терминатора;

- double currentIrms = emon1.calcIrms(1480)/10; // Calculate Irms only - Строка *double currentIrms = emon1.calcIrms(1480)/10; // Calculate Irms* вычисляет только среднеквадратическое значение тока (*RMS*).

Приведенные алгоритмы были использованы в программном обеспечении устройства контроля ЗУ.

В структурной схеме автоматизированной системы оценки и контроля состояния заземлителей (рис. 1) показана последовательность действия всех взаимосвязанных элементов. Блок питания подключается к источнику переменного тока и на ее выходе всегда обеспечивается выпрямленный ток напряжением 3,0-3,5 В.

Питание датчиков влажности грунта и тока, программируемый микроконтроллер и устройство отображения информации непосредственно обеспечиваются за счет блока питания. После подключения источника питания цифровые сигналы от датчиков влажности грунта и тока поступают в порты микроконтроллера Atmega328P. Обработка цифровых сигналов происходит по разработаным нами алгоритмам. В датчиках влажности грунта и тока формируются цифровые сигналы. Принцип действия датчика влажности грунта основан на изменении емкости встроенных конденсаторов измерительных электродов. Датчик тока действует как обычный трансформатор тока, не имеющий первичной обмотки. Завершение обработки сигналов сопровождается передачей информации в GSM сеть и отображением информации в дисплее автоматизированной системы оценки и контроля состояния заземлителей.

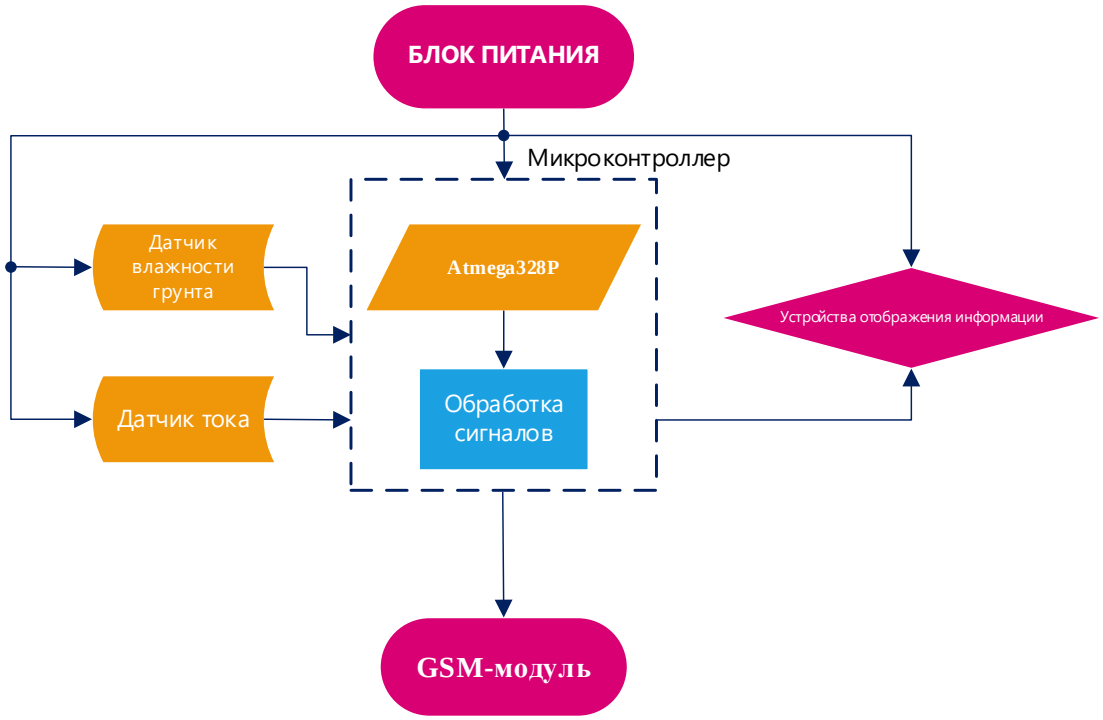


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы оценки и контроля состояния заземлителей

Приведенные программные коды позволяют осуществлять сбор данных с помощью автоматизированной системы оценки и контроля состояния заземлителей. Программа позволяет отправить полученные данные о состоянии заземляющих устройств, а также о влажности грунта посредством GSM-модуля на мобильных устройствах.

Применение современного программного обеспечения автоматизированной системы оценки и контроля состояния заземлителей позволяет определить надёжность и безопасность электроустановок на любых производственных объектах и возможные снижения возникновения аварийных ситуаций.

Таким образом, усовершенствование программного обеспечения автоматизированной системы оценки и контроля состояния заземлителей существенно влияет на сокращение количества применяемых измерительных приборов и проведение визуальных осмотров над элементами ЗУ.

Рецензент: Сидоров А.И. — д.т.н., профессор, зав. кафедрой БЖД ЮУрГУ

Литературы

1. Сидоров, А.И. К вопросу о влиянии различных параметров грунта на коррозию заземляющих устройств / А.И. Сидоров, А.И. Солдатов, Б.Т. Абдуллоев, Р.Т. Абдуллоев, Н.Х. Табаров, А.Ш. Маджидов // Энергобезопасность и энергосбережение. Серия «Энергобезопасность и охрана труда». – 2017. – № 6 (78). – С. 5 – 8. DOI 10.18635/2071-2219-2017-6-5-8.
2. Сидоров, А.И. Двухфакторный эксперимент по исследованию процесса коррозии заземляющего устройства / А.И. Сидоров, М.Д. Додхудоев, Б.Т. Абдуллоев, Р.Т. Абдуллоев // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе» Т.2 / Тюмень: ТИУ. 2016. – С. 396 – 398.
3. R.T. Abdulloev, A.B. Tryapitsyn and O.A. Khanzhina, "The electrochimical corrosion processes simulating of grounding devices," 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk, Russia, 2016, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911694/
4. Method for determining the state of an grounding device // A Sidorov, R Abdullozoda , S Sadullozoda , O Saifiddinzoda and I Abdullozoda / III international scientific and practical conference “current problems of the energy complex: mining, production, transfer, processing and environmental protection” (apec2021), IOP Conference Series: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 808 (2021) 012005 doi:10.1088/1755-1315/808/1/012005/
5. Абдуллоев, Р.Т. Факторы, влияющие на коррозию заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын // Материалы LIV Международной научно-технической конференции «Достижения науки –

агропромышленному производству» / под ред. докт. техн. наук П.Г. Свечникова. – Челябинск: ЧГАА, 2015. – Ч. IV. – С. 93 – 96.

6. Сидоров, А.И. Разработка плана отсеивающего эксперимента по исследованию влияния различных факторов на процесс коррозии заземляющих устройств / А.И. Сидоров, Р.Т. Абдуллоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 52 – 58. DOI: 10.14529/power 160207/

7. Абдуллоев, Р.Т. Планирование эксперимента по исследованию влияния внешних факторов на техническое состояние заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын // Электробезопасность. 2015. №2. С. 38 – 42.

8. Абдуллоев, И.Т. Способ определения состояния заземляющего устройства / И.Т. Абдуллоев, Д.Х. Каримов, З.В. Кобулиев, Р.Т. Абдуллозода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №4 (44). 2018. С. 23 – 27.

9. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок / РД-153-34.0-20.525-00. – М: СПО ОРГРЭС, 2000.–64 с.

10. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок / СТО 56947007 - 29.130.15.105-2011. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС» 2011.–75 с.

11. Сидоров, А.И. Технические средства для определения состояния заземляющих устройств / А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын, Р.Т. Абдуллоев // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VI-й научно-практической конференции: в 2 т. / под. ред. А.И. Сидорова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Т.1. С. 245 – 249.

12. Абдуллоев, Р.Т. Физическое моделирование элементов заземлителей при учете электромагнитных процессов / Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров // Наука ЮУрГУ: Материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – С. 467 – 473.

13. СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. Стандарт организации АОА «ФСК ЕЭС». 12 с.

14. Абдуллоев, Р.Т. Стенд для исследования заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.Б. Тряпицын // Материалы LIII Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» / под ред. докт. техн. наук П.Г. Свечникова. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – Ч. IV. – С. 98 – 103.

15. Пат. 161812 Российская Федерация: МПК G01R 19/45 (2006.01). Установка для исследования влияния факторов окружающей среды и блуждающих токов на процесс коррозии заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын. – № 2015145568/28; заявл. 22. 10. 2015; опубл. 28. 03. 2016, Бюл. №13-2016.-2.

16. Сидоров, А.И. Технические средства для определения состояния заземляющих устройств / А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын, Р.Т. Абдуллоев // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VI-й научно-практической конференции: в 2 т. / под. ред. А.И. Сидорова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Т.1. С. 245 – 249.

17. Абдуллоев, Р.Т. Особенности конструктивного выполнения заземляющих устройств тяговых подстанций / Р.Т. Абдуллоев, А.Б. Тряпицын, А.И. Сидоров // Наука ЮУрГУ: Материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 551 – 554.

18. Малый патент. 2401928 Республика Таджикистан: МПК G01B 17/00. Устройство для определения коррозионного состояния элементов заземлителей / Сайфиддинзода О.С., Абдуллозода Р.Т., Абдуллоев Б.Т., Бобоев Х.Д. – № 2401928; заявл. 07.02. 2024; опубл. 20.05. 2024, Бюл. № TJ 1498.

19. Свидетельство на компьютерную программу. №177 (Республика Таджикистан), МКИ A 61N 1/42. Программа контроллера для проведения мониторинга состояния заземляющих устройств / Сайфиддинзода О.С., Абдуллозода Р.Т., Бобоев Х.Д. Опубл. 30.11.2023.

20. Прокопенко В.С. Программирование микроконтроллеров ATMEL на языке С. СПб.: КОРОНА-ВЕК, 2012. 307 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Сайфиддинзода Одилҷон Сайфиддин	Сайфиддинзода Одилджон Сайфиддин	Sayfiddinzoda Odiljon Sayfiddin
Докторанти PhD, муҳандиси кафедраи ҳимояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣ	Докторант PhD, инженер кафедры “Релейная защита и автоматизация энергосистем”	PhD student, Engineer, Department of Relay Protection and Automation of Power Systems
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: odil0210@gmail.com		

УДК 621.311

ВЫБОР ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

[1]А.Х. Хабибов, [2]Р.З. Юлдашев, [2]З.Ш. Юлдашев

[1]Центральное диспетчерское управление ОАО "Барки Тоҷик"

[2]Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемур

В статье рассмотрены вопросы выбора ветроэнергетических установок для частных домов в отдаленных (горных) районах Республики Таджикистан для энергоснабжения. Проведены обзор существующих ветроэнергетических установок различных производителей и анализ по их применению, приведены типы и их технические характеристики. Проведена сравнительная оценка двух видов ветроэнергетических установок (горизонтальные и вертикальные оси вращения) и предложены эффективные варианты для применения в Республике Таджикистан.

Ключевые слова: *ветроэнергетическая установка, скорость ветра, электроэнергия, горизонтальная и вертикальная оси вращения, индивидуальный дом, КПД*

ИНТИХОБИ ТАҶҲИЗОТИ БАРҚИ БОДӢ ДАР ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

А.Ҳ. Ҳабибов, Р.З. Юлдашев, З.Ш. Юлдашев

Дар мақола масъалаҳои интихоби неругоҳҳои шамолӣ барои хонаҳои шахсӣ дар ноҳияҳои дурдасти (кӯҳистонии) Ҷумҳурии Тоҷикистон барои таъмини нерӯи барқ баррасӣ шудааст. Баррасии нерӯгоҳҳои барқи шамолии мавҷудаи истеҳсолкунандагони гуногун ва таҳлили истифодаи онҳо гузаронида шуд, намудҳо ва хусусиятҳои техникии онҳо дода шуданд. Арзёбии муқоисавии ду намуди нерӯгоҳҳои шамол (меҳварҳои уфуқӣ ва амудии гардиш) гузаронида шуда, вариантҳои самараноки истифода дар Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод карда шуданд.

Калидвожаҳо: *нерӯгоҳи барқи шамол, суръати шамол, нерӯи барқ, меҳварҳои уфуқӣ ва амудии гардиш, хонаи инфиродӣ, зариби кори фоиданок*

CHOICE OF WIND POWER INSTALLATION IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

A.H. Habibov, R.Z. Yuldashev, Z.Sh. Yuldashev

The article discusses the issues of choosing wind power plants for private houses in remote (mountainous) regions of the Republic of Tajikistan for energy supply. A review of existing wind power plants from various manufacturers and an analysis of their application were carried out, their types and technical characteristics were given. A comparative assessment of two types of wind power plants (horizontal and vertical axes of rotation) was carried out and effective options for use in the Republic of Tajikistan were proposed.

Keywords: *Wind power plant, wind speed, electricity, horizontal and vertical axes of rotation, individual house, efficiency*

Введение

Малые ветроэнергетические установки (ВЭУ) как альтернативные источники электроэнергии широко внедрены по всему миру. Они являются дополнением в энергопотреблении. Данные установки целесообразно устанавливать на объектах, которые расположены в значительном расстоянии от основных электросетей.

ВЭУ можно эффективно использовать на следующих объектах: частные дома и домохозяйства, предприятия, фермерские хозяйства, которые требуют автономного энергоснабжения в отдаленных (горных) районах Республики Таджикистан. Они размещаются на открытых площадках, где есть хороший ветровой потенциал: поле, море, озеро вдали от места проживания населения. Одиночное или преимущественно, групповое размещение ВЭУ целесообразно использовать для энергоснабжения масштабных предприятий.

В работе [1] приведены данные установленной мощности генерирующих источников возобновляемых источников энергии **(**ВИЭ) (без ГЭС) - 1218,9 ГВт или 16,3% от суммарной установленной мощности генерирующих источников всего мира (179 стран), в том числе: 623,9 ГВт или 8,3% - ветряные электростанции (ВЭС), 580,7 ГВт или 7,8% - солнечные электростанции (СЭС), 13,8 ГВт или 0,2% - геотермальные электростанции (ГеоТЭС) и 0,52 ГВт-приливные.

В основном ВИЭ широко развивается в таких странах как Индии, Китая, США и ЕС.

Последние пять лет ветряная энергетика растет примерно на 50 ГВт в год. Сегодня все ВЭУ планеты генерируют 591 ГВт. Global Wind Energy Council (GWEC) ожидает, что еще через пять лет в мире станет больше на 300 ГВт новых мощностей.

Ветровая энергия как важная часть ВИЭ

Ветер считается источником возобновляемой зеленой энергии. Его достоинства очевидны по сравнению с традиционными источниками энергии. Мировые общие запасы энергии ветра в мире оценены в 170 трлн. кВт·ч, или 170 тыс. ТВт·ч, в год. Этот показатель в восемь раз превышает нынешнее мировое потребление электроэнергии. То есть, мировая ветровая энергия может обеспечить мировое потребление энергии [2].

Если для АЭС коэффициент использования установленной мощности составляет 84%, для ГЭС - 42%, то для ВЭС - лишь 20%, что обусловлено характером самого источника энергии скорость ветра имеет

случайный характер и не всегда с достаточной скоростью, необходимое для ВЭУ. То есть, ВЭУ на 25…50% менее продуктивны, чем электростанции традиционных типов. Потребуются дополнительные территории и материалы, а значит, больший экологический ущерб с учетом вырабатываемой энергии [2, 3].

Принцип работы

В современных ВЭУ преобразование энергии происходит следующим образом:

1. Энергия ветра преобразуется в механическую энергию.
2. Механическая энергия преобразуется в электрическую энергию.

Для преобразования энергии ветра в механическую энергию используются ветряные двигатели (ветряные турбины). Под воздействием воздушного потока ветряной двигатель начинает вращаться. Численное значение кинетической энергии зависит от типа установки, омечаемой площади ветроколеса и режима его работы [4].

В работе [5] приведена последовательность подключения элементов преобразования энергии (рис. 1):

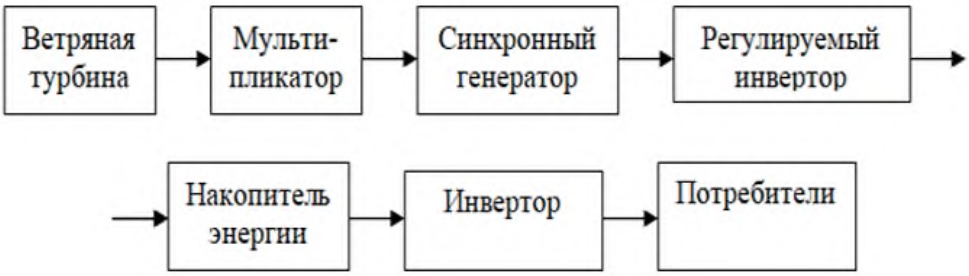


Рисунок 1 – Последовательность подключения элементов преобразования энергии

Данная схема широко используется и считается практической.

Разновидности и особенности ВЭУ для индивидуального дома

В зависимости от расположения ротора ВЭУ делятся на следующие:

1. с вертикальным расположением ротора;
2. с горизонтальным расположением ротора.

ВЭУ с вертикальным расположением ротора считается менее эффективным для выработки электроэнергии: его КПД ниже, чем у горизонтальных в три раза. Достоинство – простота сборки и надежность. Есть возможность установить такое ВЭУ на крыше дома и на уровне земли, они устойчивы к плохим погодным условиям (ураган, лед). Минимальная скорость ветра составляе 1-2 м/с [6, 7].

При горизонтальном расположением ротора скорость ветра должна быть не менее 3,5 м/с, такие установки самые распространенные. Величина КПД равняется 0,5, при этом шумовые и вибрационные характеристики достаточно высоки, потребуется больше площади [6, 7].

Мощность ВЭУ рассчитывается исходя из кубической зависимости скорости ветра.

В эксплуатации вертикальные ВУ на мировом рынке достигает 35%. Наиболее распространенными являются ВЭУ мощностью до 50 кВт, более мощные - на рынке практически нет [6, 7].

С теоретической позиции, мощность ВЭУ определяется по формуле:

$$N=C_p*p*S*V^3/2,$$

где: p – плотность воздушных масс; S – общая ометаемая площадь лопастей винта; V - скорость воздушного потока; N - мощность потока воздуха.

Ресурсы ветровой энергии в Республике Таджикистан

Скорость ветра (ветряная энергия) распределена по всей территории Таджикистана неравномерно. Среднегодовая скорость ветра 4,1…4,8 м/с наблюдаются на перевалах Шахристан, Анзоб, Хайдарабад, населенных пунктах Худжанд, Файзабад, Ховалинг, Бустанабад. На леднике Федченко среднегодовая скорость составляет 6,0 м/с. Другие районы с несколько меньшей среднегодовой скоростью ветра (3,0…3,7 м/с) включают населенные пункты Шурабад, Дехауз, Санглок, перевал Чормагзак и озеро Каракуль. В таких районах, как Пенджикент, Гарм, Шахринау, Вахдат, Яван, Вахш, Джиликуль, а также в Мургабе, Рушане, Ишкашиме и Хороге среднегодовые скорости ветра составляют 2,0…2,7 м/с [8].

В [8] приведен годовой ход средней скорости ветра (т.е. разница между максимумом и минимумом среднесуточных скоростей) в большинстве районов Таджикистана незначителен и варьирует в пределах от 0.9-4.8 м/с. Потенциал ветроэнергетики Таджикистана можно оценить только очень приближенно. Суммарная величина кинетической энергии ветра на земле оценивается величиной порядка [6]: $7\cdot10^{20}$ Дж = $1{,}94\cdot10^{11}$ МВт*ч. Можно принять, что на долю Таджикистана приходится часть этой энергии, соответствующая ее площади (143,1 тыс. км^2) в общей площади Земли (510,2 х10^6 км^2), то есть: $1{,}94\cdot10^{11}\times143.1/(510.2\times10^6)=5.45\times10^7$ МВт*ч, что

соответствует мощности 62214,6 МВт. Эти величины можно принять в качестве потенциальных ресурсов ветроэнергетики в Таджикистане [8].

Технический потенциал ветроэнергетики можно оценить исходя из условий ее размещения. Известно, что наиболее подходящими территориями для массового размещения ВЭУ являются равнины и прибрежные зоны. В Таджикистане из общей территории только 7% занимают равнины. Это составляет: 143,1×0.07 = 1 тыс. км^2. Принимая, что общая площадь размещения ВЭУ будет составлять 10% этой территории, и учитывая, что по опыту развитых стран удельная площадь размещения ВЭУ равна 260 м^2/кВт, определим технический потенциал ветроэнергетики Таджикистана: 1000 км^2×10^6/(260 м^2/кВт) = 3852.7 МВт Круглогодичной работе станций такой мощности будет соответствовать выработка 33,7 млрд. кВт*ч/год [8].

С учетом некоторой перспективы можно принять необходимый и реализируемый потенциал ветроэнергетики Таджикистана равным 50% от технического, то есть: 20,1 млрд. кВт*ч/год по выработке электроэнергии 1926,35 МВт по мощности ВЭУ [8].

Таким образом, ресурсы ветровой энергетики в Таджикистане могут быть оценены следующими величинами:

-валовый потенциал – 62257,3 МВт = 163 млн. т.у.т/год,

-технический потенциал – 3852.7 МВт = 10.12 млн. т.у.т/год.

-экономически целесообразный потенциал–1926.35 МВт = 5.06 млн. т.у.т/год [8, 9].

Анализ и выбор ВЭУ

Порядок выбора и основные критерии для выбора ВЭУ.

Воздушные потоки не всегда имеют одинаковую направленность. Сегодня ураган, завтра – полная тишина. Перед тем, как купить ВЭУ для частного дома, следует определиться с мощностью ветра в данном регионе. Это оценивается с использованием среднегодовой скорости ветра. Этот параметр легко найти в Интернете.

Если скорость ветра на вашем участке менее 4 м/с, не стоит устанавливать ВЭУ, потому что он не будет работать эффективно. После того, как вы определились с установкой ВЭУ, нужно выбрать генератор по мощности.

На таблицах 1 и 2, соответственно, приведены технические характеристики горизонтальных и вертикальных ВЭУ. На рис. 2 и 3, соответственно, приведены графики зависимости параметров горизонтальных и вертикальных ВЭУ.

Таблица 1 – Технические характеристики горизонтальных ВЭУ

№	Наименование	Марка	Pmax, кВт	Pном, кВт	U, В	Миним скор. м/с	Рабочая скорость, м/с	Рекоменд. высота мачты, м	Диаметр ротора, м	КПД, %	Срок эксп., лет
1	Fortis (Нидерландия)	Fortis Alize-10	10	10	240/120	3	14	12-24	7	0,85	20
2	Condor (Россия)	Condor Air 10	11,2	10	240/120	2,5	9	12	12	0,85	20
3	Aeolos Wind Turbine (Дания)	Aeolos-H10	13	10	300/440	3	10	12-18	8	0,85	20
4	Zonhan (КНР)	DMWT-10KW	15	10	96…380	3	12	-	7	0,85	15
5	Lely Aircon (Германия)	Lely Aircon 10	10	10	-	2,5	11	24	7,5	0,85	25
6	ALTEK (Украина)	ALTEK FD 10	11	10	240	2,5	10	12	8	0,85	25
7	Yashel (Россия)	Yashel **FT-10kw**	13	10	92…240	3	15	12	5,7	0,85	15
8	Apekom (Эстония)	AWG - 10000	15	10	380	3	10	16,19,28	8	0,85	-

Таблица 2 – Технические характеристики вертикальных ВЭУ*

№	Наименование	Марка	Pmax, кВт	Pном, кВт	U, В	Миним скор. м/с	Рабочая скорость, м/с	Рекоменд. высота мачты, м	Диаметр ротора, м	КПД, %	Срок эксп., лет
1	Falcon (Россия)	Falcon Euro 1кВт	1,1	1	12	2	11	4	2,1	0,85	3
2	SMARAAD (КНР)	FH-1кВт	1,2	1	24/380	4	11	2	1,6	0,85	20
3	Ropatec (Италия)	Ropatec-1000	1	1	12/24	3	14	-	1,8	0,80	-
4	SH Tech (КНР)	SH-X1000	1	1	12/24/48	2,5	12	1,45	0,8	0,85	5
5	V-AIR (UGE)(США)	VisionAIR3-1,5	2,0	1,5	24	4	12	3,2	1,8	0,85	20
6	Coldwind (КНР)	Coldwind-1кВт	1,05	1,0	24/48	2	10	2-12	0,9	0,9	20
7	Helix Shape(КНР)	RX-VS1000	1,1	1	12/24/48	2,5	12	9	-	0,9	15
8	SkyWind NG (Германия)	SkyWind NG -1кВт	1	1	12/24	3	14	10	1,5	0,9	-

*- https://www.eeseaec.org/ustanovlennaa-mosnost-vie, https://www.nkj.ru/archive/articles/22733/ (Наука и жизнь), http://elibrary.ru, Energyland.info, https://termoteh.in.ua/article/obzor-vertikalnyh-vetrogeneratorov, kranigruz.ru

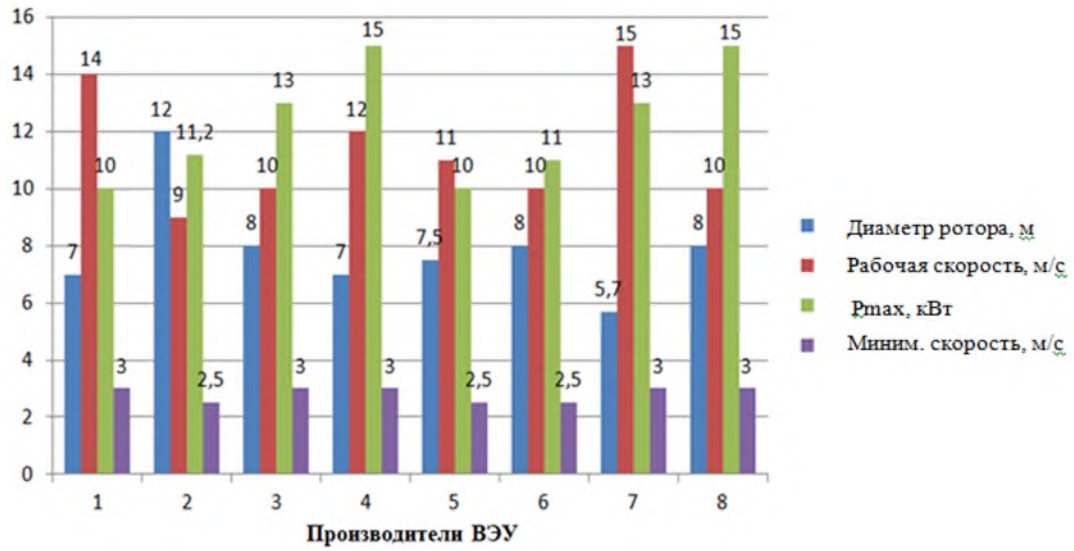


Рисунок 1 – График зависимости параметров горизонтальных ВЭУ

Анализ выбора ВЭУ по энергоэффективности. Горизонтальные ВЭУ.

Для анализа рассмотрим критерии номинальной мощности, рабочей скорости и диаметр ротора ВЭУ.

Как видно из таблицы 1, некоторые характеристики не изменны или близки друг к другу: КПД, напряжение, срок службы и минимальная скорость эксплуатации эти характеристики не помогут определить производителя.

Наиболее оптимальным вариантом из списка являются вариант 2 (Condor Air 10) (производства России) и вариант 4 (DMWT-10KW) (производство КНР). Вариант 2 вырабатывает 11,2 кВт мощности при рабочей скорости 9 м/с. Следует отметить, что один основных показателей, который влияет на мощность ВЭУ - это диаметр ротора. Минимальная скорость ветра, для вращения ротора составляет 2,5 м/с, что играет тоже немаловажную роль, при малых скоростях ветра.

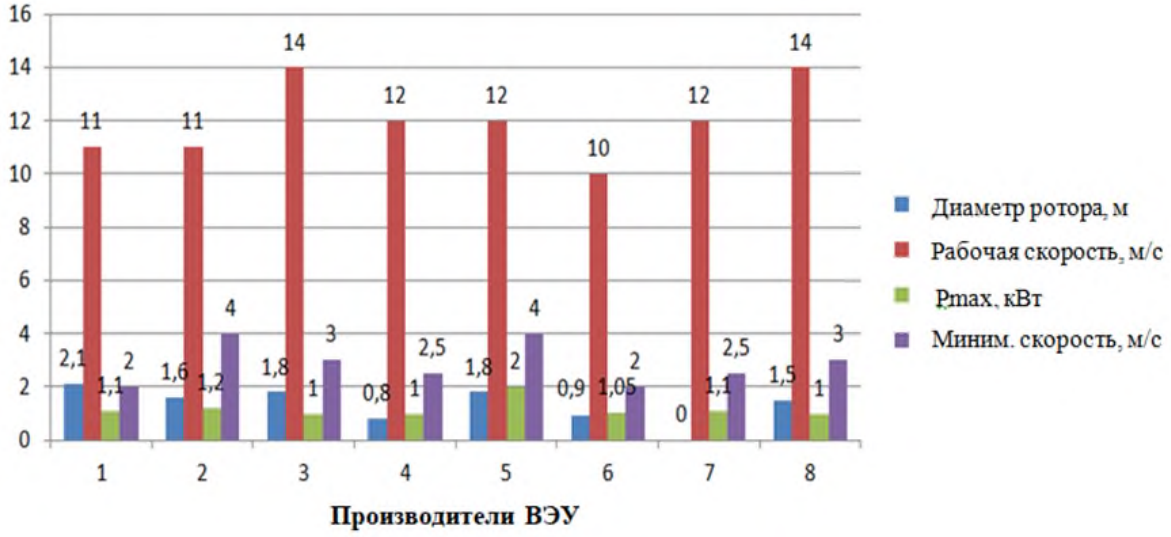


Рисунок 2 – График зависимости параметров вертикальных ВЭУ

Вариант 4 (DMWT-10KW), также имеет хорошие показатели, при этом имеет меньший диаметр ротора по сравнению со 2 вариантом (Condor Air 10). Диаметр ротора влияет на цену ВЭУ, чем меньше размер ротора - тем меньше расходуется материал. Рабочая скорость 4 варианта (DMWT-10KW) выше по сравнению со 2 вариантом (Condor Air 10), что при малых ветрах мало эффективна.

Вариант 8 (AWG - 10000) имеет мощность 15 кВт при малом диаметре ротора (8 м) и рабочей скорости 10 м/с.

Остальные варианты тоже имеют свои плюсы и минусы, например, вариант 6 (ALTEK FD 10) или вариант 3 (Aeolos-H10), тоже наряду с выбранными вариантами сопоставимы, так как характеристики не сильно отличаются от остальных.

Если необходимо выбирать производительный вариант, то рекомендуется выбрать варианты 8 (AWG - 10000) и 4 (DMWT-10KW) горизонтальных ВЭУ.

С точки зрения финансовых затрат, рекомендуется выбрать вариант 4 (DMWT-10KW), по эффективности - вариант 4 (DMWT-10KW), который считается эффективный по всем характеристикам.

Вертикальные ВЭУ

Для анализа рассмотрим критерии номинальной мощности, рабочей скорости и диаметра турбин производителей ВЭУ.

Рассмотрим вариант 6 (Coldwind-1кВт). При меньшем диаметре 0,9 м по сравнению с другими моделями имеет больше мощность 1,05 кВт. Главным преимуществом данной модели является минимальная скорость, при которой может находиться в рабочем состоянии (2 м/с).

Вариант 5 (VisionAIR3-1,5) с большей номинальной мощностью, но в зависимости от этого рабочая скорость и диаметр ротора больше. Следует отметить, что для установки данной модели минимальная скорость 4 м/с также окажет влияние на выбор местности.

Вариант 4 (SH-X1000), основным плюсом этого варианта является диаметр ротора, который требует наименьших затрат материалов.

Вариант 2 (FH-1кВт) имеет свои преимущества, если рассмотреть по рабочей скорости турбин, а по максимальной мощности выше на 20 %, чем другие варианты, эффективнее и производительнее.

Для вертикальных ВЭУ, самый производительным является вариант 5 (VisionAIR3-1,5), с финансовой точки зрения вариант 4 (SH-X1000) и самый эффективный вариант 6 (Coldwind-1кВт) с минимальной скоростью и рабочей скоростью турбин.

Как выбрать ВЭУ

К подбору ВЭУ для индивидуального дома необходима базовая информация:

1. Определить номинальное и максимальное количество потребляемой электроэнергии.
2. Получить данные, о среднегодовой скорости ветра в зоне проживания, чтобы определить периоды, когда ВЭУ будет работать не эффективно.
3. Учесть климатические особенности местности.

4. Измерить интенсивность создаваемого шума и вибрации при работе ВЭУ.
5. Сравнить технические характеристики ВЭУ от разных производителей [10].

Акцентировать внимание нужно и на том, что мощность ветряного генератора зависит от диаметра ротора. При увеличении размеров в 2 раза ВЭУ при той же скорости ветра будет производить в 4 раза больше электричества.

Дополнительно на что обратить внимание при покупке ВУ:

Важно учитывать высоту ВЭУ, чем выше высота, тем больше скорость ветра. Стандартная высота дерева - 10 метров. Каждые следующие десять метров, мощность ветрового потока будет увеличиваться в полтора раза [10].

Рекомендации по применению ВЭУ в условиях Таджикистана

Вертикальные ВЭУ являются одной из самых эффективных разработок. Основными преимуществами вертикальных ВЭУ является простота монтажа, доступность во время эксплуатации и круглогодичная работа без снижения производительности в осенне-зимний период.

Для энергоснабжения индивидуального дома, в котором проживает семья, потребуется в среднем 300-400 кВт*ч в месяц (ВЭУ на 1 кВт). Если низкий ветровой потенциал, то понадобится дублирование ВЭУ или комплексное использование ВИЭ.

Экономически ветроэнергетика сейчас в Таджикистане не может конкурировать с действующей гидроэнергетикой. Сегодня в Таджикистане действующие тарифы на электроэнергию в среднем составляет 2,1 цента/кВт*ч. в то же время минимальные тарифы на ветроэнергетику в мире не ниже 4 цент/кВт*ч. В этих условиях, также как и в случае с солнечной энергетикой, можно говорить не об экономической эффективности, а только о социально-экономической целесообразности ветроэнергетики [11].

Выводы

Для автономного электроснабжения индивидуальных домов использование ВЭУ позволяют обеспечить необходимым количеством энергии в течение года. ВЭУ малой и средней мощностей обеспечат необходимым количеством энергии в энерготехнологических процессах сельскохозяйственного назначения. В регионах, где средняя годовая скорость ветра около 3…5 м/с, можно использовать простые ВЭУ, мощностью в несколько кВт. Использование ВЭУ имеет ряд достоинств перед использованием дизельных генераторов, где используется дизельное топливо, наносящий вред окружающей среде. Дизельные генераторы по стоимости выше чем ВЭУ. На ВЭУ отсутствует топливная составляющая расходов на содержание.

Важно отметить, перед покупкой ВЭУ для дома необходимо рассчитать потребляемую электроэнергию, повысить эффективность использования энергии в быту и решать вопросы энергосбережения.

Главные преимущества ветровой энергетики: безопасность и экологичность (нет вредных выбросов в атмосферу), а также неисчерпаемость (в отличие от нефти, газа или угля).

К недостаткам относят изменение направления и скорости ветра. Чтобы сократить потери, необходимо предусмотреть увеличение емкости аккумуляторных батарей. Также вращающееся части (лопасти) ВЭУ создают потенциальную угрозу для летящих птиц.

Следует отметить, применение ВЭУ в условиях Таджикистана как альтернатива центральному энергоснабжению не рентабельна, из-за дороговизны оборудования. Возможно использование ВЭУ в местах, где отсутствует централизованное энергоснабжение.

Главным положительным моментом использования ВЭУ является переход Таджикистана на зеленую энергетику и стремление сохранить экологическую безопасность планеты.

Рецензент: Сафаров А.Г. — д.т.н., доцент, главный научный сотрудник ФТИ имени С.У. Умарова НАН Таджикистана.

Литература

1. Установленная мощность ВИЭ. https://www.eeseaec.org/ustanovlennaa-mosnost-vie.
2. Ветреная ветряная энергетика. https://www.nkj.ru/archive/articles/22733/ (Наука и жизнь).
3. Ветроэнергетика как возобновляемый источник энергии. http://elibrary.ru
4. Energyland.info - Аналитика. ВЭУ с вертикальной осью вращения: сравнительная оценка технических решений и перспективы развития
5. Обзор вертикальных ветрогенераторов. https://termoteh.in.ua/article/obzor-vertikalnyh-vetrogeneratorov
6. Топ-7 лучших ветрогенераторов для дома. https://gradusdom.ru/interer/vetryanye-melnicy-dlya-elektrichestva.html
7. Ветрогенератор для частного дома: рейтинг Топ-7 в 2024 году (kranigruz.ru)
8. Петров Г.Н., Ахмедов Х.М., Кабутов К., Каримов Х.С. Общая оценка ситуации в энергетике в мире и Таджикистане./ Известия Академии наук Республики Таджикистан отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук №2 (135),2009 - С. 108-109.

9. Юлдашев З.Ш. Возобновляемые источники энергии в Республике Таджикистан. Исследование энергетических характеристик фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии. Учебно-методическое пособие. –Душанбе: 2020. С. 147.

10. Ветрогенератор для частного дома: виды, как выбрать, обзор лучших вариантов (sovet-ingenera.com).

11. Программы области энергетики. Министерство энергетики и водных ресурсов РТ.https://www.mewr.tj/?page_id=585.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Ҳабибов Абдуманнон Ҳакимбоевич	Хабибов Абдуманнон Хакимбоевич	Habibov Abdumannon Hakimboevich
Унвончӯ	Соискатель	Applicant
Раёсати марказии диспетчерии ҶСК «Барқи тоҷик»	Центральное диспетчерское управление ОАО "Барки Точик"	Central dispatch department of JSC "Barki Tojik"
E-mail: abdu05@mail.ru		
TJ	RU	EN
Юлдашев Рауф Зарифҷонович	Юлдашев Рауф Зарифджанович	Yuldashev Rauf Zarifdzhanovich
Номзади илмҳои техникӣ	Кандидат технических наук	Candidate of technical sciences
Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шотемур	Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемура	Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur
E-mail: zarfjan_yz@mail.ru		
TJ	RU	EN
Юлдашев Зарифҷон Шарифович	Юлдашев Зарифджан Шарифович	Yuldashev Zarifdzhan Sharifovich
Доктори илмҳои техникӣ, дотсент, профессори кафедра	Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры	Doctor of technical sciences, assistant professor, professor of the department
Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шотемур	Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемура	Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur
E-mail: zarfjan_yz@mail.ru		

УДК.621.31

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Дж.Х. Худжасаидов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассмотрены вопросы создания иммитационной модели централизованного обслуживания и обеспечения исправного технического состояния объектов распределенной генерации. В целях перехода к «зеленой экономике», повышения эффективности использования природных запасов, капиталовложения, применения новых технологий и укрепления межгосударственного сотрудничества Республика Таджикистан приняла «Стратегию развития зеленой экономики на 2023 год». «Зеленая экономика» включает в себя «озеленение» не только одной отрасли промышленности, но и трансформацию всех отраслей экономики. Немалую роль в развитии “зеленой экономики” играет энергетический сектор, а именно широкое применение возобновляемых источников энергии. В связи с этим для повышения надёжности электроснабжения потребителей возникает необходимость обеспечить должное функционирование объектов генерации.

Ключевые слова: *модель, агент, моделирование, состояние, функция.*

ТАҲИЯИ МОДЕЛИ ХИЗМАТРАСОНИИ МАРКАЗОНИДАШУДАИ ТАВЛИДИ ТАҚСИМ ШУДА

Ҷ.Х. Хуҷасаидов

Дар мақола масъалаҳои таҳияи модели хизматрасонии марказонидашуда ва таъмини ҳолати хуби техникии иншооти тавлиди тақсимшуда баррасӣ карда мешавад. Бо мақсади гузариш ба «иқтисоди сабз», баланд бардоштани самаранокии истифодаи захираҳои табиӣ, сармоягузорӣ, истифодаи технологияҳои нав ва таҳкими ҳамкориҳои байнидавлатӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон «Стратегияи рушди иқтисоди сабз барои соли 2023»-ро қабул кард. «Иқтисоди сабз» на танҳо соҳаи саноат, балки дигаргунсозии тамоми соҳаҳои иқтисодиётро дар бар мегирад. Бахши энергетика дар рушди иқтисоди сабз, яъне истифодаи густурдаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия нақши муҳим мебозад. Вобаста ба ин, барои баланд бардоштани эътимоднокии таъминоти барқ, зарурати таъмини кори муътадили иншооти истеҳсолӣ ба миён меояд.

Калидвожаҳо: *модел, агент, моделсозӣ, ҳолат, функсия.*

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF CENTRALIZED SERVICE FOR DISTRIBUTED GENERATION

J.Kh. Khujasaidov

The article discusses the issues of creating a simulation model of centralized maintenance and ensuring the serviceable technical condition of distributed generation objects. In order to transition to a "green economy," increase the efficiency of the use of natural reserves, capital investments, the use of new technologies and strengthen interstate cooperation, the Republic of Tajikistan adopted the "Strategy for the development of a green economy for 2023." The "green economy" includes the "greening" of not only one industry, but also the transformation of all sectors of the economy. The energy sector plays a significant role in the development of the green economy, namely, the widespread use of renewable energy sources. In this regard, in order to increase the reliability of power supply to consumers, it becomes necessary to ensure the proper functioning of generation facilities.

Keywords: *model, agent, modeling, state, function.*

Интенсивное и при этом неэффективное использование невозобновляемых источников энергии с точки зрения экологии может привести к негативным климатическим последствиям, с одной стороны, а с другой, к истощению природных запасов для будущего поколения. В связи с этим в основе направления «зеленой» экономики лежат такие принципы как надежность, энергосбережение, энергоэффективность и применение возобновляемых источников в качестве альтернативных.

Продолжительность солнечного сияния в стране составляет 2100-3166 часов в году, а количество солнечных дней в году примерно 280-330 дней. Этот аспект дает хорошую возможность использовать солнечную энергию в качестве дополнительного источника, особенно в горных районах, где нет линий электропередачи. По оценке экспертов, для частичного покрытия дифицита электроэнергии (около 70%) в горных районах, где проживают не менее 70% населения республики, страна обладает достаточным потенциалом солнечной энергии.

По данным экспертов, потенциал солнечной энергии нашей страны составляет 25,16 млрд кВт/час в год. Этого достаточно, чтобы обеспечить около 20% потребности нашей экономии в энергии и 60-80% общих потребностей населения нашей страны не меньше 300 дней в году.

Стоит отметить, что в нашей стране энергетический баланс нарушается в летний и зимний периоды: летом наблюдается избыток электроэнергии, а зимой – ее дефицит.

В 2023 году начали строительство солнечной электростанции мощностью 600 кВт. Ранее в этом регионе была сдана в эксплуатацию солнечная станция мощностью более 200 кВт. Практика Таджикистана в применении энергии ветра небольшая. Еще в конце 80-х годов первая ветроэлектростанция с установленной

мощностью 25 кВт на перевале Анзоб была пилотным вариантом. Замеры производились и других регионах, вблизи метеостанции, где было зафиксировано колебание ветра от 4 до 6,5 м/сек [1]. Для развития «зеленой» экономики в связи с климатическими изменениями, с целью минимизации выбросов парниковых газов, повышения эффективности использования природных запасов, капиталовложения а также применения новых технологий в ближайшие годы (с 2023 по 2037гг.) в стране будет реализована разработанная и принятая стратегия по развитию “зеленой экономики” [2].

Для повышения надёжности электроснабжения потребителей и обеспечения потребителей электрической энергией в необходимом количестве и соответствующем качестве немаловажную роль играет технический аудит.

В основе требований для долгой эффективной и в тоже время безопасной работы энергетического оборудования лежит проведение регулярного технического обслуживания в соответствии с требованиями условий эксплуатации, которые регламентированы заводом-изготовителем.

Задачи технического обслуживания включают в себя плановые осмотры, диагностику оборудования, замену деталей, которые обречены на быстрый износ в зависимости от интенсивности использования. Зачастую возникают большие затруднения при покупке запчастей, поскольку большая часть эксплуатируемого оборудования иностранного производства. Имеют место риски, которые могут повлечь за собой сбои в поставках и невозможность обслуживания.

Технический аудит позволяет определить реальные показатели, позволяющие оценивать генерацию электроэнергии, показатели надежности электрооборудования, влияющие на бесперебойность работы данного оборудования, а также определить технико-экономические показатели уже действующей солнечной или ветровой электростанции. С течением времени характеристики электрооборудования ухудщаются. Чтобы точно оценить фактическое состояние объекта с последующими выявлениями возможных повреждений и дефектов, необходимо проведение периодических ревизий эксплуатируемых источников генерации. Своевременная и профессиональная оценка ситуации дает возможность минимизировать нежелательные потери при выработке электричсекой энергии, вследствии которых генерирующие компании могут нести колосальные потери в годовом интервале времени.

К примеру, плановая ревизия солнечных электростанций является неотъемлемой частью эффективного функционирования данных источников. В выполнении гарантийных обязательств поставщиками оборудования такие проверки имеют огромную необходимость. Контролировать качественные характеристики солнечных панелей зачастую возможно в рабочем состоянии, когда объект находится в рабочем режиме, т.е. под нагрузкой. Рекомендуется проводить плановые проверки солнечных панелей не менее 3-4 раза в годовом интервале [3].

Технический аудит позволяет выявить неисправности в работе оборудования и в последующем устранить имеющиеся проблемы. На солнечных панелях со временем из-за затенения либо перегрева могут появиться горячие точки. Также к распространенным повреждениям относится появление трещин, которые невооруженным глазом невозможно заметить. Трещины могут быть заводским браком либо появиться при нарушении условий и правил транспортировки и монтажа. В результате отмеченных выше дефектов может повредиться не только сама панель, но и вся цепочка подключенных к ней модулей [3, 4].

Таким образом, услуги центра по оказанию технического обслуживания функционирующих солнечных и ветровых электростанций, должны иметь следующий перечень:

Анализ и оценка технического состояния оборудования;

Аэротермографическая оценка солнечных модулей;

Наземная термография фотоэлектрических модулей;

Оценка ВАХ солнечных панелей;

Проверка крепёжных частей и металлоконструкций солнечной установки;

Контроль запыленности фотоэлектрических модулей;

Выявление причин снижения КПД и разработка рекомендаций по повышению данного показателя.

Лопасти ветроустановки

Проверка на отсутствие трещин / повреждений;

Обработка защитным воском/антиобледенителем;

Проверка балансировки ротора.

Мачта

Проверка вибрации;

Проверка удерживающих тросов;

Проверка вертикальности мачты;

Проверка фундаментных болтов;

Проверка сварочных соединений на наличие трещин.

Ветрогенератор

Проверка креплений ВГ к мачте и болто лопастей.

Электрические провода

Проверка на отсутствие повреждений.

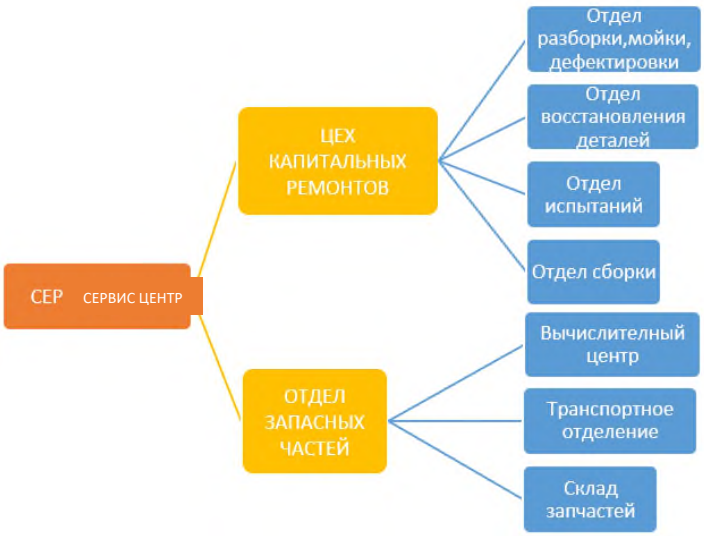


Рисунок 1 – Иерархия сервисного центра

В статье рассмотрен вопрос реализации технического обслуживания объектов распределенной генерации путем создания имитационной модели на основе агентного подхода к решению вопроса. Задача состоит в создании модели, которая позволила бы проигрывать различные динамические процессы и при этом иметь возможность учета различных факторов, управлять масштабом времени для быстроты протекания процессов, а также введение модификаций в саму модель.

Модель создавалась в програмном комплексе Anilogic, который имеет многоподходное имитационное моделирование, идея такого рода моделирования заключается в совмещении и комбинировании методов моелирования так, чтобы достоинства одних компенсировали недостатки других.

Создание модели

Агент – в моделировании под агентом понимается элемент, имеющий определенное поведение, собственную память, контакты и тому подобное. Они могут моделировать людей, проекты, оборудования и т.д.

Внутри агента создаются переменные, события либо определенное состояние рассматриваемого объекта.

На первом этапе создания модели необходимо выбрать единицу модельного времени (секунды, часы, дни и т.д.). Далее необходимо создать агенты в зависимости от рассматриваемой задачи. В нашем случае нужно создать агенты, представляющие сервисный центр, обслуживающий транспорт, агенты для моделирования ветряных турбин и солнечных панелей, а также агент, который будет представлять запросы на обслуживание. Внутри каждого агента необходимо задать процессы, относящие к агенту.

На рисунке 2 представлен интерфейс созданной модели, которая состоит из здания (центр принятия решений), обслуживающего транспорта (грузовики и вертолеты), ветренной турбины и солнечных панелей.

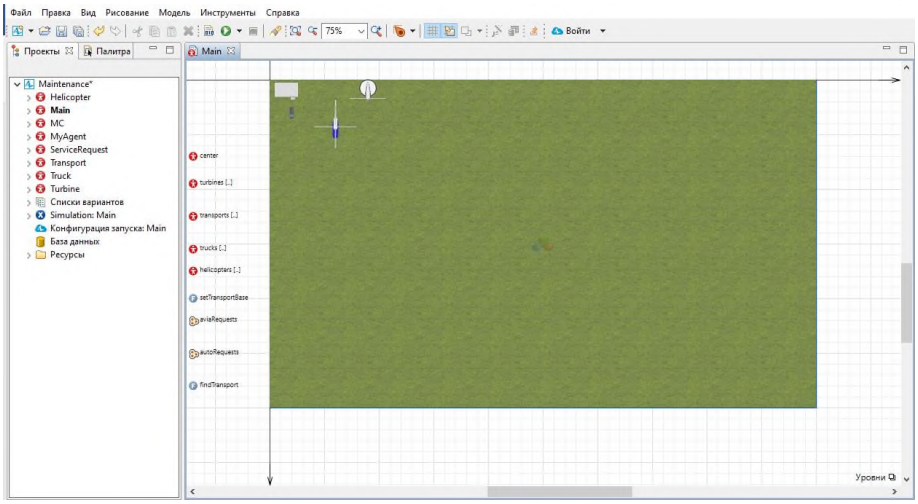


Рисунок 2 – Интерфейс программы-созданная модель

Следующий этап включает в себя настройку логистики процессов обслуживающего транспорта. Для этого была создана диаграмма состояний, состоящая из нескольких переходов. Задачей данного агента является принятие решений по выбору транспорта в зависимости от запроса и доступности этого вида транспорта в сервисном центре. В разработанной модели были созданы следующие возможные состояния (рисунок 3):

Станция техобслуживания;
Движение к станции ТО;
Движение к турбине;
Движение к солнечной панели;
Обслуживание турбины;
Обслуживание панели.

На следующем шаге необходимо было настроить поведение сервисного центра. Для моделирования динамических характеристик объекта или для хранения результатов используются переменные. Также необходимо создать функцию ***findTransport*** для выбора свободного обслуживающего транспорта, чтобы выполнить работу. В зависимости от условий **request.type == AUTO** или **request.type == AVIA** на следующем этапе происходит интеграция популяции **trucks.**

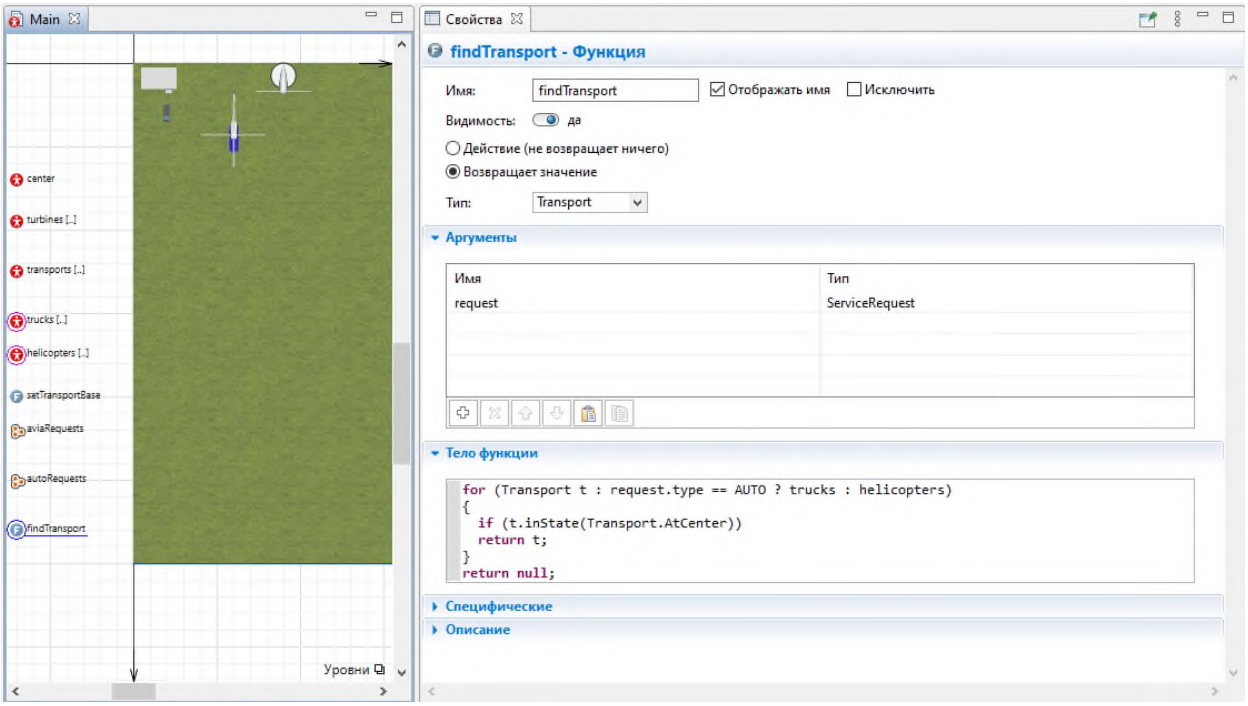


Рисунок 3 – Настройка поведения сервисного центра

Для настройки поведения турбин необходимо задать временные интервалы работы ветряной турбины. Для этого нужно в параметрах агента задать среднее время до аварии (рисунок 4).

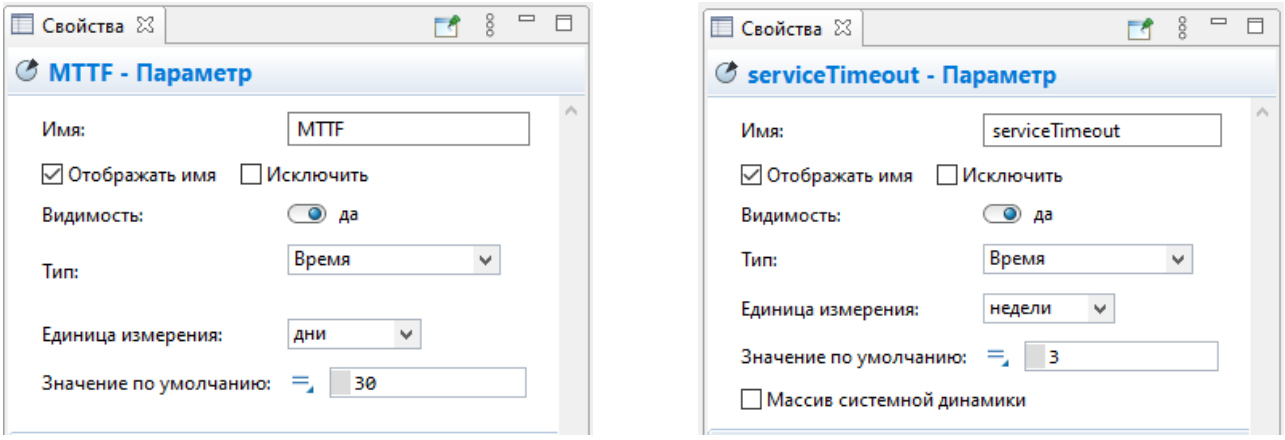


Рисунок 4 – Настройка поведения ветровой турбины

Функция, которая управляет запросами ***sendRequest,*** ссылается на ранее созданную фукнцию для поиска необходимого транспорта. При поступлении от турбины запроса на обслуживание сервисный центр должен отправлять тип транспорта AUTO или AVIA в зависимости от запроса.

Настройки состояния агента

Normal-нормальный режим

Failure-аварийный режим

Scheduled-плановый осмотр

Необходимо задавать определенные действия для каждого состояния ветровой турбины (солнечной панели). Например: если ветровая турбина или солнечная установка находится в аварийном режиме ***Failure,*** то должен поступить запрос на отправку транспортного вертолёта. При наступлении плановых осмотров поступает запрос на отправку транспортного грузовика. Нужно задавать переход от состояния ***Operating*** к состоянию ***Failure*** с заданной интенсивностью (1-2 раза за среднее время до аварии 30 дней) (рисунок 5).

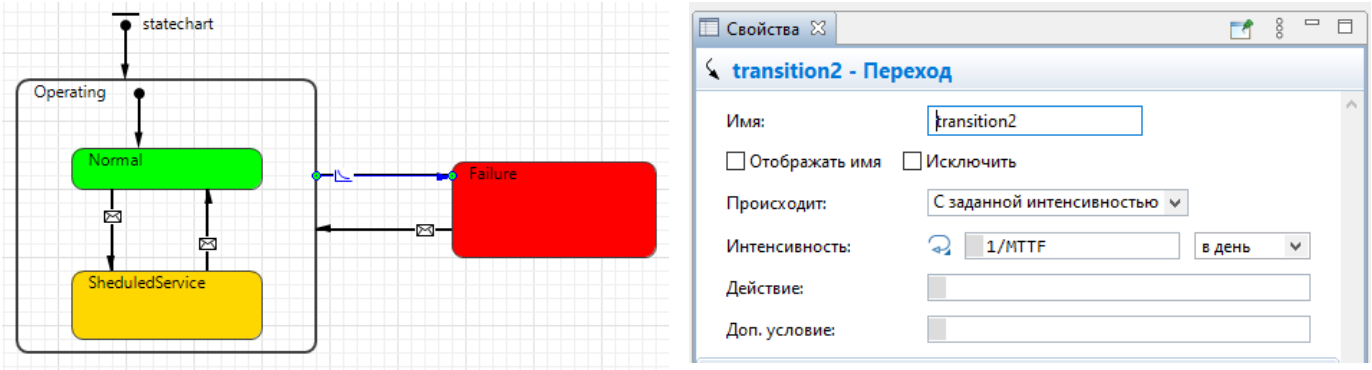


Рисунок 5 – Настройки поведения турбины

На следующем этапе нужно настроить анимацию текущего состояния турбины (солнечной панели) с тем, чтобы лопасти турбины перестали вращаться при аварии, а также настроить световую индикацию состояния объекта.

Настройка логистики обслуживающего транспорта (рисунок 6) настраивается следующим образом.

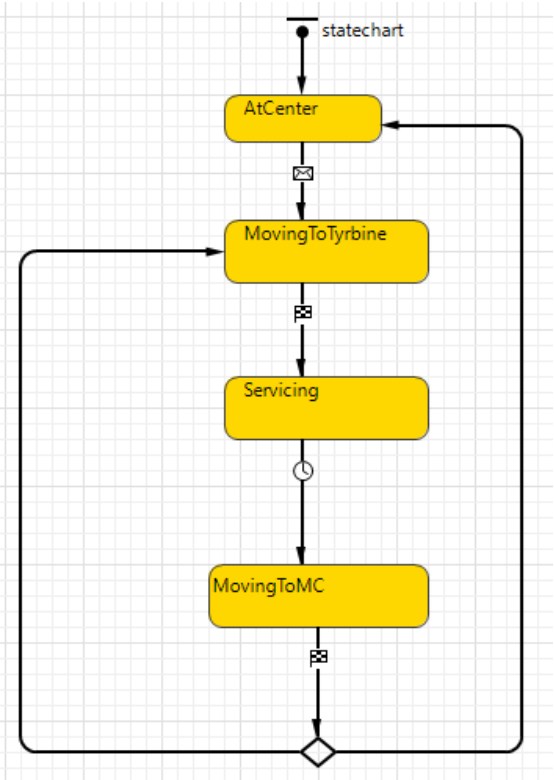


Рисунок 6 – Логистика обслуживающего транспорта

На рисунке выше вы видите, что последний переход из MovingToMC в ветвление, откуда транспорт может направиться либо в состояние MovingToTurbine-обслуживание турбины, либо вернуться в AtCenter-вернуться на базу, происходит по прибытии агента. Когда он происходит, выполняется проверка, при прохождении которой транспортное средство либо выезжает на обслуживание очередной турбины, либо отправляется обратно в сервисный центр и остается там, пока снова не понадобится для обслуживания.

Запуск модели

На этом этапе дозволяется область просмотра созданной модели в режиме 3D. Настраивается текстура в качестве заливки площадки модели, местоположение по осям X, Y, Z. После нажатия кнопки ЗАПУСК модель запустится (рисунок 7).

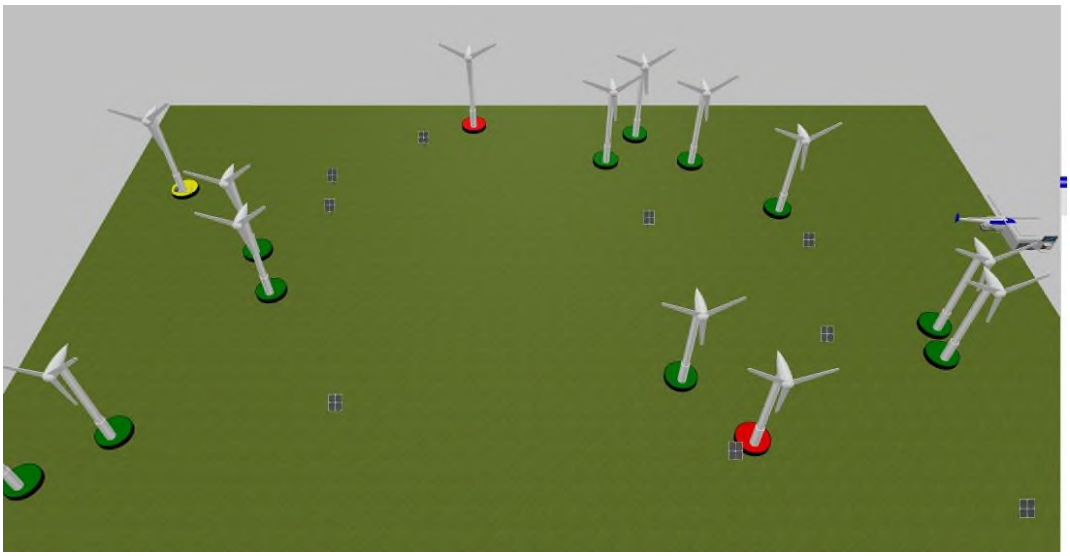


Рисунок 7 – Созданная модель централизованного обслуживания

На этом этапе завершается создание модели. В соответствии с поставленной задачей внести необходимую аналитику и можно приступить к проведению экспериментов, и решить оптимизационные задачи.

Выводы

Достоинством имитационного моделирования являются динамическое отображение текущих процессов и состояние моделируемого объекта. Непрерывность текущей деятельности реального объекта дает возможность описывать процессы в действительноти, что, несомненно, является приемуществом имитационного моделирования. Имитационное моделирование позволяет учитывать большое количество случайных факторов, провести динамические эксперименты, ввести различные модификации в модель и управлять масштабом времени, что, безусловно, является достоинством данного метода моделирования. Разработанная модель позволяет ввести в нее различную аналитику и провести эксперименты оптимизации.

Рецензент: Гулахмадов А.А. — д.т.н., старший научный сотрудник лаборатории «Водные ресурсы и гидрофизические процессы» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

Литература

1. Диёров Р.Х. Ветроэнергетический потенциал районов республиканского подчинения Республики Таджикистан. /Диёров Р.Х.// Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №2 (58) – 2022, С. 11-17.

2. Пресс-служба Президента Таджикистана [Электронный ресурс] Режим доступа: URL. www.prezident.tj (дата обращения 05.06.2023).

3. Усков А.Е. Солнечные фотоэлектрические станции: перспективы, особенности работы и расчёта экономической эффективности / Усков А.Е., Дайбова Л.А., Гиркин А.С., Дауров А.В., Дизендорф А.В., Горбачёв В.А., Попучиева М.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. №114 – 2015, С. 902-917.

4. Силин Н.В. К вопросу создания виртуальной электростанции для повышения эффективности распределенных энергетических источников/ Силин Н.В., Рахимов Ф.М. // СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАЗВИТИЕ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ. Международная научная конференция "Современные технологии и развитие политехнического образования". Владивосток, 19–23 сентября – 2016, С. 404-407.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Хуҷасаидов Ҷаҳонгир Хуҷасаидович	Худжасаидов Джахонгир Худжасаидович	Khujasaidov Jahongir Khujasaidovich
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
E-mail: jahon_nstu@mail.ru		

УДК 629.3.01: 621.33

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА, КАК НАПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА

К.Х. Гуломзода

ГУ «Автомобильный транспорт и логистическое обслуживание» Министерства транспорта Республики Таджикистан,

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье представлены результаты расчетов эксплуатационных показателей электротранспорта в условиях Республики Таджикистан, проведен анализ развития электротранспорта, подчеркнуты актуальные проблемы в области эксплуатации автомобилей на электрической тяге в условиях Республики Таджикистан. Рассмотрены возможности и преимущества эксплуатации электромобилей в условиях Таджикистана.

Ключевые слова. *Электромобиль, электротранспорт, энергосистема, гибридный автомобиль, Таджикистан*

БАРҚИКУНОНИИ НАҚЛИЁТ ҲАМЧУН САМТИ РУШДИ УСТУВОРИ СИСТЕМАИ ЭНЕРГЕТИКӢ ВА НАҚЛИЁТИИ ТОҶИКИСТОН

К.Ҳ. Ғуломзода

Дар ин мақола натиҷаҳои ҳисоботи нишондиҳандаҳои истифодабарии нақлиёти барқӣ дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод шудаанд, инчунин таҳлили рушди нақлиёти барқӣ гузаронида шудааст, масъалаҳои мавҷуда дар соҳаи истифодаи нацлиёти барқӣ дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳлил карда шудаанд, имкониятҳо ва афзалиятҳои истифодаи электромобилҳо дар шароити Тоҷикистон таҳлил шудаанд.

Калидвожаҳо. *Электромобил, нақлиёти барқӣ, системаи энергетикӣ, автомобили гибридӣ, Тоҷикистон*

ELECTRIFICATION OF TRANSPORT AS A DIRECTION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT AND ENERGY SYSTEMS OF TAJIKISTAN

K.H. Gulomzoda

This article presents the results of calculations of the operational performance of electric transport in the conditions of the Republic of Tajikistan, analyzes the development of electric transport, and highlights current issues in the operation of electric vehicles in the conditions of the Republic of Tajikistan. The possibilities and advantages of operating electric vehicles in the conditions of Tajikistan are considered.

Keywords. *Electric vehicle, electric transport, energy system, hybrid vehicle, Tajikistan*

Введение

Транспортная сфера является основой современной экономики и ключевым фактором мобильности населения в современном мире.

И проблема его адаптации к глобальному изменению климата, а также вопросы охраны окружающей среды и улучшения экологического состояния страны, достижения целей устойчивого развития, в том числе борьбы с изменением климата, обеспечения здорового образа жизни и содействия благополучию для всех, обеспечения всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии, обеспечения перехода к рациональным моделям потребления и производства, объявленными Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций, на сегодняшний день являются не только актуальными, но и глобальным вызовом для всех [4].

Особенность современной транспортной отрасли в том, что она развивается в тесной связи со сферой энергетики, поскольку современный транспорт это не только потребитель нефтяных ресурсов, но и электрической энергии, потребление которой в последние годы растет стремительными темпами.

На национальном уровне Республика Таджикистан в качестве безусловной цели указывает на сокращение выбросов парниковых газов для транспортного сектора, и достижения этой цели включают переход на более чистые виды топлива, например, использование гибридных, а также полностью электрических транспортных средств.

Транспортная отрасль Республики Таджикистан, учитывая активность рынка, развивается стремительными темпами и в ближайшей перспективе появится потребность в большом количестве импорта нефтепродуктов в страну.

Транспортная отрасль, являющаяся одной из основных потребителей энергоресурсов, сталкивается с проблемами, связанными с загрязнением окружающей среды, из-за увеличивающихся выбросов «парниковых газов». Существенным недостатком транспортных средств традиционной конструкции является прямая зависимость от нефтепродуктов.

Дальнейшее совершенствование конструкции двигателей внутреннего сгорания (ДВС) также, как и используемых технологий по оптимизации рабочих процессов последних, неспособно в полной мере решить

вопросы энергетической зависимости автотранспорта от нефтепродуктов. Наряду с этим, высокие темпы и уровень автомобилизации усугубляют экологические проблемы, связанные с загрязнением атмосферы токсичными выбросами от ДВС.

Актуальность темы исследования

На фоне обострения нехватки энергоносителей и ухудшения экологического состояния окружающей среды автопроизводители все больше вкладывают силы и средства в разработку автомобилей, работающих на альтернативном топливе. Преимущественно развивается технология производства электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой, объединяющих в себе преимущества электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) [5,9].

В этой связи электромобили и автомобили с комбинированными энергоустановками, как альтернатива традиционным транспортным средствам (ТС), становятся все более привлекательными на фоне обострения указанных проблем.

Электромобили имеют большие преимущества по сравнению с автомобилями на основе ДВС с точки зрения бесшумности и экологии. В последние годы развитие данной отрасли отличается стремительностью, и при условии дальнейшей разработки и улучшения технических характеристик, электромобили и автомобили с гибридными энергоустановками могут стать альтернативой автомобилям традиционной конструкции. В связи с этим ведущие автопроизводители вкладывают значительные средства в развитие и совершенствование технических характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированными энергоустановками (КЭУ).

Несмотря на большие достижения в области электромобилестроения на сегодняшний день одной из главных причин, препятствующих массовому производству и распространению электромобилей во всем мире, является недостаточная энергоемкость, большой вес и высокая стоимость существующих тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ), применяемых в качестве накопителя энергии.

Учитывая сильную зависимость транспортной отрасли от нефтепродуктов и экологическую проблему во всем мире, появившимся вследствие их ежедневного потребления в огромных объемах на протяжении десятилетий, в последние годы интенсивно разрабатываются и внедряются новые технологии по разработке и производству экологически чистых транспортных средств.

По мнению агентства Bloomberg New Energy Finance (BNEF), прогноз производства и продажа электромобилей в мире к 2030 году составит 31% от продаж новых и 20% мирового автопарка (рис.2) [6]. Это прежде всего вызвано тем, что к тому времени будут существенно улучшены технологии производства аккумуляторных батарей, являющихся на сегодняшний день самым дорогостоящим элементом, препятствующим массовому производству экономически доступных электромобилей. Кроме этого, будут улучшены другие элементы силового электрооборудования, такие как разработка высокоэффективных тяговых электродвигателей, силовых преобразователей напряжения и т.д.

В последние годы в автомобильной отрасли разработка и выпуск экологичных автомобилей динамично развивается, так как автопроизводителями вкладываются все больше сил и средств для усовершенствования компонентов и тяговых систем этих видов транспортных средств [6,10].

Результатом этих усилий можно считать снижение цен на литий-ионные тяговые аккумуляторные батареи (АБ), которые используют почти все производители, в том числе в современных электромобилях таких как Tesla Model S, Model X, Nissan Leaf, BMW i3, BYD E2 и др.

По подсчетам BNEF, с 2007 по 2014 годы цены на данные типы АБ снизились с $1200 до $410 за кВт*ч, а в 2021 году в целом упали на 89% по сравнению с 2010 годом до 132 долларов США за кВт*ч, и эта тенденция к снижению пока сохраняется (BNEF, рис.1) [8].

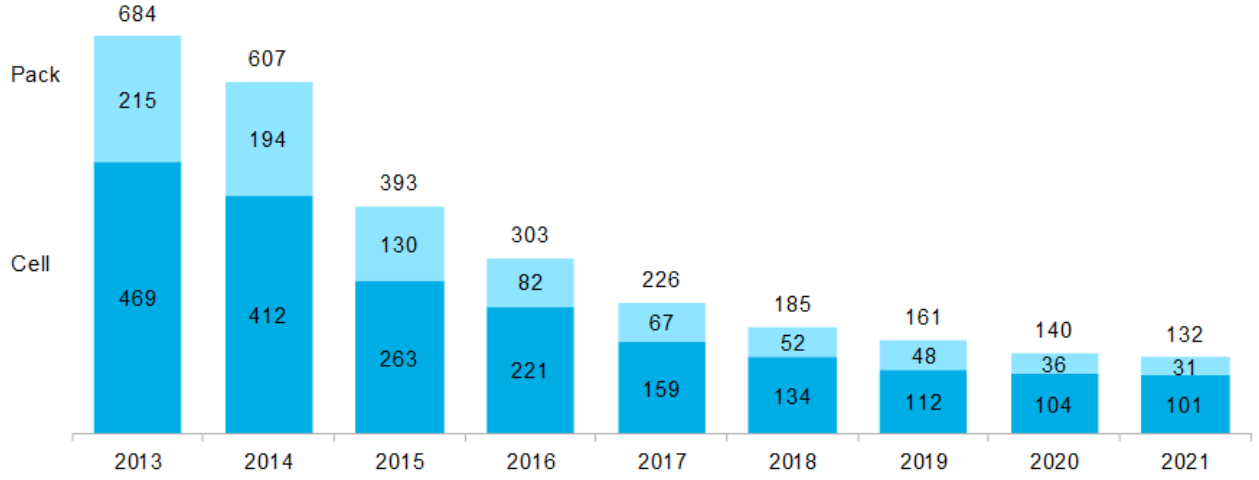


*Рисунок 1 – Исторические цены на литий-ионные аккумуляторные батареи по данным BNEF в период 2013-2021 годы, (долл. за кВт*ч) [8].*

По прогнозам BNEF к 2025 году средние цены на батареи должны быть ниже 100 долларов США за кВт*ч. Примерно в этой ценовой категории автопроизводители должны иметь возможность производить электромобили для массового рынка по той же цене, что и аналогичные автомобили с ДВС.

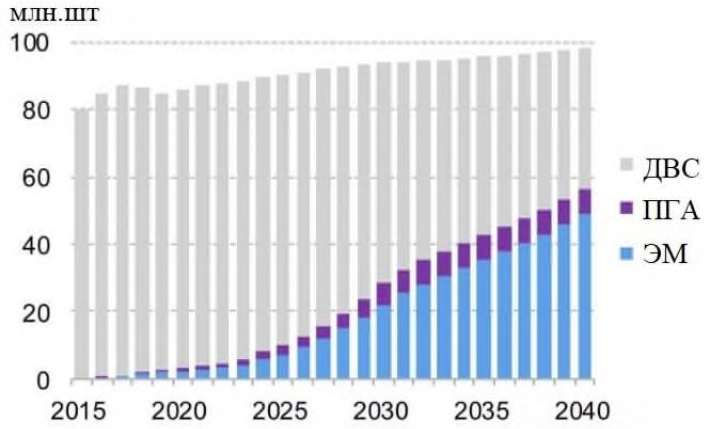


Рисунок 2 – Рост продаж автомобилей согласно BNEF [8] (где: ПГА подключаемый гибридный автомобиль)

Однако при массовом производстве автомобилей на электрической тяге возникает проблема готовности инфраструктуры зарядных станций и генерация новых мощностей для обеспечения питания этих электромобилей.

Опыт эксплуатации и преимущество использования электромобилей в условиях Республики Таджикистан

В современном динамично меняющемся мире актуальность вопроса устойчивости энергетического сектора и доступа к чистым видам энергии сохраняется, поскольку именно электрическая энергия является основой промышленности и в свою очередь локомотивом экономики любой промышленной страны. Таджикистан, почти не имея запасов нефтепродуктов, входит в ряды стран с достаточно уязвимой экономикой и достаточно остро реагирует на колебания цен на нефтепродукты. Поэтому переход транспортной отрасли на электрифицированный транспорт является перспективной задачей, которую необходимо решить в ближайшем будущем для обеспечения устойчивого развития и снижения зависимости от ископаемых видов топлива. Таджикистан как горная страна, обладающая огромным потенциалом возобновляемых источников энергии [3], такие как гидроэнергия, солнечная и ветроэнергия, является привлекательной для развития парка электромобилей с точки зрения экологичности и экономии топлива.

Поскольку экологичность электротранспорта в большей степени определяется происхождением используемой электрической энергии и при их генерации в тепловых и других видах электростанций, выработка которых достигается сжиганием нефтепродуктов, экологическая привлекательность будет ниже. Кроме этого, как известно, при эксплуатации электромобилей, использующих электроэнергию, выработанную в подобных электростанциях, учитывая низкую их эффективность (например КПД ТЭЦ около 35%), а также учитывая потери электроэнергии при его транспортировке, эффективность использования энергоресурсов будет ниже, чем непосредственное сжигание топлива в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей традиционной конструкции.

На данный момент более 98% электроэнергии в Таджикистане вырабатывается в гидроэлектростанциях [1]. Этот показатель очень важен с точки зрения регионального вклада по сокращению выброса углекислого газа в атмосферу.

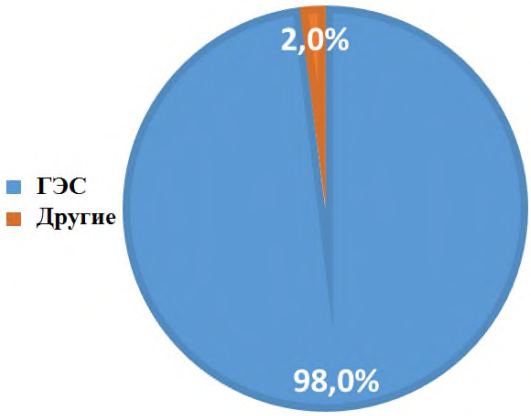


Рисунок 3 – Структура выработки электроэнергии в Республике Таджикистан

Кроме этого, как известно, выработка электроэнергии в возобновляемых электростанциях, особенно гидроэлектростанциях, считается одной из самых дешевых, и этот благоприятный фактор даёт возможность развить транспорную отрасль в Республике Таджикистан, особенно пассажирский и железнодорожный преимущественно электрифицированным.

Таблица 1 – Стоимость электроэнергии в мире за май 2024 г. по данным информационно-аналитического центра globalpetrolprices.com

Страна	Стоимость, доллары США	
	Для населения	Промышленность и бизнес
Германия	0.402	0.274
Япония	0.221	0.194
Франция	0.281	0.217
США	0.172	0.151
Беларусь	0.075	0.099
Россия	0.058	0.083
Турция	0.051	0.113
Казахстан	0.049	0.072
Азербайджан	0.047	0.065
Узбекистан	0.023	0.047
Таджикистан*	0,028	0,064

В связи с этим, учитывая прямую зависимость транспортной отрасли республики от импорта нефтепродуктов, а также турбулентность в ценовой политике этого продукта в мире, целесообразным является постепенный переход транспортной отрасли от углеводородного топлива на электрифицированный.

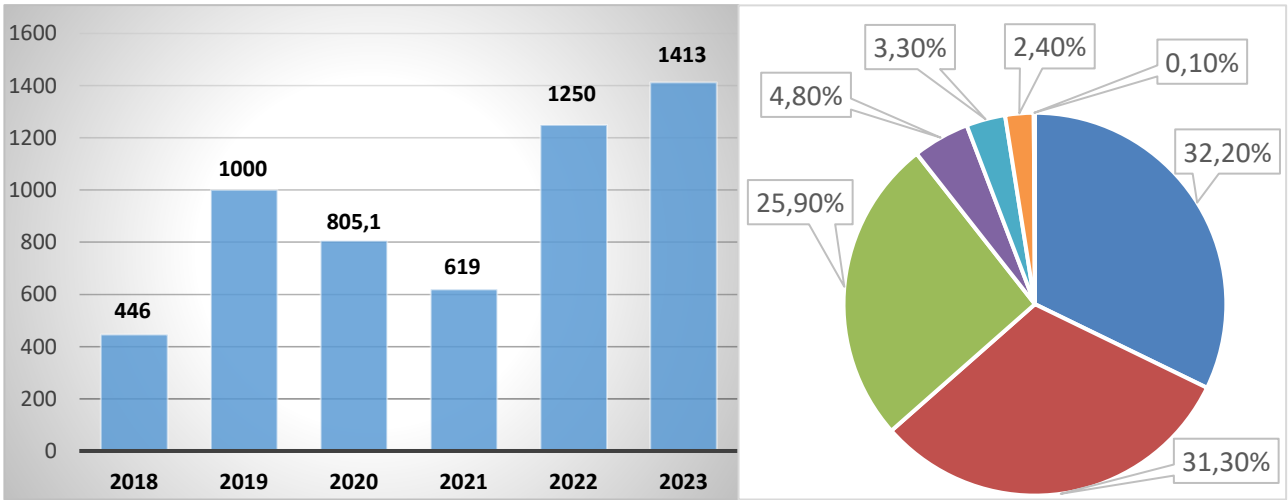


Рисунок 4 – Импорт нефтепродуктов в Таджикистан за 2018-2023 годы, а также структура нефтепродуктов тыс. тонн [2]

Для сравнения экономической эффективности автомобилей с электрической тягой и автомобилей традиционной конструкции в ценовых условиях Республики Таджикистан в табл.2 представлены результаты технико-экономических расчетов эксплуатационных показателей электромобиля с автомобилем, работающем на ДВС.

Таблица 2 – Технико-экономическое сравнение показателей электромобиля с автомобилем, движимым от ДВС, в ценовых условиях Республики Таджикистан

Модель автомобиля – JAC S7			**Модель электромобиля – BYD E2**		
Параметр	Знач.	Ед. изм.	Параметр	Знач.	Ед. изм.
Среднесуточный пробег	50	км	Среднесуточный пробег	50	км
Средний годовой пробег (288 рабочих дней)	14400	км	Средний годовой пробег (288 рабочих дней)	14400	км
Цена бензина АИ-92	10,8**	сомони/л	Цена электроэнергии для электротранспорта	0,307***	сомони/ кВт*ч
Объем топливного бака автомобиля	64	л	Ёмкость АБ с учетом КПД 95%	45,6	кВт*ч
Расход средств для полного бака горючего	691,2	сомони	Расход средств для полного заряда АБ (с учетом потерь в процессе заряда)	15	сомони
Расход горючего на 100 км пробега	9	л	Расход электроэнергии на 100 км пробега	14,2	кВт*ч
Общий пробег за один полный бак горючего	711	км	Общий пробег за один полный заряд аккумулятора	320	км
Расход средств для 100 км пробега	97,2	сомони	Расход средств для 100 км пробега	4,3	сомони
Расход средств для горючего при годовом пробеге	14000	сомони	Расход средств для электроэнергии при годовом пробеге	631	сомони

*(** цена бензина марки АИ92 на момент 25 марта 2024 года в РТ; ***цена на электроэнергию на момент 25 марта 2024 года согласно данным Министерства энергетики и водных ресурсов РТ)*

Как видно из данных, годовой расход на энергоносители автомобиля с ДВС по сравнению с автомобилем на электрической тяге (табл. 2) примерно в 20 раз, а при самой высокой цене электроэнергии, которая соответствует тарифам для промышленности, в 9 раз экономичнее. Этот показатель является существенным фактором для развития электротранспорта в стране. В подтверждение этому стремительный рост импорта электромобилей в страну за последние 3 года представлен на рис.6.

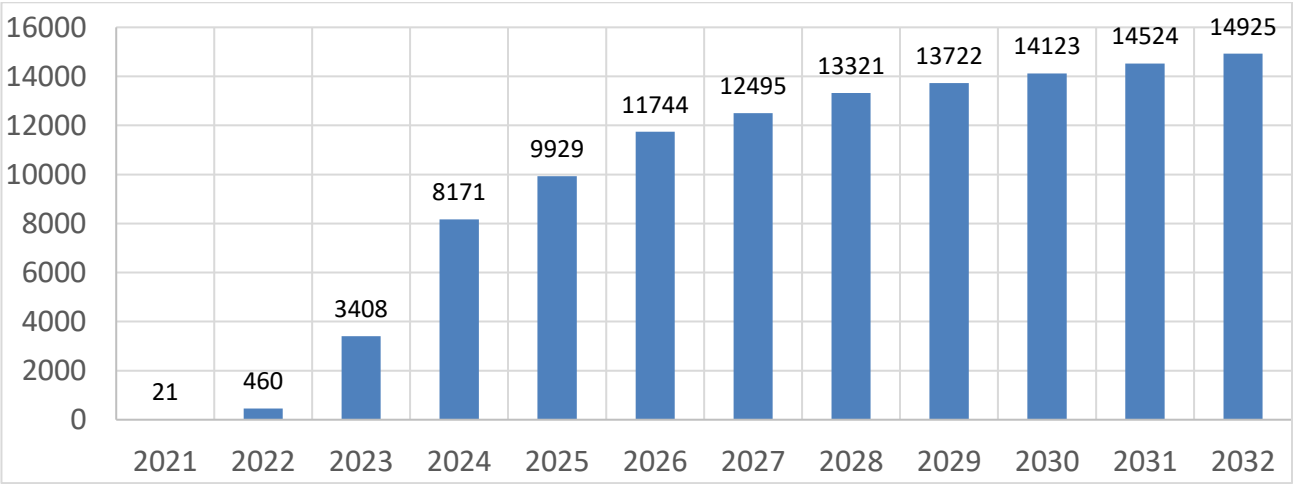


Рисунок 5 – Динамика импорта электротранспорта в Республику Таджикистан за 2021-2023 годы (с учетом местного производства) и прогноза их количества до 2032 г.

Следует отметить, что расчеты табл.2 приведены без учёта отопления и охлаждения салона и АБ в зимний и летний периоды. Учет последних ограничивает пробег от 15 до 40%.

Другим благоприятным фактором, положительно влияющим на развитие электротранспорта в условиях Таджикистана, является умеренно теплый климат. Как известно, суровые климатические условия и чрезмерно

холодная погода сильно ограничивают пробег электромобилей, т.к. существенная часть запасенной энергии АБ расходуется на обогрев салона автомобиля и поддержание температурного режима тягового аккумулятора. Однако чрезмерно жаркая погода, особенно в летний период, когда температура окружающей среды достигает 50°С и выше, существует проблема охлаждения аккумуляторной батареи и кондиционирования салона автомобиля, которая также требует дополнительных затрат энергии.

Анализ текущего потребления и прогноз спроса электроэнергии электротранспортом в Республике Таджикистан

Согласно статистическим данным [7,11-13] количество электротранспорта в стране (по состоянию на 1 января 2024 года, включая электромобили отечественного производства) составляет 3868 единиц, включая: 3794 ед. электромобилей, 13 ед. импортированных электробусов и микроавтобусов, 30 ед. электробусов отечественного производства, 10 ед. грузового электротранспорта и 21 единица электрического грузоподъёмного транспорта.

Допущения при определении емкости аккумуляторов различных типов электротранспорта.

Большую часть электромобилей, импортируемых в Таджикистан, составляют модели BYD E2, емкость аккумулятора которых равна 43 кВт*ч. Учитывая потери в процессе зарядки, составляющей 5-7%, среднее потребление электроэнергии 1 электромобиля за один цикл заряда аккумулятора принимается равным 45 кВт*ч.

Аккумулятор электробуса AKIA ULTRA LF12-T отечественной сборки, согласно его спецификации, имеет емкость 350 кВт*ч, и с учетом потерь при зарядке 5-7% средний расход электроэнергии 1 электробуса за один цикл заряда аккумулятора принимается равным 370 кВт*ч.

В связи с неопределенностью емкости аккумуляторов импортированных электробусов и микроавтобусов, грузового и грузоподъёмного электротранспорта, с учетом 5-7% потерь при зарядке, усредненное потребление электроэнергии 1 транспорта данного типа за один цикл заряда принимается примерно 63 кВт*ч.

Режимы зарядки электромобилей. Согласно информации на состояние 1 января 2024 года для службы такси используется 1576 единиц электромобилей, заряжающих аккумуляторы один раз за 1-3 дня. Остальные электромобили, то есть 2218 единиц, используются обычными водителями, заряжая аккумуляторы в среднем раз в 5-7 дней. [2,3,7]

Режим зарядки электробусов. Учитывая то, что электробусы курсируют по государственному маршруту в городе Душанбе с плотной загруженностью, график зарядки данных транспортных средств устанавливается на ежедневной основе.

Учитывая неопределенность графика работы остальных импортированных электробусов и микроавтобусов, грузового и грузоподъемного электротранспорта, их график работы принимается соответствующим усредненному общему пользованию, то есть один раз в 4 дня.

Средние затраты электроэнергии для электромобилей в год

1. Суммарный расход электроэнергии для 1576 электромобилей в режиме такси, т.е. 1 зарядка за каждые два дня в течение года:

$$E_{EVtaxi} = N_{EVtaxi} \times C_{EV} \times K_z \times D/2 = 1576 \times 45 \times 0{,}8 \times 366/2 = 10{,}4 \text{ млн кВт*ч в год;}$$

2. Суммарный расход электроэнергии для 2218 электромобилей в режиме общего пользования, то есть в режиме ее подзарядки один раз в 6 дней в течение года:

$$E_{EVcomm} = N_{EVcomm} \times C_{EV} \times K_z \times D/6 = 2218 \times 45 \times 0{,}8 \times 366/6 = 4{,}87 \text{ млн кВт*ч в год;}$$

3. Суммарная расход электроэнергии для 30 электробусов в режиме ежедневной зарядки в течение года:

$$Э_{ЭБ} = Н_{ЭБ} \times C_{ЭБ} \times K_z \times D = 30 \times 370 \times 0{,}8 \times 366 = 3{,}2 \text{ млн кВт*ч в год;}$$

4. Суммарный расход электрической энергии для 44 различных электромобилей в режиме общего пользования, то есть режиме ее подзарядки одного раза в 4 дня в течение года:

$$E_{EVdiff} = N_{EVdiff} \times C_{EVdiff} \times K_z \times D/4 = 44 \times 63 \times 0{,}8 \times 366/4 = 0{,}2 \text{ млн кВт*ч в год;}$$

5. Общие затраты электрической энергии на все виды электротранспорта в течение года:

$$E_{EV} = E_{EVtaxi} + E_{EVcomm} + E_{EB} + E_{EVdiff} = 10{,}38+4{,}87+3{,}2+0{,}2 = 18{,}6 \text{ млн кВт*ч в год.}$$

где:

E_{EVtaxi} - количество электроэнергии, потребляемой электромобилем в режиме такси;

N_{EVtaxi} - количество электромобилей, работающих в режиме такси;

E_{Evcomm} - количество электрической энергии, потребляемой электромобилем в режиме общего пользования;

N_{EVcomm} - количество электромобилей в режиме общего пользования;

C_{EB} - средняя емкость аккумулятора электромобиля;

$Э_{ЭБ}$ - количество электрической энергии, потребляемой электробусом в режиме ежедневного использования;

$H_{EБ}$ - количество электробусов в ежедневной эксплуатации;

C_{EB} - средняя емкость аккумулятора электробуса;

E_{EVdiff} - количество электрической энергии, потребляемой различными транспортными средствами в режиме общего использования;

N_{EVdiff} - количество различных транспортных средств в режиме общего использования;

C_{EVdiff} - средняя емкость аккумулятора различных автомобилей;

E_{EV} - суммарное количество электрической энергии, потребляемой электротранспортом;

Kz – коэффициент использования емкости аккумулятора (в среднем около 20% емкости аккумулятора сохраняется в резерве, и не используется);

D – количество дней в году;

Принимая во внимание, что средний объем произведенной электроэнергии в энергосистеме Таджикистана в 2023 году составил 21,8 млрд кВт*ч в год [3], суммарный объем потребления электроэнергии электротранспортом в Таджикистане, по данным проведенного расчета, составляет 18,6 млн кВт*ч в год, что примерно равно 0,1% от общего объема электроэнергии, производимой в Таджикистане за год.

Заключение

Таджикистан, имеющий теплое климатическое условие, где продолжительность солнечного сияния колеблется от 2100 до 3170 часов в год имеет оптимальные климатические условия для эффективной эксплуатации автомобилей на электрической тяге с автономным источником энергии.

На сегодняшний день во всем мире наблюдается постепенный отказ от автомобилей, работающих на нефтепродуктах, и переход на экологически чистые транспортные средства. Это является одним из альтернативных и, несомненно, перспективных направлений развития и "эволюции" транспортной отрасли, способствующим снижению вредных выбросов и улучшению экологической ситуации.

Таким образом, исследование в данной области является актуальным, поскольку поставленная цель по снижению зависимости транспортной отрасли от нефтепродуктов и целесообразному использованию возможностей энергетической системы страны сейчас и в будущем будет оставаться актуальной.

Учитывая преимущества и потенциал энергетического сектора Республики Таджикистан, целесообразным является равитие инфраструктуры зарядных станций для электромобилей, а также увеличение троллейбусно-электробусного парка в крупных городах и в последующем в более мелких городах с соответствующей инфрастурктурой энергообеспечения. Также перспективным шагом в дальнесрочной перспективе может быть развитие инфраструктуры железных дорог преимущественно электрифицированными. Для этого темпы развития инфраструктуры зарядных станций должны опережать темпы расширения парка электротранспорта. Кроме этого, должен быть решен вопрос беспрепятственного размещения зарядного оборудования личного пользования на парковочных зонах жилых районов.

Развитие электрифицированного транспорта, во-первых, даст возможность реализовать недоиспользованный потенциал электростанций (особенно летом в период снижения спроса со стороны населения, а также при завершении строительства Рогунской ГЭС), во-вторых, даст возможность развития транспортной отрасли при использовании более дешевой и чистой, с точки зрения экологии, энергии, а также стимулирования экономики для дальнейшего его развития, так как ценообразование продовольственных продуктов прежде всего зависит от цен углеродного топлива, импортируемого из-за рубежа.

Как показывает практика, государственная политика в вопросе развития электротранспорта играет ключевую роль, поэтому описанные мероприятия должны активно внедряться государством для достижения целевых показателей развития альтернативного транспорта.

Рецензент: Мирзозода Б.М. — к.т.н., доцент кафедры РЗ и АЭ, ТТУ им. акад. М.С. Осими

Литература

1. Послание Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона «Об основных направлениях внутренней и внешней политики республики» город Душанбе 23.12.2022;

2. Электронный ресурс: https://tj.sputniknews.ru/20221215/import-nefteprodukti-tajikistan-1053543656.html (дата обращения 31.12.2022г);

3. Электронный ресурс: https://tj.sputniknews.ru/20240305/elektrichestvo-vyrabotka-eaeu-tajikistan-1061946058.html (дата обращения 24.06.2024г);

4. Постановление Правительства Республики Таджикистан "О программе развития электротранспорта в Республике Таджикистан", №532 от 31 октября 2022 года. Электронный ресурс: https://adlia.tj/show_doc.fwx?Rgn=143617 (дата обращения 24.06.2024г);

5. Колян Н. С. Прогнозная оценка потенциального рынка электромобилей и эффектов снижения выбросов парниковых газов в России / Колян Н. С., Плесовских А. Е., Гордеев Р. В // Journal of Applied Economic Research - 2023. - Т.22, - № 3. - С. 497–521.

6. Электронный ресурс: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электромобили(мировойрынок)#citenote-17 (дата обращения 24.06.2024г);

7. Электронный ресурс: https://asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/economic/20230801/mintrans-tadzhikistana-nazval-glavnuyu-problemu-s-ispolzovaniem-elektromobilei?ysclid=lxt4z25lx7480552313 (дата обращения 24.06.2024);

8. Электронный ресурс: https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/ (дата обращения 1.07.2024г);

9. Асадов Д.Г. Обоснование оптимального количества зарядных станций электромобилей // Международный научный журнал. – 2011. – № 5. – С. 131-135.

10. Aiqiang Pan, Teng Zhao, Haidong Yu, Yan Zhang. Deploying Public Charging Stations for Electric Taxis: A Charging Demand Simulation Embedded Approach // IEEE Access. – 2019. – №7. – С. 17412-17424.

11. Электронный ресурс: https://halva.tj/news/zhiteli_tadzhikistana_za_2023_god_priobreli_okolo_3_3_tys_elektromobiley_/ (дата обращения 1.07.2024г);

12. Электронный ресурс: https://avesta.tj/2023/12/29/tadzhikistan-uvelichil-import-elektromobiliej-v-uhodyashhem-godu/?ysclid=ly2wqntw3z16804519_/ (дата обращения 1.07.2024г);

13. Электронный ресурс: https://www.statista.com/outlook/mmo/passenger-cars/tajikistan/ (дата обращения 1.07.2024г);

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Ғуломзода Камол Ҳикмат	Гуломзода Камол Хикмат	Gulomzoda Kamol Hikmat
н.и.т., сардори шӯъбаи рушди хизматрасониҳои логистикӣ, лоиҳаҳо ва равобити байналмилалӣ, м.калон	к.т.н., начальник отдела развития логистических услуг, проектов и международного сотрудничества, ст.преподаватель	Ph.D., Head of the Department for Development of Logistics Services, Projects and International Cooperation, senior lecturer
Муассисаи давлатии “Нақлиёти автомобилӣ ва хизматрасонии логистикӣ”-и вазорати нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон, ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	Государственное учреждение “Автомобильный транспорт и логистическое обслуживание” министерства транспорта Республики Таджикистан, ТТУ имени академика М.С.Осими	State Institution “Automobile transport and logistics services” of the Ministry of Transport of the Republic of Tajikistan, TTU named after acadevician M.S.Osimi
e. mail: kamol-1804@mail.ru		

МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

УДК 546.56

КОМПЛЕКСҲОСИЛКУНИИ МИС (II) БО 1-МЕТИЛ-2-МЕРКАПТОИМИДАЗОЛ ДАР МАҲЛУЛҲОИ ОБӢ

А.Ҳ. Раҳимзода, С.М. Сафармамадзода, М.М. Сангов

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Бо усули потенсиометрӣ раванди комплексҳосилшавии Cu (II) бо 1-метил-2-меркаптоимидазол (L) омӯхта шуд. Нишон дода шуд, ки Cu (II) бо 1-метил-2-меркаптоимидазол метавонад вобаста ба таносуби моддаҳои ба реаксия дохилшаванда пайвастаҳои таркибашон Cu_2L, CuL_2, CuL_4 ва CuL_6 –ро ҳосил кунад. Коркарди натиҷаи тадқиқотҳои потенсиометрӣ бо истифода аз барномаи компютерии Constant Evaluator (KEV) имконият дод, ки собитаҳои устувории ҳосилшавӣ ва баромади комплексҳо муайян карда шавад: $lg\beta_1$=7,62, $lg\beta_2$= 13,36 $lg\beta_3$=18,43, $lg\beta_{(димер)}$=7,83.

Калидвожаҳо: *комплексҳосилкунӣ, мис (II), 1-метил-2-меркаптоимидазол, собитаҳои устуворӣ.*

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ МЕДИ (II) С 1-МЕТИЛ-2-МЕРКАПТОИМИДАЗОЛОМ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

А.Х. Рахимзода, С.М. Сафармамадзода, М.М. Сангов

Потенциометрическим методом изучен процесс комплексообразования Cu(II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом (L). Показано, что Cu(II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом может образовывать соединения Cu_2L, CuL_2, CuL_4 и CuL_6 в зависимости от соотношения реагентов. Обработка результатов потенциометрических исследований с помощью компьютерной программы Constant Evaluator (KEV) позволила определить константы устойчивости образования и выхода комплексов: lgβ1=7,62, lgβ2= 6,74, lgβ3= 507, lgβ (димер)=7,83.

Ключевые слова: *комплексообразование, медь (II), 1-метил-2-меркаптоимидазол, константы устойчивости.*

COMPLEXFORMAIOH OF COPPR (II) WITH 1-METHUL-2-MERKAPTOIMIDAZOLE IN ABUEOUS SOLUTION

A.H. Rahimzoda, S.M. Safarmamadzoda, M.M. Sangov

The complexation process of Cu (II) with 1-methyl-2-mercaptoimidazole (L) was studied using the potentiometric method. It was shown that Cu (II) with 1-methyl-2-mercaptoimidazole can produce Cu2L, CuL2, CuL4 and CuL6 compounds, depending on the ratio of the reactants. The processing of the results of the potentiometer studies using the Constant Evaluator KEV computer program made it possible to determine the stability constants of the formation and output of the complexes: lgβ1=7,62, lgβ2= 13,36, lgβ3=18,43, lgβ (dimer)=7.83.

Keywords*: complexation, copper (II), 1-methyl-2-mercaptoimidazole, stability constants.*

Муқаддима

Мис барои организмҳои зинда яке аз элементҳои муҳим ба шумор рафта, дар раванди фотосинтез ва аз худкунии нитроген аз ҷониби растаниҳо иштирок мекунад. Нақши мис дар синтези сафедаҳо, крахмал ва витаминҳо низ хеле калон аст. Дар замони ҳозира таваҷҷуҳи тадқиқотчиёни соҳаи химияи пайвастҳои координатсионӣ ба тавлиф ва омӯзиши пайвастҳои координатсионие, ки хосияти баланди биологӣ ва каталитикӣ доранд, нигаронида шудааст. Пайвастҳои координатсионӣ, дар баробари дигар пайвастҳои химиявӣ, дар соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқ аз қабили истеҳсолоти химиявӣ, фарматсевтӣ, биотехнологӣ ва ғайра мавриди истифодаи васеъ қарор доранд. Дар бисёр маврид хосияти баланди биологӣ ё каталитикии пайвасти координатсионӣ аз табиати металл ё лиганд вобастагӣ дорад. Мис яке аз элементҳои аз ҷиҳати биологӣ фаъол буда, комплексҳосилкунандаҳои хуб ба ҳисоб меравад.

Дар адабиёт оид ба раванди комплексҳосилкунии мис (II) бо лигандҳои органикӣ ва 1-метил-2-меркаптоимидазол (L) бо d-металлҳои интиқолӣ маълумот оварда шудааст. Муаллифони кори [1] усули титронидани потенсиометрро барои муайянкардани собитаҳои устувории комплексҳои Cu(II), Zn(II), Ni(II), Co(II), Mn(II) бо L-треонин ва кислотаи аденозинтрифосфат дар маҳлули обӣ истифода намудаанд. Муайян карда шудааст, ки заррахои комплексии шакли димерии ин металҳо бо L-треонин ва кислотаи аденозинтрифосфат аз шаклҳои мономерии онҳо дида устувортаранд. Дар кори [2] муҳаққиқон раванди комплексҳосилкунии мис (II)-ро бо 1,2,4-триазолтиол дар консентратсияҳои гуногуни кислотаҳои H_2SO_4, HBr, HNO_3 ва HCl дар ҳароратҳои 273-338 К омӯхта, собитаҳои устувории онҳоро вобаста ба ҳарорат ва консентратсияи кислота муайян кардаанд. Холиқова Л.Р. шароити синтези пайвастагиҳои комплексии мис (II) -ро бо бензалтиосемикарбозон ва пара-аминобензолсулфамид коркард намуда, таркиб ва сохти пайвастҳоро бо усулҳои гуногуни физикӣ-химиявӣ муайян намудааст [3]. Раванди комплексҳосилкунии мис (II) бо 1-метил-2-меркаптомидазол дар маҳлулҳои HX,

ки X Cl^-, Br^-, SO_4^{2-}, NO^{3-} мебошад, дар консентратсияҳои 0,5-7 мол/л ва ҳарорати 273-338К бо усули титронидани потенсиометрӣ дар кори [4] омӯхта шудааст. Муайян шудааст, ки мис (II) бо 1-метил-2-меркаптомидазол зинагӣ ба реаксия дохил шуда чор зарраи комплексии таркибашон $[CuL(H_2O)_5]^{2+}$, $[CuL_2(H_2O)_4]^{2+}$, $[CuL_3(H_2O)_3]^{2+}$, ва $[CuL_4(H_2O)_2]^{2+}$-ро ҳосил мекунанд. Қиматҳои собитаҳои комплексҳои ҳосилшуда дар ҳарорати 298К мувофиқан чунинанд: $lgK_1 = 5,57$, $lgK_2 = 4,52$ $lgK_3 = 3,71$ $lgK_4 = 2,87$. Дар кори [5] муаллифон шароити оптималии синтези пайвастагиҳои комплексии рений (V)-ро бо 1-метил-2-меркаптоимидазолом коркард намуда, пайвастагиҳои комплексии таркибашон аз як то чор молекулаи лиганд доштаро ҳосил намудаанд. Муаллифон дар кори [6] бо усули препаративии химиявӣ шароити ҳосилкунии пайвастҳои комплексии нуқраи (I)-ро бо 1-метил-2-меркаптоимидазол дар маҳлули обӣ коркард намуда, таркиб, сохт, собитаҳои устуворӣ ва функсияҳои термодинамикии пайвастагиҳои комлексии ҳосилнамудаашонро муайян намуданд. Нишон дода шудааст, ки нуқраи (I) бо 1-метил-2-меркаптоимидазол ҳангоми барзиёд будани лиганди органикӣ пайвастагии дар об ҳалшавандаи таркибаш $[AgL_3]^+$-ро ҳосил мекунад.

Аз таҳлили адабиёт бармеояд, ки комплексҳосилкунии мис (II) бо 1-метил-2-меркаптомидазол дар маҳлулҳои кислотаҳои минералии консентратсияшон баланд омӯхта шуда, чунин таҳқиқот дар маҳлулҳои обӣ ва ҳалкунандаҳои органикӣ гузаронида нашудаанд. Аз ин рӯ, омӯзиши раванди комплексҳосилкунии мис (II) бо 1-метил-2-меркаптомидазол дар маҳлули обӣ ва муайянкунии собитаҳои уствории пайвастаҳои комплексии ҳосилшаванда аҳаммияти муҳимми назариявӣ ва амалӣ дорад

Қисми таҷрибавӣ

Дар кори мазкур ба сифати моддаҳои ибтидоӣ $Cu(NO_3)_2$ бо тозагии (т.б.т.) ва 1-метил-2-меркаптомидазол бо тозагии (х.т) истифода шудааст. Консентратсияи аввалаи $(CuNO_3)_2$ $1\cdot10^{-3}$ мол/л буда, аз 1-метил-2-меркаптомидазол ба $1\cdot10^{-2}$ мол/л баробар буд. Барои омӯзиши раванди комплексҳосилкунии мис (II) бо 1-метил-2-меркаптомидазол усули титронидани потенсиометрӣ истифода карда шуд. Потенсиали система ҳангоми титркунии потенсиометрӣ бо истифода аз pH-метри модели PHS-3CB бо дақиқии ±0,1 мВ чен карда шуд. Қимати потенсиали мувозинатии электроди индикаторӣ дар давоми 5-10 дақиқа гирифта мешуд. Ба сифати электроди индикаторӣ электроди ион-селективии Cu^{2+} ва ҳамчун электроди муқоисавӣ электроди хлор-нуқрагӣ истифода гардид. Раванди комплексҳосилшавӣ дар муҳитҳои обӣ бо қувваи ионии 0,1 мол/л (KCl) омӯхта шудааст. Титронидани потенсиометрӣ се маротиба гузаронида шуда, барои ҳисобкуниҳо қимати миёнаи потенсиал истифода гардид. Ҳарорат дар ячейка бо ёрии ҳаммомчаи обӣ ба таври доимӣ нигоҳ дошта шуд. Барои муайянкунии собитаҳои умумии уствории комплексҳои мис (II) бо 1-метил-2-меркаптомидазол барномаи муосири компютерии онлайнии KEV [7] истифода бурда шуд.

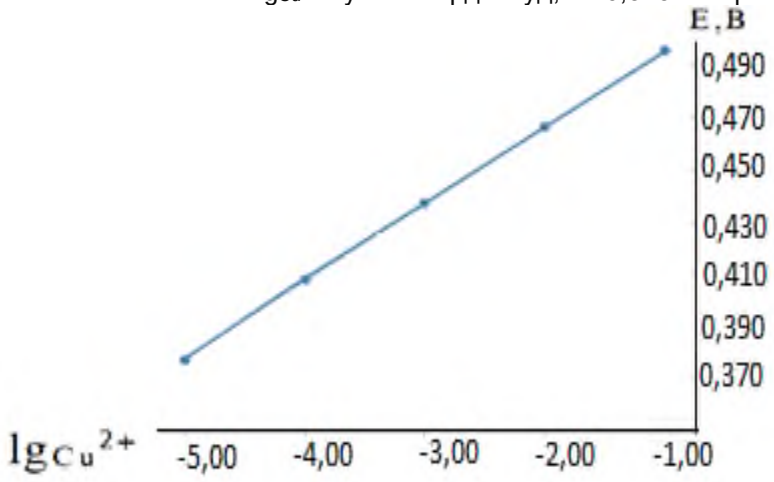
Муҳокимаи натиҷаҳо

Таҳлили адабиёти илмӣ нишон дод, ки электродҳои навъи якум ва электродҳои ион-селективӣ барои омӯзиши комплексҳосилкунии ионҳои металлҳо васеъ истифода бурда мешавад. Барои санҷидани баргардандагии электроди ион-селективии Cu^{2+}, тағйирёбии потенсиали элементи галвании Cu^{2+}/ Cu,$C_{1M\text{-}2\text{-}MИ}$ ‖Ag,AgCl/Cl^--ро дар ҳудуди консентратсияҳои $1\cdot10^{-1}$ -$1\cdot10^{-5}$ мол/л $Cu(NO_3)_2$ вобаста ба тағйирёбии консентратсияи ионҳои Cu^{2+} бо роҳи таҷрибавӣ санҷидем, ки натиҷаи он дар ҷадвали 1 оварда шудааст.

Ҷадвали 1 – Тағйирёбии потенсиали элементи галвании Cu^{2+}/ Cu ‖Ag,AgCl/Cl^- вобаста ба тағйирёбии консентратсияи ионҳои Cu^{2+}

№	C_{Cu2+}, мол/л	E, мВ
1	$1\cdot10^{-1}$	273,5
2	$1\cdot10^{-2}$	244,6
3	$1\cdot10^{-3}$	215,3
4	$1\cdot10^{-4}$	186,4
5	$1\cdot10^{-5}$	155,4

Кунҷи майли росхаттаи муодилаи вобастагии $E=E^{\theta}+\theta lg_{Cu^{2+}}$ (расми 1) 0,02944±0,001В-ро ташкил дод, ки он ба кунҷи назариявӣ (аз рӯи муодилаи Нернст) хеле наздик аст. Потенсиали стандартии электродии электроди ионселективӣ, ки аз вобастагии $E=-lg_{Cu^{2+}}$ муайян карда шуд, ба 0,525 В баробар аст.



Расми 1 – Вобастагии E аз консентратсияи ионҳои Cu^{2+}

Барои ҳисоб намудани собитаҳои устувории зарраҳои комплексие, ки дар системаи Cu^{2+} -L-H_2O ҳосил мешаванд, аз барномаи компютерии онлайни “KEV”, ки дастурамали истифодаи он дар кори [7] оварда шудааст, истифода намудем. Барои ҳисоб намудани собитаҳои устуворӣ бо барномаи компютерии “KEV” тағйирёбии потенсиали электродии системаи Cu^{2+}/ Cu^{0} ҳангоми титронидани потенсиометрӣ, кунҷи майли система, консентратсияҳои мис ва лиганд дар ҳар як нуқтаи титронӣ, инчунин, реаксияи протонизатсияи 1-метил-2-меркаптоимидазол (lgK=2,55) [9], реаксияи гидролизи намаки мис аз рӯи зинаи якум ва константаи гидролизи он, lgK = 9,86 [8], инчунин, реаксияҳое, ки эҳтимолияти гузариши онҳо ҳангоми таъсири Cu^{2+} бо L мавҷуд аст, дар шакли матритса ба барнома ворид карда мешавад:

$$H^{+} + L \rightleftarrows HL^{+} \quad (1)$$

$$Cu^{2+} + \rightleftarrows (CuOH)^{+} \quad (2)$$

$$2Cu^{2+} + L \rightleftarrows [Cu_2L]^{2+} \quad (3)$$

$$Cu^{2+} + L \rightleftarrows [CuL]^{2+} \quad (4)$$

$$Cu^{2+} + 2L \rightleftarrows [CuL_2]^{2+} \quad (5)$$

$$Cu^{2+} + 3L \rightleftarrows [CuL_3]^{2+} \quad (6)$$

$$Cu^{2+} + 4L \rightleftarrows [CuL_4]^{2+} \quad (7)$$

$$Cu^{2+} + 5L \rightleftarrows [CuL_5]^{2+} \quad (8)$$

$$Cu^{2+} + 6L \rightleftarrows [CuL_6]^{2+} \quad (9)$$

Дар ҷадвали 2 консентратсияҳои мувозинатии он зарраҳои комплексие, ки баромади ҳосилшавиашон дар системаи Cu^{2+} -L-H_2O аз 10% зиёд аст, оварда шудааст (консентратсияҳои мувозинатӣ бо истифода аз барномаи “KEV” ҳисоб карда шудаанд).

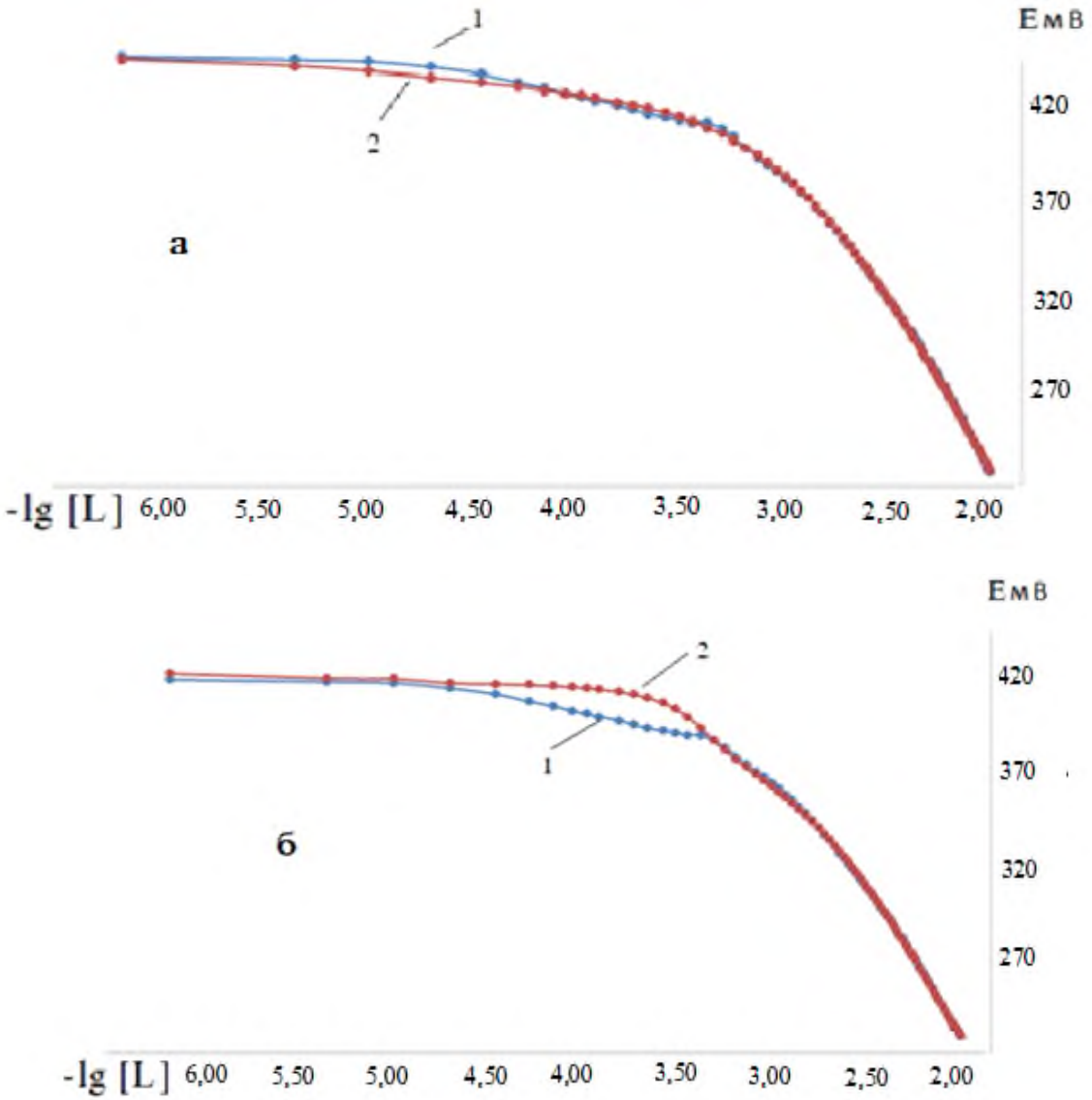
Ҳамин тавр барномаи KEV дар системаи Cu^{2+}-L- H_2O ҳосилшавии зарраҳои комплексии таркибашон $[Cu_2L]^{2+}$, $[CuL_2]^{2+}$, $[CuL_4]^{2+}$, $[CuL_6]^{2+}$-ро аз рӯи реаксияҳои 3, 5, 7 ва 9 имконпазир мешуморад. Дигар шаклҳои зарраҳои комплексӣ ба андозаи кам ҳосил мешаванд ва муайян кардани консентратсия ва собитаҳои устувории онҳо ғайриимкон аст.

Эътимоднокии ҳосилшавии зарраҳои комплексӣ аз рӯи реаксияҳои 3, 5, 7 ва 9 бо қаноатбахш мувофиқ омадани тағйирёбии потенсиали назариявӣ ($E_{наз}$) бо потенсиали таҷрибавӣ ($E_{таҷ}$) дар ҳар як нуқтаи титронидан исбот карда мешавад (расми 2 а). Дар сурати ба назар нагирифтани ҳосилшавии пайвастаи комплексии шакли димерӣ $E_{таҷ.}$ бо $E_{наз.}$ аз якдигар фарқ мекунанд (расми 2 б**).**

Ҷадвали 2 – Тағйирёбии потенсиали системаи Cu^{2+}/ Cu^{0} ҳангоми титронидани потенсиометрӣ ва ҳисобкуниҳои консентратсияҳои мувозинатии моддаҳои аввала ва маҳсули реаксия, дар ҳарорати 298 К (бо истифода аз барномаи “KEV”)

E, мВ (тачр.)	[Cu] мол/л	[L] мол/л	[HL] мол/л	$[Cu_2L]^{2+}$ мол/л	$[CuL_2]^{2+}$ мол/л	$[CuL_4]^{2+}$ мол/л	$[CuL6]^{2+}$ мол/л
444,9	0,00092	6,85E-07	1,14E-11	3,92E-05	1,81E-08	4,63E-15	2,54E-22
443,7	0,000686	4,81E-06	7,98E-11	0,000153	6,63E-07	8,38E-12	2,26E-17
442,9	0,000544	1,1E-05	1,83E-10	0,000221	2,76E-06	1,83E-10	2,6E-15
439,7	0,000426	2,24E-05	3,71E-10	0,000275	8,94E-06	2,45E-09	1,43E-13
436,0	0,000341	3,93E-05	6,51E-10	0,000309	2,2E-05	1,86E-08	3,35E-12
431,6	0,000284	5,94E-05	9,82E-10	0,000325	4,2E-05	8,1E-08	3,33E-11
428,7	0,000246	8,05E-05	1,33E-09	0,00033	6,68E-05	2,36E-07	1,79E-10
397,4	2,24E-05	0,000783	1,24E-08	2,67E-05	0,000576	0,000193	1,38E-05
392,5	1,65E-05	0,000886	1,39E-08	1,64E-05	0,000544	0,000233	2,14E-05
388,0	1,22E-05	0,000993	1,55E-08	9,93E-06	0,000502	0,000271	3,12E-05
385,2	8,96E-06	0,001103	1,71E-08	6E-06	0,000457	0,000304	4,32E-05
381,7	6,64E-06	0,001216	1,88E-08	3,63E-06	0,000411	0,000332	5,73E-05
378,8	4,95E-06	0,00133	2,04E-08	2,21E-06	0,000367	0,000355	7,32E-05
374,0	3,71E-06	0,001446	2,2E-08	1,35E-06	0,000325	0,000371	9,06E-05
371,3	2,8E-06	0,001563	2,37E-08	8,31E-07	0,000287	0,000383	0,000109
366,1	1,99E-06	0,001713	2,57E-08	4,57E-07	0,000244	0,000391	0,000134
362,7	1,42E-06	0,001865	2,78E-08	2,53E-07	0,000206	0,000392	0,000159
358,0	1,02E-06	0,00202	2,99E-08	1,42E-07	0,000174	0,000388	0,000185
353,6	7,38E-07	0,002177	3,19E-08	8,03E-08	0,000147	0,00038	0,00021
349,4	5,39E-07	0,002338	3,4E-08	4,59E-08	0,000123	0,000368	0,000235
346,4	3,96E-07	0,0025	3,61E-08	2,65E-08	0,000104	0,000354	0,000258
342,7	2,93E-07	0,002665	3,82E-08	1,55E-08	8,71E-05	0,000338	0,00028
337,9	2,18E-07	0,002832	4,02E-08	9,14E-09	7,34E-05	0,000322	0,000301
334,9	1,64E-07	0,003001	4,23E-08	5,47E-09	6,19E-05	0,000305	0,00032
331,5	1,24E-07	0,00317	4,43E-08	3,32E-09	5,24E-05	0,000288	0,000337
328,2	9,51E-08	0,003341	4,64E-08	2,04E-09	4,44E-05	0,000271	0,000353
325,6	7,33E-08	0,003511	4,84E-08	1,28E-09	3,78E-05	0,000255	0,000367
321,8	5,7E-08	0,003682	5,03E-08	8,08E-10	3,23E-05	0,00024	0,000379
318,5	4,47E-08	0,003852	5,23E-08	5,2E-10	2,78E-05	0,000225	0,00039
316,2	3,53E-08	0,004021	5,42E-08	3,4E-10	2,39E-05	0,000211	0,000399
313,2	2,82E-08	0,00419	5,61E-08	2,25E-10	2,07E-05	0,000199	0,000407
311,0	2,27E-08	0,004357	5,79E-08	1,51E-10	1,8E-05	0,000187	0,000414
~	~	~	~	~	~	~	~
258,3	3,52E-10	0,008651	9,88E-08	7,25E-14	1,1E-06	4,51E-05	0,000394
254,5	2,65E-10	0,00903	1,02E-07	4,29E-14	9,05E-07	4,04E-05	0,000384
251,0	2,05E-10	0,009385	1,05E-07	2,67E-14	7,56E-07	3,64E-05	0,000374
248,0	1,62E-10	0,009718	1,08E-07	1,72E-14	6,4E-07	3,31E-05	0,000364
244,2	1,24E-10	0,010107	1,11E-07	1,05E-14	5,3E-07	2,96E-05	0,000353
241,2	9,72E-11	0,010468	1,13E-07	6,69E-15	4,46E-07	2,67E-05	0,000342
238,2	7,79E-11	0,010804	1,16E-07	4,44E-15	3,81E-07	2,43E-05	0,000331
235,0	6,12E-11	0,011177	1,19E-07	2,83E-15	3,2E-07	2,19E-05	0,000319
232,2	4,92E-11	0,011522	1,21E-07	1,89E-15	2,74E-07	1,99E-05	0,000308
229,6	4,03E-11	0,01184	1,24E-07	1,3E-15	2,37E-07	1,81E-05	0,000297
227,5	3,36E-11	0,012136	1,26E-07	9,28E-16	2,07E-07	1,67E-05	0,000287

Бояд қайд кард, ки пайвастаи комплексии димерӣ дар аввали титронидани потенсиометрӣ ҳангоми дар маҳлул барзиёд будани консентратсияи мис (II) аз 1-метил-2-меркаптоимидазол ҳосил мешавад. Баъдан бо зиёдшавии консентратсияи 1-метил-2-меркаптоимидазол дар маҳлул ҳосилшавии ин шакли комплексӣ хеле суст шуда, пайвастаҳои мономерӣ ҳосил мешаванд.



Расми 2 – Вобастагии 1-$E_{тач.}$ ва 2-$E_{наз.}$ аз логарифмаи манфии консентратсияи 1-метил-2-меркаптоимидазол ҳангоми титронидани потенсиометрӣ: а) бо назардошти ҳосилшавии пайвастаи комплексии шакли димерӣ; б) ҳангоми ба назар нагирифтани ҳосилшавии пайвастаи комплексии шакли димерӣ

Дар ҷадвали 3 қиматҳои собитаҳои умумии устувории комплексҳои мис (II) бо 1-метил-2-меркаптоимидазол, ки бо истифода аз барномаи “KEV” ҳисоб шудаанд, оварда шудааст.

Ҷадвали 3 – Қиматҳои собитаҳои умумии устувории комплексҳои мис (II) бо 1-метил-2-меркаптоимидазол дар ҳарорати 298 К (J=0,1 мол/л KCl)

T,K	$lg\beta[Cu_2L]^{2+}$,	$lg\beta_1[CuL_2]^{2+}$	$lg\beta_2[CuL_4]^{2+}$	$lg\beta_3[CuL_6]^{2+}$
298	7,83±0,02	7,62±0,025	13,36±0,017	18,43±0,04

Аз ҷадвали 3 дида мешавад, ки барои пайвастаҳои комплексии мономерӣ бо зиёдшавии шумораи молекулаҳои 1-метил-2-меркаптоимидазол дар сфераи дохила устуворӣ кам мешавад (собитаҳои зинагии устуворӣ дар назар дошта шудааст).

Байни энергияи Гиббс ва собитаҳои устувори вобастагии зерин ҷой дорад:

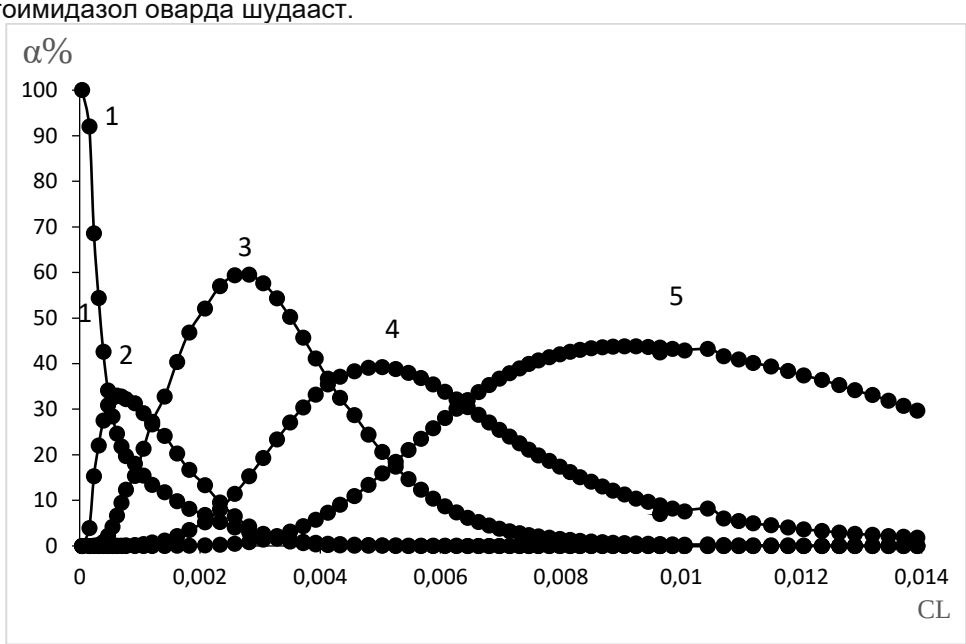
$$\Delta G=-2,3RTlgB_i .$$

Бо истифода аз муодилаи $\Delta G=-2,3RTlgB_i$ энергияи Гиббси ҳосилшавии пайвастаҳои комплекси ҳисоб карда шуд:(ҷадвали 4)

	$[Cu_2L]^{2+}$	$[Cu(L)_2]^{2+}$	$[Cu(L)_4]^{2+}$	$[Cu(L)_6]^{2+}$
ΔG кДж/мол	- 44.62	-43.42	-76.13	-105.02

Чи тавре дар ҷадвали 3 дида мешавад, энергияи Гиббс барои ҳамаи заррaҳои комплексӣ қимати манфӣ дорад ва барои заррaҳои комплексии шакли мономерӣ бо тартиби муайян кам мешавад. Қимати манфӣ гирифтани энергияи Гиббс як омили худ ба худ гузаштани реаксия мебошад.

Дар расми 3 диаграммаи тақсимшавии пайвастҳои комплексӣ вобаста ба зиёдшавии консентратсияи 1-метил-2-меркаптоимидазол оварда шудааст.



Расми 3 – Диаграммаи тақсимшавии мис ва заррaҳои комплексӣ дар системаи Cu –L –H_2O. 1-Cu; 2-$[Cu_2L]^{2+}$; 3-$[CuL_2]^{2+}$; 4-$[CuL_4]^{2+}$ва 5- $[CuL_6]^{2+}$

Аз расм дидан мумкин аст, ки бо зиёдшавии консентратсияи 1-метил-2-меркаптоимидазол дар система консентратсияи ионҳои мис бо як қонунияти муайян кам мешавад. Инчунин, мушоҳида мешавад, ки заррaҳои комплексӣ ҳудуди муайяни ҳосилшавӣ, ҷамъшавӣ ва баъдан гузаришро ба дигар шакли заррaҳои комплексӣ доранд. Масалан, заррaи комплексии таркибаш $[CuL_2]^{2+}$ ба таври максималӣ дар ҳудуди консентратсияҳои 0,0025-0,0035 мол/л–и 1-метил-2-меркаптоимидазол ҳосил мешавад, баъдан бо зиёдшавии консентратсияи 1-метил-2-меркаптоимидпзол дар маҳлул баромади ин заррaи комплексӣ кам мешавад, ки сабабаш комплексҳосилшавии зинагӣ буда, комплекси таркибаш $[CuL_2]^{2+}$ ба шакли комплексии таркибаш $[CuL_4]^{2+}$ мегузарад.

Диаграммаҳои тақсимшавӣ ҳамчун восита барои муайян кардани ҳудуди ҳосилшавии заррaҳои комплексӣ ва баромади онҳо вобаста аз консентратсия лиганди органикӣ васеъ истифода мешаванд. Агар аз диаграммаи тақсимшавӣ, ки дар расми 3 оварда шудааст, дар дилхоҳ нуқта хатти горизонталӣ гузаронем, метавонем баромади ҳар як заррачаро вобаста ба консентратсия 1-метил-2-меркаптоимидазол ҳисоб кунем. Масалан, ҳангоми ба 0,0025 мол/л баробар будани консентратсияи 1-метил-2-меркаптоимидазол ҳосилшавии заррaҳои комплексӣ бо фоиз чунин аст: $[Cu_2L]^{2+}$ -4,25%, $[CuL_2]^{2+}$-59,49%, $[CuL_4]^{2+}$-15,26% ва $[Cu(L)_6]^{2+}$-0,83%.

Хулоса

1. Бо усули потенсиометрӣ раванди комплексҳосилшавии Cu (II) бо 1-метил-2-меркаптоимидазол (L) омӯхта шуд.

2. Нишон дода шуд, ки Cu (II) бо 1-метил-2-меркаптоимидазол метавонад вобаста ба таносуби моддаҳои ба реаксия дохилшаванда пайвастаҳои таркибашон Cu_2L, CuL_2, CuL_4 ва CuL_6 –ро ҳосил кунад.

3. Коркарди натиҷаи тадқиқотҳои потенсиометрӣ бо истифода аз барномаи компютерии KEV имконият дод, ки собитаҳои устувории ҳосилшавӣ ва баромади комплексҳо муайян карда шавад: $lg\beta_1$=7,62, $lg\beta_2$= 13,36 $lg\beta_3$=18,43, $lg\beta_{(димер)}$=7,83.

Мӯқарриз: Тағоев М.М. — н.и.х., ходими пешбари илмии озмоишгоҳи коркарди комплексии ашё ва партовҳои саноатии Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АМИТ

Адабиёт

1. Ахусси Аканни Леон. Комплексные соединения меди (II), цинка (II), никеля (II), кобальта (II) и марганца (II) с L-треонином, цитозином и аденозинтрифосфорной кислотой: автореферат дис. кандидата химических наук: 02.00.01 / Рос. ун-т дружбы народов. - Москва, 1994. - 19 с.
2. Гамал Абделазиз, Хуссейн Абделрахман, Комплексные соединения рения (V) и меди(II) с 2-этил-1,3,4-тиадиазоломи 1,2,4-триазолтиолом: автореферат дис. кандидата химических наук: 02.00.01 / Гамал Абделазиз Хуссейн Абделрахман. Душанбе, 2012. - 23 с.
3. Холикова Лутфия Розыковна. Комплексные соединения меди (II) с производными 1,3,4-тиадиазола и пара-аминобензолсульфамида: автореферат дис. ... кандидата химических наук: 02.00.01. - Душанбе, 2000. - 19 с.
4. Манонов Камолиддин Абдужалилович. Комплексные соединения меди(II) с 1-метил-2-меркаптоимидазолом автореферат дис. . кандидата химических наук: 02.00.01. - Душанбе, 2020. - 25 с.
5. Аминджанов А. А. Комплексные соединения рения (V) с амидными и тиомидными лигандами: диссертация. доктора химических наук: 02.00.01 - Иваново, 1992. - 42 с
6. Содатдинова А.С., Сафармамадзода С.М., Сангов М.М., Абдурахмонов Б.Ф., Ёдалиева М.З. Комплексные соединения серебра с 1-метил-2-меркаптоимидазолом: устойчивость, термодинамические свойства, практическое приложение. Известия АН РТ. 2021.№1 (182). С. 90-99.
7. Mehkov, A.N. KEV: a free software for calculating the equilibrium composition and determining the equilibrium constant using UV-Vis and potentiometric data. / A.N. Mehkov, G.A Gamov // Talanta, 2019, Vol. 198, 200 p.
8. Назаренко В.А., Антонович В.П., Невская Е.М. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах. М.: Атомиздат, 1979. 120 с.
9. Содатдинова А.С., Сафармамадзода С.М. Устойчивость комплексов серебра с 1-метил-2-меркаптоимидазолом в водно-метанольном растворителе (статья). Химические науки. Международный научно-исследовательский центр. Казахстан-2022. 174-178.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Раҳимзода Афзалшо Ҳотам	Рахимзода Афзалшохи Хотам	Rahimzoda Afzalsho Hotam
докторанти (PhD)	докторант (PhD)	doctoral student (PhD)
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: rakhimafzal@mail ru		
TJ	RU	EN
Сафармамадзода Сафармамад Муборакшо	Сафармамадзода Сафармамад Муборакшо	Safarmamadzoda Safarmamad Muboraksho
доктори илмҳои химия, профессор, муовини ректор оид ба илм	доктор химических наук, профессор, проректор по науке	doctor of chemical sciences, professor, vice-rector for science
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: sash65@ mail.ru		
TJ	RU	EN
Сангов Максуд Махмадюсуфович	Сангов Максуд Махмадюсуфович	Sangov Maksud Makhmadousovich
ходими пешбари илмии институти илмию тадқиқотӣ	ведущий научный сотрудник научно-исследовательского института	leading scientific worker of the research institute of the
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: sangov2019@mail.ru		

УДК 620

ТАДҚИҚОТИ РАВАНДҲОИ ХӮРДАШАВИИ КАВИТАТСИОНӢ ВА СУНБОДАГӢ ҲАНГОМИ КОРКАРДИ САЙЁРАВИИ МАРКАЗШИТОБ

И. Мирзоалиев, А.И. Мирзоалиев, Т.А. Хоҷаев, М.А. Иззатуллоев

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур тадқиқоти равандҳои хурдашавии кавитатсионӣ ва сунбодагӣ омӯхта шудааст. Натиҷаи татқиқотҳо нишон медиҳанд, ки ҳубобчаи кавитатсионӣ метавонад дар муддати 0,002 с то диаметри 6 мм афзоиш ёбад ва дар муддати 0,001 с тамоман нобуд шавад. Ҳангоми кафидани ҳубобчаҳо дар ҳачми хурд, зарбаи ниҳоят калон ба амал меояд, ки ҳангоми раванди коркард, онҳо аз сатҳи маводи коркардашаванда, заррачаҳои онро канда мегиранд. Инчунин, таҳти таъсири кавитатсия хурдашавии сунбодагӣ низ меафзояд.

Калидвожаҳо: *кавитатсия, гидромеханика, коркарди сайёравии марказшитоб, инерсияи Кориолис.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КАВИТАЦИОННОГО И АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА В ПРОЦЕССАХ ПЛАНЕТАРНОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ

И. Мирзоалиев, А.И. Мирзоалиев, Т.А. Ходжаев, М.А. Иззатуллоев

В данной статье исследованы процессы кавитационного и абразивного изнашивания. Исследования показали, что при кавитационной обработке пузырьки за 0,002 с могут вырасти, до диаметра 6 мм и полностью исчезнуть за 0,001 с. При схлопывании (взрывании) кавитационных пузырьков в микрообъеме массы обрабатываемого материала развиваются большие ударные нагрузки, которые отрывают мельчайшие частицы с поверхности обрабатываемого материала. Под влиянием кавитации также возрастает абразивный износ обрабатываемого материала.

Ключевые слова: *кавитация, гидромеханика, центробежно-планетарная обработка, инерция Кориолиса.*

RESEARCH OF CAVITATION IN THE PROCESSES OF ABRASIVE MINING, DURING PLANETARY (ROTATION) CENTRIFUGAL OPERATION

I. Mirzoaliev, A.I. Mirzoaliev, T.A. Khodjaev, M.A. Izzatulloev

This is article, the research of cavitation and abrasive wear processes is studied. Research results show that a cavitation bubble can grow to a diameter of 6 mm in 0.002 s and disappear completely in 0.001 s. During the bursting of bubbles in small size, an extremely large shock occurs, which during the processing process, they tear off the particles from the surface to be processed, the material to be processed. Also, under the influence of cavitation, abrasive wear also increases.

Keywords: *cavitation, hydromechanics, centrifugal planetary, Coriolis inertia.*

Кавитатсия ҳодисаи пайдоиши холигиҳо дар ҷараёни моеъи ҳаракаткунанда, дар шакли ҳубобчаҳо, раҳҳо ё халтаҳои пур аз бухори ҳаво, ё ин ки газҳои дар моеъ ҳалшуда мебошад [1-5]. Ҳодисаи мазкур ҳангоми фишурдашавии ҷараёни моеъ ки бо суръати баланд ҳаракат мекунад, ба вуҷуд меояд. Фишор дар ин ҳолат метавонад то фишоре, ки дар ҳарорати додашуда ба фишори бухоршавӣ мувофиқат мекунад, паст шавад, ки сабаби дар дохили моеъ ба вуҷуд омадани холигӣ мегардад, дар инҳолат холигӣ бо буғ ва газҳои аз моеъ озодшуда пур мешавад. Ҳубобчаҳои ҳосилшударо ҳубобчаҳои кавитатсионӣ меноманд. Андозаи ҳубобчаҳои буғию газӣ даҳяки миллиметрро ташкил дода, онҳо ҳамроҳ бо ҷараёни моеъ ҳаракат мекунанд. Ҳангоми ба минтақаҳои фишори баланд дохил шудан, буғ конденсатсия мешавад, газҳои дар ҳубобча буда дар моеъ ҳал мешаванд ва ин раванд бо суръати ниҳоят баланд, таркиши ҳубобчаҳоро ба амал меорад. Дар натиҷа дар ҳаҷми хурди ҳубобча зарбае пайдо мешавад, ки ба вайрорншавии сатҳӣ масолеҳи коркардашаванда оварда мерасонад.

Тадқиқотҳо нишон доданд, ки ҳубобчаи кавитатсионӣ метавонад дар муддати 0,002с то диаметри 6 мм афзоиш ёбад ва дар муддати 0,001 с тамоман нобуд шавад. Ҳолатҳои муайяни кавитатсионӣ маълум аст ки он дар масоҳати 1 см^2, зиёда аз 30 миллион ҳубобчаҳои кавитатсиониро дар муддати 1 сония ба вуҷуд оварда, ва аз байн мебарад

Дар амал кавитатсия дар қубурҳо, системаҳои гидравликӣ ва ҷараёнҳое, ки дар атрофи паррачархи насосҳои марказгурез ва паррачархи турбинаҳои гидравликӣ, паррачархи киштиҳои баҳрӣ мушоҳида мешавад. Пайдоиши кавитатсия боиси ларзиш, садо ва такондиҳӣ мегардад, ки ин ба заиф шудани пайвандҳо, шикастани муруватҳо, хӯрдашавии рахпечҳо, корношоямии фриксионии пайвандҳо, вайроншавии зичкунандаҳо, фарсудашавӣ ва шикастани ҷузъҳо оварда мерасонад, ки сабаби асосии корношоямии ҷузъҳо шуда метавонад.

Кавитатсияро тавассути тарҳрезии системаи гидромеханикӣ кам кардан мумкин аст. Барои ин лозим аст, ки дар ҳама нуқтаҳои моеъ фишор аз фишори бухоршавӣ паст нашавад, бинобар ин, фишори моеъ бояд мӯътадил нигоҳ дошта шавад. Ғайр аз ин, ҳангоми тарҳрезии системаи ҷузъҳо, истифодаи маводҳои ба кавитатсия тобовар метавонад таъсири манфии онро кам гардонад. Устувории кавитатсионии мавод аз таркиб

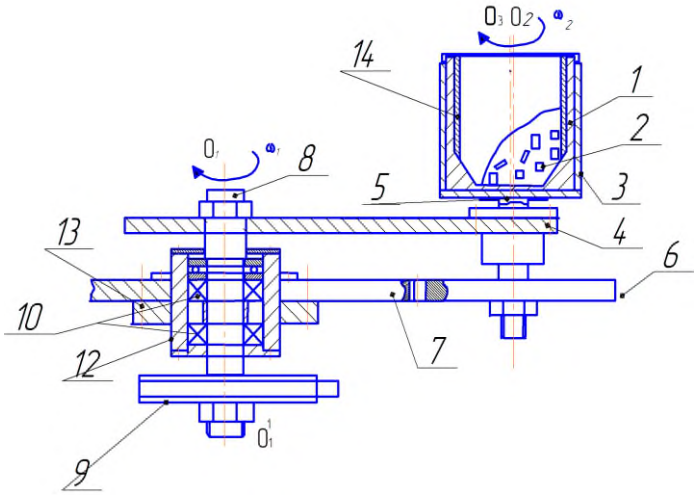
ва сохтори он муайян карда мешавад. Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки зиёд намудани таркиби карбон дар пӯлоди карбондор мустаҳкамии онро ба маротиб зиёд менамояд.

Аммо, ҳангоми аз 0,8% зиёд намудани карбон дар таркиби ҷузъи аз пулоди карбондор истеҳсолшуда устувории он кам мешавад. Перлитҳои варақагӣ нисбат ба перлитҳои донагӣ тобовартаранд, бинобар ин, истифодаи перлити варақагӣ дар таркиби ҷузъ манфиатовар мебошад.

Ба таркиби пӯлод ворид кардани никел ва хром мустаҳкамии онро тавассути кам кардани миқдори феррит ва баланд бардоштани дараҷаи парокандагӣ, зиёд мекунад. Истифодаи графити курашакл, дар ин ҳолат ба мақсад мувофиқ мебошад. Чӯянҳои ба кавитатсия бештар устувор - ин чӯянҳои камҷавҳардодашуда, ки дар таркибашон, 1% Ni, 0,3% Mo доранд, графитҳои сфероидӣ мебошанд. Ғайр аз ин, обутобдиҳии ҳароратӣ, сементатсия, мустаҳкам намудани сатҳи болоии ҷузъ устувории онро ба кавитатсия зиёд мекунад.

Ҳангоми коркарди сангҳои ранга, хурдашавии кавитатсиониро бо мақсади баланд бардоштани маҳсулнокии коркард истифода намудан мумкин аст.

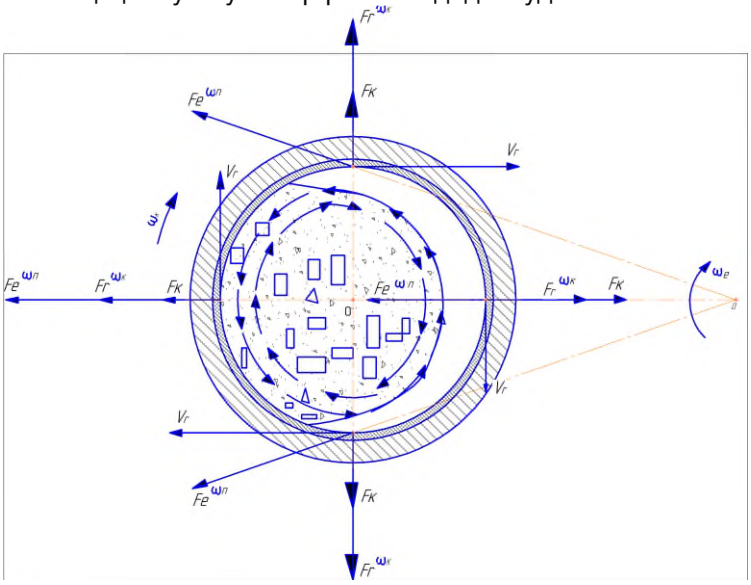
Бо ин мақсад, сохти дастгоҳи сайёравии марказгурезро дида мебароем.



Расми 1 – Сохти дастгоҳи марказгурези сайёравӣ барои коркарди сангҳои рангаи табиӣ

Тарзи кори дастгоҳ

Дар расми 2 таъсири қувваҳо (қувваи марказгурез аз даврзании контейнер дар атрофи меҳвари О, қувваи нисбии марказгурез аз даврзании зарф дар атрофи меҳвари O_1 ва таъсири қувваи инерсияи Кориолис) ба нуқтаи материалӣ, дар минтақаҳои гуногуни зарф нишон дода шудааст.

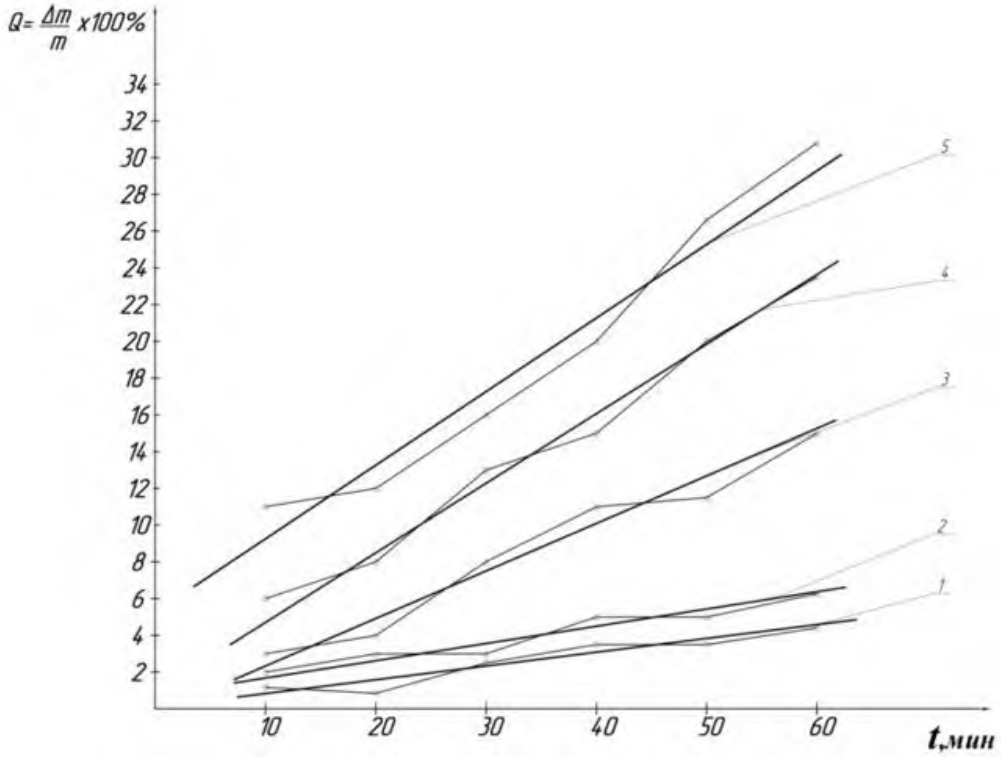


Расми 2 – Нақшаи таъсири қувваҳо, ҳангоми коркарди марказгурези сайёравӣ

Дар расми 2 раванди гардиши массаи сангҳо ва омехтаи обу масолеҳи сунбодагӣ дар зарф ҷойгир карда шуда, дар ҳамвории амудӣ бо таъсири қувваҳо, нишон дода шудааст. Даврзанӣ дар зери таъсири қувваҳои мазкур ба беҳтар шудани омехташавии сангҳои ба зарф воридшуда оварда мерасонад, ки ин сифати сатҳҳои коркардшавандаро беҳтар мекунад. Дар зарфи 1 (расми 1) суспензияи масолеҳи сунбодагӣ ва ҷузъҳои 2-ро ҷойгир мекунанд. Зарфи 1 ҷудошаванда буда, дар стакани 3 ҷойгир карда мешавад, ва тавассути стакан планшайбаи 4, ки дар атрофи меҳвари худ давр мезанад, гузошта мешавад. Дар қисми поёни меҳвари 5, чархи дандонадори 6 шинонда шудааст, ки он бо чархи дандонадори марказии 7 пайваст мешавад. Планшайбаи 4 дар наварди 8 нишастааст ва ба воситаи он давр мезанад. Даврзанӣ ба наварди 8 аз муҳаррики барқӣ (дар расми 1 нишон дода нашудааст) ба воситаи таҳвили тасмагӣ ва шкиви 9 интиқол дода мешавад. Наварди 8 ба воситаи ду адад подшипникҳои радиалии 10 ва подшипники такякунандаи 11, ки ба втулкаи 12 шинонда шудаанд, давр мезанад. Втулкаи 12 ва чархи дандонадори 7, дар корпус (бадана) мустаҳкам шинонида шудааст.

Тавассути конструксияи мазкур таносуби басомади гардиши планшайбаи 4 (гардиши интиқолшаванда) ва зарфҳоро (гардиши нисбӣ) тағйир додан мумкин аст. Втулкаи бо маводи сунбодагӣ рӯйпушшудаи 14, дар қисми силиндрии зарфи 1 ҷойгир карда мешавад, ки ба хурдашавии иловагии мавод аз таъсири ба ҳам соишхӯрии сатҳи намунаҳо мусоидат намуда, раванди коркардро шадидтар мекунад.

Ҳангоми давр задани планшайба, зарфҳои 1 ҳаракати планетариро (ҳаракати сайёра монандро) иҷро мекунанад - яъне даврзанӣ дар як вақт ҳам дар атрофи меҳвари $O_1O_1^1$ ва $O_2O_2^1$, иҷро мегардад. Меҳвари $O_2O_2^1$ нисбат ба меҳвари симметрияи зарфҳо ба таври эксентрикӣ ҷойгир аст. Бинобар ин, бо ёрии он ба маводҳои кокардшаванда дар самти радиалӣ ҳаракати ларзишнок дода мешавад. Холигии дохили зарф шакли конусӣ дорад ва он, ба гардиши маводи корӣ, дар ҳамвории амудӣ мусоидат менамояд. Суръати баланди ҳаракати сунбода ва намунаҳо дар муҳити обдор (зарфи 1), барои ба амал омадани хурдашавии кавитатсионӣ мусоидат менамояд.



Расми 3 – Графики маҳсулнокии галтовкакуннонии сайёравии марказшитоб, вобаста аз шароити гуногуни, гузаронидани таҷриба.

1 – галтовкаи хушк бе истфодаи сунбода; 2 – галтовкаи хушк, бо иловаи сунбода ба миқдорӣ 5г/кг; 3 – галтовка дар муҳити обдор, бе истифодаи сунбода; 4 – галтовка дар муҳити обдор, бо иловаи сунбода ба миқдори 5г/кг; 5 – Галтовка дар муҳити обдор бо иловаи сунбода ба миқдори 20г/кг. нишон дода шудааст.

Ғайр аз ин, аз ҳисоби тағйир додани суръати даврзании планшайба ва чархзании худи зарф, раванди хурдашавии кавитатсия пурзӯр шуда суръати коркард то 2 маротиба меафзояд. Азбаски ҳангоми коркарди сайёравии марказшитоб, коркард дар муҳити сунбодагӣ ба амал меояд, муайян кардани таъсири сунбода низ ба раванди хурдашавӣ муҳим аст. Хурдашавии сунбодагии ҷузъҳо, дар натиҷаи соиш хӯрдани онҳо бо маводҳои сунбодагӣ ба амал меоянд. Маводҳои сунбодагӣ ба намуди хока, ки аз доначоҳои андозаашон хурд таркиб ёфтаанд иборат мебошанд. Донаҳои сунбодагӣ метавонанд пайдоиши табиӣ ва сунъӣ дошта бошанд. Маводҳои сунъӣ бо таркиби мухталифи кимиёвӣ, ки мустаҳкамӣ ва тобоварии баланд нисбат ба гармӣ ва

фарсудашавиро доранд, бештар маъмуланд. Донаҳои сунбодагӣ метавонанд аз кристаллҳои яклухт ё пораҳои кристаллҳо иборат бошанд. Вобаста аз таркиби кимиёвӣ, онҳо ранг, шаклҳои геометрӣ ва хусусиятҳои физикию химиявии гуногуни ба худ хосро доранд. Таркиби заррачаҳои сунбодагӣ аз карбиди волфрам, карбиди силитсий, ва оксиди алюминий иборат мебошанд. Таҷрибаҳо нишон медиҳанд, ки ҳангоми коркарди сайёравии марказшитоб, дар шароитҳои гуногуни коркард, маҳсулнокии коркард ба куллӣ аз ҳамдигар фарқият доранд.

Дар расми 3 графики маҳсулнокии коркард, ҳангоми коркарди сайёравии марказшитоб, ки аз шароити гузаронидани таҷриба вобастаги дорад, оварда шудааст.

Чи хеле, ки аз натиҷаҳои таҷриба бармеояд, ҳангоми коркард дар муҳити обдор ва бе истифодаи сунбода назар ба коркард бо истифодаи сунбодаи хушк, маҳсулнокӣ тақрибан 3 маротиба зиёдтар мешавад. Ҳангоми коркард дар муҳити обдор бо иловаи сунбода ба миқдори 5г/кг маҳсулнокии коркард зиёда аз 5 маротиба меафзояд. Аз натиҷаи таҷриба, чунин хулоса баровардан мумкин аст, ки ҳангоми коркарди сайёравии марказшитоб, ҳиссаи хурдашавии кавитасионӣ меафзояд.

Хулоса

Таҷриба нишон медиҳад, ки ба афзудани хурдашавии сатҳи коркард, илова намудани сунбода, ҳангоми коркард дар муҳити обдор мусоидат менамояд ва ин аз он сабаб ба амал меояд, ки заррачаҳои сунбода ҳамчун маркази пайдоиши ҳубобчаҳои кавитатсионӣ хизмат намуда, раванди хурдашавии кавитатсиониро метезонанд.

Муқарриз: Иброҳимов Х.И. — д.и.т., профессор, декани факултети "Технология ва дизайн" -и Донишгоҳи технологии Тоҷикистон

Адабиёт

1. Беляев, З.С. Механическое притирание поверхностей. / З.С. Беляев // «Вестник машиностроения» №8, 1952.- 18с.
2. Лурье, Г.Б. Основы технологии абразивной доводочно-притирочной обработки. / Г.Б. Лурье В.В. Масловский - М., "Высшая школа", 1973.
3. Шкляр В.Н. Планирование эксперимента и обработка результатов. / В.Н. Шкляр - М:Машгиз, 2010.
4. Мирзоалиев А.И. Исследование процесса обработки самоцветных камней в галтовочном барабане с горизонтальной осью вращения /А.И. Мирзоалиев, Т.А. Ходжаев // Вестник Иркутского государственного технического университета № 11, т.20, 2016. - С.53-60
5. Мирзоалиев А.И. Исследование центробежно-планетарной галтовки самоцветных камней /А.И, Мирзоалиев, Т.А.Ходжаев // Национальная Академия наук Кыргызской Республики Институт машиноведения Инженерный центр «Шакирт» т.3, 2016. - С. 48-53

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Мирзоалиев Исроил	Мирзоалиев Исроил	Mirzoaliev Isroil
Н.и.т., дотсент	к.т.н. доцент	Ph.D., associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени акажемика М.С. Осими	Tajik technical University by name of academic M.S. Osimy
E-mail: tmmsii@mail.ru		
TJ	RU	EN
Мирзоалиев Азим Исроилович	Мирзоалиев Азим Исроилович	Mirzoaliev Azim Isroilovich
Н.и.т., дотсент	к.т.н. доцент	Candidate of Technical Sciences., associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени акажемика М.С. Осими	Tajik technical University by name of academic M.S. Osimy
TJ	RU	EN
Хоҷаев Тоҷиддин Авгонович	Ходжаев Тоджиддин Авгонович	Khojaev Tojiddin Avgonovich
Н.и.т., дотсент	к.т.н. доцент	Candidate of Technical Sciences., associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени акажемика М.С. Осими	Tajik technical University by name of academic M.S. Osimy
TJ	RU	EN
Иззатуллоев Муборизи Акрамхонович	Иззатуллоев Муборизи Акрамхонович	Izzatulloev Muboriz Akramkhonovich
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени акажемика М.С. Осими	Tajik technical University by name of academic M.S. Osimy

ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

УДК: 676.256

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ

Д.Ч. Равшанов[1], Х.А. Бабаханова[2], О.Д. Хакназарова[2]

[1]Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

[2]Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

В работе представлена информация об использовании карбоната кальция в качества основного сырья при производстве бумаги. Карбонат кальция обладает высокой степенью дисперсности, развитыми поверхностными свойствами, большей чистотой, белизной и относительно низкой стоимостью. Использование в бумажной промышленности карбоната кальция в качестве основного сырья позволит сократить потребление дефицитной древесной массы и оптических отбеливателей, а также решить экологические проблемы.

Ключевые слова: *бумага, сырье, производство, карбонат кальция, экологичность.*

БАРТАРИҲОИ ИСТИФОДАИ КАРБОНАТИ КАЛСИЙ ХАМЧУН АШЁИ ХОМИ АСОСӢ ДАР ИСТЕҲСОЛИ КОҒАЗ

Д.Ч. Равшанов, Х. А. Бобохонова, О.Д. Хакназарова

Дар мақола оид ба истифодаи карбонати калсиий ҳамчун ашьёи хоми асосӣ дар истеҳсоли коғаз маълумот дода мешавад. Карбонати калсий дорои дарачаи баланди дисперсия, хосиятҳои рӯизаминӣ, тозагии бештар, сафедӣ ва арзиши нисбатан паст аст. Ба сифати ашьёи хоми асосӣ дар саноати истеҳсоли коғаз истифода бурдани карбонати калсий сарфи целлюлозаи камёби чубӯ тахта ва равшанкунандаи оптикиро кам карда, проблемаҳои экологиро низ ҳал мекунад.

Калидвожаҳо: *коғаз, ашёи хом, истеҳсолот, карбонати калсий, тозагии экологӣ.*

PROSPECTIVENESS OF APPLICATION OF CALCIUM CARBONATE AS THE MAIN RAW MATERIAL IN PAPER PRODUCTION

D.Ch. Ravshanov, Kh.A. Babakhanova, O.D. Khaknazarova

The work provides information on the use of calcium carbonate as the main raw material in paper production. Calcium carbonate has a high degree of dispersion, developed surface properties, greater purity, whiteness and relatively low cost. The use of calcium carbonate in the paper industry will reduce the consumption of scarce wood pulp and optical brighteners, and will also solve environmental problems.

Keywords: *paper, raw materials, production, calcium carbonate, environmental friendliness.*

Мировое развитие полиграфической отрасли характеризуется потреблением бумаги и картона, что составляет по данным статистики 500 млн. тонн в год. Использование при традиционной технологии производства бумаги дефицитной древесной целлюлозы (20 деревьев для одной тонны), отбеливающих веществ, 38000 кДж электроэнергии и 73 кубометра воды ставит перед целлюлозно-бумажной отраслью ряд важных проблем. В связи с этим разработка ресурсосберегающей технологии производства бумаги и картона из альтернативного сырья без уничтожения леса и без вреда окружающей среде востребована и актуальна как с экономической, так и с экологической стороны [1].

В качестве альтернативного сырья широко используются вторичные волокнистые материалы из макулатуры, из отходов сельскохозяйственных, хлопкоочистительных, текстильных производств, что позволяет частично заменить и снизить потребление дефицитного первичного сырья [2-5]. Кроме того, при производстве бумаги из вторичного сырья потребляется около 23 000 кДж электроэнергии и загрязняется около 41 кубометра воды.

Для модификации свойств бумаги при производстве помимо основного сырья используются различного рода и состава вспомогательные компоненты. Например, для увеличения оптической яркости в бумажную массу добавляют отбеливающие вещества: синие и фиолетовые красители [6]. По стандарту бумага для печати должна иметь оптическую яркость свыше 72%.

Эффективность добавления наполнителей в композицию бумаги объясняется тем, что повышаются белизна, непрозрачность, гладкость, впитывающая способность, а также уменьшается расход волокнистых полуфабрикатов. Среди натуральных наполнителей – каолин, тальк, мел, гипс и бентонит, а среди искусственных – бранфикс, диоксид титана, химически осажденный мел, сульфид цинка и силикаты [7,8]. Широко используемый каолин имеет средний размер частиц около 2 мкм, белизну 70-90% и показатель преломления 1,56. Новые наполнители из сульфата бария имеют дисперсность 0,4-0,6 мкм, белизну 96% и показатель преломления 1,64 и хорошо удерживаются в бумаге [9].

Увеличение доли минеральных наполнителей в бумажной массе характеризуется сокращением использования более дорогих целлюлозных волокон [10]. С 1970-х годов каолин стали заменять легко диспергируемым природным карбонатом кальция со средним размером частиц 0,6-0,8 мкм, белизной 80-95% и коэффициентом преломления 1,48-1,68.

Карбонат кальция представляет собой твердые белые кристаллы без запаха и вкуса, нерастворимые в воде и этаноле, но легкорастворимые в кислотах с выделением углекислого газа [11]. В природе он встречается в виде белого минерала арагонита или кальцита в известняке, ракушечнике, меле и мраморе [12]. Карбонат кальция отличается от других наполнителей более высокой степенью дисперсности, развитыми поверхностными свойствами, повышенным содержанием основного вещества, большей чистотой и белизной [13].

Использование в качестве наполнителя мрамора, модифицированного катионным крахмалом, объясняется значениями белизны (табл.1).

Таблица 1 – Оптические свойства карбонатных наполнителей [14]

Вид наполнителя	Оптические свойства			
	Белизна (яркость), %	Координаты цвета CIE Lab		
		L	a	b
Мел	80,05	94,04	1,59	4,59
Модифицированный мел	79,64	93,55	1,69	4,79
Мраморный кальцит	94,56	98,29	0,38	0,74
Модифицированный мраморный кальцит	93,12	96,79	0,55	0,94

На основании проведенных научных исследований выявлено, что добавление определенного количества наполнителя необходимо, так как при повышенном расходе карбоната кальция увеличивается поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании по Коббу, т.е. ухудшается гидрофобность бумаги. Автором работы [15] разработаны рекомендации по производству бумаги для печати с достаточными поверхностными и прочностными свойствами.

По результатам научных исследований выявлена перспективность применения меловальных паст при соотношении каолина и мела (40 ± 5) : (60 ± 5) масс.%, так как это увеличивает белизну с 79,6 до 80,2% [16].

Впервые для покрытия бумаги Иоганн Алоис Зенефельдер использовал композицию из известняка, гипса, масла и оксидов металлов, в результате получен патент на изобретение «каменной» бумаги. С 1990-х годах компании Longmeng Technology Corporation (Тайвань), Limex TBM (Япония), Magic Whiteboard (Великобритания) и Network Marketing (Австралия) начали использовать карбонат кальция в качестве основного сырья при производстве бумаги [17-18].

Применение экологически чистого карбоната кальция в бумажной отрасли перспективно, так как позволит сократить потребление дефицитной древесной массы и оптических отбеливателей, а также решить экологические проблемы [19].

Преимущество этой технологии заключается в том, что альтернативное сырье доступно и в достаточном количестве, а также энергопотребление снижается в шесть раз. Если при производстве бумаги из древесины расходуется 20,4 Гигаджоуля, то при производстве бумаги из карбоната кальция расходуется 3,1 Гигаджоуля, отсюда следует, что производство бумаги из карбоната кальция является экономично приемлемым.

В Иране налажено производство прочной и долговечной бумаги из 80% карбоната кальция, извлекаемого из мраморных отходов, и 20% полиэтилена высокой плотности. Эта бумага используется для изготовления канцелярских товаров, листовок, плакатов, книг, журналов, пакетов, упаковки, обоев, клея, тарелок и контейнеров. Мощность комбината 3000 т/год [20].

Рисунок 1 – Сырье и компоненты для производства бумаги из карбоната кальция

В Республике Узбекистан с 2020 г. узбекско-китайское предприятие Fergana Stone Paper, мощностью 9000 т/год, производит бумагу из карбоната кальция и нетоксичных полимеров (рис.2) [21].

Проведены комплексные исследования физико-механических, оптических, геометрических и печатных свойств бумаги на основе карбоната кальция, полученных по разработанной технологической схеме (рис.2) [22,23].

Рисунок 2 – Общая технологическая схема получения бумаги из карбоната кальция

Результаты исследований показали, что бумага обладает низкими прочностными характеристиками, но высокими деформационными свойствами, а также равномерным и однородным просветом, что гарантирует высокую графическую точность воспроизведения при офсетной и флексографской печатей. Кроме того, бумаги влагопрочны, так как впитывающая способность менее 15 г/м^2 и их можно использовать для широкого спектра способов печати. Поверхностная активность бумаги позволяет закреплять краски с энергией не более 58 мН/м, что является достаточно широким диапазоном. Было установлено, что бумаги из карбоната кальция с белизной 90% обеспечит цветопередачу без искажений при двусторонней печати многоцветных изображений, так как светопропускание составляет более 92% [24].

В работе [25] изучена технология производства бумаги на основе известняка Шаргунского и Байсунского месторождений (Узбекистан). Образцы бумаги оказались устойчивы к влаге, маслу, деформации и не требовали защиты от моли и других вредителей.

Заключение

По данным научных исследований можно заключить, что производство бумаги из карбоната кальция перспективно и актуально, так как полностью исключается использование дефицитных древесных полуфабрикатов, уменьшается расход электроэнергии и не загрязняется вода. К преимуществам этой ресурсосберегающей технологии относится и то, что не используются химикаты для отбеливания. При уничтожении бумаги в атмосферу не выбрасываются токсичные вещества, так как полиэтилен (смола HDPE) разлагается менее чем за год под воздействием солнечного света, а карбонат кальция возвращается в свою первоначальную твердую форму, что естественно для окружающей среды. Производство бумаги из карбоната кальция требует комплексного изучения взаимосвязи между структурой бумаги и качеством современных технологий печати. Эта задача является актуальной для ученых и для производителей Республики Таджикистан.

Рецензент: Бобиев О.Г. — к.т.н., доцент кафедры технология текстильных изделий, Таджикского технологического университета

Литература

1. [Электронный ресурс]. – URL: http://econet.ru/

2. Пузырев С.С. Ресурсосберегающая технология переработки макулатуры // ЛесПромИнформ, 2006. №3 (34). С. 104-109.

3. Барбаш В.А., Трембус И.В. Органосольвентный способ получения волокнистых полуфабрикатов из отходов сельского хозяйства // Экотехнологии и ресурсосбережение, Москва. 2002. №6. С. 29-32.

4. Кадыров Б.Г., Ташпулатов Ю.Т., Примкулов М.Т. Технология хлопкового линта, целлюлозы и бумаги. – Ташкент: Фан, 2005, 289 с.

5. Babahanova X.A. Papier mit Faserabfaellen aus der Textilindustrie. Textile problems,Tashkent. 2003. no 4. pp. 34-35.

6. Мишурина О.А., Корниенко Н.Д., Жерякова К.В., Муллина Э.Р. Анализ влияния химического состава кроющих суспензий на качество покрытия при производстве мелованных видов бумаг и картона // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015. № 5, С. 26–28.

7. Шахова И.И., Андреева О.В., Косоногова М.А. Исследование оптических и поверхностных свойств печатных бумаг // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2012. № 6. С.99– 103.

8. Пирогов А.В., Юрьев А.В., Шпигун О.А. Определение оптических отбеливателей (белофоров) в составе писчей бумаги методом капиллярного электрофореза // Журнал аналитической химии. 2006. Т. 61. № 2. С. 184– 191.

9. Новиков А.О., Темрук В.И., Хмызов И.А., Горжанов В.В., Соловьева Т.В. Влияние модификации наполнителя на его распределение в бумаге, содержащей хлопковую целлюлозу // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. 2015. № 3. С. 116–119.

10. Пенкин А.А. Применение карбонатных наполнителей, модифицированных катионным крахмалом в технологии бумаги для печати // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2009. Т. 1. № 4. С.290–293.

11. Чубис П.А. Применение высокосмоляных гидродисперсий модифицированной канифоли при наполнении бумаги // Успехи в химии и химической технологии. 2007. Т. 21. № 12 (80). С. 112–115.

12. Пенкин А.А., Темрук В.И., Снопкова Т.А., Селиверстова Т.С. Использование природных карбонатных наполнителей в производстве печатных видов бумаги // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4. Химия и технология органических веществ. 2008. Т. 1. № 4. С. 300–304.

13. Комиссаренков А.А., Парамонова Л.Л., Пругло Г.Ф. Синтез и применение цинк-каолинита в композиции бумажной массы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 6. С. 114–119.

14. M. Lex et al. Fullstoffkaoline im wandel der papierherstellung // Wochenblatt fur Papierfabrikation. – 2003. Vol. 131, № 5. 233–237.

15. П.М. Кейзер Системы фиксации наполнителей в производстве бумаги для печати// Дис. ... канд. техн. наук: 2004. С-Петербург. 120 с.

16. Попеня Т.В., Драпеза А.А., Черная Н.В., Жолнерович Н.В. Влияние композиционного состава меловальной пасты на свойства полиграфических видов бумаги // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2011. Т. 1. № 4. С. 152–154.

17. [[Электронный ресурс]. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/3020213. №112 от 25.06.2016, стр. 7.

18. [Электронный ресурс]. – URL: https://vc.ru/trade/412725-kamennaya-bumaga-v-rossii-tehnologiya-budushchego.].

19. С.С.Пузырев Развитие технологии для производства бумаги и картона https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1526

20. [Электронный ресурс]. – URL: https://iran.ru/news/economics/105530/V_Irane_nachali_vypuskat_kamennuyu_bumagu.

21. [Электронный ресурс]. – URL: https://yuz.uz/ru/news/v-uzbekistane-nachali-vpuskat-bumagu-iz-kamnya

22. Бабаханова Х.А., Исмаилов И.И., Садриддинов А.А., Саидова Д.Ш. Структурно-механические свойства бесцеллюлозной бумаги // Проблемы полиграфии и полиграфического дела. 2021. №2. С. 4-7.

23. Бабаханова Х.А., Исмаилов И.И., Абдуназаров М.М., Бабаханова М.А., Саидова Д.Ш. Сорбционные свойства экологически чистой бумаги с кальцитом кальция и смолой HDPE // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т.7. №4. С.59-63. DOI - 10.32864/polymmattech.2021-7-4-59-63с.

24. Исмаилов И.И. Печатно-технические свойства бумаги из отходов местного сырья: Автореф….докт. философии (PhD) по техническим наукам. Наманган. НТИ. 2023. 52 с.

25. Тураев Х.Х., Бозоров Ё.Ш., Эшмуродов Х.Э., Эшкараев С.Ч. Получение каменной бумаги на основе известняка Шаргунского и Байсунского месторождений// Universum: Химия и биология. 2021. №5(83). DOI - 10.32743/UniChem.2021.83.5.11620

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Равшанов Дилшод Чоршанбиевич	Равшанов Дилшод Чоршанбиевич	Ravshanov Dilshod Chorshanbievich
Н.и.т., дотсент	к.т.н. доцент	Candidate of Technical Sciences., associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени акажемика М.С. Осими	Tajik technical University by name of academic M.S. Osimy
E-mail: 234-56-57@mail.ru		
TJ	RU	EN
Бабаханова Халима Абишевна	Бабаханова Халима Абишевна	Babakhanova Halima Abishevna
Д.и.т., профессор	д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Институти бофандагӣ ва саноати сабуки Тошкент	Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности	Tashkent Institute of Textile and Light Industry
E-mail: halima300@inbox.ru		
TJ	RU	EN
Хакназарова Ойдин Дилмуродовна	Хакназарова Ойдин Дилмуродовна	Khaknazarova Oydin Dilmurodovna
PhD дотсент	PhD доцент	PhD Associate Professor
Институти бофандагӣ ва саноати сабуки Тошкент	Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности	Tashkent Institute of Textile and Light Industry
E-mail: halima300@inbox.ru		

УДК 66.01.02.06:661.48.862:621.357.13

ПРОИЗВОДСТВО ОПЫТНОЙ ПАРТИИ ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ ИЗ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРИДА НАТРИЯ

С.М. Шокаримов[1], Н.А. Наимов[2], Р.С. Рафиев[1], Дж.Р. Рузиев[1]

Таджикский национальный университет[1]

Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская алюминиевая компания» [2]

В статье представлены результаты опытно-промышленных испытаний технологии получения фторида алюминия и криолита из побочного продукта производства плавиковой кислоты – смеси кремнефтористоводородной (КФВК) и плавиковой кислот с использованием гидроксида алюминия и хлорида натрия. В результате проведения опытно-промышленных исследований получено и подтверждено физико-химическими анализами более 265 кг фторида алюминия, 40 кг криолита и около 8 кг аморфного оксида кремния. Проведенные физико-химические анализы подтверждают технологию получения фторида алюминия и криолита из смеси КФВК и плавиковой кислот с использованием гидроксида алюминия и хлорида натрия. Выпускаемая продукция успешно прошла испытания в алюминиевом производстве ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания».

Ключевые слова: *кремнефтористоводородная кислота, фторид алюминия, криолит, плавиковая кислота, гидроксид алюминия, фтористые соли, хлорид натрия.*

ИСТЕҲСОЛИ МИҚДОРИ ТАҶРИБАВИИ НАМАКҲОИ ФТОРДОР АЗ МАҲСУЛОТИ ИЛОВАГИИ ИСТЕҲСОЛИ КИСЛОТАИ ФТОРИД БО ИСТИФОДА АЗ ХЛОРИДИ НАТРИЙ

С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, Ҷ.Р. Рузиев

Дар мақола натиҷаи санҷиши таҷрибавию саноатии технологияи истеҳсоли фториди алюминий ва криолит аз маҳсулоти иловагии истеҳсоли кислотаи фторид – омехтаи кислотаи гидрогенсилитсийфторид (КГСФ) ва кислотаи фторид бо истифода аз гидроксиди алюминий ва хлориди натрий оварда шудааст.Дар натиҷаи гузаронидани таҳқиқотҳои таҷрибавию саноатӣ ба миқдори зиёда аз 265 кг фториди алюминий, 40 кг криолит ва тақрибан 8 кг оксиди силитсийи аморфӣ истеҳсол карда шуда, бо таҳлилҳои физикавию химиявӣ тасдиқ гардиданд. Таҳлилҳои физикавию химиявии гузаронидашуда технологияи ҳосил намудани фториди алюминий ва криолитро аз омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо истифода аз гидроксиди алюминий ва хлориди натрий тасдиқ менамояд. Маҳсулотҳои истеҳсолшуда бо муваффақият дар саноати истеҳсоли алюминийи корхонаи ҶСК «Ширкати Алюминийи Тоҷик» аз санҷиш гузаронида шуданд.

Калимаҳои калидӣ: *кислотаи гидрогенсилитсийфторид, фториди алюминий, криолит, кислотаи фторид, гидроксиди алюминий, намакҳои фтордор, хлориди натрий.*

PRODUCTION OF A PILOT BATCH OF FLUORIDE SALTS FROM A BY-PRODUCT OF PLOVIC ACID PRODUCTION USING SODIUM CHLORIDE

S.M. Shokarimov, N.A. Naimov, R.S. Rafiev, J.R. Ruziev

In article presents the results of pilot tests of the technology for the production of aluminium fluoride and cryolite from the by-product of hydrofluoric acid production – a mixture of fluorosilicic (FSA) and hydrofluoric acids using aluminium hydroxide and sodium chloride.as a result of experimental and industrial research, more than 265 kg of aluminium fluoride, 40 kg of cryolite and about 8 kg of amorphous silicon oxide were produced and confirmed by physicochemical analyses. Physical and chemical analyses confirm the technology of aluminium fluoride and cryolite production from the mixture of FSA and hydrofluoric acid using aluminium hydroxide and sodium chloride. The manufactured products have been successfully tested in the aluminium production of JSC «Tajik Aluminium Company».

Keywords: *fluorosilicic acid, aluminium fluoride, cryolite, hydrofluoric acid, aluminium hydroxide, fluoride salts, sodium chloride.*

Введение

Фтористые соли необходимы для приготовления расплава электролита – среды для растворения глинозёма и электролиза алюминия [1-4]. Основную часть электролита для проведения электролиза составляет криолит (а также фтористый алюминий, фтористый натрий и др.) [5-8].

Природные месторождения криолита в промышленных масштабах существуют только в Гренландии, поэтому для нужд алюминиевой промышленности криолит и фторид алюминия искусственно получают из флюорита (CaF_2) [3-13].

Приоритетным стратегическим направлением и четвертой национальной целью была объявлена индустриализация страны для повышения уровня промышленного производства, улучшения социально-экономического положения населения и создания новых рабочих мест в Республике Таджикистан.

В связи с этим была разработана программа внедрения инновационных и обновления существующих технологий по улучшению социально – экономических и экологических показателей. Переработка вторичного продукта производства плавиковой кислоты – смеси КФВК и плавиковой кислот с получением необходимых

фторсодержащих солей и других неорганических фторидов, несомненно, отвечает поставленным задачам индустриализации страны.

Материалы и методы исследования

Были проведены работы по комплексной переработке смеси КФВК и плавиковой кислот с гидроксидом алюминия и хлоридом натрия для производства опытной партии фтористых солей согласно разработанной технологической схеме (рис. 1).

Стоит отметить, что переработка смеси КФВК и плавиковой кислот проводилась в Совместном Технопарке ГУ «Научно-исследовательского института металлургии» ОАО «ТАЛКО» и ООО «ТАЛКО Кемикал» по разработанной технологической схеме в две стадии (рис. 1).

На первой стадии осуществляют процесс разложения смеси кислот с использованием гидроксида алюминия с целью получения раствора фторида алюминия, фторалюминиевой кислоты и аморфного оксида кремния. После отделения аморфного оксида кремния и кристаллизации фторида алюминия проводят вторую стадию с использованием хлорида натрия или гидроксида натрия для получения криолита.

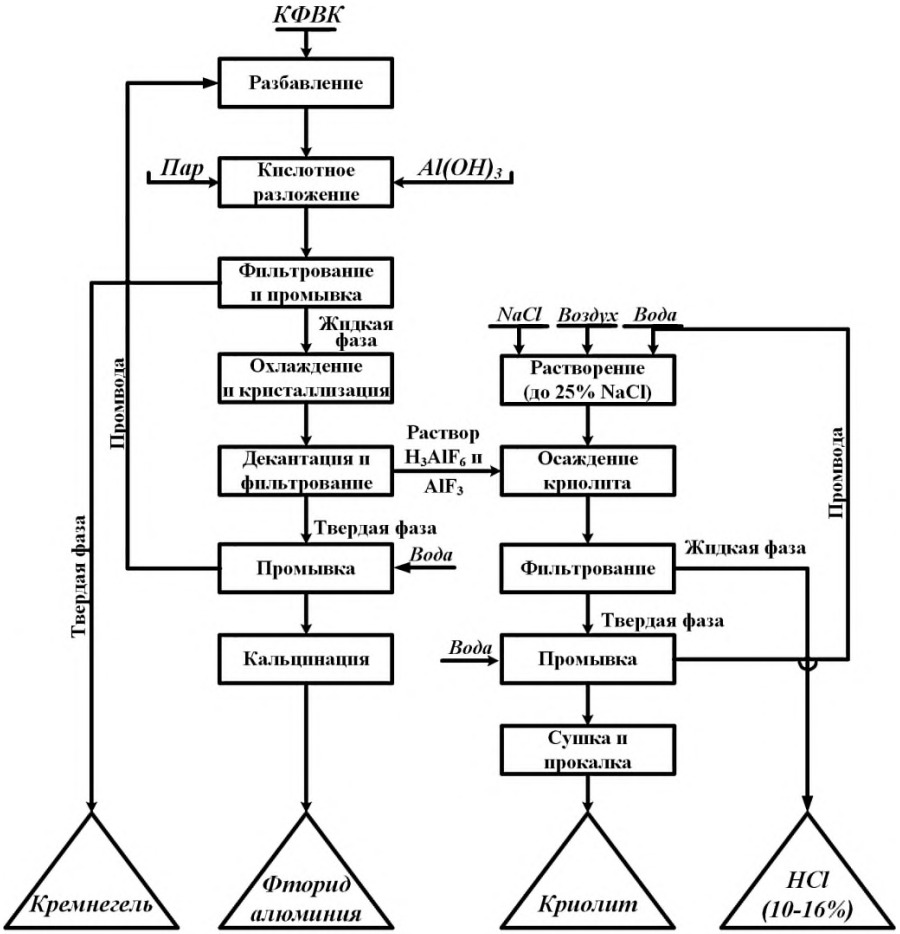


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема комплексной переработки смеси КФВК и плавиковой кислот

Обсуждение

Фторид алюминия получают в результате взаимодействия КФВК с гидроксидом алюминия по реакции 1:

$$H_2SiF_6 + 2Al(OH)_3 \rightarrow 2AlF_3 + SiO_2 + 4H_2O \quad (1)$$

В то же время при добавлении гидроксида алюминия происходит процесс взаимодействия с плавиковой кислотой из состава смеси, концентрация которой составляет около 14%. При этом избыточное количество гидроксида алюминия реагирует с плавиковой кислотой и образует фторалюминиевую кислоту по реакции 2:

$$Al(OH)_3 + 6HF \rightarrow H_3[AlF_6] + 3H_2O \quad (2)$$

Для получения криолита после отделения осадка аморфного оксида кремния и кристаллов фторида алюминия оставшийся раствор фторалюминиевой кислоты обрабатывают гидроксидом натрия (реакция 3):

$$H_3[AlF_6] + 3NaOH \rightarrow Na_3AlF_6 + 3H_2O \quad (3)$$

В данной работе также рассмотрен вариант получения криолита из фторалюминиевой кислоты с использованием хлорида натрия (реакция 4):

$$H_3[AlF_6] + 3NaCl \rightarrow Na_3AlF_6 + 3HCl \quad (4)$$

Как видно из реакции 4, кроме криолита, образуется соляная кислота, концентрация которой составляет примерно 10-15%. Эту кислоту можно использовать для очистки от отложений котельных труб и трубопроводов горячего водоснабжения, или можно нейтрализовать известняком для получения хлорида кальция.

Результаты

Таким образом, согласно технологической схеме (рис. 1.) была проведена опытно-промышленная отработка комплексной переработки (утилизации) смеси кислот с использованием оборудования Совместного Технопарка. Стоит отметить, что смесь кислот состояла из 25% КФВК и 14% плавиковой кислоты. Согласно стехиометрическим расчетам 370 кг смеси кислот разбавили 630 кг воды, что довело концентрацию КФВК до 15%.

К разбавленной кислоте добавили 260 кг гидроксида алюминия. После проведения процесса разложения в течение 30 минут полученный кремнегель отфильтровали и промыли водой. После охлаждения раствора фторида алюминия его кристаллизация происходит непрерывно естественным путем, и он отделяется от раствора фторалюминиевой кислоты фильтрованием. К отделенной фторалюминиевой кислоте добавляют расчетное количество насыщенного раствора хлорида натрия и осаждают криолит. Всего было получено 265 кг (без учета мертвой зоны реактора) опытной партии фторида алюминия, 40 кг криолита и 8 кг аморфного оксида кремния. По результатам опытных испытаний был утвержден акт от 05.03.2019.

После осаждения и фильтрования опытный партии фторида алюминия был проведен химический анализ полученного продукта. Определено, что в составе осадка количество AlF_3составляет более 98%.

Для подтверждения химического анализа был проведен рентгенофазовый анализ (РФА)полученного осадка фторида алюминия на современном приборе «Дрон-2», результат которого представлен на рисунке 2.

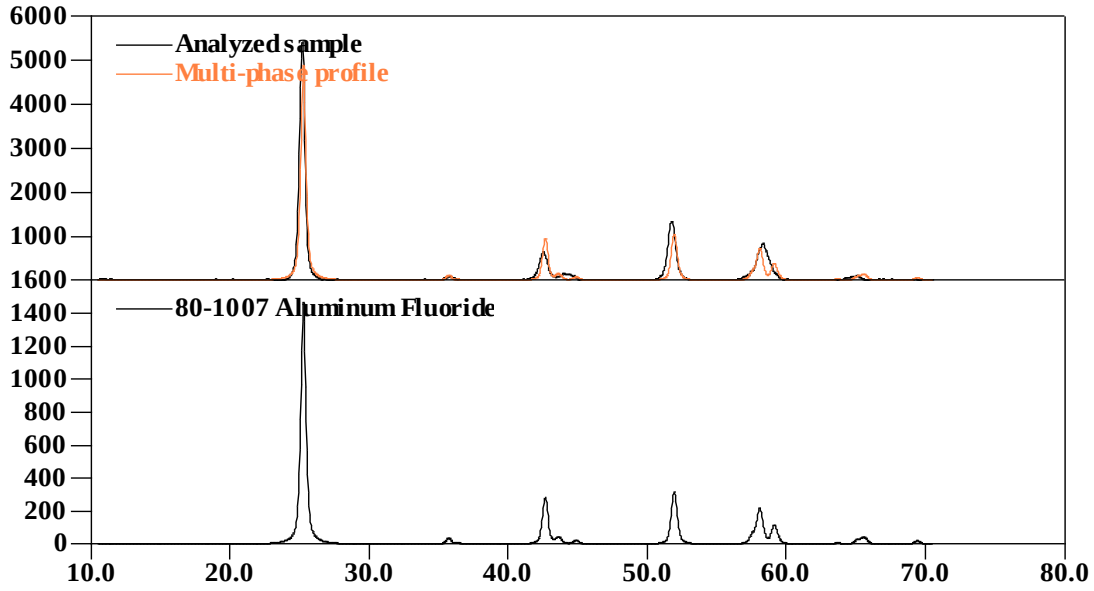


Рисунок 2 – Рентгенограмма прокаленного фторида алюминия, полученного при реакции смеси КФВК и плавиковой кислот с гидроксидом алюминия

На верхнем графике рисунка 2 представлена рентгенограмма испытуемого фторида алюминия, а на нижнем графике – рентгенограмма стандартного образца, полученные пики свидетельствуют о соответствии испытуемого образца фторида алюминия стандартному.

Криолит, полученный с использованием хлорида натрия, был подвергнут химическому анализу и имеет в составе следующие компоненты (масс. %): 32,5 Na, 12,8 Al, 54,3 F.

Кроме того, был проведен РФА полученного криолита, результат которого представлен на рис. 3.

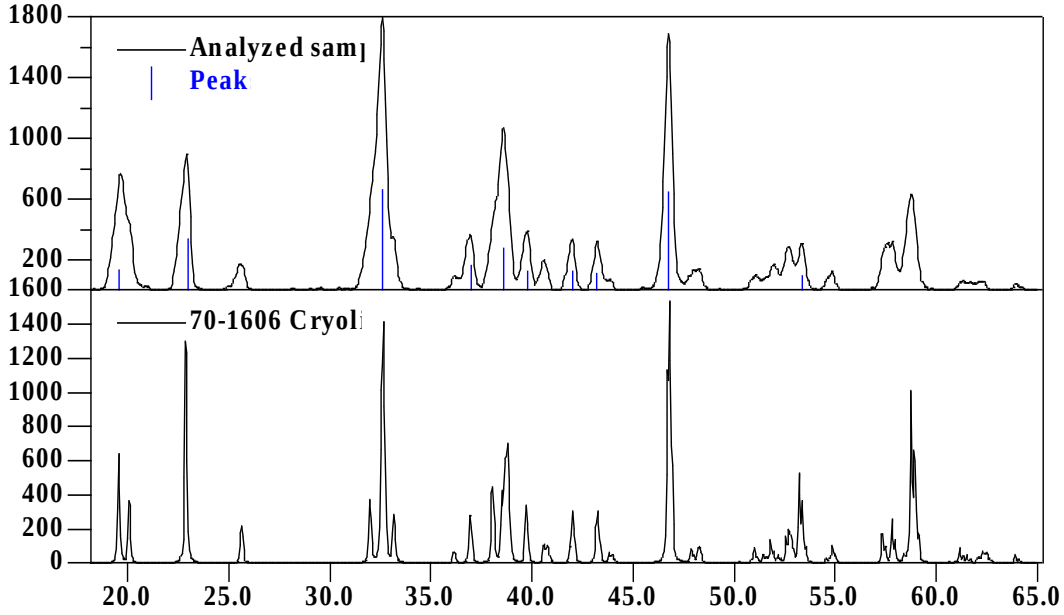


Рисунок 3 – Рентгенограмма криолита, полученного из фторалюминиевой кислоты и хлорида натрия

Как видно из рентгенограммы (рисунок 3), практически все найденные пики соответствуют стандартному минералу криолит.

Проведенные РФА и химический анализы подтверждают технологию получения фторида алюминия и криолита из смеси КФВК и плавиковой кислоты с использованием гидроксида алюминия и хлорида натрия.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных анализов подтверждают, что основные физико-химические свойства исследуемых фторида алюминия и криолита аналогичны свойствам импортной продукции, а также продукции, производимой в ООО «ТАЛКО Кемикал», и соответствуют нормативным требованиям (ГОСТ 19181-78 для фторида алюминия и ГОСТ 10561-80 для криолита). Себестоимость произведенной продукции за счет использования побочного продукта (КФВК) и местного сырья (хлорид натрия) ниже себестоимости импортной продукции, произведенной традиционными методами. Опытные количества фторида алюминия и криолита, полученные из смеси КФВК и плавиковой кислот, успешно прошли испытания на электролизном производстве ОАО «ТАЛКО», а аморфный оксид кремния может быть использован как сырьё в фармацевтической промышленности, для производства жидкого стекла, сорбентов и др.

Рецензент: Муродиён А.Ш. — д.т.н., учёный секретарь ГУ НИИ «Металлургия» ОАО «ТАЛКО».

Литература

1. Gunasegaram D.R., Molenaar D.Towards improved energy efficiency in the electrical connections of Hall–Héroult cells through Finite Element Analysis (FEA) modeling.Journal of Cleaner Production,**2015,***93*, pp. 174-192. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.065

2. Khramov A.P.,Shurov N.I.Modern views on the composition of anionic oxy-fluoride complexes of aluminium and their rearrangement during the electrolysis of cryolite-alumina melts. Russian Metallurgy (Metally),2014, (8), pp. 581-592. https://doi.org/10.1134/S0036029514080059

3. Васюнина Н.В. Васюнина И.П. Поляков П.В. Михалев Ю.Г. Растворимость алюминия в криолитоглиноземных электролитах. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. Том. 52, № 4, с. 360-363, 2011, https://doi.org/10.3103/S1067821211040122

4. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот). ч. 2, Изд. 4-е. испр. Л. Изд. «Химия», 1974, 768с.

5. Bingbing Wan, Wenfang Li, Wanting Sun, Fangfang Liu, Bin Chen, Shiyao Xu, Weiping Chen, Aihua Yi. Synthesis of Cryolite (Na_3AlF_6) from Secondary Aluminum Dross Generated in the Aluminum Recycling Process. Materials, 2020, 13, 3871, pp. 1-19. DOI:https://doi.org/10.3390/ma13173871

6. Chen, J.Y.; Lin, C.W.; Lin, P.H.; Li, C.W.; Liang, Y.M.; Liu, J.C.; Chen, S.S. Fluoride recovery from spent fluoride etching solution through crystallization of Na_3AlF_6 (synthetic cryolite). Sep. Purif. Technol, 2014, 137, pp. 53-58.

7. Сафиев Х., Наимов Н.А., Рузиев Д.Р., Ахмадшоев И.Ш., Джуракулов А.М., Муродиён А., Немчинова Н.В. Физико-химические аспекты технологии получения криолита, используемого для производства алюминия, гидрохимическим способом с использованием поваренной соли.iPolytech Journal, 2022, 26 (2), с. 348-356. https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-2-348-356

8. С. Ю. Гузь, Производство криолита, фтористого алюминия и фтористого натрия, М.: Металлургия, 1964, 238 с.

9. Г. Л. Пустильник, Г. И. Вольфсон, А. С. Галков, Производство фтористых солей для алюминиевой промышленности за рубежом, М.: Металлургия, 1976, 186 с.

10. В. А. Зайцев, А. А. Новиков, В. И. Родин, Производство фтористых соединений при переработке фосфорного сырья, М. Химия, 1982, 246с.

11. Э. Г. Раков, Химия и технология неорганических фторидов, М.: Изд-во МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1990, 162 с.

12. Проблема переработки кремнефтористоводородной кислоты на базовые фторсодержащие продукты / В.В.Туманов, С.В.Островский, А.Г.Старостин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. - 2017. - № 1. - С. 138-148.

13. Исследование и разработка малоотходных производств минеральных солей [Текст]. Вып. 57 / УНИХИМ; отв. ред. К. В. Ткачев. - Свердловск: УНИхим, 1984. - 144 с.: ил. - 0.90 р.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Шокаримов Сирочиддин Мирзоеви	Шокаримов Сироджиддин Мирзоевич	Shokarimov Sirojiddin Mirzoevich
Докторанти PhD-и кафедраи химияи татбиқӣ	Докторант PhD кафедры прикладной химии	PhD student at the Department of Applied Chemistry
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: sirojshokarimov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Наимов Носир Абдураҳмонович	Наимов Носир Абдурахмонович	Naimov Nosir Abdurahmonovich
номзади илмҳои техникӣ, директор	кандидат технических наук, директор	Candidate of Technical Sciences (PhD), Director
МД «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия»-иҶСК «Ширкати Алюминийи Тоҷик»	ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»	State Institution «Scientific Research Institute of Metallurgy» JSC «TajikAluminum Company»
E-mail: nosser2016@outlook.com		
TJ	RU	EN
Рафиев Рустам Сафаралиевич	Рафиев Рустам Сафаралиевич	Rafiev Rustam Safaralievich
номзади илмҳои химия, мудири кафедраи химияи татбиқӣ	кандидат химических наук, заведующий кафедрой прикладной химии	Candidate of Chemical Sciences, Head of the Department of Applied Chemistry
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: rustam.rafiev@mail.ru		
TJ	RU	EN
Рузиев Ҷура Раҳимназарович	Рузиев Джура Рахимназарович	RuzievJuraRahimnazarovich
д.и.т., проф., профессори кафедраи химияи татбиқӣ	д.т.н., проф., профессор кафедры прикладной химии	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Applied Chemistry Department
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: gyra71@mail.ru		

УДК. 678.026.33

RESEARCH ON THE COMPOSITION OF OFFSET PRINTING PAINTS

Kh.A. Babakhanova, D.I. Abdirakhmanova, Z.K. Galimova

Tashkent Institute of Textile and Light Industry

The method of FTIR spectroscopy for objective control and identification of the composition of metallised paints for offset printing is applied. Alluminium and coloured pigments, powders and powders as well as metallised papers are used to give metallic effect. Currently, the cheapest way to give a metallic effect is metallised paints. The main component of the binder of printing inks is rosin from pine oleoresin. In this paper the composition and properties of metallised inks based on rosin from cherry tree resin are investigated in order to reduce the percentage of imported component and expand the range of metallised inks.

Keywords: *IR spectroscopy, metallised paper, ink composition, cherry tree resin rosin, optical density.*

ТАҲҚИҚИ ТАРКИБИ РАНГ БАРОИ ЧОПИ ОФСЕТӢ

Х.А. Бабаханова, Д.И. Абдирахманова, З.К. Галимова

Барои назорати объективӣ ва муайян кардани таркиби рангҳои металлӣ барои чопи офсетӣ усули спектроскопияи IR-Fourier истифода шудааст. Барои додани таъсири металлӣ пигментҳои алюминий ва ранга инчунин коғазҳои металлӣ истифода мешаванд. Имрӯз роҳи арзонтарини ба даст овардани эффекти металлӣ бо рангҳои металлӣ мебошад. Ҷузъи асосии пайвастакунандаи рангҳои чопӣ канифали қатрони санавбар мебошад. Дар ин кор таркиб ва хосиятҳои рангҳои металлизатсияшуда дар асоси канифал аз қатрони дарахти гелос бо мақсади кам кардани фоизи ҷузъҳои воридотӣ ва васеъ кардани навъҳои рангҳои металлӣ баррасӣ карда мешаванд.

Вожаҳои калидӣ: *спектроскопияи ИС, коғази металлӣ, таркиби ранг, канифони дарахти гелос, зичии оптикӣ.*

ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА КРАСКИ ДЛЯ ОФСЕТНОЙ ПЕЧАТИ

Х.А. Бабаханова, Д.И. Абдирахманова, З.К. Галимова

Применен метод ИК-Фурье спектроскопии для объективного контроля и идентификации состава металлизированной краски для офсетной печати. Для придания металлического эффекта применяют аллюминиевые и цветные пигменты, пудры и порошки, а также металлизированные бумаги. На сегодняшний день наиболее дешевым способом для придания металлического эффекта являются металлизированные краски. Основным компонентом связующего печатных красок является канифоль из сосновой живицы. В работе исследованы состав и свойства металлизированной краски на основе канифоли из смолы черешневого дерева с целью уменьшения процента импортной составляющей и расширения номенклатуры металлизированных красок.

Ключевые слова: *ИК-спектроскопия, металлизированная бумага, состав краски, канифоль из смолы черешневого дерева, оптическая плотность.*

Introduction

Modern printing methods and corresponding printing materials are used to give special and protective effects to labelling and packaging products. Efficient and cost-effective methods include the production of products using decorative metallised papers printed with gravure inks with aluminium and coloured transparent pigments. Often pure aluminium foil obtained by spraying metallic powder onto the surface is used as the printing material [1]. Three main methods are used to produce metallised paper: vacuum metallisation, lamination and transfer metallisation [2]. Often used "vacuum" metallised papers, obtained as a result of the technological process by deposition of aluminium vapour on the surface of pre-lacquered paper, contribute to the imparting of decorative and protective properties [3]. However, the complexity and multi-stage technological processes are their disadvantages, as they directly affect the labour intensity and cost of production. An alternative and the cheapest way is the production using matte or shiny metallised printing inks that successfully imitate noble metals and do not require special operations and additional settings of the printing machine in preparation for the print run. The metallic effect of the print has always given printed products a special charm and attractiveness [4]. In addition, the use of modern offset metallised vegetable oil inks allow high-quality printing without adding alcohol to the moistening solution. Minimal supply of moisturising solution contributes to faster drying of prints and obtaining the best metallic gloss effect [5-6].

Metallised inks in various shades, from classic gold and silver to more unusual shades such as copper or bronze, are used in the production of labels and packaging products for cosmetics, perfumes, beverages and other food products.

The basis of metallised paints are aluminium powders, powders and pastes that give a beautiful metallic effect and protect them from moisture, heat and light [7, 8]. The vegetable oils used as binders (linseed oil, tung oil, dehydrated castor oil, tall oil, safflower oil, soya oil, etc.) are responsible for the bonding of pigments, which determines the printing properties of the inks (rolling, thin layer application, transfer from surface to surface, fixation on paper) [9]. Modified linseed oil, which belongs to the drying group, is often used for the preparation of sheetfed offset inks [10-11]. Sunflower oil, soya oil, cotton oil are semi-drying and castor oil is non-drying [12-13]. Depending on the properties of vegetable oils, the surface activity of the ink changes, i.e. the nature of interaction with the surfaces to be printed, the behaviour

of the ink in the printing process and its ability to be fixed on the print [14-15]. It follows that in order to ensure stable print quality under specific production conditions, it is necessary to select and use ink correctly, which is quite difficult.

Figure.1 – Printing with metallised inks

The composition of metallised inks based on mixed pentaerythritol esters of rosin-maleic adduct and rosin with addition of bronze powders for printing on coated papers has been developed, thus sufficient speed of drying and fixing, gloss on the surface of prints has been provided [16]. In addition, in the composition of the ink introduced esters of low alcohol and organic acid to increase the percentage of transfer of ink from the form to the prints. For inks based on rosin-maleic resin esterified with pentaerythritol, metal powder is proposed as a colouring pigment added just before printing the circulation. As can be seen, in the different composition of metallised inks, a greater percentage is made up of resins with a high content of rosin.

Experimental results

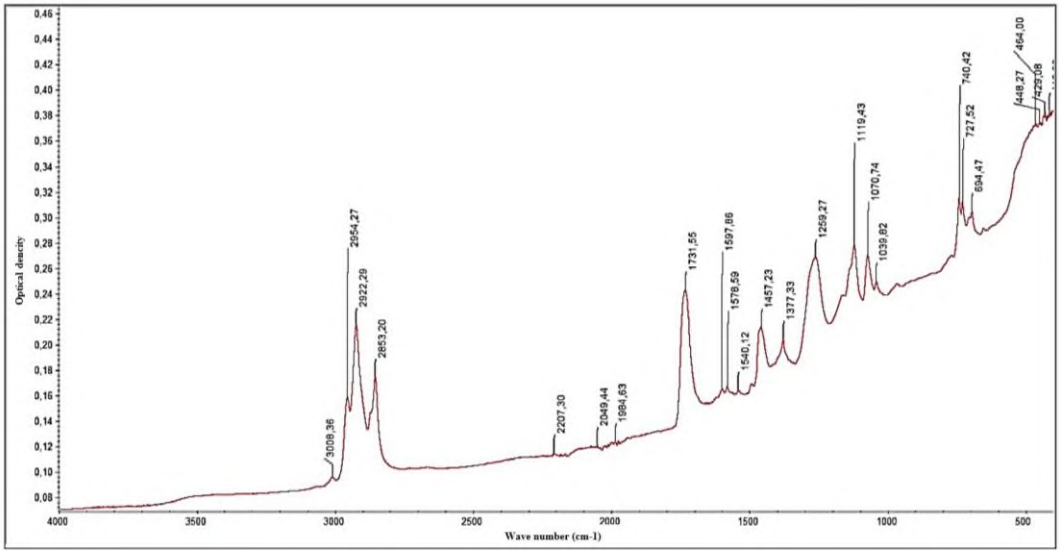
The NICOLET iS50 FTIR spectrometer used in this work is a compact and versatile instrument for research at a high "research-grade" level. The advantage is the limitless analytical potential up to the integration with other ATR, Raman and NIR methods, e.g. the Nicolet iS50 FT-Raman FTIR spectrometer allows the analysis of polymers and additives in raw form up to the finished product. The integrated diamond crystal device of the versatile and compact infrared spectrometer from Thermo Scientific allows spectra to be recorded in the near, mid and far infrared ranges down to 100 cm-1. The absorption of radiation is described by the Bouguer-Lambert-Bera law, which defines the attenuation of a parallel monochromatic beam of light as it propagates in an absorbing medium. The spectrum is plotted as a function of transmittance (T - transmittance, %) or optical density (D - optical density) as a function of wavelength, frequency or wave number.

The object of the study is metallised paint, which contains cherry tree resin in a mixture of linseed and soybean oil, microcalcite and aluminium powder are used to improve the colour, and a siccative (alkyd varnish) is added for quick drying. Chinese-made ink is taken for comparison.

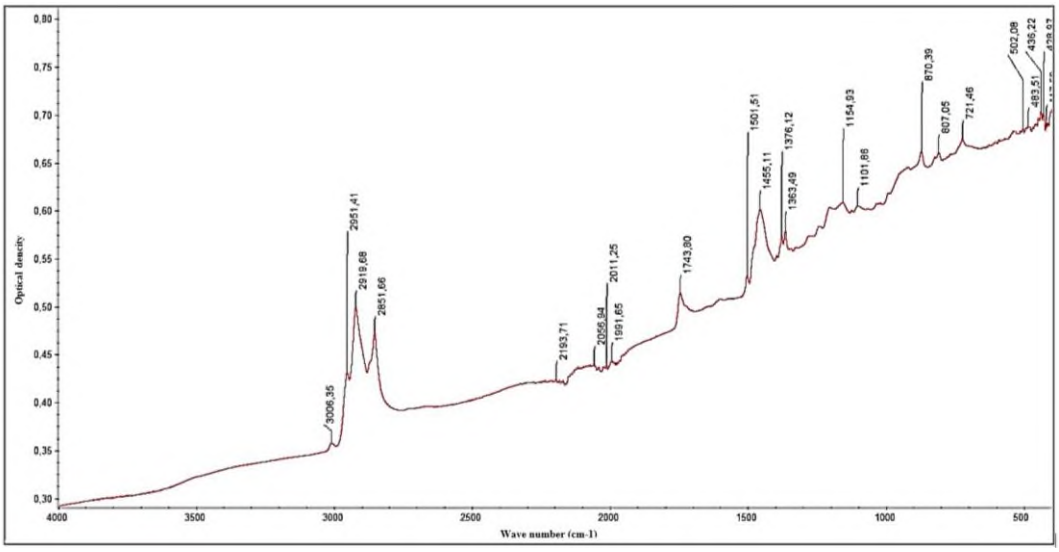
To test the quality of printing, test impressions (dies) with metallised inks were made on the IGT CB 100-E Zhongshan Nuobang colour equipment. The intensity and stability of the inks were determined from the impressions.

The IR spectra of the samples were analysed and are shown in Figure 2. The IR spectra were corrected using the correction algorithm of the NVPO attachment included in the OMNIC software package. Comparison of IR spectra of metallised paint from cherry tree resin (Fig. 2, a) and finished paint of Chinese production taken for comparison (Fig. 2, b) shows that their chemical composition is similar.

The characteristic absorption bands of the C=O bond of the cyclic anhydride group with a maximum at 1731 (1501) and 2207 (2193) cm-1 are present in the compared spectra. In addition, both spectra have bands at 2853 and 2954 cm-1, which are responsible for the symmetric and asymmetric valence vibrations of the C-H bonds of the methylene and methyl groups of the phenanthrene skeleton of the resin acids of rosin; 1731 cm-1 is the characteristic band of valence vibrations of the C=O group in the carboxylic group of UNOH for unsaturated acids; 1457, 1377, 1363 cm-1 - a group of absorption bands characterising deformation (flat scissor) vibrations of C-H-bonds of methylene and methyl groups of phenanthrene skeleton of resin acids of rosin; 1259 cm-1 - valence vibrations of C-O-bond in carboxylic group. As follows from the analysis of the results of spectra processing by search base, qualitative and partially quantitative composition coincide in both samples. Based on the considered experimental data, which include IR spectra of cherry tree resin paint (Fig.2.a) and Chinese-made paint (Fig.2.b) it can be stated that the composition of the paints is identical.



(a)



(b)

Figure 2 – Infrared spectra of the metallised cherry wood resin paint (a) and the Chinese-made paint taken for comparison (b)

Paint intensity was evaluated by optical density values determined using a portable spectrodensitometer ET 120 HD in reflected light. According to the results of measurements presented in the table, the intensity was found to be identical.

Table – Printing properties of inks

Indicators	Paints	
	taken for comparison (China)	from alternative raw materials
Drying time at 200 C, hour	2-3	2-2,5
Optical density, Δ	0,40-0,45	0,43-0,48

In the printing process, the characteristic of paint stability is the time of its drying on a non-absorbent surface. Stability of metallised paints were evaluated according to the standard method of GOST 6591, based on rolling a metal ball over a thin layer of printing ink, applied to a non-absorbent surface. Table shows that the paint made from alternative raw materials has a shorter drying time, which is one of the necessary conditions for offset printing.

Conclusion

The results obtained with the help of IR spectroscopy method have confirmed the prospectivity of this method in the study of paint composition, allowed to quickly and qualitatively determine the chemical composition. Comparative analysis of infrared spectra of metallised paint made of cherry tree resin and Chinese paints showed their identical

composition. The use of cherry tree resin in the production of printing inks will partially solve the raw material problem and will serve the development of the printing industry.

Reviewer: Ganiev I.N. — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAST

References

1. Lyubavina I.V., Zarubina A.N. et al. (2016) Lacquer compositions in the production of metallised paper // Forestry Bulletin. №6. - P.102-106.
2. Kolodkin, S.V. Patent RU 2481953. Method of production of metallised label paper / S.V. Kolodkin, A.A. Petrov - cl. B31D1/02. Published 20.05.2013.
3. Grankin A.Yu., Zarubina A.N., Savitsky A.S., Shevlyakov A.A. Composite materials from waste metallised paper on thermoplastic binder // Forestry Bulletin, 2017. T. 21. № 4. P. 83-88. © Bauman Moscow State Technical University, 2017.
4. Nosova N. (2008) Metallised inks for offset printing // Compuart no. 10. [Electronic resource] - Mode of access: https://compuart.ru/article/19722.
5. Karaseva, G.V.; Karasev, I.V. (2018) Technologies of polygraphy (in Russian) // Electronic textbook. FGBOU VO. P. 126-139.
6. Kasyanova E.L. (2012) Basic types of printing: textbook. - Novosibirsk: SGGA. 228p.
7. Gopienko V. G. (2012). Metallic powders of aluminium, magnesium, titanium and silicon. Consumer properties and applications / [et al]; ed. by Chl.-Cor. RAS, Prof. A. I. Rudskiy. - SPb.: Publishing house of Polytechnic University.
8. Powders of non-ferrous metals (1997)// Reference edition; ed. by S. S. Naboychenko. S. Naboychenko. - M. : Metallurgy, P.542.
9. Naumova V.A., Eldred R. (2005) What a polygraphist should know about inks // Moscow Print Media Centre. P. 188-194.
10. Raskin A.N., Romeikov I.V., Biryukova N.D., Muratov Y.A., Efremova A.N. (1989) Technology of printing processes // Moscow "Book". P. 94-96.
11. Piskarev, V.V.; Viktorova, E.A. (2014) Modern alkyd paints, their properties, composition, use in design and range of application // Vestnik of Kazan Technological University. P. 89-91.
12. Nechiporenko, N.A.; Sheludko, S.A. (2011) Dependence of the offset inks fixation on the technological factors when printing on the metallised substrates (in Russian) // Text of scientific article in the specialty "Other technologies". P. 71-74.
13. Yudin, P.E.; Petrov, S.S.; Alexandrov, E.V.; Akulinin, A.A. (2013) Prospects of using the FT-IR spectroscopy for the identification of paint and varnish coatings // Territoria neftegaz. №3
14. Efimova, A.I.; Zaitsev, V.B.; Boldyrev, N.Yu.; Koshkarev, P.K. (2008) Infrared FTIR spectrometry: textbook. M.
15. Babakhanova, H.A.; Sadriddinov, A.A.; Abdunazarov, M.M.; Babakhanova, M.A.; Gromyko, I.G. (2022) Application of the infrared spectroscopy methods in the study of the paper gluing compositions (in Russian) // Scientific and Technical Bulletin of information technologies, mechanics and optics. Vol. 22. No. 6. P. 1048-1054
16. Schulze-HagenestD., Drager U., Tyagi D. (2006) Preparation of a toner for reproducing a metallic hue and the toner. US Patent No. 7326507 B2.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Бабаханова Халима Абишевна	Бабаханова Халима Абишевна	Babakhanova Halima Abishevna
Д.и.т., профессор	д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Институти бофандагӣ ва саноати сабуки Тошкент	Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности	Tashkent Institute of Textile and Light Industry
E-mail: halima300@inbox.ru		
TJ	RU	EN
Абдирахманова Доно Икрамовна	Абдирахманова Доно Икрамовна	Abdiraxmanova Dono Ikramovna
ассистент	ассистент	applicant
Институти бофандагӣ ва саноати сабуки Тошкент	Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности	Tashkent Institute of Textile and Light Industry
E-mail: donoabdiraxmanova@mail.ru		
TJ	RU	EN
Галимова Зулфия Камиловна	Галимова Зулфия Камиловна	Galimova Zulfiya Kamilovna
н.и.т	к.т.н	PhD
Институти бофандагӣ ва саноати сабуки Тошкент	Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности	Tashkent Institute of Textile and Light Industry

УДК 544.431:66.01:661.48:691.277

КИНЕТИКАИ ТАҶЗИЯИ ГИДРОКСИДИ АЛЮМИНИЙ ДАР ОМЕХТАИ КИСЛОТАҲОИ ГИДРОГЕНСИЛИТСИЙФТОРИД ВА ФТОРИД

С.М. Шокаримов[1], Н.А. Наимов[2], Р.С. Рафиев[1], Ҷ.Р. Рузиев[1]

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон [1]

Муассисаи давлатии «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия»-и ҶСК «Ширкати Алюминийи Тоҷик»[2]

Маълумот оид ба кинетика ва механизми гузариши раванди таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи кислотаи гидрогенсилитсийфторид (КГСФ) ва кислотаи фторид бо ҳосилшавии оксиди силитсийи аморфӣ ва маҳлули фториди алюминий, инчунин раванди кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий оварда шудааст. Энергияи фаъолнокии раванди ҳосилшавии оксиди силитсийи аморфӣ, ки зимни таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид ҳосил мешавад, 50,77 кҶ/мол-ро ташкил медиҳад. Раванди ҳосилшавии оксиди силитсийи аморфӣ дар ҳудуди кинетикӣ мегузарад. Константаи суръати рексияҳо, зариби пеш аз экспоненсиалии муодилаи Аррениус ва энергияҳои фаъолнокии ҷудошавии маҳлули фториди алюминий ва кристаллизатсияи он муайян карда шуд.

Калидвожаҳо: *кислотаи гидрогенсилитсийфторид, кислотаи фторид, фториди алюминий, оксиди силитсийи аморфӣ, муодилаи Аррениус, энергияи фаъолнокӣ.*

КИНЕТИКА РАЗЛОЖЕНИЯ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ СМЕСЬЮ КРЕМНЕФТОРИСТОВОДОРОДНОЙ И ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТ

С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, Ҷ.Р. Рузиев

Приведена информация о результатах исследований кинетики и механизма протекания процесса разложения гидроксида алюминия смесью кремнефтористоводородной (КФВК) и плавиковой кислот с получением аморфного оксида кремния и раствора фторида алюминия, а также процесс кристаллизации фторида алюминия. Определена энергия активации получения аморфного оксида кремния, образующегося при разложении гидроксида алюминия смесью КФВК и плавиковой кислот, ее значение составляет 50,77 кДж/моль. Процесс образования аморфного оксида кремния происходит в кинетической области. Определены константа скорости реакции, предэкспоненциальные множители уравнения Аррениуса, энергии активации получения раствора фторида алюминия и его кристаллизации.

Ключевые слова: *плавиковая кислота, кремнефтористоводородная кислота, кислотное разложение, фторид алюминия, аморфный кремнезём, энергия активации, уравнение Аррениуса.*

KINETICS OF ALUMINIUM HYDROXIDE DECOMPOSITION BY A MIXTURE OF FLUOROSILICIC AND HYDROFLUORIC ACIDS

S.M. Shokarimov, N.A. Naimov, R.S. Rafiev, J.R.Ruziev

In paper presents the results of the study of the kinetics and mechanism of the decomposition of aluminium hydroxide in a mixture of fluorosilicic acid (FSA) and hydrofluoric acid to obtain amorphous silicon oxide and aluminium fluoride solution, as well as the crystallisation process of aluminium fluoride solution. In the course of kinetic calculations, the activation energy of amorphous silicon oxide formed during the decomposition of aluminium hydroxide in a mixture of FSA and hydrofluoric acid was determined, and its value is 50.77 kJ/mol. The results of activation energy calculations indicate that the formation of amorphous silicon oxide occurs in the kinetic region. Also, in the process of acid decomposition of aluminium hydroxide the reaction rate constant, pre-exponential multipliers of the Arrhenius equation, activation energies of obtaining aluminium fluoride solution and its crystallisation were determined.

Keywords: *fluorosilicic acid, hydrofluoric acid, acid decomposition, aluminium fluoride, amorphous silica, activation energy, Arrhenius equation.*

Муқаддима

Яке аз минералҳои асосии фтордор – флюорит ба шумор меравад, гарчанде ки иони фтор таҳрибан дар таркиби 50 минерал мавҷуд бошад [1].

Зимни коркарди флюорит ва консентрати фосфорит бо кислотаи сулфат як миқдор кислотаи гидроегнсилитсийфторид (КГСФ) ҳосил мешавад, ки метавонад муҳити атрофро олуда созад [2,3]. Дар ҶДММ «ТАЛКО Кемикал» зимни истеҳсолоти максималии кислотаи фторид ба сифати маҳсулоти дуюмдараҷа омехтаи КГСФ (25%) ва кислотаи фторид (14%) ҳосил мешавад, ки миқдори он дар як сол таҳрибан 4 ҳазор тоннаро ташкил медиҳад ва ҳамзамон зарурати коркарди он ба миён меояд [4]. Яке аз роҳҳои коркарди омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид нейтрализатсияи он бо истифода аз содаи каустикӣ ё ин ки калсиниронида ба шумор рафта, дар натиҷа омехтаи силитсийфторид ва фториди натрий ҳосил мешавад [5-7]. Имконияти истеҳсоли фториди натрий ва оксиди силитсийи аморфӣ вуҷуд дорад, ки аз ҷиҳати иқтисодӣ ва экологӣ фоидаи назаррас ба даст меояд [8, 9].

Бинобар ин таҳқиқотҳо оид ба таҳияи технологияи коркарди омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо гидроксиди алюминий бо мақсади ҳосил намудани оксиди силитфийи аморфӣ ва фториди алюминий гузаронида шуд.

Мавод ва усулҳои таҳқиқот

Раванди коркарди омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо гидроксиди алюминий дар ду зина мегузарад. Дар зинаи аввал зимни боҳамтаъсиркунии гидроксиди алюминий бо омехтаи кислотаҳо, оксиди силитсийи аморфӣ дар намуди таҳшин ва маҳлули фториди алюминий ҳосил шуда (реаксияиҳои 1 ва 2), пас аз ҷудо намудани оксиди силитсийи аморфӣ дар зинаи дуюм раванди кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий гузаронида мешавад.

$$H_2SiF_6 + 2Al(OH)_3 = 2AlF_3 + SiO_2 + 4H_2O \quad (1)$$

$$3HF + Al(OH)_3 = AlF_3 + 3H_2O \quad (2)$$

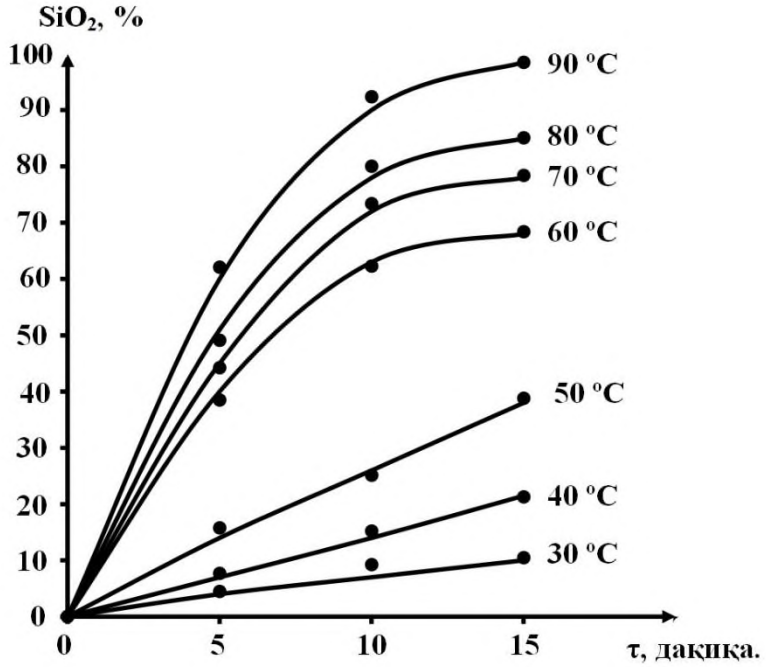
Раванди таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо мақсади ҳосил намудани оксиди силитсийи аморфӣ ва маҳлули фториди алюминий дар ҳарорати 90 °С, давомнокии раванд 15 дақиқа, консентратсияи КГСФ 15%, кислотаи фторид 8 % ва вояи кислотаҳо аз рӯйи ҳисоби стехиометрӣ 120% гузаронида мешавад. Дар чунин шароит дараҷаи ҷудошавии оксиди силитсийи аморфӣ 98,5% ва маҳлули фториди алюминий 95,5%-ро ташкил медиҳад.

Муҳокима

Дар асоси натиҷаҳои таҳқиқоти дар боло овардашуда, кинетикаи таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо мақсади ҳосил намудани оксиди силитсийи аморӣ, маҳлули фториди алюминий ва кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий мавриди омӯзиш қарор дода шуд.

Дар навбати аввал, кинетикаи гузариши раванди таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо мақсади ҳосил намудани оксиди силитсийи аморфӣ дар ҳудудҳои ҳарорат аз 30 до 90 °С ва давомнокии таҷзия аз 5 то 15 дақиқа омӯхта шуд.

Натиҷаи таҳқиқот оид ба омӯзиши дараҷаи ҷудошавии оксиди силитсийи аморфӣ вобаста аз давомнокии раванди таҷзия дар ҳудудҳои гуногуни ҳарорат дар расми 1 оварда шудааст.



Расми 1 – Вобастагии баромади оксиди силитсийи аморфӣ аз давомнокии раванд дар ҳароратҳои гуногун

Аз расми 1 дида мешавад, ки каҷхатаҳои кинетикӣ дар интервали аз 30 то 50 °С амалан хусусияти ростхата дошта, дар ҳароратҳои 60-90 °С аввал хусусияти ростхата, баъдан шакли параболиро мегирад. Ин каҷхатҳои кинетикӣ аз рӯйи муодилаи тартиби якум ҳисоб карда мешаванд:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = k(1-\alpha), \quad (1)$$

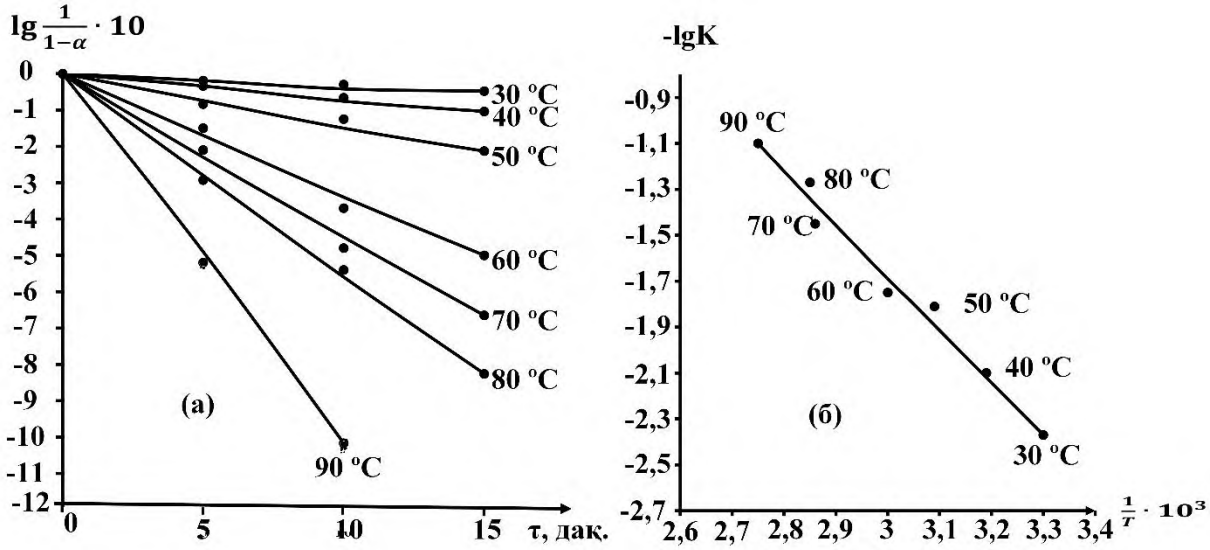
Дар ин ҷо: α – дараҷаи таҳшиншавии оксиди силитсийи аморфӣ;
τ – вақт, дақиқа;

k – константаи суръати реаксия, дақиқа$^{-1}$.

Баъд аз дигаркунии наонқадар мушкили математикӣ, муодилаи (1)-ро метавонем ба шакли зерин ифода кунем:

$$\lg \frac{1}{(1-\alpha)} = \frac{k\tau}{2{,}303} \qquad (2)$$

Дар расми 2 натиҷаи ҳисобҳои кинетикии раванди таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид оварда шудааст.



Расми 2 – Графикҳои вобастагии $\lg \frac{1}{(1-\alpha)}$ *аз вақт (а) ва lgK аз ҳарорати мутлақи баръакс (б)*

Чуноне ки аз графики вобастагии $\lg \frac{1}{(1-\alpha)}$ аз вақт (расми 2а) дида мешавад, ки раҳҳои ҳосилшуда қиматҳои манфӣ дошта, зимни таҳлили ин хатҳо, қимати константаи суръати раванди таҷзия дар ҳудуди таҳқиқшавандаи ҳарорат ҳисоб карда шуд.

Вобастагии константаи суръати реаксияро аз ҳарорат бо муодилаи Аррениус ҳисоб шуда, натиҷаи омӯзиш дар ҷадвали 1 оварда шудааст.

Ҷадвали 1 – Ҳисоби константаи таҳшиншавии оксиди силитсийи аморфӣ дар ҳароратҳои гуногун

№	303К	313К	323К	333К	343К	353К	363К
$К_{ря}$, мин$^{-1}$	0,0042	0,0081	0,0161	0,0456	0,0591	0,0711	0,1231

Вобастагии константаи суръати реаксия аз ҳарорат бо муодилаи Аррениус ҳисоб карда мешавад:

$$k = k_o \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

ё ин ки:

$$\lg k = \lg k_0 - \frac{E}{2.303RT}, \qquad (3)$$

дар ин ҷо: *k* – константаи суръати раванди таҷзия;

k_0 – зариби пеш аз экспоненсиалӣ;

E – энергияи фаъолнокии зоҳирӣ, кҶ/мол;

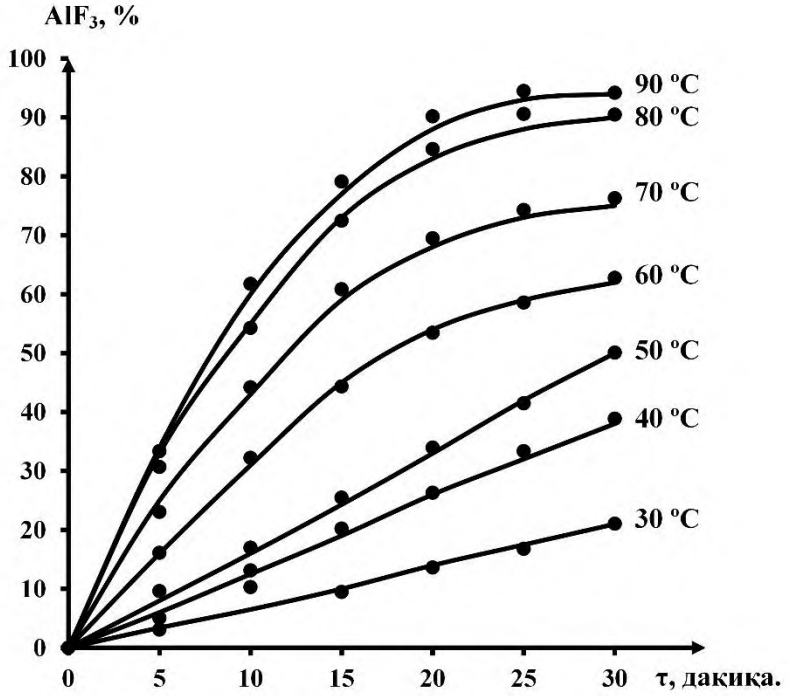
R – доимии универсалии газҳо, Ҷ/мол·град;

T – ҳарорати мутлақ, К.

Дар расми 2б вобастагии lg*K* аз ҳарорати мутлақи баръакс (1/*T*) нишон дода шудааст. Чуноне ки аз расм дида мешавад ҳамаи нуқтаҳои таҷрибавӣ дар як хати рост ҷойгир шудаанд.

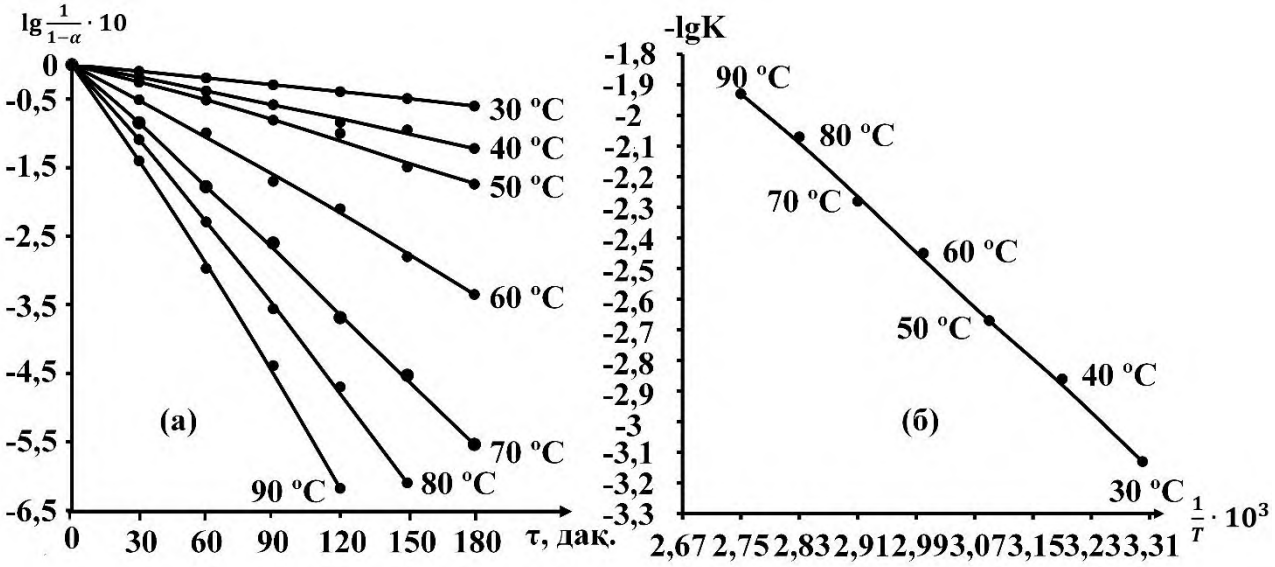
Бо истифодаи муодилаи Аррениус энергияи фаъолнокии раванди ҳосилшавии оксиди силитсийи аморфӣ ҳисоб карда шуд, ки қимати он ба 50,77 кҶ/мол баробар мебошад. Қимати ҳисобкардашудаи энергияи фаъолнокии ҳосилшавии оксиди силитсийи аморфӣ аз он далолат медиҳад, ки раванд дар ҳудуди кинетикӣ мегузарад.

Пас аз муайян намудани бузургиҳои кинетикии ҳосил намудани оксиди силитсийи аморфӣ, кинетикаи ҳосилшавии маҳлули фториди алюминий дар харорати аз 30 то 90 °С ва давомнокии раванди аз 5 то 15 дақиқа омӯхта шуда, натиҷаи он дар расми 3 оварда шудааст.



Расми 3 – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии баромади маҳлули фториди алюминий аз давомнокии раванд дар ҳароратҳои гуногун

Аз расми 3 дида мешавад, ки каҷхатаҳои кинетикӣ дар ҳудуди аз 30 то 50 °С амалан хусусияти ростхата дошта, дар ҳароратҳои 60-90 °С аввал хусусияти ростхата, баъдан шакли параболиро мегирад. Ин каҷхатҳои кинетикӣ аз рӯйи муодилаи тартиби якум ҳисоб карда шудааст.



Расми 4 – Графикҳои вобастагии $\lg\frac{1}{(1-\alpha)}$ *аз вақт (а) ва вобастагии lgK аз ҳарорати мутлақи баръакс (б)*

Инчунин аз графики вобастагии $\lg\frac{1}{(1-\alpha)}$ аз вақт (расми 4а) дида мешавад, ки хатҳои ёфташуда, қиматҳои манфӣ дошта, зимни таҳлили ин хатҳо, қимати константаи суръати раванди таҷзияи гидроксиди алюминий дар ҳудуди таҳқиқшавандаи ҳарорат ҳисоб карда шуд.

Вобастагии константаи суръати реаксияро аз ҳарорат бо муодилаи Аррениус ҳисоб намудем ва натиҷаи он дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

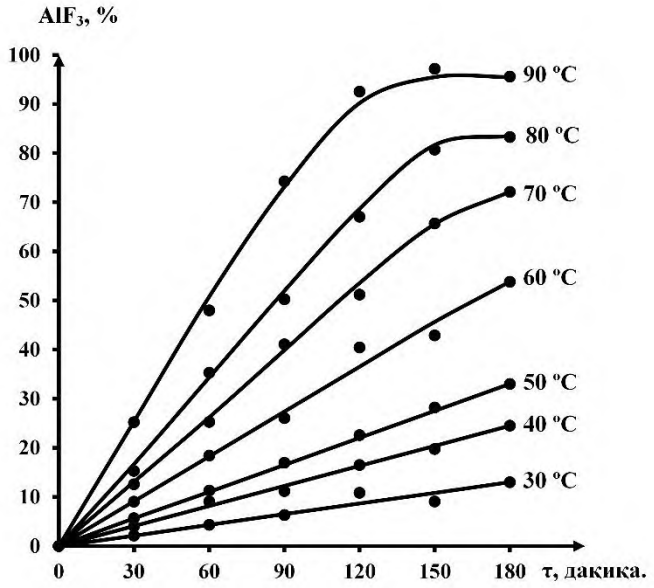
Ҷадвали 2 – Ҳисоби константаи суръати реаксияи ҷудошавии маҳлули фториди алюминий дар ҳароратҳои гуногун

№	303К	313К	323	333К	343К	353К	363К
$К_{ря}$, мин$^{-1}$	0,0074	0,0149	0,0216	0,0311	0,0493	0,0725	0,9121

Бо истифодаи муодилаи Аррениус энергияи фаъолнокии раванди ҳосилшавии маҳлули фториди алюминий ҳисоб карда шуд, ки қимати он ба 38,71 кҶ/мол баробар мебошад. Қимати ҳисобкардашудаи энергияи фаъолнокии ҳосилшавии маҳлули фториди алюминий шаҳодат аз он медиҳад, ки раванди мазкур дар ҳудуди интиқолӣ мегузарад.

Чуноне ки қаблан қайд гардида буд, пас аз ҷудо намудани оксиди силитсийи аморфӣ дар зинаи дуюм раванди кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий гузаронида мешавад. Бинобар ин кинетикаи кристаллизатсияи фториди алюминий дар ҳудуди ҳарорати аз 30 то 90 °С ва давомнокии раванд аз 30 то 180 дақиқа омӯхта шуда, натиҷаи он дар расми 5 оварда шудааст.

Чуноне ки аз расми 5 дида мешавад, ки каҷхатаҳои кинетикӣ дар ҳудуди ҳарорт аз 30 то 60 °С хосияти ростхатагӣ дошта, дар ҳароратҳои аз 70 то 90 °С аввал хусусияти ростхата, баъдан шакли параболиро мегирад. Каҷхатҳои кинетикӣ аз рӯйи муодилаи тартиби якум ҳисоб карда шудаанд.

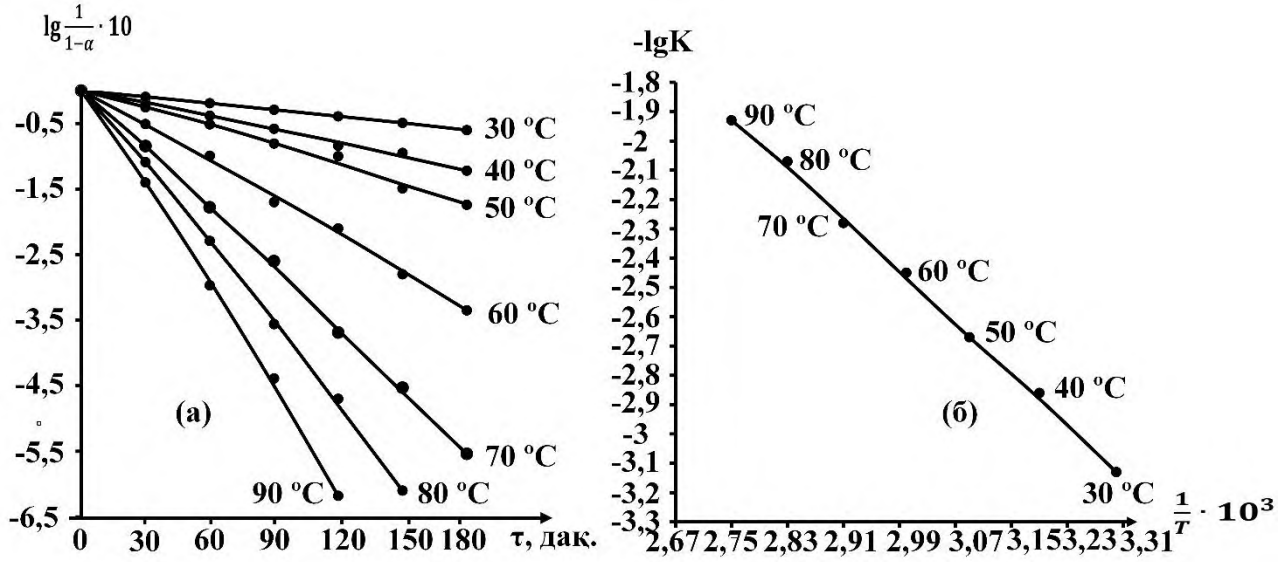


Расми 5 – Дараҷаи кристаллизатсияи фториди алюминий аз давомнокии раванд дар ҳароратҳои гуногун

Зимни кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий, ки ҳангоми таҷзияи гидроксиди алюминий бо омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид ҳосил шудааст ва ҳисобҳои кинетикии таҳқиқоти мазкур, натиҷаҳои зерин ба даст оварда шудаанд, ки дар расми 6 таҷассум гардидаанд.

Аз графики вобастагии $\lg\frac{1}{(1-\alpha)}$ аз вақт (расми 2а) дида мешавад, ки хатҳои зимни кристаллизатсияи фториди алюминий тасвирёфта, қиматҳои манфӣ дошта, зимни таҳлили ин хатҳо, қимати константаи суръати раванди кристаллизатсия дар ҳудуди таҳқиқшавандаи ҳарорат ҳисоб карда шуд.

Дар ин асос вобастагии константаи суръати реаксияро аз ҳарорат бо муодилаи Аррениус ҳисоб карда шуда, натиҷаи он дар ҷадвали 3 нишон дода шудааст.



Расми 6 – Графикҳои вобастагии $\lg\frac{1}{(1-\alpha)}$ *аз вақт (а) ва вобастагии lgK аз ҳарорати мутлақи баръакс (б)*

Ҷадвали 3 – Ҳисоби константаи кристаллизатсияи фториди алюминий дар ҳароратҳои гуногун

№	303К	313К	323	333К	343К	353К	363К
$К_{ря}$, $мин^{-1}$	0,000074	0,001465	0,002111	0,003881	0,005959	0,008527	0,01563

Зимни ҳисоб намудани энергияи фаъолнокӣ бо истифода аз муодилаи Аррениус маълум гардид, ки раванди кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий дар ҳудуди интиқолӣ мегузарад, зеро қимати энергияи фаъолнокӣ 38,71 кҶ/мол-ро ташкил медиҳад. Қиматҳои ёфташудаи энергияи фаъолнокии раванди таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид ба адабиёти додашуда мувофиқат мекунад [10].

Хулоса

Ҳамин тариқ, қиматҳои ҳисобшудаи кинетикӣ, механизми равандро ҳангоми таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо мақсади ҳосил намудани оксиди силитсийи аморфӣ ва фториди алюминий муайян намуда, имкон медиҳанд, ки шароити оптималӣ барои татбиқи ин технология интихоб карда шавад.

Муқарриз: Самиҳов Ш.Р. — д.и.т., профессори кафедраи технологияи истеҳсолоти химиявии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Раков Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. – М.: Изд-во МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1990. – 162 с.

2. Production of Fluorosilicic Acid from Phosphoric Acid Slurry of a Fertilizer Manufacturing Plant / Se-Won Kim, Woo-Kyun Moon, Hung-Suck Park // Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 13(2). February 2012. DOI:10.5762/KAIS.2012.13.2.926.

3. Азотнокислотная переработка бедного апатита месторождения Лаокай / Ле Хонг Фук // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва -2021, 143 стр.

4. Физико-химические аспекты технологии получения криолита, используемого для производства алюминия, гидрохимическим способом с использованием поваренной соли / Х.Сафиев, Н.А.Наимов, Дж.Р.Рузиев, И.Ш.Ахмадшоев, А.М. Джуракулов, А.Муродиён, Н.В.Немчинова // iPolytechJournal. 2022. Т. 26. № 2. С. 348–356 (InEng.). https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-2-348-356.

5. Повышение качества фторсиликата натрия / Т.И. Мызовская, С.Р. Масакбаева // Наука и техника Казахстана, ISSN 1680-9165, № 4, 2020, https://doi.org/10.48081/UGRM6297

6. Characterization and Properties of Sodium Hexa-Fluorosilicate and its Potential Application in the Production of Sodium Fluoride / F. Arianpour, A.Ç. Arianpour, B. Aali // Silicon, 2020, https://doi.org/10.1007/s12633-020-00755-0

7. The effect of reaction conditions on the precipitation of sodium hexafluorosilicate produced from waste hexafluorosilicic acid / Marwan M. Batiha, Mohammad Al-Harahsheh // Polish Journal of Chemical Technology, 13, 2, 23 – 28, 2011, 10.2478/v10026-011-0019-4.

8. Recovery of a high surface area mesoporous silica from waste hexafluorosilicic acid (H_2SiF_6) from fertilizer industry / Sarawade P.B. et al. // Journal of hazardous materials 173 (2010) pp. 576 – 580.

9. Получение силиката натрия из модифицированного силикагеля, побочного продукта фторида алюминия / Мамченков Е.А., Прокофьев В.Ю. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2019. Т. 62. Вып. 3. С. 89-93.

10. А. Н. Дьяченко. Практикум по гетерогенной химической кинетике Учебно-методическое пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2004, 23с.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Шокаримов Сироҷиддин Мирзоеви	Шокаримов Сироджиддин Мирзоеви	Shokarimov Sirojiddin Mirzoevich
Докторанти PhD-и кафедраи химияи татбиқӣ	Докторант PhD кафедры прикладной химии	PhD student at the Department of Applied Chemistry
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: sirojshokarimov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Наимов Носир Абдураҳмонович	Наимов Носир Абдурахмонович	Naimov Nosir Abdurahmonovich
номзади илмҳои техникӣ, муовини директор оид ба корҳои илмӣ	кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе	Candidate of Technical Sciences (PhD), Deputy Director for scientific work
МД «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия»-и ҶСК «Ширкати Алюминийи Тоҷик»	ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»	State Institution «Scientific Research Institute of Metallurgy» JSC «Tajik Aluminum Company»
E-mail: nosser2016@outlook.com		
TJ	RU	EN
Рафиев Рустам Сафаралиевич	Рафиев Рустам Сафаралиевич	Rafiev Rustam Safaralievich
номзади илмҳои химия, мудири кафедраи химияи татбиқӣ	кандидат химических наук, заведующий кафедрой прикладной химии	Candidate of Chemical Sciences, Head of the Department of Applied Chemistry
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: rustam.rafiev@mail.ru		
TJ	RU	EN
Рузиев Ҷура Раҳимназарович	Рузиев Джура Рахимназарович	Ruziev Jura Rahimnazarovich
д.и.т., проф., профессори кафедраи химияи татбиқӣ	д.т.н., проф., профессор кафедры прикладной химии	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Applied Chemistry Department
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: gyra71@mail.ru		

УДК. 662.665.761

ДАР БОРАИ МОДЕЛСОЗИИ РАВАНДИ ПИРОЛИЗИ КОНДЕНСАТҲОИ ГАЗӢ ДАР ПЛАЗМАИ ҲАРОРАТАШ ПАСТ

М.Т. Идиев, Б.С. Сафаров, У.Н. Файзуллоев

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Равандҳое, ки дар ҷараёни ҳарорати баланд ба амал меоянд, бо номутавозунии термодинамикӣ хос буда, системаи мураккабро ифода мекунанд. Ҳосили маҳсулоти ниҳоӣ бештар аз суръати равандҳои якхелаи ҷараёни ҳарорати баланд вобаста мебошад. Барои муайян намудани якҷоякунии муносиби омилҳои термодинамикӣ ва кинетикӣ, ки ҳосилнокии баланди маҳсулоти реаксияро таъмин менамоянд, зарурати гузаронидани таҷрибаҳои сершумор талаб карда мешавад. Нишон дода шудааст, ки мушкилоти мазкурро метавон тавассути моделсозии равандҳои ҳарорати баланд пешгирӣ кардан мумкин аст. Бо истифодабарии усули баҳисобгирии гуруҳии асосҳо нишон дода шудааст, ки имконияти пайдо кардани шароити муносиб барои баровардани маҳсулоти реаксионии коркарди ҳарорати баланди конденсатҳои газӣ вуҷуд дорад.

Калимаҳои калидӣ: *плазма, пиролиз, газоконденсат, плазмаи пастҳарорат, металлургия, технологияи плазмавӣ, модели математикӣ.*

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПИРОЛИЗА ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ

М.Т. Идиев, Б.С. Сафаров, У.Н. Файзуллоев

Процессы, протекающие в высокотемпературных потоках, характеризуются термодинамической неравновесностью и представляют сложную систему. Выход конечного продукта во многом зависит от скорости гомогенных процессов высокотемпературного потока. Для нахождения оптимальных сочетаний термодинамических и кинетических факторов, обеспечивающих максимальный выход продуктов реакции, возникает необходимость в проведении многочисленных экспериментов. Показано, что данную проблему можно избежать путем моделирования высокотемпературных процессов. С применением метода группового учета аргументов показана возможность нахождения оптимального условия выхода продуктов реакции высокотемпературной переработки газоконденсатов.

Ключевые слова: *плазма, пиролиз, газоконденсат, низкотемпературная плазма, металлургия, плазменная технология, математическая модель.*

OF MODELLING OF PYROLYSIS OF GAS CONDENSATES IN LOW TEMPERATURE PLASMA

М.Т. Идиев, Б.С. Сафаров, У.Н. Файзуллоев

Processes in high-temperature flows are characterized by the thermodynamic no equilibrium and represent a complex system. The yield of the final product largely depends on the rate of homogeneous processes of high-temperature flow. To find the optimal combinations of thermodynamic and kinetic factors that ensure the maximum yield of the reaction products there is a need to conduct numerous experiments. It shown that this problem can be avoided by modeling the high-temperature processes. Using the method of group account of arguments shows the possibility of finding optimal conditions the yield of the reaction products of high-temperature treatment of the gas condensates.

Keywords: *plasma, pyrolysis, gas condensates, low temperature plasma, metallurgy, plasma technology, mathematic modeling.*

Муқадима

Дар даҳсолаи охири асри бистум тадқиқоти таҷрибавии плазма васеъ рушд ёфтааст, ки бо бисьёр мушкилотҳои муҳими зерин алоқаманд мебошад: синтези термоядроии идорашаванда, ба вуҷуд овардани таҳйирдиҳандаи энергияи плазмавӣ, муҳаррикҳои плазмавӣ, кор карда баровардани генераторҳои плазмавӣ ва ғайра.

Усули плазмавию химиявии ҳосил намудани моддаҳо дар муқоиса бо усули химиявӣ як катор афзалиятҳоро доро мебошад. Махсусан маҳсулоти аз плазма ҳосилгардида бо миқдори камтари реаксия тозатар мебошад, масоҳати ками истеҳсолиро талаб менамояд, инчунин ба вуҷуд омадани партовҳо камтар аст. Бартарии муҳими технологияи плазмавӣ дар экология зоҳир мегардад, зеро бо усулҳои истеҳсоли плазмавию химиявӣ муҳити атроф хеле кам ифлос мешавад [1-4].

Айни замон рушди химияи плазмавӣ бо гузаронидани тадқиқот дар самти коркарди равандҳои нави технологӣ дар химия, металлургия, коркарди масолеҳ ва ғайра муайян карда мешавад, масалан ҳангоми истеҳсоли оксиди кремний (II), баъзе шпинелҳо, нитридҳо, карбидҳо, фторидҳо ва гидридҳои элементҳои гуногун. Пеш аз ҳама, масолеҳи мушкилгудоз, алкил - ва арилсиланҳо аз газҳои кремний ва карбогидрид, пайвастагиҳои металлӣ ва миқдори зиёди дигар маҳсулоти ғайриорганикӣ ва органикӣ.

Ҳадафи кор

Ҳадафи кор ин моделсозии равандҳои плазмавию химиявии коркарди конденсатҳои газӣ барои таъмин намудани ҳосили баланди маҳсулоти ниҳоии реаксия мебошад.

Бисёр равандҳои физикӣ – химиявӣ ва технологӣ системаҳои мураккабе мебошанд, ки дар онҳо дар баробари мавҷуд будани тағйирёбии гуногун дар аксари андозаҳои физикӣ табдилдиҳии химиявии баъзе моддаҳо ба дигараш ба амал меоянд. Ба ин гуна равандҳо, аз он ҷумла пиролизи плазмавию химиявии ашёи хоми мураккаби карбогидридӣ дохил мешаванд. Ҳамаи равандҳои химияи плазмавӣ бештар дар таркиби ғайримувозинатии системаҳои бисёр реаксияҳои химиявӣ ба амал меоянд. Барои аксари системаҳои мураккаб бояд таркиби мувозинатии ҷузъҳо арзёбӣ карда шавад, ки он метавонад барои баъзе муносибкунии равандҳо, масалан барои таносуби массаи реагент ва плазма, барои ҷустуҷӯ намудани реҷаҳои ҳарорат ва фишорҳои оптималӣ истифода шавад.

Инчунин зарур аст, ки арзёбии кинетикии таркиби мувозинати система, муайян кардани доираи фазоӣ - вақтии ҳосилшавии иҷозатдодашудаи маҳсулоти таъиншуда анҷом дода шавад. Дар ин сурат ба механизми захираи ашёи хоми карбогидрид талабот ба вуҷуд меояд.

Дар бисёр мавридҳо арзёбии раванди плазмавию химиявӣ дар шароити ғайримувозинатӣ имконнопазир аст, натиҷаҳои ҳисоб кардани мувозинат бошад, аксар вакт ба таҷриба мувофиқат намекунанд.

Ҳангоми омӯзиши технологияи истифодабарии плазмаи ҳарорараташ паст, интихоб намудани варианти муносиб ҷиҳати гузаронидани раванд ва алалхусус зиёд кардани пешгӯии пурраи асоснок дар бораи ҳосилнокии маҳсулоти пастсифат бо афзоиши ҳаҷми дастгоҳҳои плазмавию химиявӣ хеле душвор мебошад. Дар ин маврид сохтани модели математикӣ зарур мебошад, ки бо он метавон рафтори системаро муайян намуд ва кӯшиш кардан мумкин аст, ки робитаи мутақобилаи аргументҳо (андозаҳо)-ро, ки аз он таъиноти мақсадноки раванд вобастагӣ дорад, ошкор карда шавад. Азбаски сохтани модели физикӣ барои шарҳ додани раванди плазмавию химиявӣ душвориҳои назаррасро ба амал меорад (муайян кардани механизм ва суръати реаксияи химиявӣ, таъсири омилҳои газию динамикӣ ва ҳароратӣ), пас ташаккули модели математикӣ аз рӯи оне ки имконияти гузаронидани муносибгардониданӣ ва баҳо додани натиҷаҳо мешавад ин марҳилаи зарурии таҳлил мегардад

Усулҳои муносибгардонӣ таваҷҷӯҳи махсус дорад, вақте ки модел дар асоси коркарди маълумотҳои таҷрибавӣ дар шароити кори мӯътадили объекти плазмавию химиявӣ ба даст овардашудааст сохта мешавад.

Сохтани модели математикӣ барои воридоти **X** ва барои баромади **φ** муайян кардани арзёбии оператори функсия мебошад:

$$\varphi = F(\vec{a}\vec{x}) \tag{1}$$

дар ин ҷо $\vec{a}$ – вектори параметрҳои номаълум.

Истифодаи усулҳои ба ҳақиқат наздиктари аз ҳад зиёд, усули тахминии стохастикӣ барои ҳалли чунин масъала танҳо дар сурати сохтори додашудаи модели математикӣ имконпазир мебошад (1).

Дар мавриди объектҳои мураккаб, вақте ки шакли функсия $F(\vec{a}\vec{x})$ номаълум мебошад, ҳалли чунин масъалахо бо усулхои нишон додашуда ба ҳаҷми амалан намоёни ҳисобҳо ё ба наздикшавиҳои хаттӣ, ба тарзи соддакардашудаи шарҳ додани масъала оварда мерасонад, ки на хамеша талаботи амалияро қонеъ мегардонад. Ҳамин тариқ, масъалаи синтез кардани моделҳои математикии объектҳои мураккабро ҳангоми номаълум будани шакли функсия (1) ҳал кардан зарур мебошад, яъне сохтор ва андозаҳои моделро барқарор кардан лозим аст.

Фарз мекунем, ки модели математикии номаълуми системаи мураккаб ҷамъи баъзе истилоҳҳои полиноми умумии Колмогоров-Габор мебошад:

$$\varphi = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i x_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=j}^{n} a_{ijk} x_i x_j x_k \ldots\ldots \tag{2}$$

Шумораи умумии аъзоҳои бисёраъзогӣ (2) бо афзоиши шумораи аргументҳо **(n)** ва дараҷаи он **(k)** якбора зиёд мешавад ва ба $W = C_{n+k}^{k}$ - баробар аст. Ҳангоми **n** ва **k** –и мувофиқшуда ҳама гуна вобастагии φ(x)-ро, ки нисбат ба X_i пайваста мебошад, метавон дақиқ тахмин намуд. Барои n ва k-ҳои бузург, ки ба системаҳои мураккаб мувофиқанд, қонеъ намудани шарти дурустии тартиб додани масъала $N > W$душвор аст, ки дар ин ҷо N - миқдори маълумотҳои таҷрибавӣ мебошад. Илова бар ин, матритсаи коэффитсиенти муодилаҳои муқаррарӣ ҳангоми калон будани W аксар вақт номувофиқ мешавад, ки ин боиси ҳалли ноустувор мегардад. Аз ин рӯ, зарурати таҳия ва истифода бурдани усулҳои ҳалли мушкилоти номатлуб ба миён меояд. Аксарияти чунин усулҳо ба мавҷудияти номгӯи муайяни вариантҳои моделҳои регрессивӣ асос ёфтаанд, ки дар он саҳми ҷудогона ба модели ниҳоии (2) далелҳои инфиродӣ ё тавсифи оддии хусусии онҳо арзёбӣ мешавад. Усули баҳисобгирии гуруҳии аргументҳо усули танзими қарорҳоро истифода мебарад, ки маълумоти мавҷудаи таҷрибавиро ба ду пайдарҳамӣ - омӯзишӣ ва санҷишӣ тақсим менамояд.

Аксарияти алгоритмҳои бисёраъзогии усули баҳисобгирии гуруҳии асосҳо (УБГА) иваз намудани "тавсифоти мукаммал"-и ҷараёни таҳқиқшавандаро бо якчанд қатор тавсифҳои қисман, дар шакли бисёраъзогиҳои оддӣ ва ё бо як ё ду аргументи умумишуда пешниҳод менамояд.

Доираи татбиқи алгоритми машҳури комбинаторӣ - барқарорсозии моделҳо ё функсияҳое мебошад, ки на бештар аз се ё чор тағйирёбандаро дар бар мегирад. Он рӯйхати пурраи ҳамаи муодилаҳои имконпазири регрессияро дар бар мегирад, ки арзиши сифрро ба коэффитсиентҳои муайяни бисёраъзогӣ (2) муқаррар менамояд. Аммо, баробари зиёд шудани n ва k, шумораи вариантҳои муодилаи регрессия

$$V_{n,k} = \sum_{i=1}^{W-1} C_{w-1}^{i} = \sum_{i=0}^{W-2} 2i = 2^{w-1} - 1 \quad (3)$$

хеле зуд меафзояд, ки истифодаи чунин алгоритмро ҳатто бо ёрии компютерҳои муосир душвор мегардонад. Барои кам кардани шумораи муодилаҳои баррасишавандаи регрессия тартиби бисёрқаторaи селексионӣ барои қарори самараноктар истифода мешавад. Ба сифати маҷмӯи ибтидоии тағйирёбандаҳои умумӣ якчанд адад [бо 2F нишон дода шудааст] аз шартҳои бисёраъзогиро пурра (2) интихоб карда мешавад. Барои онҳо ҳама гуна муодилаҳои регрессивӣ ташкил карда мешаванд, ки шумораи онҳо ба $V_F = 2^{2F-1} - 1$ баробар аст. Бо ёрии меъёри дуюми интихоб аз муодилаҳои ҳосилшуда F ҷудо карда мешавад, ки аз ҳама дақиқтарин аст. Ба он қисми (F)-и тағйирёбандаҳои умумӣ аз (2) илова карда мешавад. Аз сари нав ҳама муодилаҳои имконпазири регрессия барои маҷмӯаи васеъи (2F) тағйирёбандаҳои умумӣ ва ғайра муайян карда мешаванд. Чунин давра $K = (\frac{W}{F} - 1)$ маротиба такрор мешавад. Шумораи умумии муодилаҳои регрессионӣ, ки ҳангоми интихоби

$$V_{n,k}^{C} = kV_F = (\frac{W}{F} - 1) \cdot (2^{F-1} - 1)$$

заруранд, муайян карда мешаванд.

Истифодаи принсипи интихоб ҳаҷми рӯйхатро ба таври назаррас коҳиш медиҳад, ки аз таносуби зерин дида мешавад:

$$\gamma = \frac{V_{n,k}}{V_{n,k}^{C}} = \frac{2^{W-1} - 1}{\left(\frac{W}{F} - 1\right) * (2^{2F-1} - 1)}$$

Мисол, барои n=k=3 ва F=2, $\gamma = 2^{10}$ ҳосил менамоем. Муодилаи дақиқтарини давраи охирин барои омехта нашудани он санҷида шуда, ҳамчун натиҷаи ҳалли масъала таҳқиқ карда мешавад. Ҳангоми таҳқиқи хусусиятҳои динамикии равандҳо ё объектҳо, вақте ки ҳама тағирёбандаҳои идорашаванда аз вақт вобастагӣ доранд, истифодаи алгоритми тағйирёфтаи УБГА тавсия дода мешавад, ки ду алгоритми мавҷудаи УБГА - ро муттаҳид менамояд: алгоритм бо интихоби пайдарпайи тамоюлҳои мураккаби оптималӣ ва алгоритми бисёраъзогиҳои дараҷаи якум ё дуюм. Алгоритми аввал барои ташаккули тағйирёбандаҳои умумӣ дар шакли бисёраъзогии дараҷавӣ аз як тағйирёбанда (тамоюл), ки дар натиҷа ҳамчун даромад дар алгоритми дуюм истифода мешаванд:

$$y_i = b_o + b_1 x_i + b_1 x_i^2 + \cdots + b_j x_i^j + \cdots = \sum_{j=0}^{i} b_j X_i^j \quad (4)$$

дар ин ҷо: *i=1, n,l=1,k, k* – дараҷаи балантарини бисёраъзогӣ. Мураккабии муносиби тамоюл (4) дар сурати дараҷаи муайян (*l*) ба даст оварда мешавад, ки бо афзоишёбии он хатои наздикшавӣ дар пайдарпайии санҷиш кам намешавад ё ба таври ночиз тағйир меёбад. Арзёбии натиҷаҳои коэффиценти онҳо дар нуқтаҳои пайдарпаии омӯзишӣ бо усули хурдтарин квадратҳо муайян карда мешаванд. Баъдан мувофиқи алгоритми асосии УБГА дар ҳар як сатри интихоб моделҳои мушаххас тавлид мешаванд, ки намуди умумии онҳо дар S - сатр ҷойгир аст.

$$\varphi_{ij} = a_0 + a_1 y_i + a_2 y_i + a_2 y_j y_i + a_4 y_i^2 + a_S y_j^2 \quad (5)$$

Интихоби беҳтарини қарорҳо барои қатори навбатии интихоб аз рӯи меъёри арзёбии омехта нашудани коэффитсиентҳо анҷом дода мешавад.

$$n_{CM} = \sum_{i=1}^{g} \frac{a_i^* a_j^{**}}{\sum_{i=1}^{g} a_i^{*2}} \quad (6)$$

дар ин ҷо g – шумораи умумии коэффитсиентҳои модели (5).

$a_i^* a_j^{**}$ - арзёбии коэффитсиентҳо, ки аз рӯи пайдарпаии худи омӯзиш ва санҷиш ба даст оварда шудаанд.

Барои синтези модели математикӣ дар асоси натиҷаҳои мушоҳидаи пассивии объекти омӯзиш як қатор алгоритмҳои оқилонаи УБГА таҳия карда шудаанд.

Дар алгоритмҳои маъруфи УБГА бо ҳар як сатри интихоб векторҳои тағирёбандаҳои фосилавӣ ба ҳалли дилхоҳ торафт наздиктар мешаванд, зеро онҳо ҳамчун беҳтарин ҳалли мувофиқи як меъёри дақиқ дар пайдарпаии санҷиши алоҳида муайян карда мешаванд. Бинобар ин, оғоз аз сатри муайян аргументи муодилаҳои (4.4) бо ҳамдигар сахт алоқаманд мешаванд, ки ин боиси хатогии калон ҳангоми аз нав барқарорсозии коэффитсиентҳо мегардад.

Алгоритмҳои таҳияшуда барои мураккабсозии пайдарпайи модели математикӣ, тамоми хусусиятҳои хоси УБГА нигоҳ дошта, аз хатогиҳое, ки дар натиҷаи таносуби тавсифи мобайнӣ ба вуҷуд омадаанд, озод мебошанд аз ҳисоби интихоби беҳтарин тағйирёбандаҳои умумии ортогоналӣ дар ҳар як сатри интихоб. Дар сатри S-уми интихоб тавсифи мушаххас чунин шакл дорад:

$$y_s = a_0 + a_1 y_{s-1} + a_2 Z_S \tag{7}$$

дар ин ҷо y_{s-1} - ҳалли қаблии сатри (S-1) - и интихоб; Z_S - тағйирёбандаи умумишудаи сатри S-и интихоб; y_s - моделе, ки дар сатри S-и интихоб ба даст оварда шудааст.

Бо истифода аз усули ҷуфти ортогонализатсияи тағйирёбандаҳо тавсифи махсуси ортогонализатсияро ба даст меорем:

$$y_{si} = y_{s-1} + a_i \widehat{Z_Si} \tag{8}$$

дар ин ҷо,

$$a_i = \frac{M[\widehat{Z_{Si,}\varphi}]}{M[\widehat{Z_{Si}^2}]}$$

$$\widehat{Z_{Si}} = Z_{Si} - \frac{M[y_{S-1,}Z_S]}{M[y_{S-1}]} y_{S-1}$$

Усули ортогонализатсия шакли тавсифи мушаххасро содда менамояд ва ҳалли системаи муодилаҳои муқаррарии Гауссро барои ҳисоб кардани арзёбии коэффитсиенти a_i аз рӯи нуқтаҳои намунаи омӯзишӣ R_1 – ро кам менамояд. Интихоби тағйирёбандаҳои беҳтарин, ки бо Zs,t (t=1,F) ғанӣ гардонида шудаанд, мувофиқи меъёри ҳадди ақали пайдарпаии санҷиши R_2 нисбӣ миёнаквадратӣ анҷом дода мешавад.

$$\Delta S_1 = \frac{\sum_{j=1}^{R_2}(\varphi_j - y_{Sj})^2}{\sum_{j=1}^{R_2}\varphi_i^2}$$

Барои ҳар як ҳалли F-и сатри s маҷмӯаи ҳалли сатри (S+1) -и интихобҳо муайян карда мешавад. Ҳалли дақиқтарини (тибқи меъёри (8)) сатри (S+1)- ро интихоби ниҳоии тағйирёбандаи умумишудаи Z_{si}-ро, ки ба модели математикӣ дар сатри S-и интихоб ворид карда шудааст, муайян мекунад. Чунин алгоритми синтези моделро алгоритми соддашудаи УБГА меноманд.

Алгоритми соддакардашудаи дигаргуншудаи УБГА интихоби ниҳоии тағйирёбандаи умумишудаи Z_s-ро дар сатри (S+ 2) –и интихоб пешбинӣ менамояд ва ба ҷои меъёри дақиқ меъёри дигари эвристикӣ - арзёбии омехтаи коэффитсиентҳо истифода мешавад:

$$n_{CM} = \left|\frac{C_i^* - C_i^{**}}{C_i^*}\right| \tag{9}$$

дар ин ҷо; $C_i^* - C_i^{**}$ - мутаносибан коэффитсиентҳои (7), ки дар интихоби R_1 ва R_2 аз нав барқарор карда шудаанд.

Дар зери аргументҳои воридшуда маҷмӯаи аргументҳои имконпазир ва функсияҳои онҳо дар назар дошта мешаванд, ба монанди: баръакс ва логарифмӣ. Пайдарҳамии ташаккули маҷмӯаи тағйирёбандаҳои умумии Г-ро дар мисоли алгоритми дигаргуншудаи соддаи УБГА баррасӣ менамоем. Дар сатри якуми интихоб маҷмӯаи $\Gamma_1^{(1)}$ тағйирёбандаҳои воридшударо ташкил медиҳанд. Аз маҷмӯаи мазкур зермаҷмӯаи $R_1^{(1)}$ мувофиқи арзёбии омехтаи коэффитсиентҳо (9) интихоб карда мешавад. Сипас маҷмӯаи нави тағйирёбандаҳои умумӣ $\Gamma_1^{(2)}$ сохта мешавад, ки унсурҳои онҳо ҳосили элементҳои маҷмӯаи $\Gamma_1^{(1)}$ва $R_1^{(1)}$мебошад. Бо ҳамин меъёри n^H см аз зермаҷмӯаи $R_1^{(2)}$интихоб карда мешавад. Ба ҳамин монанд маҷмӯаҳои $\Gamma_1 = \Gamma_1^{(1)} \cup \Gamma_2^{(2)} \cup \ldots \cup \Gamma_1^{(2)}$ ба даст меорем, ки аз онҳо мувофиқи баҳодиҳии n^Hcm зермаҷмӯаи R_1-и тағйирёбандаҳои умумишудаи "ояндадор"-и сатри якуми интихобро ҷудо менамоем. Интихоби ниҳоии тағйирёбандаи беҳтарини сатри якум z_1 бо сатри дуюми интихоб бо ҳадди ақали n^Hcm барои моделҳои сатри дуюм иҷро карда мешавад. Тавсифи мушаххаси сатри дуюм аз маҷмӯаи Γ_2 муайн карда мешавад, бо ҳамон тарзе, ки маҷмӯи Γ_1 ташаккул ёфтааст. Ягона фарқият дар $\Gamma_2^{(1)} =$

$\Gamma_1 \cup \Gamma_1 \otimes R_1$ аст. Дар сатри S-и интихоб қоидаи эвристикии ташаккули маҷмӯаи аргументҳоро метавон чунин шарҳ дод:

$$\Gamma_S = \Gamma_1 \cup \Gamma_1 \otimes (R_1 \cup R_2 \cup \ldots \cup R_{S-1}) \quad (10)$$

Тавре аз (10) дида мешавад $\Gamma_{S-1} \subset \Gamma_S$ ҳамеша иҷро мешавад, ки боиси таназзули босуръати раванди интихоб мегардад.

Хулоса

Дар асоси усули баҳисобгирии гуруҳии асосҳо (УБГУ) барои равандҳои плазмохимиявии пиролизи ашёи хоми мураккаби карбогидридӣ модели математикӣ коркарда баромада шудааст.

Муқарриз: Рузиев Ҷ.Р. – Профессори қафедраи "Химияии татбиқӣ" – и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Адабиёт

1. Идиев, М.Т. Пиролиз газоконденсатов с использованием метода предварительной турбулизации азотной плазмы / М.Т. Идиев, Б.С. Сафаров, У. Файзуллоев // доклады академии наук Республики Таджикистан, 2011, том 54, №9
2. Идиев М.Т., Сафаров Б.С., Файзуллоев У.Н., Шерматов Н. Об эффективности метода барботажа и предварительной турбулизации азотной плазмы в пиролизе газаконденсатов // Ж. Физика и химия обработки материалов
3. Идиев М.Т., Сафаров Б.С., Файзуллоев У.Н. Об эффективности метода барботирования в плазмохимическом пиролизе газоконденсатов// Мақола. АИ ҶТ, Том 54.№2, соли 2011.саҳ., 136-140
4. Идиев М.Т., Файзуллоев У.Н. О плазмохимическом пиролизе газовых конденсатов в азотной плазме // Ж. Физика и химия обработки материалов.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Идиев Махмадризвон Тешаевич	Идиев Махмадризвон Тешаевич	Idiev Mahmadrizvon Tehsaevich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of enginering sinces
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: Idiiev_64@mail.ru		
TJ	RU	EN
Сафаров Бахридни Саидович	Сафаров Бахридин Саидович	Safarov Bahriddin Saidovich
н.и.т., и.в.дотсент	к.т.н., и.о. доцента	Candidat of enginering sinces
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Файзуллоев Убайдилло Нарзуллоевич	Файзуллоев Убайдилло Нарзуллоевич	Fayzulloev Ubaidillo Narzulloevich
н.и.т.	к.т.н.	Candidat of enginering sinces
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi

УДК 662.66

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ АНТРАЦИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЗАРАЙЛОК РАШТСКОЙ ДОЛИНЫ

А. Муродиён[1], Н.Ю. Пулодов[3], Б.С. Джамолзода[2], Х.О. Одиназода[2], К. Ботуров[3]

[1]Государственное учреждение Научно-исследовательский институт «Металлургия» ОАО «Таджикская алюминиевая компания»,
[2]Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,
[3]Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана

На основе проведенных исследований показано, что антрациты месторождения Назарайлок Раштской долины состоят из группы мацералов, и каждая группа объединяет определенное количество мацералов. Исследованный антрацит относится к группе витринита и включает три мацерала: теленит, каллинит и витродетринит, а также кварц и карбонаты. Активированный уголь из антрацита получается после карбонизации (термообработки) при температуре 900-1000 ^{0}C с последующей активации в среде CO_2 или водяного пара или в смеси диоксида углерода с водяным паром. Активация проводилась изотермически при температуре 900 ^{0}C с выдержкой от 90 до 120 мин. При активации происходит потеря массы со скоростью 0,325 % в минуту, или общие потери равнялись 28 %. Анализ смеси газов, выделяющихся при карбонизации за счет летучих компонентов, которые содержатся в антраците, показал: CH_4 (7,0%), H_2 (70,05%), C_2H_6 (10,0%), CO (2,5%), CO_2 (9,2%), H_2S (1,25%). При активации карбонизата CO_2 с выдержкой 120 мин. изотермически (900 ^{0}C) получали адсорбент с насыпной плотностью 0,695 г/см^3, прочностью 0,725 % и суммарным объемом пор по воде 0,315 см^3/г. Очистка модельного раствора, содержащего ионы тяжелых металлов, проведенным активированным углем снижала мутность с 70 мг/л до 4,2 мл/л, т.е. в 17 раз, общая жесткость снижалась в 6,25 раза. Содержание Fe уменьшилось с 0,30 мг/л до 0,0040 мг/л (75 раза), медь с 0,21 мг/л до 0,0024 мг/л (87,5 раза), алюминий с 0,70 мг/л до 0,21 мг/л (3,3 раза), что соответствует ГОСТ-у 2874-82 «Вода питьевая». По совокупности проведенных исследований показаны возможности изготовления активированных углей из антрацитов месторождения Назарайлок, пригодные для очистки вод промышленного назначения, а также очистки химически загрязнённых стоков от ионов тяжелых металлов.

Ключевые слова: *антрацит, Назарайлок, карбонизат, активированный уголь, сорбция, активация, парогазификация.*

ТЕХНОЛОГИЯИ ИСТЕҲСОЛИ АНГИШТИ ФАЪОЛКАРДАШУДА АЗ АНТРАСИТҲОИ КОНИ НАЗАРАЙЛОКИ ВОДИИ РАШТ

А. Муродиён[1], Н.Ю. Пулодов[3], Б.С. Ҷамолзода[2], Ҳ.О. Одиназода[2], Қ. Ботуров[3]

Дар асоси таҳқиқоти гузаронидашуда нишон дода шуд, ки антраситҳои кони Назарайлок дар водии Рашт аз гурӯҳи матсералҳо иборат буда, ҳар як гурӯҳ миқдори муайяни матсералҳоро муттаҳид мекунад. Антрасити таҳқиқотшуда ба гурӯҳи витринит тааллуқ дорад ва се матсералро дар бар мегирад: теленит, каллинит ва витродетринит, инчунин кварс ва карбонатҳо. Ангишти фаъолшуда аз антрасит пас аз карбонизатсия дар ҳарорати 900-1000 ^{0}C, пас аз фаъолсозӣ дар муҳити CO_2 ё буғи об ё дар омехтаи гази карбон ва буғи об ба даст оварда мешавад. Фаъолсозӣ ба таври изотермӣ дар ҳарорати 900 ^{0}C бо вақти нигоҳдорӣ аз 90 то 120 дақиқа гузаронида шуд. Ҳангоми фаъолсозӣ, талафоти масса бо суръати 0,325% дар як дақиқа ё талафоти умумии 28% мебошад. Таҳлили омехтаи газҳое, ки ҳангоми карбонизатсия аз ҳисоби кампанентҳои бухоршаванда дар антрасит мавҷудбуда ҷудо мешаванд: CH_4 (7,0%), H_2 (70,05%), C_2H_6 (10,0%), CO (2,5%), CO_2 (9,2%), H_2S (1,25%). Ҳангоми фаъол кардани карбонатизат CO_2 бо вақти нигоҳдорӣ 120 дақиқа ба таври изотермӣ (900 ^{0}C) адсорбенти зичиаш 0,695 г/см^3, мустаҳкамиаш 0,725 % ва ҳаҷми умумии сурохиҳои бо об санҷидашуда ба 0,315 см^3/г ба даст омад. Тоза кардани маҳлули моделие, ки дорои ионҳои металлҳои вазниндошта бо ангишти фаъолшуда тирагӣ аз 70 мг/л то 4,2 мг/л, яъне 17 баробар, дурушти умумӣ 6,25 баробар кам шуд. Камшавии миқдори Fe аз 0,30 мг/л то 0,0040 мг/л (75 маротиба), мис аз 0,21 мг/л то 0,0024 мг/л (87,5 маротиба), алюминий аз 0,70 мг/л то 0,21 мг/л (3,3 маротиба), ки ба ГОСТ-и 2874-82 «Оби нушокӣ» мувофиқ шуд. Дар асоси маҷмуи таҳқиқоти гузаронидашуда имкони ҳосил намудани ангишти фаъолшуда аз антрасити кони Назарайлок, ки барои тоза кардани обҳои саноатӣ мувофиқ аст, инчунин аз ионҳои металлҳои вазнин тоза кардани обҳои партовӣ химиявӣ олудашуда нишон дода шуд.

Калимаҳои калидӣ: *anthracite, Nazarailok, carbonizate, activated carbon, sorption, activation, steam gasification.*

TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM ANTHRACITES OF THE NAZARAILOK DEPOSIT OF THE RASHT VALLEY

A. Murodiyon[1], N.Yu. Pulodov[3], B.S. Jamolzoda[2], Kh.O. Odinazoda[2], K. Boturov[3]

Based on the conducted research, it was shown that the anthracites of the Nazarailok deposit in the Rasht Valley consist of a group of macerals and each group combines a certain number of macerals. Research anthracite belongs to the vitrinite group and includes three macerals: telenite, callinite and vitrodetrinite, as well as quartz and carbonates. Activated carbon from anthracite is obtained after carbonization (heat treatment) at a temperature of 900-1000 ^{0}C, followed by activation in a CO_2 or water vapor environment or in a mixture of carbon dioxide and water vapor. Activation was carried out isothermally at a temperature of 900 ^{0}C with a holding time of 90 to 120 minutes. Upon activation, mass loss occurs at a rate of 0,325% per minute or a total loss of 28%. Analysis of the mixture of gases released during carbonization due to volatile components contained in anthracite were: CH_4 (7,0%), H_2 (70.05%), C_2H_6 (10,0%), CO (2,5%), CO_2 (9,2%), H_2S (1,25%). When activating CO2 carbonate with holding time for 120 min. isothermally (900 ^{0}C) an adsorbent with a bulk density of 0,695 g/cm^3, a strength of 0,725% and a total pore volume in water of 0,315 cm^3/g was obtained. Purification of a model solution containing heavy metal ions with activated carbon reduced the turbidity from 70 mg/l to 4,2 ml/l, i.e. by 17 times, the total hardness decreased by 6,25 times. Fe content decreased from 0,30 mg/l to 0,0040 mg/l (75 times), copper from 0,21 mg/l to 0,0024 mg/l (87.5 times), aluminum from 0,70 mg /l to 0,21 mg/l (3,3 times), which corresponds to GOST 2874-82 “Drinking water”. Based on the totality of the studies carried out, the possibility of producing activated carbons from anthracite deposits of the Nazarailok deposit, suitable for the purification of industrial waters, as well as the purification of chemically contaminated wastewater from heavy metal ions, was shown.

Keywords: *anthracite, filtrant, grone composition, fraction, distillation, ion exchange, osmosis, electrodialysis.*

Антрациты широко используются в химической, металлургической отрасли, а также из него изготавливают различные конструкционные изделия. В химической промышленности из антрацита изготавливают фильтранты для очистки хозяйственно-питьевых, коммунальных и промышленных вод, сорбенты (активированные угли) используют для сорбции паров и газов, ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, сорбенты рассматриваются как наиболее эффективные методы охраны воздушного и водного бассейнов и экологической защиты населения. Сорбенты используются для извлечения ценных компонентов, поглощения токсичных соединений, имеющихся в парогазовой и жидкой среде, а также могут служить носителями катализаторов и химических поглотителей, изготовления молекулярных сит для разделения газов [1-4].

Антрациты в металлургии используются для изготовления футеровочных материалов тепловых агрегатов (печи различного назначения), катодных блоков для капитального ремонта алюминиевых электролизеров, набоечных масс, используются как восстановитель для выплавки металлов из руды и многого другого [5-9].

Республика Таджикистан располагает большими запасами антрацитов высокого качества. Геологическое происхождение, промышленные и прогнозные запасы их приведены в монографии [10]. Антрацит месторождения Назарайлок делится на три участка: “Шикорхона”, “Кафтархона” и “Камароб” с общими прогнозными и промышленными запасами около 200 млн. тонн [10].

Благодаря уникальным свойствам угли (антрациты) после переработки приобретают способность поглощать вредные пары, газы, множества вредных элементов из растворов, устранять мутность, обеспечить прозрачность воды с сохранением вкусовых качеств, т.е. сорбционный материал будет иметь различное назначение, и делает его в перспективе в качестве нетопливного использования. Такие показатели как насыпная плотность, гранулометрический состав, зольность и мехпрочность считаются важными физическими характеристиками дробленных сорбентов. Однако одним из наиболее важных показателей любого углеродного сорбента считается пористость (наличие пор в структуре угля). Следует отметить, что углеродные фильтранты (сорбенты) имеют сложную пористую структуру, которая зависит от петрографического состава угля и степени метаморфизма. Поры имеют различные формы и размеры и делятся на: макропоры, микропоры и мезопоры, а также ультра-, микро- и ультрамезопоры. Размеры их колеблятся от 2,0 до 50,0 нм.

Любой антрацит в зависимости от геологического происхождения и геоботаники в своем составе может содержать витринит (V_t), инертенит (I_{st}), семивитринит (S_v), лейптинит (L) [10]. Угли (антрациты) состоят из группы мацералов, и каждая группа объединяет определенное количество мацералов [11]. Например, в группу витринита входят мацералы: теленит (Vt_t), коллинит (Vt_k), витродетринит (Vt_{vd}). В группу инертенита (I) входят мацералы: макринит (Ima), фюзенит (I_t), склеротинит (I_{sk}). Кроме прочего, в состав группы мацералов входят минеральные включения (M) таких мацералов, как глинистые минералы (M_{gi}), сульфиды железа (M_s), карбонаты ($M_к$), окислы кремния и прочие.

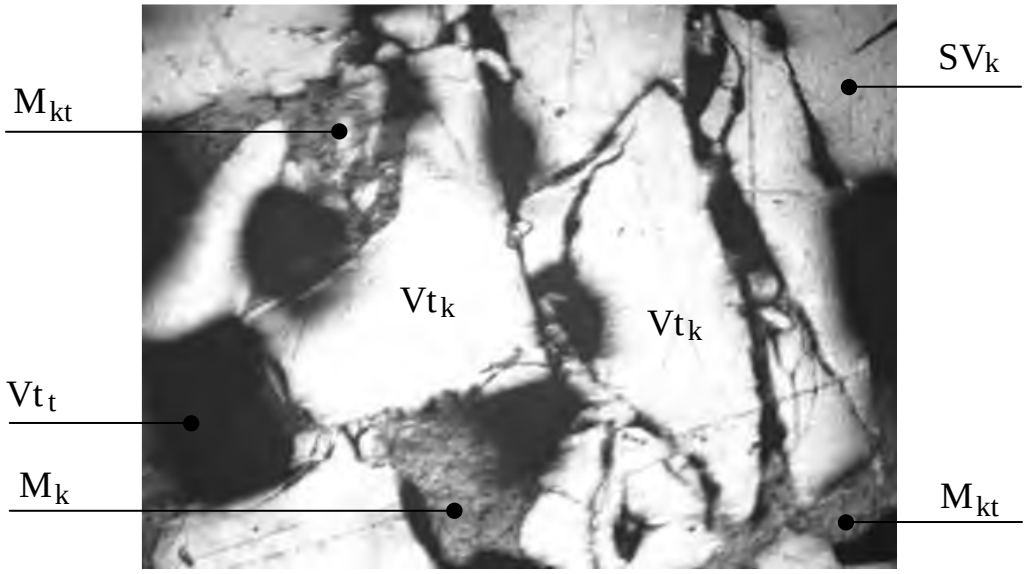


Рисунок 1 – Структура сырого антрацита (500^x) (участок «Шикорхона» мацералы: Vt_t-теленит, SV_k-семиколлонит, Vt_k-коллинит, Mk_t-кварц, M_k-карбонаты (сравнивались с ГОСТ 9414-74(СТ СЭВ 5431-85) Госстандарт СССР угли бурые, каменные и антрациты), г. Москва.

Антрациты месторождения Назарайлок относятся к группе витринита и включают три мацерала: теленит, каллинит и витродетринит. Все эти материалы хорошо видны на рисунке 1. Эти мацералы содержат признаки растительности и минеральные включения. При низкой метаморфизме большая часть мацералов сохраняется в слоях антрацита, и при дроблении легко не измельчается, а, наоборот, сохраняет свою аморфность, что подтверждает РФА. В ИК-спектров при температуре 1400 ^{0}С остается О-Н группы. Поэтому при дроблении исходного антрацита месторождения Назарайлок трещинообразование происходит слабо, и естественно сорбционная способность таких антрацитов слабее относительно высокометаморфизованных антрацитов. При дроблении наших антрацитов больше всего образуются макропоры, и сорбция (поглощение) механических примесей протекает на поверхности сорбента, и может образовать адсорбат в виде монослоя, что описывается теорией мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра.

Как известно, при дроблении антрацита в кусках, мелочах и частицах мелкого размера образуются поверхностные поры, но не глубокие. Сырой антрацит имеет естественную трещиноватость. Под действием механической нагрузки трещины могут увеличиваться как по длине, ширине, а также по глубине. Например, микротрещиноватость определяется уравнением

$$L_{уд} = \sum \frac{L}{S}, мм^{-1}, \quad (1)$$

где $\sum L$ - суммарная длина трещин исследуемого образца (аншлифа), мм; S-поверхность аншлифа, мм^2

Микротрещиноватость наших антрацитов в среднем по трем участкам составляла 0,435 мм$^{-1}$. Данная величина вычислялась по снятой структуре с аншлиф-брикета оптическим микроскопом при увеличении в 500 раз.

Углеродные сорбенты, кроме макропор, содержат также мезопоры, адсорбция на поверхности которых протекает по механизму полимолекулярной адсорбции. В этом случае суммарная адсорбция может быть представлена как сумма величин адсорбции в микропорах и на поверхности мезопор:

$$a = a_{МИ} + a_{МЕ}, \quad (2)$$

Если построить сравнительный график, т.е. зависимость величины адсорбции на исследуемом образце от величины адсорбции на поверхности непористого углеродного сорбента-сажи, то наклон прямой в области полимолекулярной адсорбции будет пропорционален поверхности мезопор исследуемого образца.

Объем макропор *($V_{МА}$*, см^3*/г)* рассчитывали по разности:

$$V_{МА} = V_{\Sigma} - (V_{МИ} - V_{МЕ}), \quad (3)$$

В любых технологических схемах приготовления воды перед основной технологией очистки требуется удалить из воды коллоидные и взвешенные вещества. Для этой цели используются различные системы предварительной обработки воды с последующей фильтрацией. Фильтрование - физико-химический процесс, основанный на адгезии взвешенных и коллоидных примесей воды к зернам фильтрующего материала.

В фильтровальных сооружениях коммунального хозяйства дробленый антрацит применяется только в качестве верхнего слоя 2-х-слойных скорых фильтров, при этом антрацитовый слой, как фильтрующая загрузка, имеет высоту 0,4-0,5 м, а слой находящегося под ним кварцевого песка имеет высоту 0,7-0,8 м при крупности зерна 0,5-1,2 мм. При движении загрязненной воды или других низко концентрированных суспензий через зернистую фильтрующую среду происходит задержание взвешенных частиц, в результате чего вода осветляется. Одновременно в фильтрующей загрузке накапливается осадок и увеличивается гидравлическое сопротивление (ГС) потоку очищаемой воды. Увеличение ГС приводит к росту потери напора в загрузке.

Поэтому целью данного исследования являлось комплексное научно-технологическое обоснование использования антрацитов месторождения Назарайлок в качестве сырья для получения отечественных фильтрантов, способных по качественным показателям и объему производства ликвидировать дефицит этого вида продукции технологического и экологического назначения и вытеснить импортные аналоги.

Активированные угли сильно отличаются от фильтрантов. Дело в том, что активированные сорбенты имеют разветвленные поры, и адсорбция зависит от объемов сорбирующих пор (микро-и мезопор). При этом активированные угли должны иметь достаточно высокую прочность зерна, и это обстоятельство является основной задачей при переработке исходного сырья в углеродные сорбенты.

Можно отметить, что двухстадийная схема получения промышленных дробленых адсорбентов считается классической схемой, сущность которой состоит из дробление сырья (антрацита), далее рассев - сушка – карбонизация – активация – охлаждение – рассев (по фракциям) и выход готового продукта. Карбонизация протекает при высокой температуре (900-1000 °С), и содержание углерода за счет удаления летучих компонентов возрастает до 96%. Например, в антрацитах месторождения Назарайлок содержание летучих компонентов в среднем по трем участкам составляет 8,0 % (масс.) Содержание углерода до 92,0 % (масс.).

Существует парогазовая активация, в результате чего в антраците образуются дополнительные поры различного размера - от макро до ультрамезапор. В первой стадии (активации) будут заложены прочностные

свойства будущего сорбента и обеспечат первичную пористую структуру. По второй стадии (активация) при парогазовой обработке получаем прочный, высокореакционный карбонизат, имеющий достаточно прочный адсорбент с развитой системой пор.

Следует отметить, что в промышленности обе стадии переработки - карбонизация и активация осуществляются в отдельных оборудованиях, потому что каждая стадия имеет свою температуру и скорость термообработки. По этой причине совмещать оба процесса в один трудно осуществимо как аппаратурно, так и технологически.

Любой сырой антрацит в зависимости от петрографического состава и степени метаморфизма имеет от 4 до 9% (масс.) летучих компонентов органического происхождения. С целью повышения прочностных свойств и образования первичных пор исследуемый антрацит подвергается карбонизации (термообработки) до определенных температур, например, максимум до 1000 °С.

Следует отметить, что независимо от размера фракций и скорости фильтрации путем корбанизации необходимо удалить из состава антрацита летучие компоненты. Это достигается путем карбонизации при определенных условиях. Комплексное исследование трёх участков антрацитов месторождения Назарайлок показало общность петрографического состава, геологического происхождения, сравнимые прочностные свойства, и в дальнейшем для исследования использовали антрациты участка «Шикорхона».

Усреднённый химический состав антрацита участка «Шикорхона» (пласт N6) был следующий; % (масс.):

С-92,00; Н-3,45; О-1,55; N-1,06; летучие-8,52; зольность-2,0; объёмная плотность-1400 кг/м^3

На рисунке 2 приведены термогравиметрические кривые зависимости потери массы (кривая 1) и скорость потери массы антрацита (кривая 2) от температуры. Как видно из рисунка, кривые имеют сложный характер и при 1000°С, например, скорость потери массы составляет 0.325% в минуту. При этой температуре потеря массы равняется примерно 28%. Потеря массы в основном происходит за счет обгара и выхода летучих компонентов из состава антрацита.

После проведения комплексных исследований с исходными антрацитами приступили к составлению технологических схем получения карбонизированного антрацита, и из него далее получить активированный уголь (адсорбент). Параллельно в процессе карбонизации определялся химический состав газов, выходящих при пиролизе, и сравнивались с химическим составом смеси газов, полученных при пиролизе каменного угля Фон-Ягнобского месторождения (пиролиз в газогенераторе, монтированном в ООО «ТАЛКО кемикал»).

Карбонизация осуществляется с применением лабораторной трубчатой печи сопротивления в атмосфере азота при температуре 900 ^{0}С. Как показывают ранние исследования, при этой температуре из состава антрацитов улетучиваются все органические составляющие. В данном случае карбонизация производится постепенно (плавно), от температуры окружающей среды до 900^0С, и далее температура (900^0С) поддерживается изотермически в течение 60 мин. с постоянной продувкой азота с целью предотвращения образования обгара на поверхности сорбента. Газообразный чистый азот продувался из расчета 5л/мин. Дробленный антрацит с размерами частиц 1-3 мм помещался в кварцевую трубку. После карбонизации сорбент охлаждался в печи, отключая последний из сети. Далее карбонизат вынимался из кварцевой трубки, и отбирали определенную часть для проведения активации.

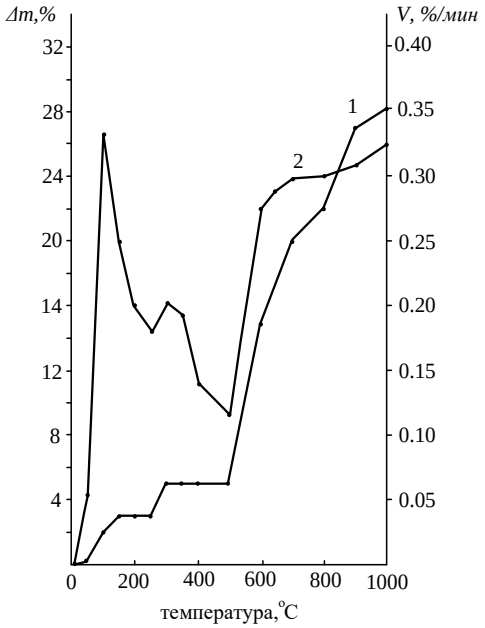


Рисунок 2 - Термогравиметрические кривые потери массы антрацита при термообработке в воздушной среде (фракции 1-3мм): 1 - зависимость потери массы от температуры (Δm); 2 - зависимость скорости потери массы от температуры (V).

При карбонизации (термообработке) выделяющиеся смеси газов поступают в лабораторный газоанализатор, например, типа ЛХМ-80, и определяется процентное содержание каждого газа в смеси, а при необходимости часть излишнего газа можно поглощать водою или другим поглотителем, регулируя вентилем. Температура в печи регулируется и поддерживается терморегулятором. Электропечь подключается к источнику тока напряжением 220 В. Гидрозатвор предотвращает пульсацию пропускаемого газа и пара, а также обеспечивает прохождение потока по всему сечению трубки.

Для получения активированного угля используются другие части карбонизированного антрацита с применением активированных агентов (CO_2; водяной пар; модификатор в виде соли металлов). Для этой цели используется такая же схема с той разницей, что вместо баллона азота используется баллон с углекислым газом. При парофикации сначала пар получили в конструированный из нержавеющей стали пилотный парогенератор и далее пар поступал через расходомер на парофикацию. Давление пара контролировалось через манометр. С целью полного улавливания капель воды, уносимых паром, парогенератор был снабжен каплеуловителем. Диоксид углерода подавался из баллона CO_2.

Следует отметить, что при длительном пропускании углекислого газа через редуктор последний замерзал и далее не пропускал газ через систему. Для предотвращения такого нежелательного явления был использован редуктор е расходомером, снабженным элетронагревательным элементом. Редуктор нагревался до определенной температуры и далее при работе с углекислым газом проблем не создавал. Что касается парогенератора, пар образовался при нагревании воды нагревательным элементом, закрепленным в днище генератора и мощность нагрева регулировалась с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). Расход пара регулировался е помощью расходомера. С помощью терморегулятора подбиралась необходимая температура нагрева антрацит-карбонизата, чтобы получить сорбент. Расход газа к пару поддерживался в соотношении 1:2, а уровень воды в парогенераторе контролировался с помощью уровнемера. Методика получения активированного угля аналогична методу получения карбонизата. Здесь пропускается CO_2 и водяной пар.

Состав смеси газов при пиролизе представлен в таблице 1. Каждый компонент в смеси газов определялся на лабораторном газоанализаторе ЛХМ-80.

Таблица 1 – Химический состав смеси газов при пиролизе антрацита

Компоненты	CH_4	H_2	C_2H_6	CO	CO_2	H_2S
%-ное содержание	7,00	70,05	10,00	2,50	9,20	1,25

Как видно из таблицы 1, в составе смеси газов меньше всего содержится сероводорода. Это очевидно, т.к. в составе антрацита сера присутствует в небольшом количестве и почти соизмерима с содержанием монооксиси углерода (CO). Значительную долю составляет водород. Метан и углекислый газ по количеству почти одинаковые. Всё это свидетельствует о низком метаморфизме, который испытывал исследуемый антрацит.

В таблице 2 приведены режим карбонизации и технические свойства карбонизата, полученного из антрацита участка «Шикорхона».

Таблица 2 - Режим карбонизации и технические свойства карбонизата

	Режим	Показатели качества карбонизата					
№	Конечная температура карбони-зации, ^{0}C	Насыпная плотность ($\rho_н$), г/см^3	Прочность раздавливания (П), %	Реакционная способность (V), 10^{-5}, г/г·с	Сум-марный объём пор (V_Σ), см^3/г	Объём макропор, ($V_{ма}$), см^3/г	Сумма микро- и мезо- пор, (W_S), см^3/г
1	-	0,750	88,88	0,650	0,0785	0,078	0,005
2	700	0,720	88,10	0,600	0,0810	0,075	0,006
3	800	0,725	90,25	0,623	0,0820	0,073	0,009
4	900	0,795	91,06	0,721	0,0830	0,071	0,012
5	1000	0,800	91,15	0,755	0,0850	0,071	0,014

Примечание: №1- соответствует исходному антрациту, и в опыте использовали фракции (1,5-3,0) мм. Скорость подъема температуры составляла 12.0 ^{0}C/мин.

Как видно из таблицы 2, условие карбонизации практически не влияет на качество получаемого углеродного материала. С повышением температуры незначительно увеличивается насыпная плотность и прочность. Реакционная способность и суммарный объем пор карбонизата увеличиваются, а объемы макропор практически не изменяются. С увеличением температуры несколько увеличивается суммарный объём микро- и мезопор. Следует отметить, что объём макропор вследствие повышения температур уменьшается. По-видимому, это связано с увеличением усадочных процессов, происходящих в антраците.

В целом термообработка благоприятно сказывается на улучшении физико-технических свойств карбонизата, что можно объяснить протекающими процессами уплотнения угля с раскрытием внутренних пор и выхода сорбированных газов из состава антрацита.

Важно отметить, что полученный карбонизат с такими качественными показателями не может быть применен как адсорбент (активированные угли) в процессах сорбции. Возникает необходимость в активации карбонизата. В дальнейших опытах использован карбонизат, полученный при температуре 900°С, с насыпным весом 0, 795 г/см^3 и суммарным объемом пор 0,083 см^3/г.

В таблице 3. приведены результаты работ при обработке карбонизата инертными газами (CO_2, N_2), паром, а также смесью пара и углекислого газа при температуре 900 °С.

Таблица 3 – Режим активации и технические характеристики полученных сорбентов

№ опы.	Способ активации	$\tau_{акт.}$ мин.	$\rho_н$, г/см^3	α**, %	П, %	Объёмы пор, см^3/г		
						V_Σ	$V_{ма}$	W_s
1	Сырой антрацит	-	0,750	-	88,890	0,0785	0,078	0,0050
2	Карбонизат*	90	0,795	15,02	91,060	0,083	0,071	0,0120
3	Карбонизат+CO_2	60	0,783	16,00	0,812	0,285	0,266	0,0183
4	Карбонизат+ CO_2	90	0,724	17,25	0,790	0,310	0,294	0,0162
5	Карбонизат+ CO_2	120	0,695	17,62	0,725	0,315	0,292	0,0225
6	Карбонизат+ пар	90	0,710	15,10	0,752	0,210	0,172	0,0380
7	Карбонизат+ CO_2+пар	90	0,700	16,1	0,731	0,321	0,297	0,0236
8	Карбонизат+ N_2+пар	90	0,722	17,20	0,780	0,220	0,208	0,0122
9	Карбонизат+ CO_2+МО+дификатор + N_2	90	0,803	15,31	93,44	0,216	0,151	0,0650

*- карбонизат получен из сырого антрацита при 900°С продувкой азота в течение 60 минут.

**- обгар - степень потери корбанизата при активации.

W_S – сумма микро- и мезопор в сорбенте.

На основе полученных данных можно предполагать, что карбонизат, обработанный углекислым газом, имеет практически одинаковый суммарный объем пор по сравнению с обработкой смеси углекислым газом и паром. С экономической точки зрения принимать 5-й вариант целесообразно, т.к. не требуется парофикации, и предложенный вариант более является энергосберегающим, и для промышленной реализации данный сорбент более технологичен и экологичен.

Полученные адсорбенты были испытаны для очистки химически загрязненных стоков (изготовлен модельный раствор) в лаборатории, и пропускали воду через адсорбционные колонки, высота слоя 50 см, диаметр колонки 12 мм, размер фракции 1,5-3,0 мм при линейной скорости пропускания раствора 5,0-5,5 м/час или объёмная скорость равнялась 0,06 м^3/час.

Показатели качества модельного раствора определялись физико-химическими методами в центральной лаборатории по контролю производства питьевой воды ГУП Душанбеводоканал» (КВД Обу корези Душанбе). Результаты анализа приведены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, на снижение мутности и повышение прозрачности изготовленные сорбенты по трем вариантам влияют одинаково: прозрачность увеличивается в 5 раз, а мутность снижается с 70 мг/л до 4,2 мг/л, т.е. почти в 17 раз. Общая жесткость снижается в 6,25 раза. Модифицированный карбонизат заслуживает особого внимания почти на одинаковом уровне с точки зрения очистки загрязнителей промышленных стоков. Все полученные сорбенты хорошо поглощают сульфаты и снижаются более чем в 2 раза, т.е. уменьшают концентрацию сульфатов с 39,0 мг/л, до 18,0 мг/л. Полученные сорбенты хорошо адсорбируют ионы тяжелых металлов, и как видно из таблицы, карбонизат, обработанный паром и CO_2, уменьшает содержание железа с 0,3 мг/л до 0,0040 мг/л, т.е. уменьшает почти в 75 раз. Также сильно поглощает ионы меди из раствора и увеличивает обезмеднение раствора в 87,5 раза, а модифицированный карбонизат относительно хуже поглощает ионы Fe и Cu из раствора. Данный карбонизат относительно лучше сорбирует ионы алюминия из стоков.

Таблица 4 – Результаты физико-химических показателей модельного раствора

№	Наименование показателей	Норма по ГОСТу 2874-82 «Вода питьевая»	Результаты анализа вариантов			
			0	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7
	Прозрачность ($см^3$)	не менее 30	6	30	30	30
	Мутность (мг/л)	не более 2,0	73	4.2	4.2	4.2
	Температура, ^0C	не более 20	18	18	18	18
	Запах, (баллы)	не более 2	1	1	1	1
	Привкус, (баллы)	не более 2	1	1	1	1
	Водородный показатель (pH)	6,0-9,0	7,14	7,5	7,6	7,7
	Жесткость (мг. экв/л)	не более 7.0	25	4,0	4,0	4,2
	Кальций (мг. экв/л)		13	3,5	3,5	3,7
	Магний (мг. экв/л)		12	0,5	0,5	0,6
	Сумма K+Na (мг. экв/л)		2,07	1,64	1,64	1,63
	Сульфаты (мг/л)	не более 500,0	39,0	18,7	18,5	18,0
	Сухой остаток (мг/л)	не более 1000,0	250	195	195	193
	Аммиак, (мг/л)	2,0	н/об	н/об	н/об	н/об
	Нитриты (мг/л)	3,0	н/об	н/об	н/об	н/об
	Нитраты (мг/л)	не более 45	16,8	10,3	10,3	10,5
	Щелочность (мг. экв/л)		1,3	1,3	1,3	1,3
	Хлориды (мг/л)	не более 350	46	45	45	46
	Железо (мг/л)	не более 0,3	0,32	0,030	0,0040	0,022
	Медь (мг/л)	не более 1,0	0,21	0,018	0,0024	0,015
	Окисляемость (мг/л)	не более 5,0	1,12	1,04	1,04	1,04
	Алюминий (мг/л)	не более 0,5	0,70	0,25	0,21	0,20

Примечание, вариант 0 - исходный модельный раствор; вариант 1 - карбонизат обработан с помощью CO_2; вариант 2 - карбонизат обработан с помощью пара и CO_2; вариант 3 - карбонизат модифицирован и обработан паром и CO_2.

Таким образом, обработанный карбонизат с помощью CO_2 или с помощью смеси CO_2+пар лучше всего поглощают из растворов ионов тяжелых металлов и можно рекомендовать их для очистки химически загрязненных промышленных стоков. Кроме того, эти сорбенты вполне можно использовать для очистки вод хозпитьевого назначения.

По совокупности проведенных исследований показаны возможности изготовления активированных углей из антрацитов месторождения Назарайлок Раштской долины, пригодные для механической очистки вод хозяйственно-питьевого, промышленного назначения, а также очистки химически загрязненных стоков от ионов тяжелых металлов в горно-обогатительных, химических и металлургических предприятиях.

Авторы выражают свою признательность начальнику ЦЛКП питьевой воды ГУП «Душанбеводоканал» Кароматуллоевой Н.С. за оказанную помощь в проведении физико-химических анализов представленных сорбентов.

Рецензент: Ганиев И.Н. – д.х.н., профессор, академик НАНТ

Литература

1. Самофалов В.С. Переработка антрацита в сорбционные материалы различного назначения. Дисс. на соиск. ученой степени канд. тех. наук, М.: 2004. 153с.

2. Передерий М.А. Ископаемые угли как сырьё для получения углеродных сорбентов и носителей катализаторов различного назначения. Дисс. докт. техн. наук. М.: 1997, 281 с.

3. Кураков Ю.И. Сырьевая база антрацитов Российского Донбасса для производства углеродных материалов. Дисс. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. –М.: 2005, 260 с.

4. Самофалов В.С., Передерий М.А., Кураков Ю.И. Антрацитовые фильтранты // Изв. ВУЗ-ов Сев. Кавк. Региона. Естеств. Науки-2004, №1. – С. 92-102.

5. Пулодов Н.Ю. Джамолзода Б.С., Муродиён А., А.Г. Сафаров, Сафиев Х. Филтрант для очистки вод. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. – Душанбе. – 2021. №3 (55). С. 42-46

6. Вохидов М.М., Муродиён А., Азизов Б.С., Муродиён П. Известия АН Республики Таджикистан, отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук, 3(152), 70-77 (2013).

7. Джамолзода Б.С., Муродиён А., Сафаров А.Г., Сафиев Х., Доклады АН Республики Таджикистан, 58. №4. 2015. – С. 326 - 330

8. Пулодов Н.Ю., Джамолзода Б.С., Муродиён А., Сафаров А.Г., Сафиев Х. Антрацит – сырьё для производства фильтрующего материала. Вестник филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, серия естественных наук, Т.1, №1 (21) 2022. – С. 71-75.

9. Муродиён А., Пулодов Н.Ю., Джамолзода Б.С., Одиназода Х.О. Комплексное исследование качества антрацитов месторождения Назарайлок как сырья для получения сорбционных материалов. Вестник Казанского технологического университета, Т. 26, №6, 2023. – С. 40-45.

10. Еров З.Е., Кабиров Ш.О., Муродиён А., Сироджев Н.М. Минерально-сырьевая база химико-металлургической промышленности Таджикистана, г. Душанбе, Изд-во «Мега-Басым,» Стамбул, Турция, 2012. 413 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Асрори Муродиён	Асрори Муродиён	Asrori Murodiyon
д.и.т	д.т.н	Doctor of Technical Sciences
Муассисаи давлатии пажуҳишгоҳи илмӣ-таҳқиқотии «Металлургия»-и ҶСК «Ширкати алюминийи тоҷик»	Государственное учреждение Научно-исследовательский институт «Металлургия» ОАО «Таджикская алюминиевая компания»	State Institution Scientific Research Institute "Metallurgy" OJSC "Tajik Aluminum Company"
TJ	RU	EN
Пулодов Нуриддин Юлдошхоҷаевич	Пулодов Нуриддин Юлдошходжаевич	Pulodov Nuriddin Yuldoshhojaevich
Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови АМИ Тоҷикистон	Физико – технический институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана	Physico-Technical Institute named after S.U. Umarov National Academy of Sciences of Tajikistan
e. mail: Nuriddin_95@mail.ru		
TJ	RU	EN
Ҷамолзода Беҳрузи Саъдонхуҷа	Джамолзода Бехрузи Саъдонхуджа	Jamolzoda Behruzi Sadonkhuja
н.и.т	к.т.н	Ph.D.
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e. mail: Jamolzoda_behruz@mail.ru		
TJ	RU	EN
Одиназода Ҳайдар Одина	Одиназода Хайдар Одина	Odinazoda Haydar Odina
д.и.т., профессор, аъзо-крреспонденти АМИ Таджикистон	д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Таджикистана	Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member National Academy of Sciences of Tajikistan
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академ ик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академ ика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Ботуров Кодир	Ботуров Кодир	Boturov Kodir
н.и.фик.мат.	к.физ.-мат.н.	PhD in Physics and Mathematics
Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови АМИ Тоҷикистон	Физико – технический институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана	Physico-Technical Institute named after S.U. Umarov National Academy of Sciences of Tajikistan

УДК 661.746.54 + 544.354 + 543.554.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ИОНИЗАЦИИ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ МЕТОДОМ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ

Ф. Мираминзода[1], М. Рахимова[2], Дж.А. Давлатшоева[2], К.Дж. Суяриён[2], Г.Б. Эшова[1]

[1]Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета

[2]Таджикский национальный университет

Методом потенциометрии изучено кислотно-основное свойство лимонной кислоты при 298 К. Установлено, что результаты потенциометрического титрования зависят от способа титрования, концентрации веществ и времени установления равновесного значения pH титруемого раствора. С возрастанием концентрации лимонной кислоты значения объема, добавленного в систему щелочи, уменьшаются. При возрастании температуры системы значения констант ионизации лимонной кислоты возрастают. Показано количество доступных функциональных групп (-COOH) лимонной кислоты, которые могут быть определены потенциометрическим методом. Значения константы диссоциации лимонной кислоты составляют 2,65 - H_2L^-; 4,25 - HL^{2-} и 5,52 - L^{3-}.

Ключевые слова: *потенциометрия, лимонная кислота, концентрация, константы ионизации, pH.*

МУАЙЯН КАРДАНИ ИОНИЗАТСИЯИ КИСЛОТАИ ЛИМУ БО УСУЛИ ПОТЕНСИОМЕТРӢ

Ф. Мираминзода, М. Раҳимова, Ҷ.А. Давлатшоева, Қ.Ҷ. Суяриён, Г.Б. Эшова

Бо усули потенсиометрӣ хосияти кислотагӣ-асосии кислотаи лимӯ дар 298 К омӯхта шудааст. Муайян карда шудааст, ки натиҷаҳои титронии потенсиометрӣ аз усули титркунӣ, консентратсияи моддаҳо ва вақти муқаррар кардани қиматҳои мувозинатии pH-и маҳлули титршаванда вобаста аст. Бо зиёд шудани консентратсияи кислотаи лимуи қиматҳои ҳаҷми ба система иловашудаи ишқор кам мешавад. Бо баланд шудани ҳарорати система, қиматҳои константаи ионизатсияи кислотаи лиму меафзояд. Шумораи гурӯҳҳои функсионалии (-COOH) кислотаи лиму, ки бо усули потенсиометрӣ муайян карда мешаванд, нишон дода шудааст. Қиматҳои ионизатсияи кислотаи лиму ба 2,65 - H_2L^-; 4,25 - HL^{2-} и 5,52 - L^{3-} баробар аст.

Калидвожаҳо: *потенсиометрия, кислотаи лиму, консентратсия, константаи ионизатсия, pH.*

DETERMINATION OF CITRIC ACID IONIZATION CONSTANTS BY POTENSIOMETRY METHOD

F. Miraminzoda, M. Rakhimova, J.A. Davlatshoeva, K.J. Suyarien, G.B. Eshova

The acid-base property of citric acid at 298 K. has been studied by potentiometry. It was found that the results of potentiometric titration depend on the titration method, the concentration of substances and the time to establish the equilibrium pH value of the titrated solution. With increasing concentration of citric acid, the volume of alkali added to the system decreases. As the temperature of the system increases, the values of the ionization constants of citric acid increase. The number of available functional groups (-COOH) of citric acid, which can be determined by the potentiometric method, is shown. The dissociation constants of citric acid are 2,65 - H_2L^-; 4,25 - HL^{2-} и 5,52 - L^{3-}.

Keywords: *potentiometry, citric acid, concentration, ionization constants, pH.*

Введение

Гидроксикарбоновые кислоты - представители бифункциональных соединений, в состав молекул которых входят гидроксильные и карбоксильные группы, известны уже давно, так как многие из них имеют природное происхождение. Поэтому они имеют большое биологическое значение и находят разнообразное практическое применение [1, 2].

К наиболее изученной и широко используемой на практике лиганда относится лимонная кислота. Она является представителем сложных α-оксикарбоновых кислот, содержит в своём составе 4 функциональные группы: три карбокси-группы и одну оксигруппу. Присутствие в молекуле наряду с карбоксильными OH–групп усиливает ее кислотные свойства по сравнению с аналогичными карбоновыми кислотами [1].

К числу важнейших характеристик карбоновых кислот относятся константы ионизации, используемые для оценки реакционной способности веществ, расчёта кислотно-основных равновесий в многокомпонентных системах в фармакологии и фармацевтической химии, токсикологии, экологии. Значение констант ионизации весьма существенно в научном плане – они пополняют эмпирическую базу для развития теоретических аспектов физикохимии растворов [3].

Равновесия карбоновых кислот, именно гидроксикарбоновых, в водных растворах изучены недостаточно. Задача изучения равновесий в водных растворах этих кислот часто необходима не только в аналитической и физической химии, но и в ряде сопряжённых научных дисциплин: биохимии, физиологии, геологии, почвоведении и т.п. Для оценки термодинамических равновесий карбоновых кислот, которые диссоциируются на ионы водорода и кислотного остатка, использовались методы потенциометрии и кондуктометрии. Эти методы хорошо описаны в литературе [4]. Согласно физико-химическим свойствам гидроксикарбоновых кислот в литературе обычно приводятся три значения констант ионизации лимонной кислоты: pKa_1, pKa_2 и pKa_3. Данные констант диссоциации этой кислоты приведены в работах [5, 6]: pKa_1 = 3,13,

pKa_2 = 4,71, pKa_3 = 6,21 методом спектрофотомерии, pKa_1 = 3,02, pKa_2 = 4,68 и pKa_3 = 6,18 методом потенциометрии при t = 30 °C [5] и pKa_1 = 2,9, pKa_2 = 4,4, pKa_3 = 6,2 методом Бьеррума [6].

Целью нашей работы является исследование кислотно-основных свойств лимонной кислоты методом потенциометрии при 298 К. Данная информация о константах ионизации используется в дальнейшем при исследовании процессов комплексообразования в системе Fe(II)-Fe(III)-H_3Cit-H_2O и расчетов ионного равновесия данной системы по программе Excel при данных условиях.

Экспериментальная часть

Кристаллы лимонной кислоты марки «х.ч.» применялись без дополнительной очистки. Использовали раствор гидроксида калия, приготовленного из фиксонала. Концентрация раствора $NaNO_3$, предварительно очищенная перекристаллизацией, определялась весовым методом [7]. Необходимая ионная сила раствора достигалась добавлением рассчитанной массы нитрата натрия ($NaNO_3$, моль/л). Все расчеты ионного равновесия выполнены на компьютере по программе Excel [8].

Потенциометрические измерения проводили с помощью pH-метра марки pH-150, иономера «Эконикс-Эксперт–001». Калибровку прибора проводили по буферным растворам с известным pH при температуре 298 К в термостатированной ячейке. Температура во всех случаях была постоянной.

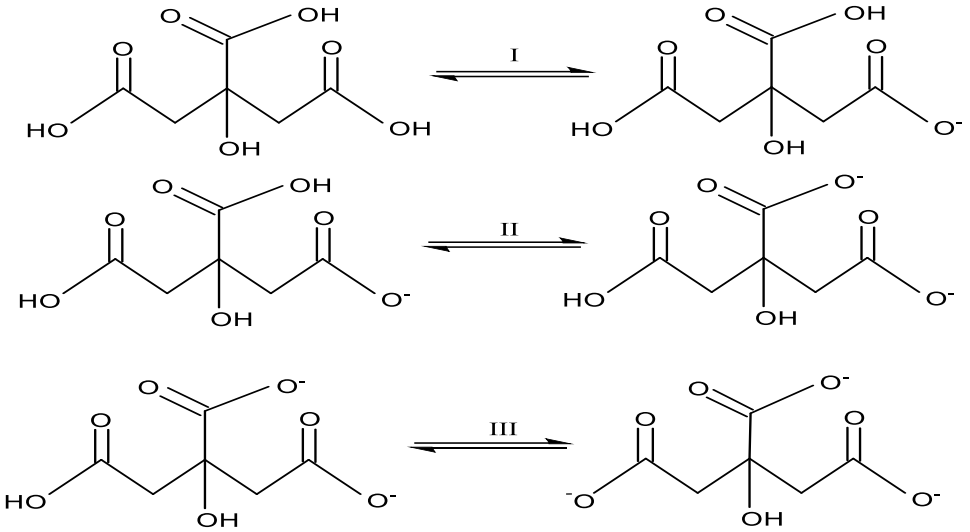
Результаты pH-метрического титрования при 298 К и ионной силе раствора I=0,1 приведены в таблице 1. Экспериментальные величины pKa_1, pKa_2 и pKa_3 были определены титрованием раствором КОН.

Таблица 1 – Результаты титрования раствора лимонной кислоты C_{Cit}=0,01моль/л раствором КОН при 298 К, I=0,1 моль/л

V, мл	pH	C_{KOH}	C_{Cit}	V, мл	pH	C_{KOH}	C_{Cit}
0	2,443	0	0,01	5,2	4,790	0,0052	0,009058
0,3	2,527	0,0003	0,0099404	5,4	4,887	0,0054	0,0090253
0,7	2,665	0,0007	0,0098619	5,6	5,000	0,0056	0,0089928
1,2	2,854	0,0012	0,0097656	5,8	5,101	0,0058	0,0089606
1,4	2,946	0,0014	0,0097276	6,0	5,202	0,0060	0,0089286
1,6	3,024	0,0016	0,0096899	6,2	5,308	0,0062	0,0088968
1,8	3,106	0,0018	0,0096525	6,4	5,410	0,0064	0,0088652
2	3,208	0,0020	0,0096154	6,6	5,515	0,0066	0,0088339
2,2	3,303	0,0022	0,0095785	6,8	5,621	0,0068	0,0088028
2,4	3,401	0,0024	0,0095420	7,0	5,730	0,0070	0,0087719
2,6	3,506	0,0026	0,0095057	7,2	5,845	0,0072	0,0087413
2,8	3,600	0,0028	0,0094697	7,4	5,970	0,0074	0,0087108
3	3,711	0,0030	0,0094340	7,6	6,114	0,0076	0,0086806
3,2	3,819	0,0032	0,0093985	7,8	6,285	0,0078	0,0086505
3,4	3,904	0,0034	0,0093633	8,0	6,517	0,0080	0,0086207
3,6	4,010	0,0036	0,0093284	8,2	6,894	0,0082	0,0085911
3,8	4,109	0,0038	0,0092937	8,4	9,250	0,0084	0,0085616
4	4,205	0,0040	0,0092593	8,6	10,582	0,0086	0,0085324
4,2	4,303	0,0042	0,0092251	8,8	10,900	0,0088	0,0085034
4,4	4,400	0,0044	0,0091912	9,0	11,084	0,0090	0,0084746
4,6	4,500	0,0046	0,0091575	9,2	11,227	0,0092	0,0084459
5	4,685	0,0050	0,0090909	9,4	11,320	0,0094	0,0084175

Результаты и их обсуждения

Лимонная кислота - это полипротонная кислота (может выделять три H^+), которая относится к слабым кислотам (т.е. имеет тенденцию не полностью ионизироваться). Если раствору лимонной кислоты добавить сильное основание, она последовательно теряет свои три протона следующим образом:



Кривая титрования раствора лимонной кислоты раствором гидроксида калия представлена на рисунке 1.

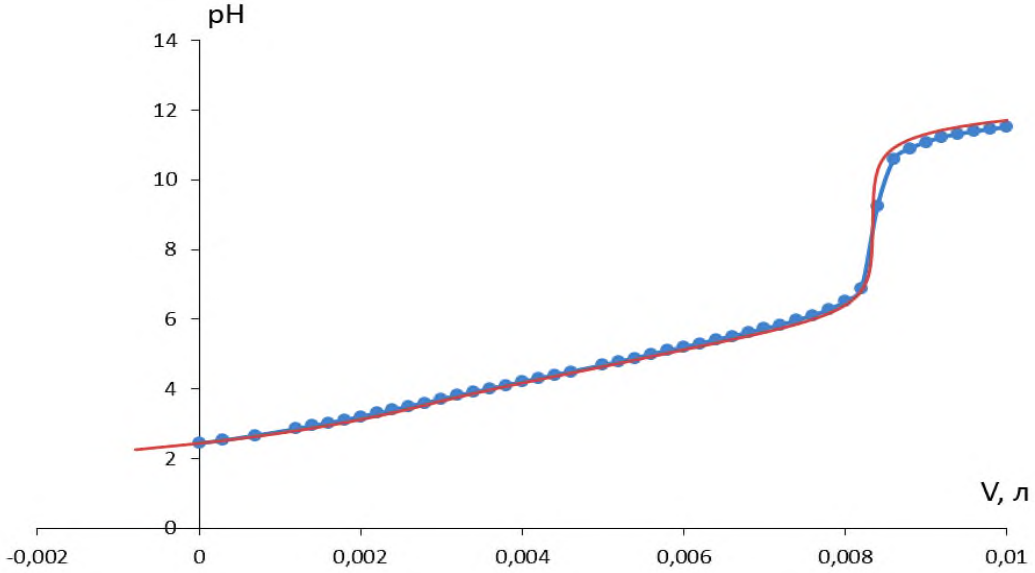


Рисунок 1 – Кривая титрования раствора лимонной кислоты C_{Cit}=0,01 моль/л раствором КОН концентрации 0,2 М при 298 К, I=0,1 моль/л.

У лимонной кислоты значения последовательных констант ионизации вполне сходны, поэтому на кривой титрования отдельные ступени не заметны [9]. Экспериментально и на основе анализа литературных данных показано, что лимонная кислота, хотя и является по современным представлениям трехосновной, но в чисто водных растворах и в присутствии сильных электролитов плавно титруется без скачков в одну ступень [10].

Ионизацию лимонной кислоты в водном растворе при различных значениях pH можно описать следующим образом:

$$H_3CitOH \leftrightarrow H_2CitOH^- + H^+,\ K_{a1}$$

$$H_2CitOH^- \leftrightarrow HCitOH^{2-} + H^+,\ K_{a2}$$

$$HCitOH^{2-} \leftrightarrow CitOH^{3-} + H^+,\ K_{a3}$$

В зависимости от определения окончательного варианта мольных долей (рис. 2, табл. 2) составляем формы распределения лимонной кислоты:

$$\alpha_0=[H^+]^3 / [H^+]^3+[H^+]^2K_{a,1}+[H^+]K_{a,1,2} + K_{a,1,2,3}$$

$$\alpha_1=[H^+]^2 K_{a,1} / [H^+]^3+[H^+]^2K_{a,1}+[H^+]K_{a,1,2} + K_{a,1,2,3}$$

$$\alpha_2=[H^+] K_{a,1,2} / [H^+]^3+[H^+]^2K_{a,1}+[H^+]K_{a,1,2} + K_{a,1,2,3}$$

$$\alpha_3=[H^+] K_{a,1,2,3} / [H^+]^3+[H^+]^2K_{a,1}+[H^+]K_{a,1,2} + K_{a,1,2,3}$$

Таблица 2 – Значения процентной доли молекулярных и ионных форм лимонной кислоты

pH	α_0	α_1	α_2	α_3
1,0	9,78E-01	0,0218965	1,23E-05	3,71856E-10
1,2	9,66E-01	0,0342642	3,05E-05	1,46164E-09
1,4	9,47E-01	0,0532357	7,52E-05	5,70431E-09
1,6	9,18E-01	0,0818161	0,000183	2,20211E-08
1,8	8,76E-01	0,1237153	0,000439	8,36417E-08
2,0	8,16E-01	0,1827317	0,001028	3,10323E-07
2,2	7,36E-01	0,261279	0,002329	1,11456E-06
2,4	6,37E-01	0,3581107	0,005058	3,83722E-06
2,6	5,23E-01	0,4663215	0,01044	1,25512E-05
2,8	4,06E-01	0,5735585	0,020351	3,87773E-05
3,0	2,97E-01	0,6652954	0,037412	0,000112983
3,2	2,06E-01	0,7291858	0,064989	0,000311055
3,4	1,35E-01	0,7574869	0,106998	0,000811661
3,6	8,38E-02	0,7469563	0,167223	0,002010457
3,8	4,94E-02	0,698144	0,247711	0,004720027
4,0	2,75E-02	0,6157665	0,346271	0,010457204
4,2	1,44E-02	0,50966	0,454235	0,021741026
4,4	7,01E-03	0,3940931	0,556671	0,042227788
4,6	3,19E-03	0,2841641	0,636164	0,07648367
4,8	1,35E-03	0,1911573	0,678251	0,129238054
5,0	5,36E-04	0,120104	0,675394	0,203965592
5,2	1,99E-04	0,0705163	0,628477	0,300807864
5,4	6,88E-05	0,0386962	0,546598	0,414636849
5,6	2,23E-05	0,0198793	0,445041	0,535057074
5,8	6,80E-06	0,009607	0,340871	0,649515419
6,0	1,97E-06	0,0044041	0,247663	0,747930635
6,2	5,45E-07	0,0019353	0,172488	0,825576612
6,4	1,47E-07	0,0008239	0,116376	0,882800181
6,6	3,85E-08	0,0003429	0,076763	0,922894047

Окончание таблицы 2

6,8	9,95E-09	0,0001405	0,049857	0,950002601
7,0	2,55E-09	5,699E-05	0,03205	0,967893035
7,2	6,47E-10	2,296E-05	0,020465	0,979512117
7,4	1,64E-10	9,211E-06	0,013011	0,986979853
7,6	4,13E-11	3,685E-06	0,008249	0,991747316
7,8	1,04E-11	1,471E-06	0,005221	0,994777857
8,0	2,62E-12	5,869E-07	0,0033	0,996699031
8,2	6,59E-13	2,339E-07	0,002085	0,997914825
8,4	1,66E-13	9,32E-08	0,001317	0,998683385
8,6	4,17E-14	3,712E-08	0,000831	0,99916889
8,8	1,05E-14	1,478E-08	0,000525	0,999475453
9,0	2,63E-15	5,886E-09	0,000331	0,999668972
9,2	6,61E-16	2,344E-09	0,000209	0,999791112
9,4	1,66E-16	9,331E-10	0,000132	0,999868191
9,6	4,17E-17	3,715E-10	8,32E-05	0,99991683

По константам ионизации лимонной кислоты по трем ступеням рассчитаны мольные доли всех анионных форм в зависимости от pH. Из полученных расчетных данных и диаграммы распределения видно, что в области pH (1,0-5,6) образуется анионная форма H_2Cit^- с константой диссоциации 2,65±0,06 и составляет 76 %, затем формируется $HCit^{2-}$ при pH (2,8-7,2) с константой диссоциации 4,25±0,05, процентное содержание данной формы -67,8 %. Лимонная кислота находится в виде Cit^{3-} при pH 4,0-9,0 с константой диссоциации 5,52±0,08 и имеет максимальное содержание (табл. 3).

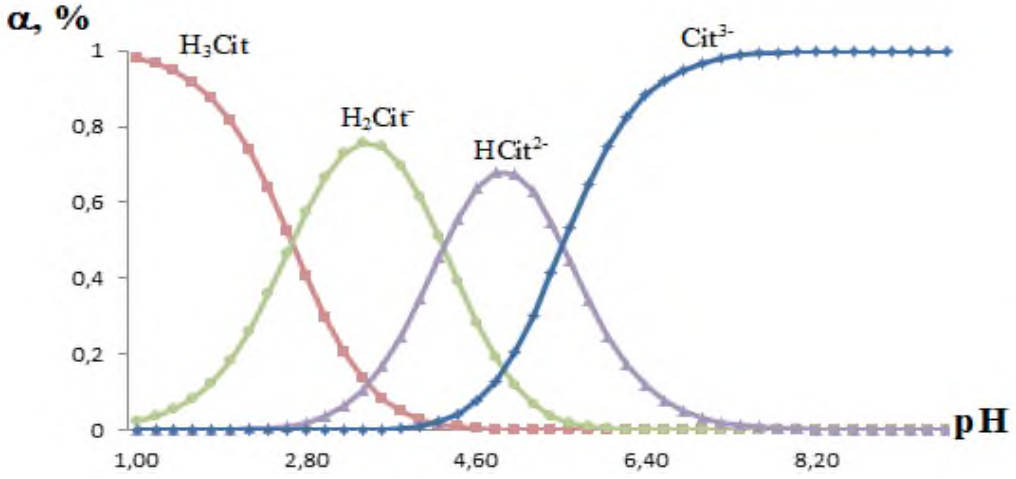


Рисунок 2 – Зависимость содержания форм лимонной кислоты от pH раствора

Таблица 3 – Численные значения логарифма константы ионизации и максимальной степени накопления лимонной кислоты от pH

№	Область pH	Ионная форма	pH	Значение lg константы ионизации	Макс. степень накоп., α, %
1	1,0-4,4	H_3Cit		-	-
2	1,0-5,6	H_2Cit^-	3,4	2,65	76,0
3	2,8-7,2	$HCit^{2-}$	5,0	4,25	67,8
4	4,0-9,0	Cit^{3-}	6,8	5,52	100

На кривой дифференциального титрования состояние точки эквивалентности соответствует максимуму кривой и поэтому определяется с высокой точностью. Кривая дифференциального титрования построена в координатах dpH/dV-VT (рис. 3). Состояние точки эквивалентности и максимума кривой соответствует константе ионизации с наибольшим значением.

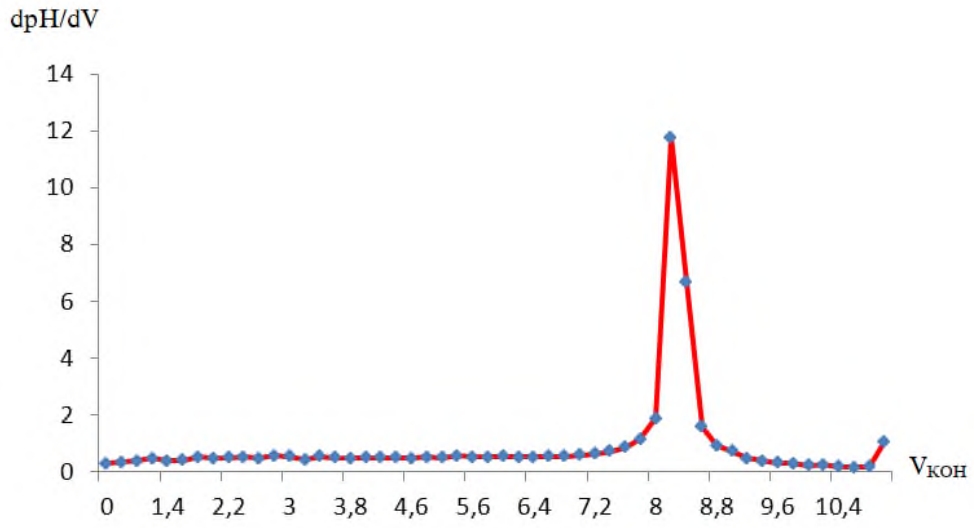


***Рисунок 3** – Кривая дифференциального титрования лимонной кислоты в водном растворе при температуре 298 К.*

Выводы

Методом pH-метрии исследованы кислотно-основные свойства лимонной кислоты. Установлено, что результаты потенциометрического титрования зависят от способа титрования, концентрации веществ и времени установления равновесного значения pH титруемого раствора. Показано количество доступных функциональных групп (-COOH) лимонной кислоты, которые могут быть определены потенциометрическим методом. Значения константы диссоциации лимонной кислоты составляют 2,65 - H_2L^-; 4,25 - HL^{2-} и 5,52 - L^{3-}.

Рецензент: Ганиев И.Н. – д.х.н., профессор, академик НАНТ

Литература

1. Артеменко, А.И. Органическая химия: учеб. / А.И. Артеменко. – М.: Высш. шк., 2002. – 559 с.

2. Allen F.H. The Cambridge Structural Database: a quarter of a million crystal structures and rising / F.H. Allen // Acta Crystallogr. B. – 2002. – V. 58B, № 3. – P. 380-388.

3. Крестов Г.А. Современные проблемы химии растворов. / Г.А. Крестов, В.И. Виноградов, Кесспер Ю.М. [и др.] //– М.: Наука, 1986. – 262 с.

4. Ляхненко И.В. Потенциометрическое титрование ацетилсалициловой кислоты / Ляхненко И.В. Шелудько О.Н., Стрижов Н.К. // Известия вузов. Пищевая технология, 2011. № 4. – С.19–21.

5. Elbagermi, M.A. Raman spectroscopic and potentiometric studies of acidity level and dissociation of citric acid in aqueous solution / M.A. Elbagermi, A.I. Alajtal, H.G.M. Edwards, G.H. Azimi, K. D. Verma and I. J. Scowen // Journal of Applied Chemical Science International. -2015, 2(1). - pp. 1-11.

6. Begum Nadira Ferdousi. Exploring pKa of Peroxycitric Acid Coexisting with Citric Acid in Aqueous Solution with Voltmmetric, Potentiometic and Chromatographic Approaches / Begum Nadira Ferdousi, Md. Mominul Islam, Takeyoshi Okajima and Takeo Ohsaka // International Journal Electrochem. Sci., 11 (2016) 6215 – 6228, doi: 10.20964/2016.07.30

7. Сусленникова В.М. Руководство по приготовлению титрованных растворов / В.М. Сусленникова, Е.К. Киселева // Л.: Химия, 1968. 144 с.

8. Уокенбах Д. Формулы в Excel 2013. / Д. Уокенбах // М.: Диалектика, 2019. 720 с.

9. Альберт, А. Константы ионизации кислот и оснований / А. Альберт, Е. Сержент. М.: Л.: - Химия, 1964. – 262 с.

10. Шелудько О.Н. Математическая модель равновесия лимонной кислоты в растворах и ее экспериментальная проверка / О.Н. Шелудько, Н.К. Стрихков, Т.В. Гузик, А.И. Сухачёва // Известия ВУЗов. Пищевая технология, 2015, № 1. - С. 22-25.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Мираминзода Фарида	Мираминзода Фарида	Miraminzoda Farida
Корманди илмӣ	Научный сотрудник	researcher
Институти илмию таҳқиқотии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета	Research Institute of the Tajik National University
e-mail: miraminzoda@mail.ru		
TJ	RU	EN
Раҳимова Мубаширхон	Рахимова Мубаширхон	Rakhimova Mubashirkhan
д.х.н., профессор	д.х.н, профессор	Doctor of Chemical Sciences, Professor
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
e. mail: mubashira09@mail.ru		
TJ	RU	EN
Давлатшоева Ҷахонгул Асанхоновна	Давлатшоева Джахонгул Асанхоновна	Davlatshoeva Jahonul Asankhonovna
к.х.н., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
e. mail: kfk1964@mail.ru		
TJ	RU	EN
Суяриён Қурбон Ҷура	Суяриён Курбон Джура	Suyariyon Kurbon Djura
к.х.н., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
e-mail: kurbon.suyarov.1958@mail.ru		
TJ	RU	EN
Эшова Гулрухсор Бобоназаровна	Эшова Гулрухсор Бобоназаровна	Eshova Gulrukhsor Bobonazarovna
н.и.х., ходими калони илмӣ	к.х.н., старший научный сотрудник	Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher
Институти илмию таҳқиқотии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета	Research Institute of the Tajik National University
e-mail: eshova81@mail.ru		

УДК 546.492

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ РТУТИ (II) С N – АЦЕТИЛТИОМОЧЕВИНОЙ ПРИ ИОННОЙ СИЛЕ 0,1 МОЛЬ/Л $NaClO_4$ И ТЕМПЕРАТУРЕ 318К

Р.С. Халимова, Ф.Ш. Курбонова, С.И. Сафаров

Проведены потенциометрические исследования процесса комплексообразования ртути (II) с N- ацетилтиомочевиной при ионной силе 0,1 моль/л $NaClO_4$ и температуре 318К. Выявлено, что в данной системе ртуть (II) с N – ацетилтиомочевиной образует четыре комплексные формы при 318К. Рассчитаны диаграммы распределения комплексных частиц, с учетом которых можно определить оптимальные условия синтеза координационных соединений ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной.

Ключевые слова: *ртуть (II), N – ацетилтиомочевина, комплексообразование, константа устойчивости.*

КОМПЛЕКСҲОСИЛШАВИИ СИМОБ (II) БО N – АТСЕТИЛТИОМОЧЕВИНА ДАР ҚУВВАИ ИОНИИ 0,1 МОЛ/Л $NaClO_4$ ВА ҲАРОРАТИ 318К

Р.С. Ҳалимова, Ф.Ш. Қурбонова, С.И. Сафаров

Таҳқиқотҳои потенсиометрии раванди комплексҳосилшавии симоб (II) бо N- атсетилтиомочевина дар қувваи ионии 0,1 мол/л $NaClO_4$ ва ҳарорати 318К гузаронида шуд. Маълум карда шуд, ки дар системаи мазкур симоб (II) бо N – атсетилтиомочевина чор шаклҳои комплексиро дар ҳарорати 318К ҳосил мекунад. Диаграммаҳои тақсимшавии шаклҳои комплексӣ ҳисобида шудаанд, ки бо дарназардошти онҳо метавон усулҳои оптималии пайвастҳои комплексии симоб(II) бо N – атсетилтиомочевина муайян кард.

Калимаҳои калидӣ: *симоб (II), N – атсетилтиомочевина, комплексҳосилшавӣ, собитаи устуворӣ.*

COMPLEXATION MERCURY (II) C N – ACETYLTHIOUREA AT IONIC STRENGTH 0.1 MOL/L NaClO4 AND TEMPERATURE 318K

R.S. Khalimova, F. Sh. Kurbonova, S.I. Safarov

Potentiometric studies of the process of complexation of mercury (II) with N-acetylthiourea at an ionic strength of 0.1 mol/l $NaClO_4$ and a temperature of 318 K were carried out. It was revealed that in this system, mercury (II) with N – acetylthiourea forms four complex forms at 318K. Distribution diagrams of complex forms have been calculated, taking into account which it is possible to develop optimal methods for the synthesis of complexes of mercury (II) with N-acylthiourea.

Keywords: *mercury (II), N – acetylthiourea, complexation, stability constant.*

Ртуть, соединения ртути и её сплавы нашли своё широкое применение во многих областях: медицине и химической технологии, при производстве красителей и сельском хозяйстве. Ртуть – высокотоксичный металл и его использование приводит к загрязнению окружающей среды. В процессе комплексообразования степень токсичности ионов тяжелых металлов (Hg, Pb) как правило, снижается. Исследование процесса комплексообразования Hg(II) с различными органическими лигандами является актуальной задачей для дальнейшего их практического применения [1]. В литературе имеются определенные сведения о процессах комплексообразования ртути с серосодержащими органическими лигандами. Процесс комплексообразования ртути (II) с 1-фенил-2,3-диметипиразолин-5-тионом в среде 0,1 моль/л HNO_3 в интервале температур 273-338К изучен авторами работы [2]. Определен ступенчатый характер комплексообразования и определены константы устойчивости комплексов. Авторами данной работы выявлена закономерность в изменении значений ступенчатых констант устойчивости при повышении температуры и увеличении количества присоединённых молекул 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тиона во внутренней координационной сфере комплекса. Изучению координационных соединений ртути (II) с яблочной кислотой спектрофотометрическим и pH – потенциометрическим методами на перхлоратном фоне ($NaClO_4$, μ=0,1; t=20^{0}C) посвящена работа [3]. Выявлены области pH формирования и существования комплексов при данных концентрациях ртути (II) и лиганда, их мольный и протонный состав. Показана существенная зависимость выхода комплексных частиц от концентрации яблочной кислоты. Определены соответствующие константы устойчивости образующихся комплексов. В работе [4] нами изучен процесс комплексообразования ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной при температуре 278К. Определены константы их устойчивости с использованием онлайн программы KEV. Установлено, что ртуть (II) с N – ацетилтиомочевиной последовательно образует четыре комплексные частицы. Авторами работы [5] спектрофотометрически определены константы равновесия образования роданогалогенидных комплексов ртути (II) из соответствующих диацидокомплексов в водном растворе. На основе проведенных исследований были получены следующие значения констант образования комплексов: lgK=1,00+0,06 (HgSCNCl) и 0,81±0,07 (HgSCNBr) при температуре 20±1°C и ионной силе 0,01 моль/л ($HClO_4$). Измеренные величины были сопоставлены с аналогичными литературными данными с целью выявления количественной взаимосвязи образования смешанных и однородных комплексов в растворе. Авторами работы [6] изучены закономерности образования комплексных соединений ртути в воде и неводных растворителях и

установлена связь устойчивости комплексов и сольватов ртути со свойствами растворителей. На основании концепции ионных активностей построены шкалы pHg^{2+} устойчивости ртутных комплексов и показана возможность прогнозирования активности комплексных частиц, констант диспропорционирования и величин произведений растворимости малорастворимых солей ртути в неводных средах. Обсуждены корреляционные зависимости в ряду комплексов и сольватокомплексов ртути и перспективы использования количественных характеристик сольватации в химии комплексных соединений ртути.

В литературе имеются сведения о кислотно-основных свойствах различных азот- и серусодержащих органических соединений в воде и других растворителях обладающих, как кислотными, так и основными свойствами. Так, в работе [7] приведены результаты исследований по определению кислотных и основных свойств различных органических соединений в водных растворах. В соответствии с этими данными константа ионизации выражает соотношение ионов, на которые распадаются соединения и недиссоциирующие молекулы при любой выбранной величине pH. Среди множества методов по определению констант ионизации соединений перспективным является метод потенциометрического титрования.

В литературе отсутствуют сведения о процессах комплексообразования ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной. В связи с этим цель настоящей работы заключалась в исследовании процесса комплексообразования ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной при ионной силе 0,1 моль/л $NaClO_4$ при температуре 318К.

Экспериментальная часть

Кислотно – основные свойства лиганда N – ацетилтиомочевины определяли методом pH-метрического титрования [7] на pH метре марки pH – 150МИ. Исследование процесса комплексообразования ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной проводили с использованием гальванического элемента, где индикаторным электродом служил ртуть-селективный электрод, а электродом сравнения – хлоридсеребряный. Ионную силу системы поддерживали добавлением 0,1моль/л раствора NaClO4. Начальные концентрации раствора соли ртути Hg(NO3)2 брали 1·10-4 моль/л; N – ацетилтиомочевины - 1·10-2 моль/л. Равновесный потенциал ртуть-селективного электрода устанавливали в течение 5-10 минут. Температуру ячейки поддерживали при помощи водяного термостата (±0,10С). Равновесные концентрации ртути (II), N – ацетилтиомочевины, образующиеся комплексные частицы, а также константы устойчивости образующихся частиц определены онлайн программой KEV.

В молекуле N – ацетилтиомочевины имеются несколько донорных атомов (азот и сера), способных присоединять протоны. Этот процесс можно представить следующим образом:

$$HL^{+} \leftrightarrow H^{+} + L \leftrightarrow L^{-} + H^{+}$$

Для определения кислотности N – ацетилтиомочевины мы проводили pH-метрическое титрование раствора лиганда 0,1моль/л раствором HCl. По полученным результатам потенциометрического титрования численное значение pK_a, измеренное при температуре 298К равно 3,40±0,04. Полученные данные о кислотно-основных свойствах N – ацетилтиомочевины были использованы для дальнейшего исследования процесса комплексообразования Hg(II) с N-ацетилтиомочевиной.

Результаты и их обсуждение

Данные по изменению потенциала системы при титровании системы Hg/Hg^{2+} исходного раствора $Hg(NO_3)_2$ с N – ацетилтиомочевиной приведены в таблице 1.

Таблица 1– Потенциометрические данные по изменению потенциала системы Hg/Hg^{2+}, определению равновесной концентрации ионов ртути (II) и N – ацетилтиомочевины при 318К $C_{Hg^{2+}} = 1\cdot10^{-4}$ моль/л; $C_L = 1\cdot10^{-2}$моль/л

ΔE, мВ	$C_L\cdot10^5$, моль/л	$C_{Hg2+}\cdot10^5$, моль/л	$[L]\cdot10^6$, моль/л	$[Hg^{2+}]\cdot10^8$, моль/л
19	4,99	9,98	2,26	4763,97
26	9,96	9,96	36,20	3620,60
34	14,91	9,94	76,17	2646,61
43	19,84	9,92	117,81	1860,79
62	24,75	9,90	157,38	886,48
72	29,64	9,88	203,62	599,49
84	34,52	9,87	250,30	375,04
98	39,37	9,84	297,45	217,06
~	~	~	~	~
347	549,92	7,80	0,005421,22	0,01

Согласно данным таблицы 1 при титровании раствора нитрата ртути (II) раствором N – ацетилтиомочевины, по возрастании концентрации органического лиганда происходит уменьшение значения равновесного потенциала ртуть-селективного электрода в целом на 328мВ, что свидетельствует о глубоком протекании процесса комплексообразования Hg(II) с N – ацетилтиомочевиной.

Для определения количества частиц, которые образуются в системе Hg(II) – N- ацетилтиомочевина, а также величин констант устойчивости мы использовали онлайн программу KEV.

На основе экспериментальных данных с использованием онлайн программы KEV установлено, что в системе Hg(II) - N – ацетилтиомочевина при 318К образуются четыре комплексные формы.

В таблице 2 приведены значения общих констант устойчивости для комплексных соединений ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной при 318К.

Таблица 2–Значения общих констант устойчивости комплексов ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной при 318К

T, K	$lg\beta_1$	$lg\beta_2$	$lg\beta_3$	$lg\beta_4$
318	7,10±0,02	10,87±0,03	17,48±0,04	21,91±0,01

По данным таблицы 2 видно, что значения общих констант устойчивости с увеличением молекулы органического лиганда во внутренней сфере комплексов возрастают. При переходе от общих констант устойчивости к ступенчатым наблюдается уменьшение значений констант образований при увеличении количества координированного органического лиганда, что вероятнее всего связано со стерическими факторами при вхождении последующей объемной молекулы органического лиганда во внутреннюю сферу комплексного соединения.

Показано, что природа органического лиганда влияет на характер процесса комплексообразования ртути (II). Так, в работе [8] авторами установлено, что ртуть (II) с тиопирином в среде 0,1 моль/л HNO_3 при температуре 318К последовательно образует четыре комплексные формы со следующими значениями pK_i: pK_1=6,36±0,09; pK_2=4,55±0,09; pK_3=3,25±0,01; pK_1=2,07±0,14. Также выявлено влияние природы металла – комплексообразователя на процесс комплексообразования. Так, например, в работе [9] нами проведены исследования по изучению процесса комплексообразования рения (V) с N- ацетилтиомочевиной в среде 6 моль/л HCl при 318К. Показано, что в указанной системе образуются четыре комплексные формы со следующими значениями констант устойчивости: pK_1=3,45; pK_2=2,71; pK_3=2,36; pK_1=2,23. При сравнении полученных значений констант образований комплексных соединений рения (V) N-ацетилтиомочевиной с аналогичными величинами комплексов Hg(II) выявлено, что значения ступенчатых констант Hg(II) с N-ацетилтиомочевиной больше, чем комплексов с рением (V). Сравнение констант устойчивости комплексных соединений Hg(II) с N-ацетилтиомочевиной при 318К с подобными величинами при 288К [10] показывает, что при повышении температуры на 30^0С в целом происходит увеличение значений общих констант устойчивости.

Для определения области доминирования всех комплексных форм, которые образуются в системе ртуть (II) – N – ацетилтиомочевина, нами построены диаграммы их распределения при 318 К.

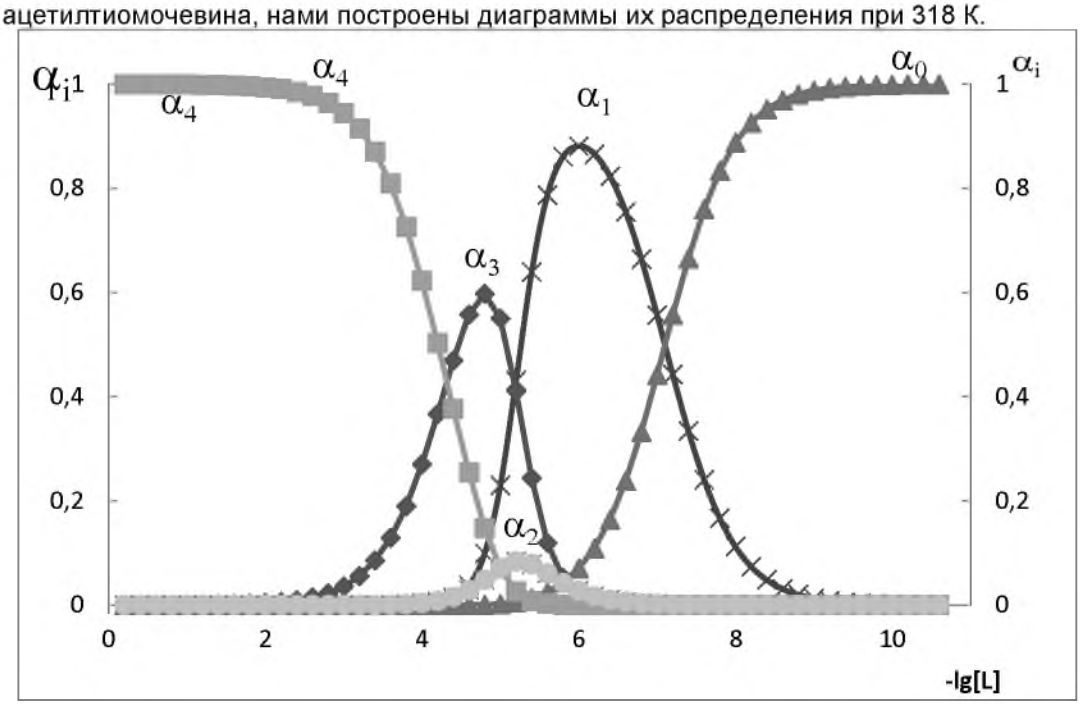


Рисунок – Кривые распределения N – ацетилтиомочевинных комплексов ртути (II) при 318К, где α_1 – $[HgL]^{2+}$; α_2 – $[HgL_2]^{2+}$; α_3 – $[HgL_3]^{2+}$; α_4 - $[HgL_4]^{2+}$

Заключение

Полученные результаты по изучению диаграмм распределения комплексных форм дают возможность разработать оптимальные методики синтеза координационных соединений ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной в изучаемой среде.

На основе проведенных исследований по изучению процесса комплексообразования ртути (II) с N – ацетилтиомочевиной при ионной силе 0,1 моль/л $NaClO_4$ и температуре 318К выявлено, что в изучаемой системе образуются четыре комплексные формы.

Рецензент: Жумаев М.Т. — к.х.н., доцент кафедры «Общая и неорганическая химия» ТГПУ им. С. Айни

Литература

1. Нечаева Е.М. Физико-химические закономерности экстракции комплексных соединений ртути (II) производными пиразолона. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. Пермь 2009. -19с.

2. Бекназарова, Н.С. Комплексообразование ртути (II) с 1-фенил-2,3-диметил-пиразолин-5-тионом в среде 0,1 моль/л HNO_3 в интервале температур 273-338К. / Н.С. Бекназарова, Дж.О. Шоалифов, А.А. Аминджанов, С.М. Сафармамадов // Журнал физической химии. 2016. Том. 90. №12. С.1-6.

3. Корнев, В.И. Комплексы ртути (II) с яблочной кислотой в водных растворах. / В.И. Корнев, А.А. Кардапольцев // Вестник Удмуртского университета. Физика. Химия. Вып.2. 2008. С. 58-64.

4. Халимова, Р.С. Изучение процесса комплексообразования ртути (II) с N - ацетилтиомочевиной при температуре 278К. / Р.С. Халимова, Ф.Ш. Курбонова // Материалы республиканской научно-практической конференции на тему: «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа». Душанбе. 2023. С. 224-227.

5. Белеванцев, В.И. Роданогалогенидные комплексы ртути (II) в водном растворе. / В.И. Белеванцев, А.В. Шуваев // Журнал неорганической химии. Том. 23. № 4. 1978. С. 924-928.

6. Балятинская, Л. Н. Сольватация и комплексообразование ионов ртути в воде и неводных растворителях. / Л.Н. Балятинская // Успехи химии. 1979. 48 (4). С. 772–791.

7. Альберт А. Константы ионизации кислот и оснований. / А. Альберт, Е. Сержент // Перевод с английского Е.Ю. Беляева, В.И. Зайонца, И.Я. Квитко и Б.В. Пассета. М.: Химия. 1964. Ленинград. -180с.

8. Шоалифов Дж.О. Комплексные соединения ртути (II) и рения (V) с 1-фенил-2,3-диметилпиразолин-5-тионом и 6 – бензоилтиохинолином. Автореф.дисс. канд. хим. наук. Душанбе 2018. -24С.

9. Аминджанов, А.А. Исследование процесса комплексообразования рения (V) с N – ацетилтиомочевиной в среде 6 моль/л HCl при 318К. / А.А.Аминджанов, С.М. Сафармамадов, Ф.Ш. Курбонова // Вестник Пермского университета. Химия. Вып. 1(21). 2016. С.29-34.

10. Ҳалимова Р.С., Курбонова Ф.Ш. Сафармамадзода С.М. / Материалы республиканской конференции с международным участием «Комплексные соединения и аспекты их применения», посвященной 70-летию памяти чл.-корр. АН РТ д.х.н., профессора Аминджанова А.А. – Душанбе. 2021. С.59-62.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Ҳалимова Рухшона Султоновна	Халимова Рухшона Султановна	Halimova Rukhshona Sultonovna
Унвонҷӯ	Соискатель	Applicant
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
TJ	RU	EN
Курбонова Фируза Шамсуллоевна	Курбонова Фируза Шамсуллоевна	Qurbonova Firuza Shamsulloevna
н.и.х., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
e. mail: kurbonova@internetl.ru		
TJ	RU	EN
Сафаров Саймуҳамад Исломович	Сафаров Саймухамад Исломович	Safarov Saimuhamad Islomovich
н.и.х., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
e. mail: saimuhamad@mail.ru		
TJ	RU	EN

УДК 546.722+546.723+544.354

ПРОЦЕССЫ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ Fe(II)-Fe(III)-H_4Cit-H_2O

Ф. Мираминзода[1], М. Рахимова[2], Дж.А. Давлатшоева[2], К.Дж. Суяриён[2], Г.Б. Эшова[1]

[1]Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета

[2]Таджикский национальный университет

Исследована окс-ред система железа(II)-железа(III)-цитрат-ион-вода. Использован классический метод оксредметрии. Эксперименты проведены при T=298,15 K, I=1,0 моль/л ($Na(H)NO_3$). Состав формирующихся комплексных частиц определялся анализом экспериментальных зависимостей ЭДС системы от pH, pC_L, pC_{red} и pC_{ox}. Эти параметры относятся к показателям концентраций: катиона водорода, лимонной кислоты (HL), восстановленной формы металла и окисленной формы металла. Как показал общий анализ наклонов всех экспериментальных кривых, формирование координационных соединений идет последовательно и ступенчато. В среде pH 0,7÷7,5 образующиеся комплексы являются моноядерными $[Fe^{III}(H_2CitOH)(H_2O)_5]^{2+}$; $[Fe^{III}(H_2CitOH)_2(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0}$, а также гетеровалентными: $[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$; $[Fe^{III}Fe^{II}\mathbf{(CitOH)_2}(H_2O)_6]^{-}$. Химические модели процессов формирования комплексов составлены с учетом количества их базисных частиц и областей их превалирования. Обсуждены схемы (механизмы) возможных реакций.

Ключевые слова: окислительный потенциал, Fe(III), Fe(II), лимонная кислота, модель, комплексные частицы, электродвижущая сила (ЭДС), превалирование.

РАВАНДҲОИ КОМПЛЕКСҲОСИЛШАВӢ ДАР СИСТЕМАИ Fe(II)–Fe(III)–H_4Cit-H_2O

Ф. Мираминзода, М. Раҳимова, Ҷ.А. Давлатшоева, Қ.Ҷ. Суяриён, Г.Б. Эшова

Системаи окс-ред оҳан(II)-оҳан(III)-ситрат-ион-об таҳқиқ карда шуд. Усули классикии оксредметрия истифода шудааст. Озмоишҳо дар T=298,15 K, I=1,0 молл/л ($Na(H)NO_3$) гузаронида шудаанд. Таркиби зарраҳои комплексии ҳосилшуда бо таҳлили вобастагии таҷрибавии ҚЭҲ-и система аз pH pC_L, pC_{red}, pC_{ox} муайян карда шудааст. Ин параметрҳо ба нишондиҳандаҳои консентратсионӣ: катиони гидроген, кислотаи лимуи (HL), шакли барқароршудаи металл ва шакли оксидшудаи металл вобаста мебошанд. Таҳлили умумии қитъаҳои ҳамаи каҷҳаттаҳои таҷрибавӣ нишон дод, ки ҳосилшавии пайвастҳои координатсионӣ пай дар пай ва зина ба зина мегузарад. Дар муҳити pH 0,7÷7,5 комплексҳои ҳосилшуда моноядрой: $[Fe^{III}(H_2CitOH)(H_2O)_5]^{2+}$; $[Fe^{III}(H_2CitOH)_2(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0}$ ва инчунин гетеровалентӣ: $[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$; $[Fe^{III}Fe^{II}\mathbf{(CitOH)_2}(H_2O)_6]^{-}$. мебошанд. Моделҳои химиявии равандҳои ҳосишавии комплексҳо бо назардошти шумораи зарраҳои базисии онҳо ва ҳудуҳои афзалияти онҳо тартиб дода шудаанд. Схемаҳои (механизмҳои) реаксияҳои имконпазир муҳокима карда шуданд.

Калидвожаҳо: *потенсиали оксидонӣ, Fe(III), Fe(II), кислотаи лиму, модел, зарраҳои комплексӣ, ҚЭҲ, афзалият.*

THE PROCESSES OF COMPLEXATION IN THE SYSTEM Fe(II)–Fe(III)–H_4Cit-H_2O

F. Miraminzoda, M. Rakhimova, J.A. Davlatshoeva, K.J. Suyarien, G.B. Eshova

The oxalic system of iron(II)-iron(III)-citrate-ion-water has been studied. The classical oxredmetry method was used. The experiments were carried out at T=298,15 K, I=1,0 mol/l ($Na(H)NO_3$). The composition of the forming complex particles was determined by analyzing the experimental dependence of the EMF of the system on the pH of pC_L, pC_{red}, pC_{ox}. These parameters relate to the concentrations of: hydrogen cation, citric acid (HL), reduced metal forms and oxidized metal forms. As shown by the general analysis of the slopes of all experimental curves, the formation of coordination compounds proceeds sequentially and stepwise. In a pH of 0,7÷7,5 , the resulting complexes are mononuclear $[Fe^{III}(H_2CitOH)(H_2O)_5]^{2+}$; $[Fe^{III}(H_2CitOH)_2(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0}$; and heterovalent: $[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$; $[Fe^{III}Fe^{II}\mathbf{(CitOH)_2}(H_2O)_6]^{-}$. Chemical models of the processes of formation of complexes are compiled taking into account the number of their basic particles and the areas of their prevalence. Schemes (mechanisms) of possible reactions are discussed.

Keywords: *oxidative potential, Fe(III), Fe(II), citric acid, model, complex particles, EMF, prevalence.*

Введение

Исследование процессов образования координационных соединений металлов переменной валентности с различными многоосновными, многофункциональными органическими лигандами продолжает вызывать большой научно-теоретический интерес исследователей, так как комплексные соединения широко используются более чем в 500 областях техники и науки, фармакологии и косметологии. Все d – элементы, в том числе и Fe относятся к жизненно важным металлам. Обычно во всех живых системах они накапливаются в пространстве вне клеток. Переходные элементы быстро и без трудностей изменяют степень своего окисления. Поэтому эти элементы являются активными участниками многих окс-ред и биохимических, а также физиологических процессов [1, 2].

Кроме того, координационные соединения переходных металлов являются высокоэффективными катализаторами различных технических и биологических систем. Они являются практически точной моделью природных ферментов и биологических переносчиков кислорода: цитохромов, ферредоксинов, гемоглобина [3].

Лимонная кислота (H_4Cit) является представителем сложных α-оксикарбоновых кислот, содержит в своём составе 4 функциональные группы. В одной молекуле она имеет три карбоксильные и одну оксигруппу, которые могут взаимодействовать с образованием как хелатов, так и мостиковых связей. В метаболическом цикле трикарбоновых кислот цитрат ион является главным промежуточным продуктом. Поэтому во многих биохимических реакциях клеточного дыхания большого количества организмов цитрат ион является

важнейшим компонентом. Он находит применение в фармацевтике как основное средство, улучшающее энергетические процессы, а также в производстве лекарственных препаратов на основе комплексов с металлами. В организме человека очень много металлов-комплексообразователей и лигандов. Они постоянно формируют различные комплексные соединения, которым свойственны уникальные биологические, физиологические свойства [4-6].

Последние годы практические и теоретические аспекты координационной химии достигли больших успехов. Это состояние взаимосвязано с передовыми технологиями, в том числе компьютерными, с достижениями всех естественных наук, использованием современнейших приборов, оборудования, методов исследования, а также моделирования процессов.

В этом направлении выделяется моделирование окс-ред реакций, протекающих в комплексообразующих системах, для изучения которых широко применяется метод оксредметрии [7-10]. Указанный метод обладает преимуществом перед другими физико-химическими методами исследований. Во-первых, оксредметрия является самым простым и высокочувствительным методом. Кроме того, этот метод недорогой и очень удобный в плане осуществления измерения окислительного потенциала или ЭДС при исследовании ступенчатого комплексообразования в окс-ред системах [11, 12].

Формирование комплексов в системах Fe(II), Fe(III), Cu(II), Zn(II)-анионы уксусной, салициловой, ацетилсалициловой, аминоуксусной кислот при различных концентрационных условиях и применение Pt, Fe, Cu, Zn – ых электродов исследовано нами также методом оксредметрии [13-16].

Цель работы: Методом оксредметрии исследовать формирование комплексных частиц Fe(II) и Fe(III) в водно-цитратной среде при T=298,15 и I=1,0 моль/л ($Na(H)NO_3$). Установить составы комплексов, найти их базисные и модельные параметры, а также области превалирования. Учитывая материальный баланс компонентов системы, составить уравнения ионных равновесий и установить механизм реакций.

Экспериментальная часть

В определенных экспериментальных условиях: концентрация C_{H+}, C_{ox}, C_{red} и C_L, получены зависимости ЭДС от одного из показателей. В работе применены в качестве исходных соединений сульфаты Fe(II) и Fe(III). В соответствии с методиками [17, 18] найдены концентрации Fe(II) и Fe(III). Перемешивание компонентов системы и предотвращение окисления Fe(II) осуществлялось потоком газообразного азота (аргона). Водный раствор биологически активной лимонной кислоты («х.ч.») готовился непосредственно перед экспериментом без дополнительной очистки. Из фиксонала готовились растворы NaOH, а концентрация нитрата натрия (очищенного перекристаллизацией) была найдена весовым методом [19]. Постоянное значение ионной силы раствора реализовывалось добавлением необходимого количества ($Na(H)NO_3$).

В экспериментах ЭДС определялась потенциометрическим методом. Исследуемую систему составляли: герметичная электролитическая ячейка, платиновый, хлорсеребряный и стеклянный электроды, трубки для газа. Были составлены два гальванических элемента:

Pt исследуемый раствор||KCI (нас.), AgCI|Ag (I)

Ag|AgCI, (HCI 0,1 н)|стекло|исследуемый р-р|| KCI (нас.), AgCI|Ag (II)

ЭДС системы измерялась I гальваническим элементом, а вторым – измерялись величины pH раствора в ячейке [20]. Величины ЭДС измерены pH-метром марки 150 МИ. Необходимо помнить, что рабочий раствор должен постоянно насыщаться инертным газом.

Для экспериментов готовились два рабочих раствора, которые содержали смесь сульфатов железа ($1\cdot10^{-3}\div1\cdot10^{-4}$), лимонную кислоту ($1\cdot10^{-1}\div1\cdot10^{-2}$) моль/л. В первом рабочем растворе (ячейка) ионная сила поддерживалась постоянной с помощью азотной кислоты, а во втором рабочем растворе – нитратом натрия (титрант). В электролитическую ячейку наливали первый рабочий раствор и 20 мин пропускали через него инертный газ, затем изменяли значения гальванических элементов I и II. Вторым раствором титруем первый, pH которого шаг за шагом увеличивается и смещается в щелочную область. Если в системе формируются моно-, полиядерные и гетеровалентные комплексные частицы, то при исследовании системы используют следующее общее уравнение:

$$E = E^0 + \nu\lg\frac{C_{ox}}{C_{red}} + \nu\lg\left\{\sum_1^q\sum_0^s\sum_0^x\sum_0^y q\beta^{\frac{1}{q}}G^{\left(q-\frac{1}{q}\right)}L^{\frac{x}{q}}h^{\frac{x-y}{q}}\right\}/$$

$$/\left\{\sum_1^p\sum_0^s\sum_0^l\sum_0^\upsilon p\beta^{1/p}\,P^{(p-1/p)}L^{l/p}h^{(l-\upsilon/p}\right\} \qquad (1)$$

где: E^0 и E – соответственно, стандартное и измеренное значение ЭДС; концентрации базисных частиц, C_{ox}, C_{red}, C_L; q, p – число атомов Fe^{3+}, Fe^{2+}; y – гидроксильных групп во внутренней сфере частиц Fe(III); υ – количество OH^- во внутренней сфере частиц Fe(II); ν= RT/nF.

Согласно уравнению Нернста изменение свободной $C_{Fe(III)}$ или $C_{Fe(II)}$ ЭДС системы изменяется, то есть изменение ЭДС свидетельствует о наличии образования комплексов.

Рассмотрение первых производных уравнения (1) от одного из переменных (остальные постоянные) позволяет найти состав и области превалирования комплексных частиц в растворе.

Обсуждение результатов

По описанной выше методике получены кривые зависимости ЭДС от pH (рис. 1) [7-12]. По этой зависимости находится возможное число формирующихся комплексов и интервал их превалирования (доминирования) по шкале pH.

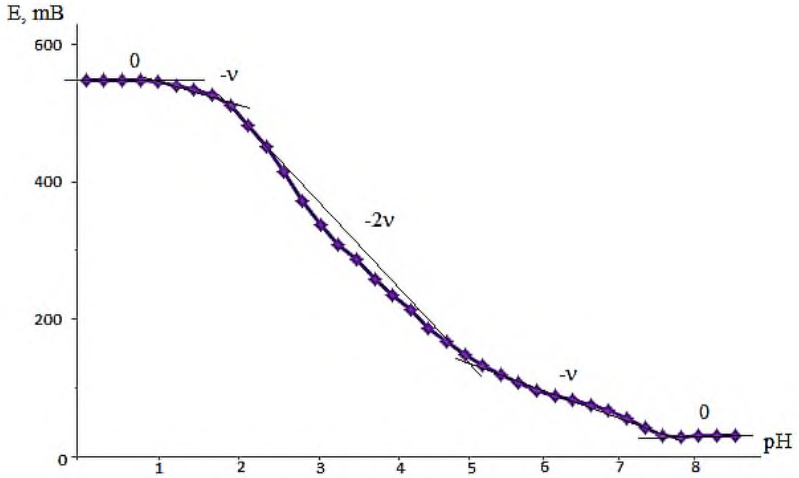


Рисунок 1 – Графическая зависимость ЭДС (E, mB) от pH для системы Fe(III)-Fe(II)-H_4Cit-H_2O при T=298,15 K; $C_{Fe^{2+}/Fe^{3+}}=1\cdot10^{-3}$; $C_{H4Cit}=1\cdot10^{-2}$ и I=1,0 моль/л.

Из рисунка видно, что при pH больше 0,7 ЭДС снижается. При этом формируются промолинейные участки с наклонами 0, -ν, -2ν, -ν и 0, что согласно теории метода говорит о формировании комплексных частиц железа 3. Этот процесс продолжается до pH 7,0. Анализ наклонов кривой, приведенных выше, говорит о том, что выше pH 4,0 Fe(II) вступает в комплексообразование, ЭДС увеличивается. При повышении pH за пределы 7,5 появляется темно-коричневый осадок, что свидетельствует о начале гидролиза Fe(III).

Далее необходимо определить число атомов Fe(III) и Fe(II) во внутренней координационной сфере. Это можно сделать анализом первой производной зависимости ЭДС от C_{ox} и C_{red} (рис. 2 и 3).

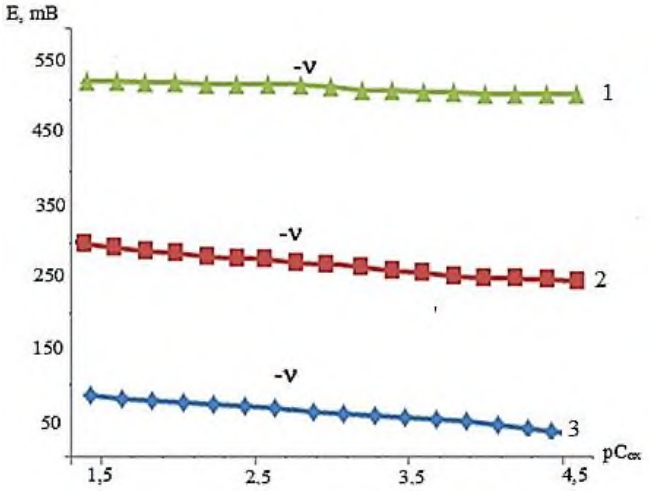


Рисунок 2 – Графическая зависимость ЭДС (E, mB) от pC_{ox} для системы Fe(II)-Fe(III)-H_4Cit-H_2O при T=298,15 K и I=1,0 моль/л. Кривые относятся к pH: 1 – 1,0; 2 – 3,25; 3 – 6,5.

Как видно из рисунка 2, экспериментальные кривые имеют наклон -ν. По теории метода образуются моноядерные частицы Fe(III), то есть в комплексообразовании принимает участие один атом трехвалентного железа.

При установлении числа атомов Fe(II) в образующихся комплексных частицах необходим анализ наклонов кривых зависимости E от pC_{red} (рис. 3).

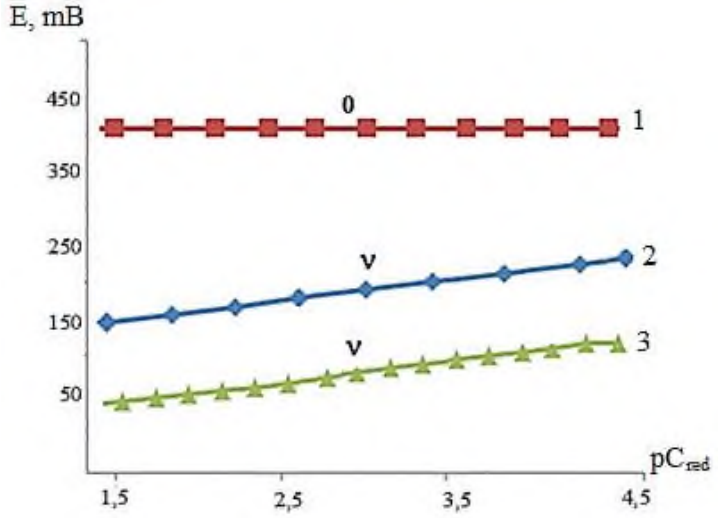


Рисунок 3 – Графическая зависимость ЭДС (E, mB) от pC_{red} для системы Fe(II)-Fe(III)-H_4Cit -H_2O при T=298,15 K и I=1,0 моль/л. Кривые относятся к pH: 1 – 2,5; 2 – 3,5; 3 – 6,5.

Кривые указанной зависимости имеют один прямолинейный участок с наклоном ν. Следовательно, в условиях эксперимента образуются моноядерные комплексы Fe(II).

Количество цитрат-ионов во внутренней сфере определялось анализом наклона кривых зависимостей E от pC_L (рис. 4).

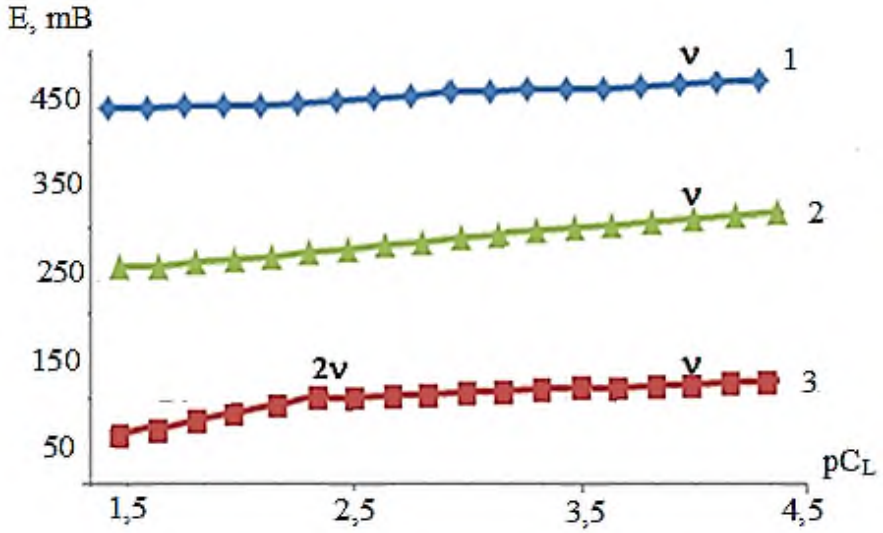


Рисунок 4 – Графическая зависимость ЭДС (E, mB) от pC_L для системы Fe(II)-Fe(III)-H_4Cit-H_2O при T=298,15 K и I=1,0 моль/л. Кривые относятся к pH: 1 – 1,0; 2 – 3,25; 3 – 5,8.

Как видно из рисунка 4, на этих кривых имеем наклон ν и 2ν, т.е. к центральному иону присоединяется один и два лиганда.

Используя численные значения наклонов кривых зависимости ЭДС от изученных концентрационных параметров, составлена основа математической модели (стехиометрической матрицы) всех ионных равновесий системы (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Стехиометрическая матрица равновесий системы Fe(III)-Fe(II)-H_4Cit-H_2O для комплексов Fe(III) при T=298,15 K; I=1,0; $C_{Fe\ 2+/Fe^{3+}}=1\cdot10^{-3}$; $C_{H4Cit}=1\cdot10^{-2}$ моль/л

№, п/п	Область формир. линейн. участ. по шкале pH	Наклон зависимости ЭДС от концентрационных параметров				Состав комплексов
		pH	pC_{ox}	pC_{red}	pC_L	
1	1,2-1,8	-ν	-ν	-	ν	$[Fe^{III}(H_2CitOH)(H_2O)_5]^{2+}$
2	1,8-3,2	-2ν	-ν	-	ν	$[Fe^{III}(H_2Cit\,OH)_2(H_2O)_4]^{+}$
3	3,2-4,2	-ν	-ν	ν	ν, 2ν	$[Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+}$
4	5,5-7,5	0	-ν	ν	ν, 2ν	$[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$
5	5,5-7,5	0	-ν	ν	ν, 2ν	$[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-}$

Таблица 2 – Стехиометрическая матрица равновесий системы Fe(III)-Fe(II)-H_4Cit-H_2O для комплексов Fe(II) при температуре 298,15 K; I=1,0; $C_{Fe\ 2+/Fe^{3+}}=1\cdot10^{-3}$; $C_{H4Cit}=1\cdot10^{-2}$ моль/л

№, п/п	Область формир. линейн. участ. по шкале pH	Наклон зависимости ЭДС от концентрационных параметров				Состав комплексов
		pH	pC_{ox}	pC_{red}	pC_L	
1	4,0-5,4	-ν	-ν	ν	ν, 2ν	$[Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0}$
2	5,5-7,5	0	-ν	ν	ν, 2ν	$[Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$
3	5,5-7,5	0	-ν	ν	ν, 2ν	$[Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-}$

Анализ представленных в таблице 1 и 2 показывает, что железо(III) образует комплексные соединения состава: $[Fe^{III}(H_2CitOH)(H_2O)_5]^{2+}$; $[Fe^{III}(H_2Cit\ OH)_2(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+}$; $[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$; $[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-}$, а железо(II) - $[Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0}$; $[Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$; $[Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-}$. Из таблиц следует, что железо(III) формирует 5 координационных соединений, 3 из которых являются чисто цитратными моноядерными, а 2 последних являются гетеровалентными. В отличие от железа(III) Fe(II) участвует в образовании только трех координационных соединений, одно из которых является моноядерным чисто цитраным, а два гетеровалентными.

Для повышения скорости статистической обработки и расчетов создана химическая модель ионных равновесий образования комплексов (табл. 3). Вводятся буквенные обозначения всех компонетов системы (базисных частиц), которые сосуществуют в полном взаимодействии: g — число Fe(III) в координационной сфере; p – число Fe(II) в координационной сфере; s – количество H^+ в лиганде; l – число молекул L, k – число OH^- во внутренней сфере комплекса.

Таблица 3 – Химическая модель ионных равновесий образования комплексов в системе Fe(III)-Fe(II)-H_4Cit-H_2O при T=298,15 K; I=1,0; $C_{Fe\ 2+/Fe^{3+}}=1\cdot10^{-3}$; $C_{H4Cit}=1\cdot10^{-2}$ моль/л

№, п/п	Модельные частицы системы					Состав комплексов
	Fe(III)	Fe(II)	H^+	Cit^{4-}	OH^-	
	g	p	s	l	k	
1	1	0	3	1	0	$[Fe^{III}(H_2CitOH)(H_2O)_5]^{2+}$
2	1	0	4	2	0	$[Fe^{III}(H_2Cit\,OH)_2(H_2O)_4]^{+}$
3	1	0	1	1	0	$[Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+}$
4	0	1	2	1	0	$[Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0}$
5	1	1	0	1	0	$[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$
6	1	1	0	2	0	$[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-}$
7	1	1	0	1	0	$[Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$
8	1	1	0	2	0	$[Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-}$

Далее составленные химические модели используются для разработки компьютерных программ, расчета ионных равновесий, по которым формируются координационные соединения различного состава и сложности структур.

С учётом материального баланса системы составлены реакции образования указанных выше комплексов (табл. 4).

Таблица 4 –Реакции образования цитратных комплексов железа в системе Fe(III)-Fe(II)-H_4Cit-H_2O при T=298,15 K; I=1,0; $C_{Fe^{2+}/Fe^{3+}}=1\cdot10^{-3}$; $C_{H4Cit}=1\cdot10^{-2}$ моль/л

№,	Реакции формирования комплексов
1	$[Fe(H_2O)_6]^{3+} + H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{III}(H_2CitOH)(H_2O)_5]^{2+} + H_3O_+$
2	$[Fe(H_2O)_6]^{3+} + 2H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{III}(H_2Cit\ OH)_2(H_2O)_4]^{+} + 2H_3O^{+}$
3	$[Fe(H_2O)_6]^{3+} + H_3CitOH \leftrightarrow [FeIII(HCitOH)(H_2O)_4]^{+} + 2H_3O^{+}$ или
4	$[Fe(H_2O)_6]^{2+} + H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]0 + 2H_3O^{+}$
5	$[Fe(H_2O)_6]^{3+} + [Fe(H_2O)_6]^{2+} + H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+}$ + $3H_3O$ или $[Fe(H_2O)_6]^{3+} + [Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0} \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H^2O)9]^{2+} + H^3O^{+}$
6	$[Fe(H_2O)_6]^{3+} + [Fe(H_2O)_6]^{2+} + 2H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 6H_3O^{+}$ или $[Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+} + H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 3H_3O^{+}$ или $[Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+} + [Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]0 \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 2H_3O^{+}$ или $[Fe(H_2O)_6]^{2+} + [Fe^{III}(H_2CitOH)_2(H_2O)_4]^{+} \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 4H3O^{+}$
7	$[Fe(H_2O)_6]^{2+} + [Fe(H_2O)_6]^{3+} + 2H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+} + 6H3O^{+}$ или $[Fe(H_2O)_6]^{2+} + [Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+} \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+} + H3O^{+}$
8	$[Fe(H_2O)_6]^{2+} + [Fe(H_2O)_6]^{3+} + 2H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 6H_3O^{+}$ или $[Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)(H_2O)_9]^{2+} + H_3CitOH \leftrightarrow [Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 3H_3O^{+}$ или $[Fe^{II}(HCitOH)(H_2O)_4]^{0} + [Fe^{III}(HCitOH)(H_2O)_4]^{+} \leftrightarrow [Fe^{II}Fe^{III}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 2H_3O^{+}$ или $[Fe(H_2O)_6]^{2+} + [Fe^{III}(H_2CitOH)_2(H_2O)_4]^{+} \leftrightarrow [Fe^{III}Fe^{II}(CitOH)_2(H_2O)_6]^{-} + 4H_3O^{+}$

Таким образом, в результате исследования процессов комплексообразования ионов железа(III) и железа(II) в водных растворах лимонной кислоты при T=298,15 K; I=1,0 моль/л; (созданной нитратом натрия, азотной кислотой) и обработки экспериментальных полученных данных установлено:

1. Формирование цитратных комплексов железа происходит ступенчато в интервале pH от 0,7 до 7,5, далее идет гидролиз Fe(III) и система становится необратимой.

2. Выявлено, что в изученной системе железо(III) формирует три моноядерных и два гетеровалентных чисто цитратных комплекса. Fe(II) образует одно моноядерное и два гетеровалентных комплекса. Перечисленные комплексные частицы обладают своим существованием и доминированием.

3. Для изученной системы составлены математическая (стехиометрическая матрица) и химическая модели ионных равновесий, на основе которых можно осуществлять термодинамические расчеты, а также определить возможные механизмы реакций образования комплексов.

Рецензент: Мингбоев Ш.А. — к.х.н., старший научный сотрудник лаборатории «Органический синтез» Института химии им. В.И. Никитина НАНТ

Литература

1. Литвинова Т.Н. Биогенные элементы. Комплексные соединения: учеб.-метод. пособ. / под ред. проф. Т.Н. Литвиновой. Ростов н/Д.: Феникс, 2009. 283 с.
2. Киселев Ю.М. Химия координационных соединений / Ю.М. Киселев, Н.А. Добрынина // М.: Академия, 2007.
3. Нурматов, Т.М. Эффективность микроэлементсодержащих соединений / Т.М. Нурматов, Х.М. Якубов, М.М. Рахимова, З.Н. Юсупов // Журнал Агропромышленный комплекс Таджикистана. - 1988. № 9. – С. 55-57.
4. Машковский, М.Д. Лекарства XX века. М.: Новая волна, 1998. 108 с.
5. Сейфуллина, И.И. Растворяющие и комплексообразующие функции органических кислот в направленном синтезе координационных соединений: дис. … доктора хим. наук: 02.00.01 / Сейфуллина Инна Иосифовна. – Одесса, 1990.
6. Кучеренко, М. Є. Біохімія / М. Є. Кучеренко, Ю. Д. Бабенюк, О. М. Васильєв. – Київ: ВГЦ "Київський університет", 2002. – 480 с.
7. Якубов, Х.М. Применение оксредметрии в комплексообразовании / Х.М. Якубов. - Душанбе: Дониш, 1966. -1
8. Захарьевский, М.С. Оксредметрия / М.С. Захарьевский. - Л.: Химия, 1968. - 327 с.
9. Юсупов, З.Н. Применение оксредметрии к изучению гетеровалентного и гетероядерного комплексообразования / З.Н. Юсупов // Сб. науч. тр. «Координационные соединения и аспекты их применения». – Душанбе: Сино. - 1996. - С.5-14.

10. Эшова, Г.Б. Оксредметрическое определение состава и устойчивости координационных соединений в гомогенных системах / Г.Б. Эшова, М. Рахимова, Дж.А. Давлатшоева, М.Б. Жоробекова. - Методическое пособие - 67 с.

11. Рахимова, М. Теоретические основы метода окислительного потенциала Кларка-Никольского / М. Рахимова, Э.Ф. Файзуллоев, Дж.А. Давлатшоева, А.С. Маметова // Учебник по физической химии. Таджикский национальный университет и Ошский государственный университет - Душанбе: Эр-граф, 2020. - 312 с.

12. Никольский, Б.П. Оксредметрия / Б.П. Никольский, В.В. Пальчевский, А.А. Пендин, Х. М. Якубов. - Л.: Химия, 1975. - 304 с.

13. Rakhimova M. Formation of glycinate complexes of iron(II) in solutions of different ionic strengths / M. Rakhimova, G.B. Eshova, Dzh.A. Davlatshoeva, L. V. Kvyatkovskaya, F. Miraminzoda // Russian Journal of Physical Chemistry, 2020, Vol. 94(8):1560-1564. DOI:10.1134/S0036024420080233.

14. Davlatshoeva, J.A. Processes of Formation of Glycinate Complexes of Iron (II) and Iron (III) Under Various Ional Forces of Solution / J.A. Davlatshoeva, G. B. Eshova, M.M. Rahimova, M.O. Guriev, L.V. Kvyatkovskaya // American Journal of Chemistry, 2017 ; 7(2). – 58 - 65 p.

15. Zhorobekova M. Study of heteronuclear complexation in Fe(II)-Fe(III)-Mn(II)-CH_3COOH-H_2O system / M. Zhorobekova, A. Mametova, F.Miraminzoda // E3S Web of Conferences 401, 04064 (2023), CONMECHYDRO–2023 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340104064.

16. Davlatshoeva J.A. Processes of Complex Formation in an Fe(II)-Fe(III)-H_2Sal-C_2H_5OH-H_2O System / J.A. Davlatshoeva, M. Rakhimova, G.B. Eshova, F. Miraminzoda // Russian Journal of Physical Chemistry, 2023, Vol. 97, N. 3.

17. Пршибил, Р. Комплексоны в химическом анализе / Р. Пршибил пер. с чешского под ред. Ю.Ю. Лурье. - М.: ИЛ, 1960. - С. 383 - 386.

18. Заворотный В.Л., Калачева Н.А. Методическое руководство к лабораторным работам по аналитической химии. Титриметрический анализ. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. 44 с.

19. Сусленникова В.М. Руководство по приготовлению титрованных растворов / В.М. Сусленникова, Е.К. Киселева // Л.: Химия, 1968. 144 с.

20. Бейтис Р. Определение pH. Теория и практика. М.: Химия, 1972. 397 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Мираминзода Фарида	Мираминзода Фарида	Miraminzoda Farida
Корманди илмӣ	Научный сотрудник	researcher
Институти илмию таҳқиқотии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета	Research Institute of the Tajik National University
e-mail: miraminzoda@mail.ru		
TJ	RU	EN
Раҳимова Мубаширхон	Рахимова Мубаширхон	Rakhimova Mubashirkhan
д.х.н., профессор	д.х.н, профессор	Doctor of Chemical Sciences, Professor
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
TJ	RU	EN
Давлатшоева Ҷахонгул Асанхоновна	Давлатшоева Джахонгул Асанхоновна	Davlatshoeva Jahonul Asankhonovna
к.х.н., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
TJ	RU	EN
Суяриён Қурбон Ҷура	Суяриён Курбон Джура	Suyariyon Kurbon Djura
к.х.н., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
TJ	RU	EN
Эшова Гулрухсор Бобоназаровна	Эшова Гулрухсор Бобоназаровна	Eshova Gulrukhsor Bobonazarovna
н.и.х., ходими калони илмӣ	к.х.н., старший научный сотрудник	Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher
Институти илмию таҳқиқотии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета	Research Institute of the Tajik National University

УДК: 625.096

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В Г. ДУШАНБЕ

А.М. Умирзоков, Ф.М. Махмудова, Б. Нуралиев

Таджикский технический университет имени академик М.С. Осими

Статья посвящена оценке влияния состояния автомобильной дороги на эффективность организации дорожного движения (ОДД) в г. Душанбе. Разработана классификационная схема факторов, влияющих на формирование эффективности ОДД на улично-дорожной сети (УДС) в г. Душанбе. Целью исследования является моделирование параметров транспортного потока и дорожных факторов эффективности ОДД, а также изыскание путей ее повышения в условиях крупных городов. Исследования проводились на УДС г. Душанбе, результаты которых имеют важное теоретическое и практическое значение и могут быть применены для других городов.

Ключевые слова: *автомобиль, улично-дорожная сеть, эффективность, интенсивность движения, состав потока, мастерство водителя, среда.*

ТАЪСИРИ ҲОЛАТИ ШАБАКАИ РОҲУ КУЧА БА САМАРАНОКИИ ТАШКИЛИ ҲАРАКАТ ДАР РОҲҲОИ Ш. ДУШАНБЕ

А.М. Умирзоқов, Ф.М. Маҳмудова, Б. Нуралиев

Мақолаи мазкур ба масъалаи баҳодиҳии таъсири ҳолати шабакаи роҳу куча (ШРК) ба самаранокии ташкили ҳаракат дар роҳ (ТҲР) дар ш. Душанбе бахшида шудааст. Дар мақола схемаи синфбандии омилҳо, ки ба ташаккулёбии самаранокии ТҲР дар (ШКР) дар ш. Душанбе таъсир мерасонанд, коркард шудааст. Мақсади тадқиқот аз моделсозии параметрҳои сели нақлиёт ва омилҳои роҳ, инчунин дарёфт намудани роҳҳои баланд бардоштани он дар шароити шаҳрҳои бузург иборат мебошад. Тадқиқот дар ШКР-ҳои ш. Душанбе гузаронида шудааст, ки натиҷаҳои он аҳамияти муҳими назариявӣ ва амалиро доро буда, маетавонад барои дигар шаҳрҳои бузург низ истифода шавад.

Калимаҳои калидӣ: *автомобил, шабакаи роҳу куча, самаранокӣ, шиддатнокии ҳаракат, таркиби села, маҳорати ронанда, муҳит.*

THE INFLUENCE OF THE STATE OF THE ROAD NETWORK ON THE EFFICIENCY OF TRAFFIC MANAGEMENT IN DUSHANBE

A.M. Umirzoqov, F.M. Mahmudova, B. Nuraliev

The article is devoted to the assessment of the impact of the state of the highway on the effectiveness of traffic management in Dushanbe. A classification scheme of the factors influencing the formation of the efficiency of the ODD at the Dushanbe UDS has been developed. The purpose of the study is to model the parameters of traffic flow and road factors of efficiency of the EDD, as well as to find ways to improve it in large cities. The research was conducted at the Dushanbe UDS, the results of which have important theoretical and practical significance and can be applied to other cities.

Keywords: *car, highway, efficiency, traffic intensity, traffic composition, driver's skill, environment.*

Введение

Душанбе – столица Республики Таджикистан (РТ), быстро растущий и развивающийся город с населением около 1,3 миллиона человек, площадь которого составляет 203,2 км^2. Город расположен в Гиссарской долине на высоте от 650 до 950 м н.у.м., при высоте центра города, равной 706 м н.у.м. [3]

В городе зарегистрированы около 145 тыс. транспортных средств (ТС). С учетом транзитных и челночных ТС, стабильно въезжающих в столицу из различных регионов республики, этот показатель доходит до 200 тыс. и более ТС. Реальное число ТС на улицах города варьирует в довольно широких пределах, в разы уменьшаясь в выходные, праздничные и предпраздничные дни. Это обусловлено большим числом автовладельцев, проживающих за пределами города, но работающих в г. Душанбе. Наблюдается снижение интенсивности движения ТС в городе за счет уменьшения курсирующего по городу числа общественного транспорта, обусловленного резким сокращением пассажиропотока из-за выезда большого числа студентов из города.

В городе проложено около 8 тыс. км автомобильных дорог. Ближайшие 3 года в г. Душанбе запланировано строительство 40 км дороги и 7 эстакад, а к 2030 году будет сдано в эксплуатацию еще 20 эстакад. В городе Душанбе автомобильные дороги находятся в состоянии, отвечающим требованиям СНиП, за исключением дорог на окраинах города, состояние которых можно характеризовать как удовлетворительное и препятствующее повышению эффективности ОДД [5,6].

Материалы и методы исследования

В формировании эффективности важная роль отводится мастерству водителя, техническому состоянию ТС и интенсивности движения, составу транспортного потока, дорожным условиям и среде. При этом наиболее затратным и трудоемким фактором в формировании эффективности ОДД является УДС, строительство и обслуживание которой связаны с большими материальными, денежными, временными и трудовыми ресурсами. Надлежащее состояние УДС, обуславливающих повышение

эффективности ОДД, зависит от большого числа факторов, классификационная схема которых представлена на рис.1.

Важным фактором в формировании эффективности ОДД можно считать соотношение между реально участвующим и не участвующим в движении числом автомобилей. При этом число автомобилей, реально участвующих в движении $N_{дв}$, можно определить из выражения

$$N_{дв} = \Sigma N_{TC} - N_{ст} - N_{зг} + N_{вг} - N_{нд} - N_{TOиP}, \quad (1)$$

где ΣN_{TC} – суммарное число ТС, зарегистрированных в г. Душанбе по официальным данным УГАИ РТ, шт.;

$N_{ст}$ – число автомобилей, припаркованных на первой, а иногда на второй полосе движения УДС, шт.;

$N_{зг}$ – число автомобилей, зарегистрированных в г. Душанбе, но выезжавших за город, шт.;

$N_{вг}$ – число автомобилей, незарегистрированных в г.Душанбе, но въезжавших в город, шт.;

$N_{нд}$ – число автомобилей, находящихся вне УДС (на автостоянках, во дворах домов, предприятий, учреждений, учебных заведений, а также на автомобильных рынках и т.д.), шт.;

$N_{вг}$ – число автомобилей, находящихся в пунктах ТО и Р, станциях Гостехосмотра АТС и т.д., шт.

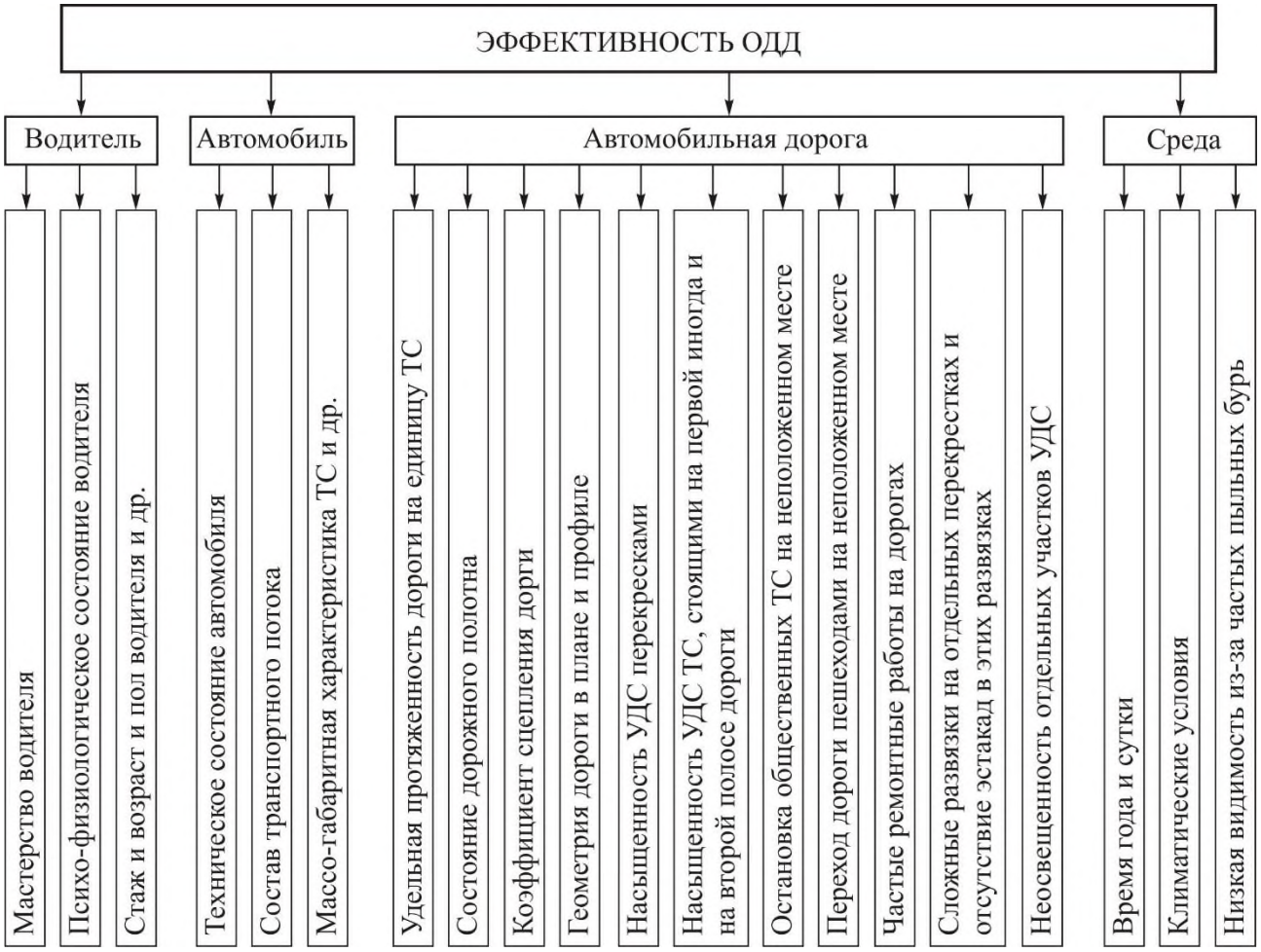
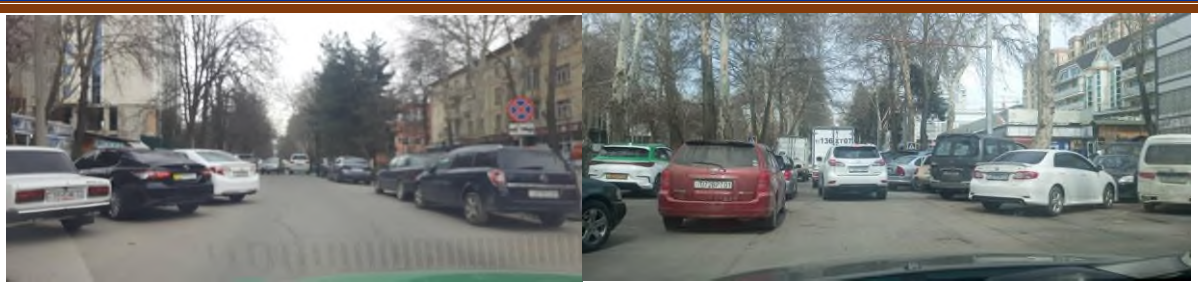


Рисунок 1 – Классификационная характеристика факторов, влияющих на эффективность ОДД

Результаты исследования

Число автомобилей, припаркованных длительное время на первой, а иногда на второй полосе движения в отдельных участках УДС в два и более раза сужают ширину проезжей части и резко сокращают пропускную способность дороги. Такое состояние характерно для проспекта академиков Раджабовых и участка проспекта Рудаки от железнодорожного вокзала до торгового центра «Садбарг» (рис.2). Это число для условий г. Душанбе в зависимости от участка дороги, времени суток и дня недели может варьировать в пределах от 1,5 до 12,0 %. Минимальное значение параметра относится к времени суток 11 часов ночи до 5 часов утра, а также к выходным, праздничным и предпраздничным дням. Огромное скопление припаркованных автомобилей наблюдается утром и вечером недалеко от развлекательных центров и учреждений для проведения различных мероприятий.



а *б*

Рисунок 2 – Автомобили длительное время, припаркованные на проезжей части дороги: а – проспект академиков Раджабовых и б –участок проспекта Рудаки от железнодорожного вокзала до торгового центра «Садбарг»

Число автомобилей, регистрированных в г. Душанбе, но находящихся за пределами города, может варьировать в пределах от 13 до 12 %, наибольшее значение которого приходится на время летних отпусков, праздничных и предпраздничных дней.

В формировании интенсивности движения и эффективности ОДД весомая часть приходится к числу автомобилей, не регистрированных в г. Душанбе, но въезжавших в город, к которым относятся транзитные и челночные ТС. Их доля по разным причинам может составлять от 20 до 50 %. К основным причинам этого явления можно отнести число автовладельцев, живущих за пределами города, но работающих в г. Душанбе, а также число ТС, занятых пассажирскими и грузовыми перевозками.

Несмотря на очень широкий предел варьирования (от 5 до 90%), число автомобилей, находящихся вне УДС (на автостоянках, во дворах домов, предприятий, учреждений, учебных заведений, а также на автомобильных рынках и т.д.) оказывает незначительное влияние на формирование эффективности ОДД. Максимальное значение показателя относится к ночному времени суток, а также к праздничным и предпраздничным дням.

В условиях г. Душанбе формирование доли автомобилей, находящихся в пунктах ТО и Р, имеет свои особенности, что обусловлено в основном сроком службы ТС, эксплуатируемых в городе и недостаточным уровнем материально-технической и кадровой обеспеченности пунктов ТО и Р. Все это приводит к низкой надежности ТС после ремонтно-обслуживающих работ. Следует отметить, что число ТС, эксплуатируемых в г. Душанбе, по годам выпуска (срокам службы) постоянно меняется, примерное распределение которого представлено на рис.3.

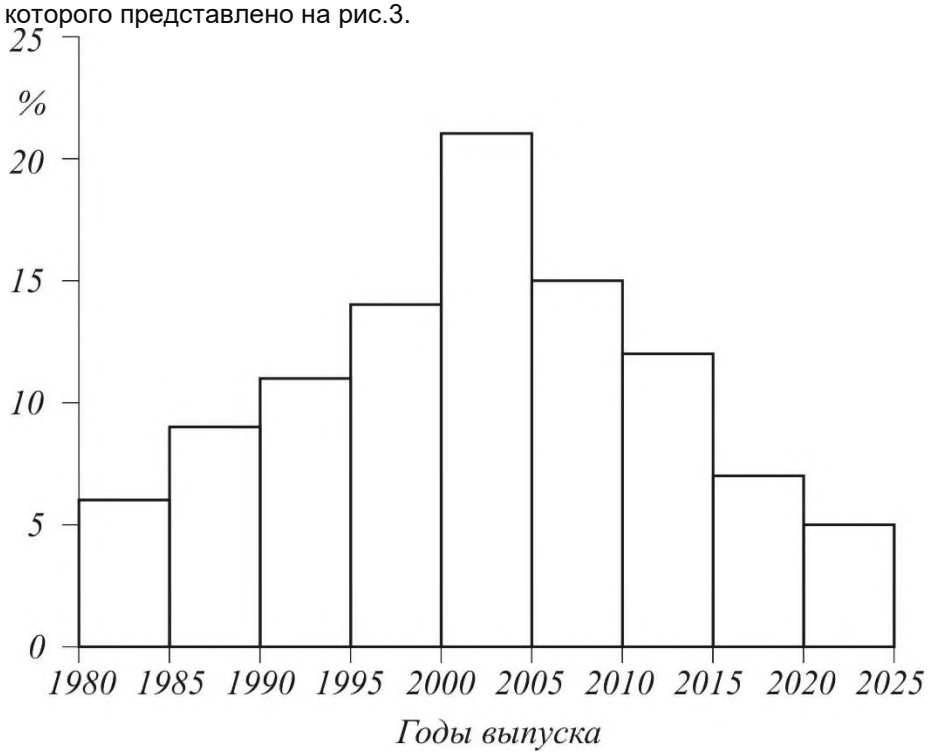


Рисунок 3 – Распределение ТС, эксплуатируемых в г. Душанбе, по годам выпуска

Как следует из приведенного графика, в г. Душанбе доля автомобилей, срок службы которых превышает 20 лет, составляют около 60%, что в значительной степени влияет на долю автомобилей, требующих ТО и Р, тем самым снижая эффективность ОДД.

Наиболее значимыми факторами, определяющими эффективность ОДД, являются ширина проезжей части, состав транспортного потока и интенсивность движения [1,2,4.7]. При уменьшении

ширины проезжей части в два раза средняя скорость движения потока автомобилей снижается до 2,5 раза, что очевидно для ул. Абдулахада Каххорова г. Душанбе (рис.4). Увеличение же интенсивности движения в 2 раза приводит к снижению пропускной способности дороги или скорости движения потока автомобилей до 50% в зависимости от состава транспортного потока и дорожно-климатических условий.

Рисунок 4 – Фрагменты ул. Абдулахада Каххорова г. Душанбе: уменьшение ширины проезжей части дороги из-за ремонтных работ

Обсуждения

Подробно рассмотрены пути повышения эффективности ОДД, связанные с дорожными условиями в г. Душанбе. Методику расчета соотношения между реально участвующими и не участвующими в движении числами автомобилей, разработанную для условий города можно использовать для подобных крупных городов (11), т.к. отмеченные проблемы имеют место и в других городах. Установлено, что значимое влияние на формирование эффективности ОДД в крупных городах имеют интенсивность движения, насыщенность ТС, припаркованных вдоль проезжей части автомобильных дорог, а также доля ТС, непосредственно находящихся в движении.

Выводы

1. Разработанная классификационная схема факторов, влияющих на эффективность ОДД в условиях г. Душанбе, способствует систематизации изыскания рациональных путей эффективности транспортных процессов.

2. Предложенная математическая модель способствует выполнению расчетов для определения соотношения между реально участвующими и не участвующими в движении числом автомобилей на УДС г. Душанбе.

3. В г. Душанбе необходимо принять меры по ограничению парковки автомобилей на проезжей части дорог, способствующих снижению эффективности г. Душанбе. Для этой цели рекомендуется строительство гаражей для стоянки ТС без-и с проведением ТО и Р. Прогрессивной тенденцией в решении проблемы длительной парковки ТС является сооружения наземных, подземных одно- и многоярусных (многоэтажных) парковочных пунктов.

4. Установлено, что в г. Душанбе доля ТС, срок службы которых превышает 20 лет, составляет около 60%, что приводит к значительному снижению эффективности ОДД.

Рецензент: Амиров Н.Р. — к.т.н., доцент кафедры «Технический сервис и ремонт машин» ТАУ им. Ш. Шотемур

Литература

1. Бурлуцкий, А.А. К анализу методов повышения скоростей движения транспортных потоков на улицах крупного города/ А.А. Бурлуцкий, Н.Н. Сидоренко, Г.В. Пушкарева// Вестник ТГАСУ. 2015. № 5. С. 219-224.

2. Государственная целевая программа развития транспортного комплекса Республики Таджикистан до 2025 года (Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 1 апреля 2011 года №165). – г. Душанбе, 2011. – 40 с.

3. Пиров, Ж.Т. Анализ организации дорожного движения в городе Душанбе / Ж.Т. Пиров, А.М. Умирзоков, А.А. Соибов, Х.Б. Хусейнов // Вестник ИрГТУ. -2017. - № 6. - С. 142-148.

4. Серова, Е.Ю. Возможные пути повышения пропускной способности улично-дорожной сети/ Е.Ю. Серова// Инженерный вестник Дона. 2017. №1. – С. 61-73.

5. Умирзоков, А.М. Оценка сети автомобильных дорог Республики Таджикистан / А.М. Умирзоков, Н.Р. Гоибов, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. № 3. С. 117-124. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_3_117.

6. Умирзоков, А.М. Структура среды эксплуатации системы ВАДС / А.М. Умирзоков, А.А. Саибов, К.Т. Мамбеталин, А.А. Гафаров, С.С. Сайдуллозода, А.А. Соибов, А.Х. Абаев, Ф.А. Гафаров / Вестник технологического университета Таджикистана Серия: Технология и химия. 2018. № 3 (34). С. 47-53.

7. Шевцова А. Г. Боровской А. Е. Метод оценки пропускной способности регулируемых пересечений // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Материалы VIII международной научно-технической конференции. 21-23 мая 2014 г. Пенза. / Пенза: ПГУАС, 2014. С. 253–260.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Умирзоқов Аҳмад Маллабоевич	Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Umirzokov Ahmad Mallaboevich
Н.и.т., дотсент	К.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: ahmad.umirzokov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Махмудова Фароғат Мирзонасриевна	Махмудова Фарогат Мирзонасриевна	Makhmudova Farogat Mirzonasrievna
Н.и.т., дотсент	К.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences
Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ дар шаҳри Хуҷанд	Политехнический институт Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими в г. Худжанде	Polytechnic Institute Tajik Technical University named after. acad. M.S. Osimi in Khujand
E-mail: mfm-61@mail.ru		
TJ	RU	EN
Нуралиев Бовабек	Нуралиев Бовабек	Nuraliev Bovabek
Муаллими калон	Ст. преподаватель	Senior teacher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: Bovabeg200552@mail.ru.		

УДК 625.76

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ПОКРЫТИЙ

С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье приведены некоторые методы содержания дорожных одежд и покрытий; описаны факторы, влияющие на выбор методов содержания; предложен выбор методов технологии содержания, которые имеют непосредственное отношение к трем видам работ по содержанию дорожных одежд (предупредительное, корректирующее и срочное), а также вкратце затрагиваются некоторые вопросы по реабилитационным работам дорожного покрытия.

Ключевые слова: *содержание, дорожная одежда, дорожное покрытие, предупредительное, корректирующее, срочное, виды, факторы, методы, технологии, срок службы.*

БАЪЗЕ АЗ УСУЛҲО ВА БЕҲБУД НАМУДАНИ НИГОҲДОРИИ ҶОДА ВА ФАРШИ РОҲҲО

С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев

Дар мақолаи мазкур усулҳои гуногуни нигоҳдории фарш ва сатҳи роҳҳо оварда шудааст; омилҳое, ки ба интихоби усулҳо ба нигоҳдории ҷода ва фарши роҳҳо таъсир мерасонанд, тавсиф карда шудаанд; интихоби усулҳои технологияи нигоҳдорӣ пешниҳод карда шудааст, ки бевосита ба се намуди нигоҳдории фарши роҳ (эҳтиётӣ, ислоҳӣ ва таъхирнопазир) алоқаманданд ва инчунин ба баъзе масъалаҳои корҳои барқарорсозии сатҳи фарши роҳҳо мухтасар дахл дорад.

Калидвожаҳо: *нигоҳдорӣ, ҷодаи роҳ, фарши роҳ, пешгирӣ кардан, ислоҳӣ, таъхирнопазир, намудҳо, омилҳо, усулҳо, технологияҳо, мӯҳлати хидматрасонӣ.*

SOME METHODS AND WAYS TO INCREASE MAINTENANCE OF ROAD PAVEMENTS AND COVERINGS

S.B. Mirzozoda, F.S. Mirzoev

This article describes different methods for maintaining road pavements and surfaces; factors influencing the choice of maintenance methods are described; a selection of maintenance technology methods is proposed that are directly related to three types of road maintenance work (precautionary, corrective and urgent), and also briefly touches on some issues regarding road surface rehabilitation work.

Keywords: *Maintenance, road pavement, road surface, preventive, corrective, urgent, types, factors, methods, technologies, service life.*

Введение

Основной задачей содержания дорожных одежд является систематический уход, поддержание и повышение транспортно-эксплуатационных качеств покрытия и содержание его в чистоте и порядке. Характер и объём работ по содержанию зависят от периода года, типа покрытия и конструкции дорожной одежды.

К наиболее сложным работам по содержанию дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями относятся: санация трещин, ямочный ремонт, ликвидация колей и др. [1].

Сегодня постоянный рост бюджета требует, чтобы государственные и местные средства больше представляли те работы, которые повлекут за собой наименьшие затраты. Исторически всегда главное внимание уделялось строительству новых дорог, но в настоящее время больший акцент падает на содержание и предупредительные работы по дорожной одежде и покрытию.

Основные виды содержания дорожных одежд

Далее, рассмотрим три вида работ по содержанию дорожных одежд, а также вкратце затронем некоторые вопросы по реабилитационным работам дорожного покрытия.

- **Предупредительное содержание (периодическое и текущее)**: Заключается в улучшении или продлении функционального срока службы дорожной одежды. Стратегия обработки дорожного покрытия и операции направлены на задержку появления повреждений и уменьшение потребности в текущем содержании и деятельности по обслуживанию [2].
- **Корректирующее содержание**: Выполняется после появления каких-либо дорожных дефектов, таких как уменьшение сцепления, умеренное появление колей, целых участков разрушенных дорожных одежд или экстенсивное образование трещин. Это также может относиться и к «срочному» содержанию.
- **Срочное содержание**: Выполняется в случае крайней необходимости, например, глубокие ямы, нуждающиеся в срочном ремонте. Кроме этого: временная поверхностная обработка, предназначенная для поддержания в хорошем состоянии дорожного покрытия до тех пор, пока не выполнится полный капитальный ремонт, или до решения вопроса о реабилитации или реконструкции.

Все виды содержания нуждаются в осуществлении полной намеченной программы содержания дорожной одежды и покрытия. Однако особое внимание следует сосредоточить на предупредительных работах, чтобы исключить необходимость корректирующего содержания.

Многие виды содержания дорожной одежды и покрытия могут быть использованы для предупредительного, корректирующего и срочного содержания, а также для реабилитации

автомобильных дорог. **Рис.1** указывает на различия трех видов содержания. Согласно рисунку главное отличие состоит в состоянии покрытия на момент необходимости его ремонта. Нет четких границ в определении типа содержания: предупредительное или корректирующее, корректирующее или срочное.

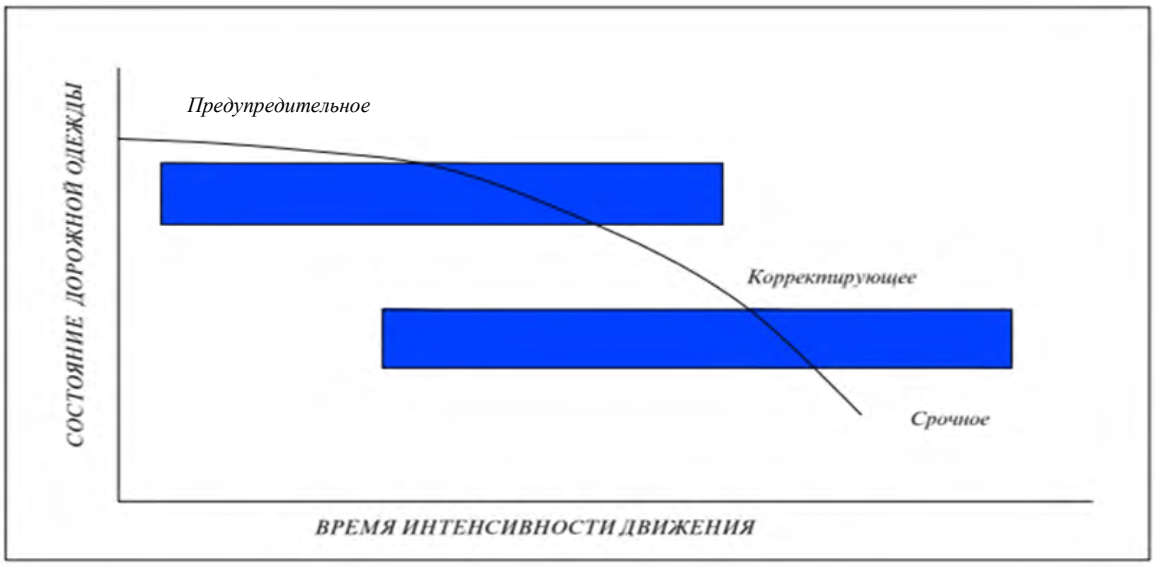


Рисунок 1 - Виды содержания

Программа сохранения дорожной одежды и покрытия

Программа предупредительного содержания представляет систематическое достижение в использовании ряда операций по предупредительному содержанию. Одна обработка улучшит качество покрытия и продлит срок службы дорожной одежды, но настоящую пользу от содержания дорожной одежды можно получить путем согласованного графика выполнения предупредительных работ.

Программа эффективного предохранения дорожной одежды объединяет множество стратегий предупредительного содержания и незначительной реабилитационной работы. Задача такой программы заключается в продлении срока службы дорожной одежды и покрытия, развитии широкой системы эксплуатационных качеств, эффективных по затратам и продуктивных по методам. На опыте доказано, что предупредительное содержание в 6 из 10 случаев выгоднее с точки зрения затрат, чем стратегия «ничего не делающего» содержания.

Польза предохранения дорожной одежды также заключается в уменьшении затрат путем лучшего обслуживания заказчиком и продления срока службы; предупредительное содержание наиболее выгодно, если применяется в начале службы дорожной одежды. В дополнение за счет продления срока службы участка дорожной одежды до момента его полной реабилитации предупредительное содержание позволяет предприятиям сбалансировать свой бюджет по содержанию, что в ином случае может привести к расхождениям.

Необходимые элементы программы по успешному содержанию дорожной одежды и покрытия:

- Выбор дороги;
- Установление причин проблемы;
- Определение и назначение надлежащего содержания;
- Установление соответствующего времени выполнения работ;
- Наблюдение за выполнением работ.

Предупредительное содержание - может включать традиционные методы содержания, такие как заливка трещин, поверхностная обработка, обновление поверхностной обработки, заделка колей и др. Кроме того, они могут включать новые технологии, например, выполнение ультратонкого защитного слоя, очень тонкого верхнего слоя. Отдельно от санации трещин, все перечисленные методы содержания способствуют образованию на дорожной одежде нового поверхностного слоя. Обновление поверхностной обработки обеспечивает новую защитную поверхность, хотя при этом, обычно, сцепные качества ниже, чем при первоначальном покрытии.

Ожидание появления повреждений неэффективно и не относится к предупредительному содержанию. Эффективность предупредительного содержания напрямую зависит от состояния дорожной одежды. Выполнение предупредительного содержания достаточно крепкой дорожной одежды намного эффективнее и способствует продлению её срока службы. Нерациональное проведение ремонтных работ (выбор метода или времени) приводит к увеличению роста повреждений.

Предупредительное содержание, как правило, запланировано и циклично по природе. Его цель – ремонт в начальной стадии повреждения, задержка появления повреждений дорожных одежд, и уменьшение необходимости в корректирующем содержании и деятельности по обслуживанию. Хотя данный вид содержания не предназначен для улучшения несущей способности дорожной одежды, он повышает срок её службы и уровень обслуживания.

Рис.2 показывает взаимосвязь между состоянием дорожной одежды и временем интенсивности движения.

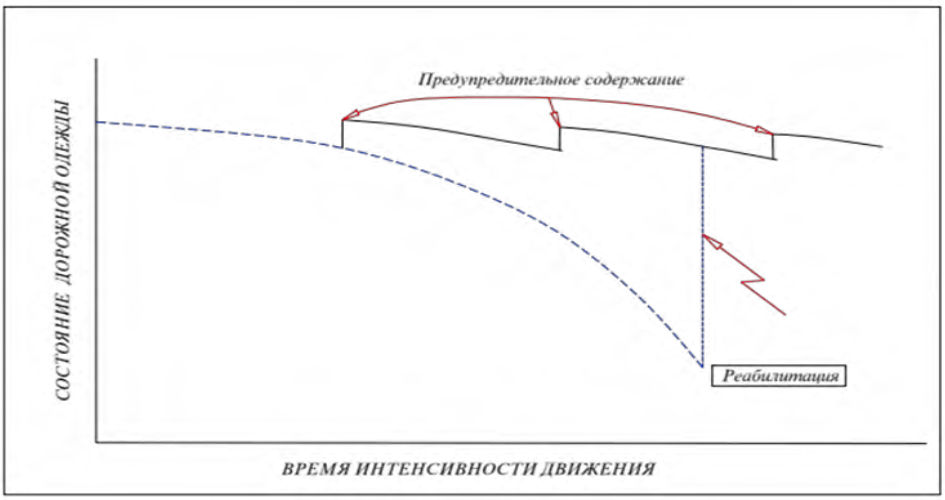


Рисунок 2 - Выполнение предупредительного содержания

Часто методы предупредительного содержания запланированы для ремонта повреждений, причиной которых служит влияние окружающей среды (окисление битума, температурные трещины и др.). Периодическое обновление покрытия имеет свои преимущества, включая поверхностную обработку (что защищает структуру покрытия от проникновения воды), контроль за окислением, отслоением и растрескиванием покрытия. Условия окружающей среды остаются постоянными в определенном интервале времени так, что максимальный период предупредительного содержания должен основываться в первую очередь на времени, нежели чем на дорожном движении отдельного участка.

Для помощи в выборе правильного времени начала обработки могут быть использованы результаты обследования и неразрушающие испытания. Это обеспечивает более рациональный подход к установлению того, какое покрытие нуждается в каком виде содержания и когда оно должно осуществляться. Используя результаты обследований состояния дорожной одежды и покрытий, пороговые пределы должны быть развиты для установления времени выполнения соответствующего вида содержания.

Предупредительное содержание существует уже давно, однако отсутствие его широкого применения имеет следующие объяснения:

- Многие из доступных методов предупредительного содержания считались неподходящими для дорог с повышенной интенсивностью движения;
- Недостаток финансирования дорожных организаций, задействованных на содержании автомобильных дорог, способствует ухудшению дорожной одежды и покрытий, что потребует подготовки к реабилитации;
- Неполное представление о состоянии и преимуществах предупредительного содержания.

Некоторые специалисты дорожной отросли с неохотой принимают программу по содержанию хороших участков дорожных одежд, по причине наличия большого количества участков со слабыми дорожными одеждами. Вполне обычно, что предупредительное содержание забывается в условиях, когда выбоины и другие эксплуатационные проблемы, требующие немедленного внимания, расходуют большую часть ограниченного бюджета на содержание. Люди скорее замечают такие проблемы, как выбоины, что способствует игнорированию предупредительного содержания.

Другая причина ограниченного финансирования предупредительного содержания заключается в том, что источник финансирования содержания дорожной одежды и зимнего содержания (удаление снега и льда) один и тот же. Это напрямую влияет на безопасность дорожного движения и водителей, часто

приоритеты отдаются зимнему содержанию, а тот остаток, что появляется к концу зимы, используется для содержания дорожной одежды.

Ключи к успешной реализации программы

- **Образование:** Для эффективного осуществления программы по сохранению дорожной одежды и покрытия выбранные специалисты, руководители и технический персонал должны быть достаточно обучены техническому содержанию автомобильных дорог, особенно предупредительному, его важности и преимуществам [3]. Данное обучение должно подчеркивать экономичность поддержания хорошего состояния дорожной одежды и покрытия вместо его замены в момент полного разрушения.
- **Идеология**: Развитие программы предупредительного содержания требует изменения мышления специалистов - от реабилитации и реконструкции до предупредительных работ.
- **Время проведения**: Реализация программы должна быть своевременной для сохранения структуры дорожной одежды и покрытия. Сильно поврежденная дорожная одежда не подходит для предупредительного содержания.
- **Финансирование:** Программа эффективного предупредительного содержания требует соответствующего финансирования. Должны быть установлены свои критерии для выбора дорожной одежды, требующей предупредительного содержания, и данная политика должна быть приведена в исполнение.

Корректирующее содержание включает структурные верхние слои, фрезерование верхних слоев, ямочный ремонт, заплаточный ремонт и санацию трещин. Оно отличается от предупредительного содержания, в основном, затратами и потраченным временем. Предупредительное содержание выполняется, когда дорожная одежда находится ещё в хорошем состоянии, а корректирующее содержание выполняется, когда дорожная одежда требует ремонта, и отсюда больше затрат.

При задержках в содержании число дорожных дефектов и повреждений растет так, что в момент корректировки затраты увеличиваются. Поэтому затраты в жизненном цикле дорожной одежды будут постоянно расти.

Срочное содержание. Эта эксплуатационная деятельность может выполняться в случае чрезвычайной ситуации, например, когда глубокие выбоины нуждаются в неотложном ремонте, в основном, в целях безопасности или для возможности использования проезжей части для движения. Срочное содержание также описывает те методы ремонтов, которые поддерживают покрытие до завершения её полной и тщательной реабилитации или реконструкции.

В случае появления необходимости в срочном содержании, некоторые типичные размышления относительно выбора методов, не имеют значения. Затраты могут занимать последнее место в размышлениях, после принятия решений относительно безопасности и необходимого времени. Материалы, которые могут быть недоступны для использования в работах по предупредительному и корректирующему содержанию, из-за затрат или долгого срока выполнения, могут быть приемлемы для использования в чрезвычайных ситуациях.

Улучшение эксплуатационных качеств может быть изменено разными путями, включая комфорт, удобства, безопасность или затраты на срок службы. Если никаких улучшений не наблюдается, то нет смысла в проведении содержания. Если одну или несколько сфер можно исправить, то нужно задать второй вопрос.

Окупается ли содержание? Изменение пользы содержания включает оценку эксплуатационных качеств дорожной одежды и необязательно выполнение самого содержания. Например, если использовать поверхностную обработку, устраиваемую на дорожной одежде, анализ окупаемости затрат должен сопоставлять срок службы дорожной одежды (после укладки слоя) с той дорожной одеждой, которая обработана слоем. Действие поверхностной обработки может продлиться только на 5 лет, но оно может продлиться за счет следующей обработки дорожной одежды ещё на 10 лет. Также, если заливка трещин покрытия продлевает срок его службы ещё на несколько лет, отсюда, при установлении эффективности затрат должен учитываться период, на который продлевается срок службы дорожной одежды.

Факторы, влияющие на выбор методов содержания

Путем изменения обычных мнений, политики содержания и других субъективных факторов система управления дорожной одежды даёт право пользователям на определение наиболее

эффективных по затратам методов содержания. Выбор, в основном, основывается на факторах, учитывающих:

- существующий тип покрытия;
- типы и размеры повреждений;
- факторы климата и окружающей среды;
- затраты на обработку;
- наличие квалифицированного персонала и подрядчиков;
- время укладки;
- состояние трещин;
- проезжую часть и уровень дорожного движения;
- нагрузка от дорожного движения;
- предполагаемый срок службы;
- наличие качественного материала;
- время простоя;
- сцепление покрытия .

Один из факторов, приведенных выше - состояние трещин - обеспечен хорошим примером для понимания работы по выбору метода содержания. Правильный тип содержания для поврежденного покрытия часто зависит от плотности и общего состояния трещин.

При частых трещинах, но небольшой степени поврежденности, они могут быть хорошо заделаны путем поверхностной обработки. Если их количество умеренной частоты, но степень поврежденности прогрессирует, то понадобится использование специальной программы устранения трещин. Если наблюдается умеренная частота трещин и незначительная степень или малые повреждения, то они могут быть эффективно обработаны путем заливки или заделки [3,4,5].

В общей сложности многие трещины больших повреждений указывают на то, что дорожная одежда находится на начальной стадии разрушения. В данной ситуации заливка и заделка трещин не экономичны и технически непригодны, так как лишь на малый срок задерживают необходимость тщательных корректирующих действий. Политика, определяющая типы и время работ по содержанию покрытия с трещинами, намного эффективнее. Она часто основывается на оценке полного состояния дорожной одежды или специфических характеристиках трещин [6,7].

Трещины могут содержать и другие дефекты, такие как поперечные разрывы и сдвиги, и могут иметь вертикальные смещения под нагрузкой от движения. Такие дефекты могут присоединиться к общей ровности дорожной одежды и часто ухудшаются со временем. Обычно, заплаточный ремонт или фрезерование верхних слоев являются подходящими для исправления данных повреждений. Однако, если вертикальные смещения и повреждения не так высоки, временная поддержка за счет ремонта трещин будет подходящей.

Выбор методов технологии содержания дорожной одежды и покрытия

Выбор методов содержит перечень типов эксплуатационных технологий, а также, приведена средняя продолжительность срока службы и затраты (на примере международного опыта). Каждая эксплуатационная организация может составить подобную таблицу, которая поможет в выборе определенных видов работ [3,7].

Таблица 1 - Методы технологии содержания дорожной одежды и покрытия

Технология	Дефекты и уровень повреждения							Средний срок службы (лет)
	Сцепление	Отслоение	Образование колей	Образование ям	Уровень повреждения трещин			
					Низкий	Средний	Высокий	
Санация трещин								
Очистка, заделка, разделка и заливка					X	X		3
Раскрытие и заливка								7-10
Ремонт трещин на полную глубину							X	5
Поверхностная обработка								
Обновление поверхностной обработки		X						1-2
Защитный слой	X	X						3-6
Двойная поверхностная обработка	X	X						7-10

Окончание таблицы 1

Ямочный или заплаточный ремонт								
Ямочный или заплаточный ремонт из холодного а/б				X				1-3
Ямочный или заплаточный ремонт из горячего а/б				X			X	3-6

Далее, в таблице 2 представлены рекомендации по методам обработки различных видов трещин и уровни их повреждений, примененные для повреждений покрытия и выбоин.

Таблица 2 - Методы обработки трещин и уровни их повреждений

Виды Трещин и Уровни их повреждений	Методы обработки							
	Ремонт трещин на полную глубину	Санация трещин заливкой			Заделка трещин	Заплаточный ремонт	Поверхностная обработка или защитный слой	Мелкозернистый верхний слой из горячей смеси
		Очистка и заливка	Раскрытие и заливка	Разделка и заливка				
Сетка трещин								
Низкий							X	
Средний						X		
Высокий						X		
Поперечные трещины								
Низкий		X		X			X	
Средний		X		X	X		X	
Высокий	X				X	X	X	
Продольные трещины								
Низкий		X		X	X			
Средний	X	X		X	X			
Высокий	X				X	X		
Температурные трещины								
Низкий		X		X			X	
Средний							X	X
Высокий					X	X		X
Отражённые трещины								
Низкий		X		X				
Средний		X		X	X			
Высокий		X			X	X		X

Заключение

Основной задачей содержания дорожных одежд являются систематический уход и поддержание чистоты в целях повышения транспортно-эксплуатационных качеств покрытия.

Ключами к успешной реализации программы являются: уровень образования и мышления специалистов, время проведения ремонтных работ и размер финансирования.

Также следует учитывать факторы, влияющие на выбор методов содержания дорожных одежд и покрытий. Особое внимание следует обращать на уровень повреждения и обработки трещин.

Рецензент: Сайрахмонов Р.Х. — к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Строительство дорог сооружений и транспортных коммуникации» ТПУ им. акад. М.С. Осими

Литература

1. Мирзозода С.Б. - Причины разрушений и появления дефектов на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог – «Журнал Содружества Независимых Государств», 2023г, № 04/ 2023 (107), МСД. Москва: с. 90-93

2. Мирзоев С.Б., Каримов Б.Б., Махсум В. - Задачи по улучшению состояния сети автомобильных дорог – «Журнал Содружества Независимых Государств», 2023г, № 03/ 2023 (106), МСД. Москва: с. 53-58

3. ТП-4294 - Укрепление реализации системы финансирования содержания дорог, Том 4, Душанбе, 2007г.

4. Кутузов В.В., Курочкин Н.В. - Диагностика автомобильных дорог - «Белорусско-Российский Университет», Могилев, 2020, с. 36

5. Булдаков С.И., Силуков Ю.Д., Малиновских М.Д. - Содержание и ремонт автомобильных дорог. Екатеринбург, 2017, с.198

6. Кравченко С.Е., Реут Ж.В., Соболевская С.Н. - Содержание и ремонт автомобильных дорог, БНТУ, Минск, 2013, с. 238

7. Руденский А.В., Штроберг А.А., Коргезян Э.А. - Экспертный метод оценки состояния асфальтобетонных покрытий, труды РосдорНИИ, вып.1. М, 1989, с.114-122

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Мирзозода Сухроб Бегмат	Мирзозода Сухроб Бегмат	Mirzozoda Sukhrob Begmat
номзади илмҳои техникӣ, дотсент	кандидат технических наук, доцент	candidate of technical sciences, professor
Донишгоҳи Техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ.	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named afteracademician M.S. Osimi.
e. mail: sukhrob63@mail.ru		
TJ	RU	EN
Мирзоев Фариддун Сухробович	Мирзоев Фариддун Сухробович	Mirzoev Fariddun Suhrobovich
Корхонаи воҳиди давлатии «Пажӯҳишгоҳи лоиҳакашии иншооти нақлиётӣ»	ГУП “Институт проектирования транспортных сооружений”	State Unitary Enterprise “Institute of Transport Facilities Design”

УДК 624

ТАҲЛИЛИ ТАМОЮЛ ВА ҚОНУНИЯТҲОИ РУШДИ СИСТЕМАИ МУСОФИРБАРӢ

Ф.М. Юнусов, А.А. Раҷабов, Ш.Ф. Самиев

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур ҳамкории нақлиёти мусофирбар дар системаҳои гуногун – нисбатан локалӣ (маҳаллӣ)-и байни ҳам алоқаманд, ба ҳамдигар вобаста ва амалашон на ҳама вақт ба идоракунии марказонида қобили қабулбуда таҳлил гардидааст. Инчунин роҳҳои асосии рушди системаи мусофирбарии Ҷумҳурии Тоҷикистон мувофиқи роҳҳои қонеъгардонии талаботи аҳолӣ инчунин ба шумора ва зичии ҷойгиршавии аҳолӣ дар минтақаҳои гуногуни кишвар, сатҳи иқтисодию иҷтимоӣ, шабакаи роҳҳо ва ҳолати нигоҳдории роҳҳои автомобилгард нишон дода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *нақлиёт, мусофир, система, идоракунӣ, мусофирбарӣ, талабот, аҳолӣ.*

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК

Ф.М. Юнусов, А.А. Раджабов, Ш.Ф. Самиев

В данной статье анализируется взаимодействие пассажирского транспорта в различных системах - относительно локальных, взаимосвязанных, взаимозависимых и действия которых не всегда приемлемы для централизованного управления. Также рассмотрены основные пути развития пассажирского хозяйства Республики Таджикистан по способам удовлетворения потребностей населения, а также численности и плотности населения в различных регионах страны, экономического и социального уровня. Показаны дорожная сеть и состояние содержания дорог.

Ключевые слова: *транспорт, пассажир, система, управление, пассажирские перевозки, спрос, население.*

ANALYSIS OF TRENDS AND REGULARITIES OF TRANSPORT SYSTEM DEVELOPMENT

F.M. Yunusov, A.A. Radzhabov, Sh.F. Samiev

This article analyzes the interaction of passenger transport in various systems - relatively local (local), interconnected, interdependent and whose actions are not always acceptable for centralized control. The main ways of development of the passenger economy of the Republic of Tajikistan are also considered in terms of ways to meet the needs of the population, as well as the number and density of the population in various regions of the country, economic and social level. The road network and the state of road maintenance are shown.

Keywords: *transport, passenger, system, management, passenger transportation, demand, population.*

Муқаддима

Кори нақлиёти мусофирбар ҳангоми ҳамкории системаҳои гуногун – нисбатан локалӣ (маҳаллӣ), байни ҳам алоқаманд, ба ҳамдигар вобаста ва амалашон на ҳама вақт ба идоракунии марказонида қобили қабулбуда амалӣ мегардад.

Ба мафҳуми вуруди система тарзҳои муқарраргардидаи амалишавии унсурҳои система, масалан, мавҷудият ва намуди таркиби ҳаракаткунандаи нақлиёти мусофирбар дар хатсайрҳои алоҳида, интервали ҳаракати онҳо, дастурҳои муайянкунандаи тартиб, қоида ва шартҳои маҳдудкунандаи ҳаракат дар хатсайр (шиносномаи хатсайр), фармоиш оид ба кушодан, пӯшидан ё қисман тағйирдиҳии нақшаи ҳаракати хатсайр ва ғайраҳо низ тааллуқ доранд [8].

Маҷмӯи тамоми шароитҳои муайянкунандаи истифодабарии самараноки нақлиёти мусофирбар ҳолат ва қонуниятҳои рушди системаи кашонишро тавсиф менамояд. Ба қонуниятҳои асосии системаи кашониш талаботи рӯзафзуни аҳолии ҳудуд (ё минтақа), шумораи афзояндаи аҳолии минтақа, сарбории роҳҳои автомобилгард, интенсивнокии ҳаракати нақлиёт ва афзудани шумораи нақлиёт дар шабакаи нақлиётӣ (хатсайрҳо)-и минтақа, таркиби ҳаракаткунандаи нақлиёти мусофирбари замонавӣ ва истифодабарандаи энергияи сабз – электромобилҳо ва электробусҳо, системаи муассисаҳои ба мусофирон хизматрасонанда (автовокзалҳо ва автостансияҳо) ва ба автомобилҳо хизматрасонанда (базаҳои моддию техникии профилактика ва таъмир)-и муосирро бо тамоми технологияҳои навтарин дохил кардан зарур аст.

Дар баробари ин тамоми қонуниятҳои рушди имрӯзаи нақлиёти мусофирбар хароҷоти заруриро металабад ва он низ мувофиқи замона аст.

Ҳамкории элементҳои дарҷгардидаи системаи кашониш тариқи қонуниятҳо, ки дар хусусияти муносибатҳои ба ҳар яки онҳо дар алоҳидагӣ ва ҳам дар маҷмӯъ хос муайян мешавад, татбиқ мегардад (ҷадвали 1).

Ҷадвали 1 – Тавсифи элементҳои системаи кашониш дар робита бо қонуниятҳои рушд

№	Элементҳои системаи кашониш	Намуди муносибат			
		Миқдорӣ	Сифатӣ	Фазоӣ	Вақтӣ
		Таносуб	Муносиб	Пайдарҳамӣ ва параллелӣ	Сарфаи вақт
1	Ҳудуд	Консентратсияи истеҳсолот	Махсусияти истеҳсолот	Ҷойгиронии қувваҳои истеҳсолӣ	Реҷаи амалисозии онҳо
2	Аҳолӣ	Миқдорӣ	Сохторӣ	Зичии ҷойгиршавӣ	Демография

№	Элементҳои системаи кашониш	Намуди муносибат			
		Миқдорӣ	Сифатӣ	Фазоӣ	Вақтӣ
		Таносуб	Муносиб	Пайдарҳамӣ ва параллелӣ	Сарфаи вақт
3	Шабакаи нақлиётӣ	Таносуби миқдорӣ	Пуррагии намуди нақлиёт	Ҷойгиронии фазоӣ	Мутобиқгар-донии кори онҳо
4	Таркиби ҳаракаткунанда	Таносуби миқдорӣ	Аз рӯйи намуди робита	Ҷойгиронии таркиби ҳаракаткунанда	Сохтори синнусолии онҳо
5	Автовокзал (АВ)/автостан-сия (АС)-ҳои мусофирбар	Консентратсияи хизматҳо	Махсусияти АВ/АС	Ҳудуди ҷойгиронии онҳо	Қобилияти гузарониш
6	Муассисаҳои хизматрасони автомобилҳо	Консентратсияи гузаронидани ХТ ва Т	Махсусияти гузаронидани ХТ ва Т	Ҷойгиронии муассисаҳои гузаронидани ХТ ва Т	Тавоноии муассисаҳои гузаронидани ХТ ва Т

Аз ҷадвали 1 бармеояд, ки ҳудуди аҳолинишин, афзудани аҳолӣ ва муносиби он афзудани талабот ба воситаи нақлиёт раванди серталабгардии истеҳсолот ва маҳсулоти истифодашавандаро низ метезонад. Зичии ҷойгиршавии аҳолӣ яке аз омилҳои муҳими дигари афзудани талабот ба воситаи нақлиёти мусофирбар аст. Дар ин робита дар шабакаҳои нақлиётӣ таносуби миқдорӣ мушоҳида гардида, бо ҷойгиронии фазоии онҳо мутобиқсозии кори нақлиёт муҳим мешавад. Ҳолати техникии воситаи нақлиёт ва соли истеҳсоли он бо зиёдшавии шумораи воситаҳои нақлиёт маҳдуд мегардад, яъне нақлиёти синну соли охиртар, барориши солҳои охир мувофиқи талабот ба роҳ монда шуда, махсусан дар шаҳрҳо истифодаи нақлиёти куҳнатар маҳдуд гардида истодааст.

Ба ин қонуният автовокзал, автостансияҳо, муассиса ва ширкатҳои хурду калони нақлиётӣ, новобаста аз шакли моликияташон мусоидат карда, нақлиёти навтарин ва алалхусус электромобилҳоро мавриди истифода қарор медиҳанд. Ин самти ба роҳ мондани фаъолият ба муассисаҳои хизматрасони автомобилҳо – нуқтаҳои нигоҳубину таъмир, нуқтаҳои фурӯши қисмҳои эҳтиётӣ низ таъсир расонида, ба инкишоф ва такомулёбӣ маҷбур менамояд. Таъмиргарон бо сохти автомобилҳои навтарин шинос гардида, ба такмили дониши худ мекӯшанд. Ҳатто қайд кардан ҷоиз аст, ки қобилияти гузарониши инфрасохтори нақлиёту роҳ баландтар мегардад.

Вобаста ба таҳлили ҷадвали 1 тавсифоти элементҳои системаи кашонишро дар робита бо қонуниятҳои ршди система истифода бурда, ҳолат ва дурнамои рушди онро таҳлил менамоем.

Ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон 141,4 ҳаз.км^2 буда, аҳолии ҷумҳурӣ 10078,4 ҳазор нафарро ташкил менамояд [5]. Дар 1 км^2 71,3 ҳазор нафар истиқоматкунанда рост меояд. Ҳиссаи хоси аҳолии шаҳр 50,77% (5117,3 ҳазор нафар) аст. Дар давоми 10 соли охир дар ҷумҳурӣ тамоюли афзоиши аҳолии муқими деҳот зиёдтар аст, вале ин нишондиҳанда дар соли 2022 баръакс мушоҳида гардида, аҳолии шаҳр аз 5016,8 ҳазор нафар дар соли 2021 ба 5117,3 ҳазор нафар дар соли 2022 расидааст. Аҳолии деҳот бошад, аз 4870,0 ҳазор нафар дар соли 2021 ба 4961,1 ҳазор нафар дар соли 2022 афзоиш ёфтааст, ки афзоиши аҳолии шаҳр каме зиёдтар мушоҳида мегардад. Ин дар баробари афзоиши табиии шаҳр аз урбанизатсияи аҳолӣ шаҳодат дода, дар соли 2022 ба шаҳр кӯчидани аҳолиро тасдиқ менамояд.

Ҳамин тариқ, шароити табиӣ-иқлимӣ, ҷуғрофӣ ва демографии ҷумҳурӣ хусусиятҳои ташкили мусофирбариро муайян менамояд.

Консентратсияи ҳудудӣ ва махсусияти истеҳсолот ба хусусияти селаи мусофирон, қонуният ва ташаккулёбии онҳо таъсири назаррас дорад. Маҷмӯи маҳсулоти саноатии ҷумҳуриро асосан маҳсулоти саноати сабук ва хӯрокворӣ ташкил медиҳад. Соҳаҳои комплекси агросаноатӣ, саноати консервакунонӣ, обҳои маъданӣ ва афшураҳо, коркарди маҳсулоти ширу гӯшт, нассоҷӣ ва кимиёвӣ босуръат рушд ёфта истодааст. Қадамҳои устувори саноати мошинсозӣ ва таҷҳизот низ солҳои охир гузошта шуда истодааст, ки ба ҳадафи чоруми миллӣ – саноатикунонии босуръати кишвар мусоидат менамояд.

Ҳангоми афзоиши маҷмӯи маҳсулоти дохилии ҷумҳурӣ дар 10 соли охир (давоми солҳои 2013-2022) аз 40525,5 млн. сомонии соли 2013 ба 115739,4 млн. сомонии соли 2022 маҷмӯи маҳсулоти саноатӣ дар ин давра қариб беш аз 3 маротиба афзуда, маҷмӯи маҳсулоти кишоварзӣ, шикор ва хоҷагии ҷангал, моҳидорӣ ва моҳипарварӣ тақрибан ба андозаи бештар аз 3,4 маротиба меафзояд.

Фондҳои асосии истеҳсолии ҳама соҳаҳои хоҷагии халқ дар ин давра 80% афзуда, ҳаҷми сармоягузорӣ 60%-ро ташкил дод. Ба истифода додани фондҳои асосӣ тақрибан 50% боло рафт. Дар баробари ин шумораи кормандон ва хизматчиён 53% зиёд гардид.

Муқоисаи суръати афзоиши маҷмӯи маҳсулот, фондҳои асосии истеҳсолӣ ва шумораи кормандону хизматчиён нишон медиҳад, ки дар ҷумҳурӣ соҳаҳои меҳнатталаби истеҳсолӣ рушд ёфта истодааст. Ин

ҳолат зарурати ҷалби қисми аҳолии деҳотро ба саноати ҷумҳурӣ пеш мегузорад ва он асосан дар шаҳрҳо ва ноҳияҳое ҷойгир аст, ки рушди интенсивии истеҳсолот ба назар мерасад.

Ҷадвали 2 – Ба кор даровардани фондҳои асосӣ дар соҳаҳои иқтисодиёти ҷумҳурӣ [5]

Фондҳои асосӣ	Бо нархҳои амалӣ, млн. сомонӣ		Фоизи тағйирёбӣ
	соли 2015	соли 2022	
Ҳамагӣ дар соҳаҳои иқтисодиёти ҷумҳурӣ, аз ҷумла дар соҳаҳои:	*4129,5*	*5803,4*	*140,5*
-саноат;	825	729,9	88,5
-кишоварзӣ;	34,3	25,8	75,2
-нақлиёт;	244,6	247,0	100,98
-савдо ва хӯроки умумӣ;	284,7	796,6	279,8
-сохтмони манзил;	1655,0	2786,9	168,4
-хоҷагии коммуналӣ;	141,9	349,0	245,95
-маориф ва илм;	286,5	826,0	288,3
-тандурустӣ.	223,1	42,2	18,9
Аз ҳисоби маблағгузории давлатӣ	1463,0	1450,2	99,1
Аз ҳисоби аҳолӣ	571,7	658,8	115,2
Аз ҳисоби ташкилоти дигар	2094,8	3694,4	176,4
Ба кор андохтани фондҳои асосӣ дар сатҳи минтақаҳо, аз ҷумла:	*4129,5*	*5803,4*	*140,5*
ВМКБ	144,2	96,9	67,2
Вилояти Суғд	1247,3	1343,1	107,7
Вилояти Хатлон	990,7	1712,2	172,8
Шаҳри Душанбе	1255,1	2246,9	179,0
НТҶ	492,2	404,3	82,1

Чӣ тавре ки аз ҷадвали 2 бармеояд, суръати рушди бештари фондҳои асосии истеҳсолӣ ба соҳаҳои савдо ва хӯроки умумӣ, хоҷагии коммуналӣ, маориф ва илми ҷумҳурӣ мушоҳида мегардад. Суръати рушди фондҳои асосии истеҳсолии нақлиёт ва сохтмони манзили ҷумҳурӣ низ афзоиши хуб доранд. Дар давраи баррасишаванда соҳаҳои кишоварзӣ ва саноат дошта, нишондиҳандаи пасттарин дар соҳаи тандурустӣ ба назар мерасад (18,9%), аз ин сабаб ҳиссаи он дар сохтори умумии фондҳои асосии хоҷагии халқи ҷумҳурӣ дар давраи мазкур паст фаромадааст.

Ба кор андохтани фондҳои асосӣ аз ҳисоби маблағгузории давлатӣ 99,1%, аз ҳисоби аҳолӣ 115,2% ва аз ҳисоби ташкилоти дигар 176,4% иҷро гардидааст. Мувофиқи ҷадвали 2 ин фоизнокӣ аз соли 2022 нисбат ба соли 2015 гирифта шудааст.

Инчунин ба кор андохтани фондҳои асосӣ дар сатҳи минтақаҳо нишон медиҳад, ки дар ВМКБ 67,2%, вилояти Суғд 107,7%, вилояти Хатлон 172,8%, шаҳри Душанбе 179,0% ва НТҶ 82,1% аст. Нишондиҳандаи беҳтарин дар сатҳи шаҳри Душанбе, вилоятҳои Хатлону Суғд мушоҳида гардида, барои ВМКБ ва НТҶ пасттар аст (расми 1).

Расми 1 – Диаграммаи ба кор андохтани фондҳои асосӣ дар сатҳи минтақаҳо

Ҳамин тариқ, ҳангоми таносуби гузошташуда дар рушди соҳаҳои хоҷагии халқ ва нақлиёт ҳалли масъалаҳои мусофирбарӣ мумкин аст танҳо дар асоси интенсификатсияи маҷмӯавии кори нақлиёти

мусофирбар, махсусан нақлиёти автомобилӣ имкон дорад, ки он нисбатан ба шароитҳои ҳудудӣ, табиию иқлимии ҷумҳурии мо мутобиқ гардонида шудааст.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон 18 шаҳр, 66 шаҳрак ва 47 ноҳия мавҷуд аст. Илова бар ин, ҷойгиршавии онҳо аз рӯйи тақсимоти маъмурию ҳудудӣ нобаробар буда, аз 18 шаҳр 8 ададаш дар вилояти Суғд, 4 ададаш дар ноҳияҳои тобеи марказ, 4 ададаш дар вилояти Хатлон ва 1 ададаш дар Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон ҷойгир аст. Аз ҳудуди умумии ҷумҳурӣ (141,4 ҳаз. км^2) 62,9 ҳаз. км^2-ро ВМКБ, 28,4 ҳаз. км^2-ро ноҳияҳои тобеи марказ, 25,2 ҳаз. км^2-ро вилояти Суғд ва 24,7 ҳаз. км^2-ро вилояти Хатлон ташкил медиҳад.

Зичии аҳолӣ аз рӯйи минтақаҳои ҷумҳурӣ дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

Ҷадвали 3 – Зичии аҳолӣ аз рӯйи минтақаҳои ҷумҳурӣ [5]

Минтақаҳо	Аҳолӣ, ҳазор нафар	Таносуби аҳолии шаҳру деҳот, %		Ҳудуд, ҳаз. км^2	Зичии аҳолӣ, нафар/км^2
		шаҳр	деҳот		
Ҳамагӣ дар ҷумҳурӣ	10078,4	28,8	71,2	141,4	71,3
Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон	232,0	17,2	82,8	62,9	3,7
Вилояти Суғд	2870,0	23,9	76,1	25,2	113,9
Вилояти Хатлон	3611,2	17,7	82,3	24,7	146,2
НТМ	2144,1	14,8	85,2	28,4	75,5
Шаҳри Душанбе	1221,1	100,0	0,0	0,2	6009,4

Хусусиятҳои ҷойгиршавии ҳудудии аҳолӣ, рушди соҳаҳои иқтисодиёти ҷумҳурӣ хусусиятҳои ҳаракатнокии ҳам аҳолии деҳот ва ҳам шаҳрро муайян менамояд. Ҳамаи ин бештар хусусиятҳои ташкили мусофирбариро дар маҳалли деҳот ва шаҳрҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон муайян мегардонад.

Таҳлили ҷойгиршавии аҳолии шаҳр, дурнамои рушди онҳо имкон медиҳад, ки алоқаи байни онҳо барқарор гардад ва схемаи селаи мусофирон бо як қатор шароитҳои ба ташкили интиқол таъсиррасонанда ва барои Ҷумҳурии Тоҷикистон хос муайян карда шавад:

-нобаробарии ҷойгиршавии аҳолӣ ва зичии баланд аз ҳисоби ҳиссаи ками маҳалли ҳамвор дар вилоятҳои ҷумҳурӣ;

-нобаробарии ҷойгиршавии аҳолии шаҳр ва шабакаи нокифоя (дар ҳазор км^2-и ҳудуд 0,13 шаҳр, дар маҳалли ҳамвор – 1,8 шаҳр рост меояд);

-азхуднамоии ҳаҷми истеҳсолоти инкишофёбанда дар шаҳрҳо ба пуррагардии захираҳои меҳнатӣ аз маҳалли деҳот вобаста аст, ки дар он норасогии захираҳои меҳнатӣ мушоҳида мегардад ва озодшавии нисбии онҳо бо баландшавии ояндаи сатҳи техникии хоҷагии деҳот ва истеҳсолоти он вобаста аст (ҳиссаи хоси аҳолии деҳот 71,2%, ҳиссаи хоси сатҳи истеҳсолот дар шаҳрҳо 85%-и ҳаҷми умумии истеҳсолоти тамоми иқтисодиёти ҷумҳуриро ташкил медиҳад);

-мавҷудияти имкониятҳои потенсиалии рушди селаи мусофирони амалкунанда ва аз нав пайдошаванда аз ҳисоби вазъи иқтисодӣ-ҷуғрофии ҷумҳурӣ, захираҳои бойи ашёи хом, азхуднамоии интенсивии маъданҳои кӯҳӣ, рушди гидроэнергетика чун асоси ташаккули комплексҳои ҳудудию истеҳсолӣ, нишондиҳандаҳои муфиди рушди аҳолӣ ва барномаи васеи рушди хоҷагии шаҳри ҷумҳурӣ. Зарурати азхуднамоии ҳаҷми мусофирбарии афзоянда ва баландшавии сатҳи ташкили он рушди ояндаи шабакаи нақлиётиро ба таври қатъӣ талаб менамояд. Ҷойгиронии муносиби шабакаи нақлиётӣ дар ҳудуди ҷумҳурӣ имрӯзҳо ба таври қатъӣ аҳамияти муҳими иқтисодиро касб мекунад. Ба сатҳи ташкили мусофирбарӣ баробарии ҷойгиронии шабакаи нақлиётӣ, дарозии умумии он, мувофиқати шиддатнокии анбуҳи нақлиётӣ ва селаи мусофирон, эътимоднокии рушди ин ё он шабакаи роҳҳои робита таъсир мерасонанд.

Нишондиҳандаҳои асосии шабакаи роҳҳои ҷумҳурӣ дар ҷадвали 4 оварда шудааст.

Ҷадвали 4 – Дарозии шабакаи роҳҳои автомобилгард дар вилоятҳо ва минтақаҳои маъмурӣ-ҳудудии Ҷумҳурии Тоҷикистон [3]

Шабакаи роҳҳои автомобилгарди истифодаи умум	Ҳамагӣ, км.	Аз рӯйи вилоят ва минтақаҳо					
		НТҶ	Бохтар	Кӯлоб	Суғд	ВМКБ	Рашт
Ҳамагӣ роҳҳо	14141	1910,9	2740,5	2389,4	3442,0	2712,0	938,0
Роҳҳои ҷумҳуриявӣ	5423	697,4	748,9	728,4	1095,9	1680,8	471,6
Аз ҷумла роҳҳои байналмилалӣ	3335,6	287,3	427,7	292,3	732,0	1297,3	279,0
Дигар роҳҳои ҷумҳуриявӣ (фаръӣ)	2087,5	410,1	321,2	436,0	363,9	383,5	172,6
Роҳҳои маҳаллӣ	8717	1213,4	21991,6	1670,0	2345,3	1031,2	466,4

Барои нақлиёти автомобилӣ роҳҳо аҳамияти иқтисодӣ ва ҷуғрофии муҳим дошта, ба ҷойгиршавии истеҳсолот, рушди иқтисодӣ ва иҷтимоии мамлакат таъсири асосӣ доранд. Аз таҳлили шабакаи роҳҳо ва мутобиқгардонии намудҳои нақлиёт ба истеҳсолоти минтақаҳои алоҳида муайян кардан мумкин аст, ки нақлиёти автомобилӣ ҳамчун намуди нақлиёти пешбар фаъолият менамояд.

Тибқи маълумоти оморӣ ба ҳолати 01.01.2017 шабакаи роҳҳои автомобилгарди Тоҷикистон 26366 километр, шабакаи роҳҳои оҳан 666 километрро ташкил медиҳад. Ҳама роҳҳо дар Тоҷикистон роҳҳои давлатӣ мебошанд. Шабакаи роҳҳои автомобилгарди истифодаи умуми назди Вазорати нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 14141 км иборат аст, ки ин 56,3%-и тамоми шабакаи роҳҳои ҷумҳуриро ташкил медиҳад. Роҳҳои идориро 12563 км, яъне 47,7%-и тамоми шабакаи роҳҳо ташкил менамояд.

Хулоса

Рушди системаи мусофирбарии Ҷумҳурии Тоҷикистон мувофиқи роҳҳои қонеъгардонии талаботи аҳолӣ инчунин ба шумора ва зичии ҷойгиршавии аҳолӣ дар минтақаҳои гуногуни кишвар, сатҳи иқтисодию иҷтимоӣ, шабакаи роҳҳо ва ҳолати нигоҳдории роҳҳои автомобилгард вобаста аст. Ташкил ва идора кардани раванди мусофирбарӣ муассисаҳои нақлиётиро водор менамояд, ки бо назардошти омилҳои зикргардида теъдоди нақлиётро интихоб ва барои хизматрасонӣ пешниҳод гардонанд.

Муқарриз: Юнусов М.Ю. – н.и.т., дотсенти қафедраи «Истифодабарии нақлиёти автомобилӣ» -и ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Абалкин Л.И. Перевод экономики на интенсивный путь развития. Вопросы экономики, 1982, №2, с. 3-13.
2. Аррак А.О. Развитие и эффективность пассажирских перевозок. Таллин, 1984. – 224 с.
3. Бобоев К.О. – Ташкили фаъолияти истеҳсолии инфрасохтори рӯйизаминии нақлиёти автомобилии Ҷумҳурии Тоҷикистон. Дисс. барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои иқтисодӣ аз рӯйи ихтисоси 08.00.06.04 – Ташкил ва идоракунии корхонаҳо, низомҳо ва комплексҳо. Душанбе – 2023.
4. Бронштейн Я.Т. Перспективы развития транспорта Таджикской ССР. Душанбе, Ирфон, 1973. – 210 с.
5. Омори солонаи Ҷумҳурии Тоҷикистон – Нашрияи расмии Агентии омори назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, соли 2023.
6. Раджабов Р.К., Аликариев С.А. Рациональное размещение предприятий пассажирского автобусного транспорта в Таджикистане. Обзор инф. Душанбе, 1986. – 35 с.
7. Ризоӣ Н.М., Юнусов Ф.М. Таҳлили усул ва моделҳои баҳодиҳии талабот ба хизматрасонии нақлиёти мусофирбар//Паёми политехникӣ. Бахши Таҳқиқоти муҳандисӣ. №4 (56), 2021. – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2021. – С. 97-106. ISSN 2520-2227, 0,63/0,32 ҷ.ч.
8. Юнусов Ф.М. Муносибати системавӣ дар омӯзиш ва баланд бардоштани самаранокии кори нақлиёти автомобилии мусофирбар//Паёми политехникӣ. Бахши Таҳқиқоти муҳандисӣ. №1 (61), 2023. – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2023. – С. 162-167. ISSN 2520-2227, 0,375 ҷ.ч.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Юнусов Фаридун Маъруфович	Юнусов Фаридун Маъруфович	Yunusov Faridun Marufovich
Номзади илмҳои иқтисодӣ	Кандидат экономических наук	Candidate of Economical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
e. mail: faridun.yunusov1978@gmail.com		
TJ	RU	EN
Рачабов Абдуҳалим Абдурахимович	Раджабов Абдухалим Абдурахимович	Radzhabov Abdukhalim Abdurakhimovich
Номзади илмҳои иқтисодӣ	Кандидат экономических наук	Candidate of Economical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Самиев Шамсиддин Файзуллоевич	Самиев Шамсиддин Файзуллоевич	Samiev Shamsiddin Faizulloevich
Номзади илмҳои иқтисодӣ	Кандидат экономических наук	Candidate of Economical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi

СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК 699.841

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНОМАТЕРИАЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

И.К. Каландарбеков, И.И. Каландарбеков, А.Ш. Шарифзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Настоящее исследование концентрируется на анализе последствий землетрясений на территории Республики Таджикистан. В ходе исследования отмечается значительное количество разрушений и повреждений глинобитных домов. Подчеркивается, что проблема использования местных строительных материалов, особенно при возведении зданий, остаётся актуальной, поскольку строительство таких домов продолжается, и они по-прежнему преобладают в сельской и горной местности Республики Таджикистан. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований, направленных на определение физико-механических характеристик глиноматериалов для кирпича-сырца стандартного размера 250×120×65 мм.

Ключевые слова: *землетрясения, сейсмобезопасность, повреждения домов, глинобитные здания, глиноматериал, грунт, физико-механические характеристики, предел прочности, изгиб, сжатие.*

ТАҲҚИҚОТИ ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКАЮ МЕХАНИКИИ МАВОДҲОИ ХОКӢ ДАР ҚАЛАМРАВИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

И.Қ. Қаландарбеков, И.И. Қаландарбеков, А.Ш. Шарифзода

Таҳқиқоти дида баромадашуда ба таҳлили оқибати заминҷунбӣ дар қаламрави Ҷумхурии Тоҷикистон, ки шаҳодати вайроншавӣ ва шикасти хонаҳои хокӣ мебошад, равона карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки мушкилоти истифодабарии маводҳои таҳҷойи ҳангоми сохтмони хонаҳо ба таъхир монда намешавад, чаро, ки сохтмони чунин намуд биноҳо идома меёбад ва бартарии онҳо дар деҳот ва шароити кӯҳсори Ҷумҳурии Тоҷикистон бараъло маълум аст. Натиҷаи таҳқиқоти таҷрибавӣ бо мақсади муайян намудани характеристикаҳои физикаю механикии маводҳои хокӣ барои хишти хом андозаи 250x120x65 мм. оварда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: *заминҷунбӣ, бехатарии сейсмикӣ, харобшавии хонаҳо, хонаҳои хокӣ, маводҳои хокӣ, хок, характеристикаҳои физикаю механики, мустаҳкамии ҳудудӣ, қатшави, фишуриш.*

RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CLAY MATERIALS IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

I.Q. Qalandarbekov, I.I. Qalandarbekov, A.Sh. Sharifzoda

The article analyses the consequences of earthquakes in the Republic of Tajikistan, which have resulted in massive destruction and damage to adobe houses. It is demonstrated that the use of local building materials in construction will remain a significant issue, as the construction of such houses persists and they are prevalent in rural and mountainous areas of the Republic of Tajikistan. This paper presents the findings of experimental studies on determining the physical and mechanical characteristics of clay materials for bricks of standard size 250×120×65 mm.

Keywords: *earthquakes, earthquake safety, house damage, earthen buildings, earthen material, soil, physical and mechanical characteristics, ultimate strength, bending, compression.*

Введение

Географическое расположение Республики Таджикистан среди других государств Центральной Азии характеризуется высокой сейсмической активностью, что создаёт потенциальные условия для возникновения землетрясений с магнитудой до 9 баллов по шкале МСК-64. Согласно данным карты общего сейсмического районирования Таджикистана зона с потенциалом 9-балльных землетрясений охватывает 56,5% территории, 8-балльная зона — 27,3%, а 7-балльная зона — 16,2% [2].

Безопасность населения в сельской местности преимущественно зависит от качества местных строительных материалов и их сейсмостойкости [3,5]. Следует отметить, что в древности в различных регионах Таджикистана использовались каркасные системы при строительстве низких зданий. Наши предки интуитивно учитывали сейсмическую активность при возведении домов, применяя разнообразные конструкции каркасов и глину в качестве заполнителя. К сожалению, этот традиционный опыт практически не используется в настоящее время.

Характер повреждений домов с глиняными стенами свидетельствует о том, что одной из причин является использование недостаточно прочных материалов при изготовлении сырцового кирпича, а также отсутствие принятых мер по сейсмической защите. Важно отметить, что часто строительство домов ведется неопытными строителями с низким уровнем квалификации, что делает такие постройки недостаточно устойчивыми к землетрясениям.

Известно, что снижение ущерба от последствий землетрясений непосредственно зависит от точности оценки сейсмостойкости зданий. Следовательно, усовершенствование методов обеспечения сейсмической безопасности зданий в регионах с высокой сейсмической активностью является важной задачей, решение которой имеет как научное, так и практическое значение [7].

Анализ последствий землетрясений на территории Республики Таджикистан показывает обширные разрушения и повреждения малоэтажных зданий, построенных из местных строительных материалов [1-3]. Результаты исследований пострадавших районов после сильных землетрясений свидетельствуют о том, что большинство значительных повреждений и разрушений пришлось на жилые дома, возведенные с использованием глиноматериалов [4]. Поэтому оценка сейсмической безопасности малоэтажных зданий из глиноматериалов в таких регионах остается актуальной проблемой.

Метод исследования

Для проведения данного исследования применяется экспериментальный метод. Без анализа фактического характера разрушений, отсутствия информации о свойствах материалов, используемых в конструкции, а также без данных о расчетных схемах общая оценка поведения зданий при сейсмическом воздействии невозможна [4-6].

Результаты исследования и обсуждения

Согласно классификации по прочностным характеристикам грунта первая группа включает образцы из следующих кишлаков: Сумечаки Кухна, Сари Санг, Масджиди Сурх и Раззод. Для образцов из кишлаков первой группы расчётное сопротивление сжатию глинистых материалов колеблется от 1,02 до 1,52 МПа для числителя (территория кишлака) и от 0,55 до 1,61 МПа для знаменателя (данные из карьера). Во вторую группу входят образцы из кишлаков Джавгал, Унджи Поён и Кургонча, для которых расчётное сопротивление сжатию составляет от 0,75 до 0,90 МПа для числителя и от 0,75 до 1,05 МПа для знаменателя. Третья группа включает образцы из кишлаков Джаббор Расулов, Якуми Май, Масджиди Савр, Тути Калон, Сари Баланди, Содирхони Хофиз, Сартугаи, Октеппа, Дехаи Поён и Кори Р. Курбонов, у которых расчётное сопротивление сжатию глинистых материалов варьируется от 0,55 до 0,65 МПа для числителя и от 0,55 до 1,10 МПа для знаменателя. Образцы из кишлака Учбог составляют четвёртую группу, где расчётное сопротивление сжатию равно 0,30 МПа для кишлака и 0,45 МПа для карьера.

Приведём из первой группы - кишлак **Сумечаки Кухна**. Сейсмичность населённого пункта - кишлак Сумечаки Кухна - 8 баллов по шкале MSK - 64. В таблице 1 приведены образцы грунта и глиноматериалов для данного кишлака.

Давайте рассмотрим первую группу, которая включает в себя кишлак Сумечаки Кухна. Значение сейсмичности этого населенного пункта составляет 8 баллов по шкале МСК-64. В таблице 1 представлены образцы грунта и глинистых материалов для данного кишлака.

Таблица 1 – Прочностные показатели глиноматериалов из первой группы- кишлак Сумечаки Кухна

№ образ-ца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивление на сжатие (кг/см^2)
1	1.96/1.92	7.18/11.78	16.31/18.10	1.87/1.89	8.82/15.5	15.17/16.14
2	1.82/1.77	5.30/13.90	13.54/15.78			
3	1.84/1.99	13.97/19.76	15.67/14.54			

Из таблицы 1 очевидно, что грунт как с территории кишлака Сумечаки Кухна, так и из карьера обладает почти идентичными высокими прочностными характеристиками, что делает его предпочтительным для использования. В таблице 2 представлены результаты испытаний образцов для первой группы из кишлака Сари Санг, где сейсмичность также составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

Таблица 2 – Прочностные показатели глиноматериалов из первой группы- кишлак Сари Санг

№ образ-ца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивление на сжатие (кг/см^2)
1	1.82/1.73	8.41/2.24	13.19/5.01	1.79/1.78	8.13/2.41	11.24/5.4
2	1.74/1.76	7.57/2.38	10.72/5.66			
3	1.82/1.86	8.41/2.60	9.81/5.53			

В соответствии с результатом испытаний образцов для данного населённого пункта грунт с территории кишлака Сари Санг имеет более высокие прочностные характеристики при сжатии нежели с карьеры и предпочтительнее для применения. В таблице 3 представлены результаты испытаний образцов для 1-ой группы - кишлак Масджиди Сурх. Сейсмичность населённого пункта – Масджиди Сурх - 8 баллов по шкале MSK-64.

Согласно результатам испытаний, образцов из данного населённого пункта грунт с территории кишлака Сари Санг обладает более высокими прочностными характеристиками при сжатии по сравнению с грунтом из карьера и представляет собой более предпочтительный вариант для использования. В таблице 3 приведены результаты испытаний образцов для первой группы из кишлака Масджиди Сурх, где сейсмичность также составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

Таблица 3 – Прочностные показатели глиноматериалов из первой группы-кишлак Масджиди Сурх

№ образ-ца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивлени е на сжатие (кг/см^2)
1	1.85/2.02	5.18/8.88	13.36/14.08	1.86/1.94	5.82/8.85	12.67/13.42
2	1.85/1.90	4.66/8.14	12.00/15.89			
3	1.87/1.90	7.63/9.53	12.66/10.28			

Как показывает таблица 3, в кишлаке Масджиди Сурх как грунт с территории населенного пункта, так и из карьера обладают почти идентичными высокими прочностными свойствами при сжатии и являются предпочтительными для использования. В таблице 4 представлены результаты испытаний образцов для первой группы из кишлака Раззод, где сейсмичность также составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

Согласно экспериментальным данным, представленным в таблице 4, в кишлаке Раззод как грунт с территории населенного пункта, так и из карьера обладают одинаковыми высокими прочностными свойствами при сжатии и являются предпочтительными для применения.

Таблица 4 – Прочностные показатели глиноматериалов из первой группы - кишлак Раззод

№ образ-ца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивлени е на сжатие (кг/см^2)
1	2	3	4	5	6	7
1	1.79/1.88	7.40/6.71	10.27/11.49	1.84/1.86	6.81/6.31	10.31/10.61
2	1.80/1.87	6.08/6.66	9.45/11.05			
3	1.94/1.84	6.94/5.56	11.21/9.30			

В таблице 5 приведены результаты испытаний образцов для второй группы из кишлака Джавгал, где сейсмичность также составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

Таблица 5 – Прочностные показатели глиноматериалов из второй группы – кишлак Джавгал

№ образ-ца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивление на сжатие (кг/см^2)
1	1.83/1.84	6.94/5.31	8.31/7.73	1.81/1.81	7/7.5	8.5/7.5
2	1.80/1.90	9.76/7.95	9.54/6.74			
3	1.80/1.71	6.50/7.69	8.68/8.83			

Согласно данным, представленным в таблице 5, в кишлаке Джавгал как грунт с территории населенного пункта, так и из карьера, почти одинаковы по средним прочностным свойствам при сжатии и являются предпочтительными для применения. В таблице 6 приведены результаты испытаний образцов для второй группы из кишлака Унджи Поён, где сейсмичность также составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

В результате испытаний выяснилось, что в данном населённом пункте как грунт с территории кишлака Унджи Поён, так и из карьера почти не различаются по прочностным свойствам при сжатии и представляются более предпочтительными для применения. В таблице 7 приведены результаты испытаний образцов для второй группы из кишлака Кургонча, где сейсмичность также составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

Таблица 6 – Прочностные показатели глиноматериалов из второй группы – кишлак Унджи Поён

№ образ-ца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивлени е на сжатие (кг/см^2)
1	1.79/1.76	5.30/5.84	9.72/10.46	1.79/1.76	5.3/5.73	9.17/10.60
2	1.79/1.77	5.30/3.97	8.84/11.05			
3	1.79/1.75	5.30/7.38	8.94/10.25			

Таблица 7 – Прочностные показатели глиноматериалов из второй группы- кишлак Кургонча

№ образца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивле-ние на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивлени е на сжатие (кг/см^2)
1	1.69/1.67	4.13/4.96	5.82/7.77	1.71/1.70	4.24/4.93	7.5/7.42
2	1.72/1.69	3.70/5.69	7.55/6.00			
3	1.72/1.74	4.88/4.13	9.13/8.49			

Из данных, приведённых в таблице 7, становится ясно, что в кишлаке Кургонча как грунт с территории населённого пункта, так и из карьера почти идентичны по средним прочностным свойствам при сжатии и являются предпочтительными для применения. В таблице 8 представлены результаты испытаний образцов для третьей группы из кишлака Джаббор Расулов, где сейсмичность также составляет 8 баллов по шкале MSK-64.

Таблица 8 – Прочностные показатели глиноматериалов из третьей группы – кишлак Джаббор Расулов

№ образца	Объемный вес образца (г/см^3)	Сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Сопротивление на сжатие (кг/см^2)	Объемный вес грунтома-териала (г/см^3)	Расчетное сопротивление на изгиб (кг/см^2)	Расчетное сопротивлени е на сжатие (кг/см^2)
1	1.77/1.73	1.48/2.24	5.21/5.01	1.78/1.79	1.4/2.4	5.7/5.4
2	1.86/1.77	1.44/2.38	6.44/5.66			
3	1.72/1.86	1.53/2.60	5.46/5.53			

Как следует из таблицы 8, в данном населённом пункте как грунт с территории, так и из карьера кишлака Джаббор Расулов обладают средними прочностными свойствами и представляются предпочтительными для применения. Аналогичные показатели наблюдаются и для кишлаков Якуми Май, Масджиди Савр, Сари Баланди, Содирхони Хофиз и Дехаи Поён.

Выводы

1. Полученные физико-механические характеристики показывают, что предел прочности при сжатии образцов из глиноматериала примерно на порядок меньше, чем в образцах из жжёного кирпича.

2. Полученные экспериментальным путём прочностные характеристики глиноматериалов предусмотрены для кладки стен из кирпича-сырца стандартного размера.

3. Результаты экспериментальных исследований показывают, что предел прочности при сжатии получается приблизительно в 2 раза больше предела прочности при изгибе.

Рецензент: Сангинов А.М. — к.т.н., ведущий научный сотрудник Лаборатории сейсмостойкого строительства зданий и сооружений Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ

Литература

1. Джабаров М. Снижение сейсмической уязвимости зданий, возведённых из местных строительных материалов / М. Джабаров, П.А. Ясунов, Ш.А. Джалолов //Труды научно-практической конференции агентства «ТОЧИККОИНОТ» «Уменьшение рисков стихийных бедствий и управление этими рисками» Таджикистана», Душанбе, 2006. – С. 150 –158.

2. Джабаров М. Последствия Раштского и Кумсангирского землетрясения и повышение сейсмостойкости зданий возводимых из местных строительных материалов / М.Джабаров, Ф.Х. Хакимов Д.С. Вахидов, Ш.А.Джалолов //Труды Республиканской научной конференции «100 лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, Азия-Принт, 2007. – С.123 –129.

3. Джабаров М. Восстановление несущей способности и повреждённой кирпичной кладки / М. Джабаров, С В. Кожаринов, Е.А. Аверьянова, А.А. Лунев // В сб.: Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений. Душанбе: Дониш, 1976. - С. 103-114.

4. Каландарбеков И.К. Исследование конструктивных свойств кладок зданий из грунтоматериалов / И.К. Каландарбеков, А.М. Сангинов // Научный журнал. Душанбе «Политехнический Вестник». Серия «Инженерные исследования». №1(45) – 2019. – С. 271–274.

5. Каландарбеков И.К. Оценка уязвимости зданий на основе метода спектральных смешений /И.К. Каландарбеков, А.М. Сангинов, Ч.Ё. Музофиров // Научный журнал. Душанбе «Политехнический Вестник» Серия «Инженерные исследования». №2 (46) – 2019. - С. 143 – 149.

6. Каландарбеков И.К. Исследование физико-механических свойств материалов старинных кирпичных кладок на территории Республики Таджикистан /И.К. Каландарбеков, А.М. Сангинов, А.К. Рафиев // Научный журнал. Душанбе «Политехнический Вестник» Серия «Инженерные исследования». №4(44) – 2018. -С.180-182.

7. Каландарбеков И.К. Проблема сейсмической безопасности глинобитных домов на территории Республики Таджикистан / И.К.Каландарбеков, И.И. Каландарбеков, А.Ш. Шарифзода // Научный журнал. Душанбе «Политехнический Вестник» Серия «Инженерные исследования», №2 (62) – 2023. - С. 214 – 219.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Қаландарбеков Имомёрбек Каландарбекович	Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович	Qalandarbekov Imomyorbek Qalandarbekovich
Д.и.т., профессор	Д.т.н., профессор	D.t.s., Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академ ик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
e. mail: kalandarbekov-55@mail.ru		
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Qalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich
Номзади илмҳои техникӣ	Кандидат технических наук	Candidate of technical sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академ ик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
e. mail: iftikhor791@mail.ru		
TJ	RU	EN
Шарифзода А.Ш.	Шарифзода А.Ш.	Sharifzoda A.Sh.
Унвонҷӯ	Соискатель	applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академ ик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академ ика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
e. mail: sh_azamjon@mail.ru		

УДК 691.962

МАГНЕЗИАЛЬНО-КАРНАЛЛИТОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ

О.Б. Косимов[1], А.А. Акрамов[2], К.О. Косимов[2]

[1]Джизакский политехнический институт

[2]Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведено применение добавок из шлама карналлитовых хлораторов и каустического магнезита в состав магнезиальных вяжущих и материалов на их основе. Введенная добавка дает возможность получить смесь, обладающую высокой прочностью, водостойкостью, морозостойкостью, пластичностью и термостойкостью.

Ключевые слова: *карналлитовый шлам, каустический магнезит, смесь, прочность, цеолит, трепел, доломит.*

ПАЙВАНДКУНАНДАҲОИ МАГНЕЗИАЛӢ-КАРНОЛЛИТӢ

О.Б. Қосимов, А.А. Акрамов, Қ.О. Қосимов

Дар мақола истифодаи иловаҳо аз шлами хлораторҳои карналлитӣ ва магнезити каустикӣ дар таркиби пайвастагиҳои магний ва маводи дар асоси онҳо асосёфта тасвир шудааст. Иловаи воридшуда имкон медиҳад, ки омехтаи дорои мустаҳкамии баланд, обнагузаронӣ тобовар, ба хунукӣ тобовар, пластикӣ ва ба гармӣ тобовар ба даст оварда шавад.

Калидвожаҳо: *шлами карналлит, магнезити каустикӣ, омехта, қувват, цеолит, триполи, доломит*

MAGNESIAN-CARNALLITE BINDER

O.B. Kosimov, A.A. Akramov, K.O. Kosimov

The article describes the use of additives from carnallite chlorinator sludge and caustic magnesite in the composition of magnesium binders and materials based on them. The introduced additive makes it possible to obtain a mixture with high strength, water resistance, frost resistance, plasticity and heat resistance.

Keywords: *carnallite slurry, caustic magnesite, mixture, strength, zeolite, tripoli, dolomite.*

Введение

Разновидность минерального ресурса природы Республики Таджикистан подсказывает о наличии огромного ассортимента строительного материала. В настоящее время стало популярным применение строительных материалов на основе цементных и гипсовых вяжущих. Магнезиальные изделия, основой которых являются эти вяжущие, отличаются и характеризуются своими высокими адгезионными свойствами, позволяющими свободно укладывать на любую поверхность растворы и бетоны, и работать с органическими и неорганическими наполнителями.

Сдерживающими широкое применение хлор-магнезиальных вяжущих в промышленности строительных материалов факторами являются их высокая гигроскопичность и применение специальных растворов для затворения. Распространенным способом регулирования свойств магнезиальных вяжущих и материалов на их основе является использование добавок, позволяющих целенаправленно формировать структуру магнезиального камня с низкими гигроскопичностью и усадкой при обеспечении высоких показателей по прочности, водостойкости и морозостойкости. Одним из перспективных на сегодняшний день компонентом, позволяющим использовать его в качестве основы для вяжущих, является невостребованный отход производства галита - шлам карналлитовых хлораторов [1]. Карналлитовый шлам обладает невысокой по сравнению с магнезиальным вяжущим прочностью на сжатие (табл. 2), но благодаря своему составу может позволить частично заменить дорогостоящий магнезит (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав шлама карналлитовых хлораторов, масс. %

$MgCl_2$	MgO	CaO	RCl	NaCl	Нерастворимый осадок		
26-32	30-62	1,5-2,0	12,5-18,0	2,5-3,0	2,7		
					FeO	Fl_2O_3	SiO_2
					13	до 30	до 57

Талица 2 – Сравнительный анализ цементов

Состав	Прочность на сжатие, Мпа			
	Без песка		С песком	
	7 сут	28 сут	7 сут	28 сут
Карналлитовый шлам	5	11	2	5
Магнезиально-карналлитовое вяжущее (75 % шлам)	17	30	4	9
Магнезиальные вяжущие	42	67	9	12

Использование смешанного магнезиально-карналлитового вяжущего предполагает получить смесь, обладающую основными положительными эксплуатационными свойствами исходных компонентов: высокой прочностью, пластичностью и термостойкостью (рис.1).

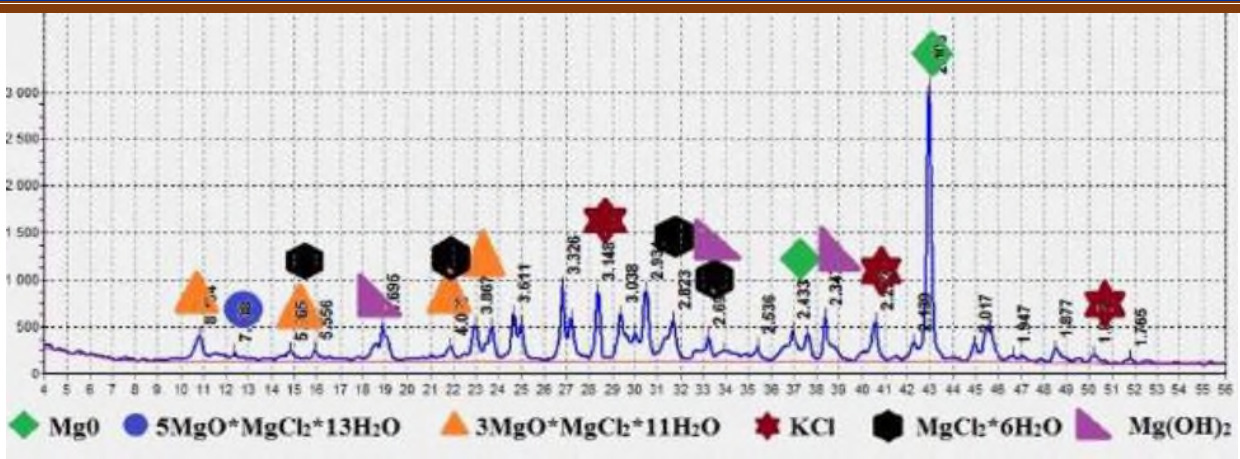


Рисунок 1 – Минерально-карналлитовое вяжущее

Материалы и методы исследования

Сырьевыми материалами, использованными при выполнении работы, являлись шлам карналлитовых хлораторов и каустический магнезит. Для исследования эффекта в качестве контрольных вяжущих (КВ) применялись 2 состава:

- Шлам карналлитовых хлораторов (ШКХ) 80 % и 20% каустического магнезита из «старой» партии;
- Шлам карналлитовых хлораторов (ШКХ) 75 % и 25% каустического магнезита из «новой» партии.

В качестве активного микронаполнителя и отощителя, а также как средство понижающее температуру, протекающих при затворении реакций, использовались добавки:

шлак, мел, необожжѐнный и обожжѐнный серпентин, колчеданные огарки, доломит, трепел, магнезия, цеолит, железный купорос, ортофосфорная кислота, 2-й суперфосфат, комплексная добавка: (мел +2-й суперфосфат +колчеданные огарки +необожжѐный серпентин).

Выбор добавки был обусловлен экономическим фактором, а количественное соотношение компонентов подобрано с учѐтом патентных данных и анализа литературы [2-4]. Вещественный состав смешанного вяжущего на „старом“ каустическом магнезите приведѐн в табл. 3, на „новом“ - в табл. 4.

Таблица 3 – Состав смесей на „старом“ каустическом магнезите

№ состава	Состав смеси	Сокращѐнное обозначение
1	80% карналлитовый шлам + 20% старый магнезит	1КВ
2	85% 1КВ + 15% Мел	Мел1
3	95% 1КВ+ 5% $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
4	1КВ + 3-4 капли H_3PO_4	H_3PO_4
5	99% 1КВ+ 1% обожжѐнный серпентин (ОС)	1% ОС
6	95% 1КВ + 5% обожжѐнный серпентин	5% ОС
7	99% 1КВ + 1% необожжѐнный серпентин (НС)	1% НС
8	95%1КВ + 5% необожжѐнный серпентин	5% НС

Таблица 4 – Состав смесей на „новом“ каустическом магнезите

№ состава	Состав смеси	Сокращѐнное обозначение
9	75% карналлитовый шлам + 25% новый магнезит, соотношение с песком 1:2	2КВ 1:2
10	75% карналлитовый шлам + 25% новый магнезит, соотношение с песком 1:3	2КВ
11	Шлам карналлитовых хлораторов	ШКХ
12	95% 2КВ + 2% огарок + 2% 2-ого суперфосфата + 1% НС	Огарки
13	87% 2КВ + 10% мела + 2% 2-ого суперфосфата + 1% НС	Мел2
14	87% 2КВ + 10% шлака + 2% 2-ого суперфосфата + 1% НС	Шлак
15	85% 2КВ + 10% мела + 2% 2-ого суперфосфата + 2% огарок + 1% НС	Комплекс

Обсуждение

При затворении магнезиально-карналлитовых смесей с песком при В/Т=0,25 в возрасте 28 суток хорошо себя проявили добавки: серпентин, железный купорос, мел и шлак. Введение ортофосфорной кислоты, огарок и комплексной добавки привело к заметному снижению прочности (рис.2).

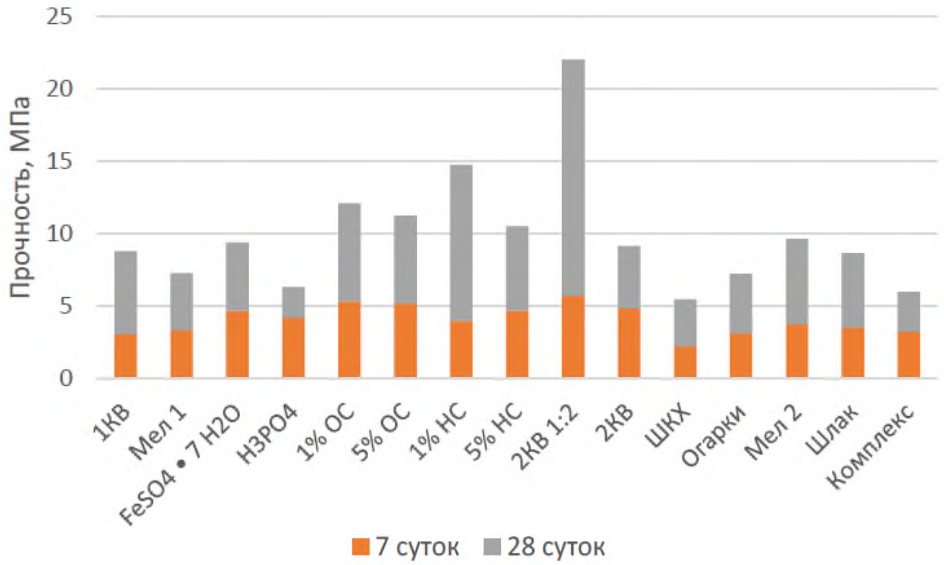


Рисунок 2 – Сравнение прочностей цементов на магнезиально-карналлитовом вяжущем с песком, 28 суток

Положительную роль на раннюю прочность в возрасте 7 суток при твердении опытных составов без песка, затворѐнных обычной водой при В/Т=0,3, оказали добавки, имеющие в своѐм составе остатки фосфорной кислоты, которая обеспечивает появление на поверхности гидратирующего магнезита малорастворимых пленок, а также цеолит и карбонатные породы (рис.3) [5].

Рисунок 3 – Прочность магнезиально-карналлитового вяжущего на ранних сроках твердения образцов без песка

Согласно РФА магнезиально-карналлитовый камень в основном представлен периклазом, 3- и 5-оксигидрохлоридами магния, бишофитом, хлоридом калия и бруситом (рис. 4 и 5).

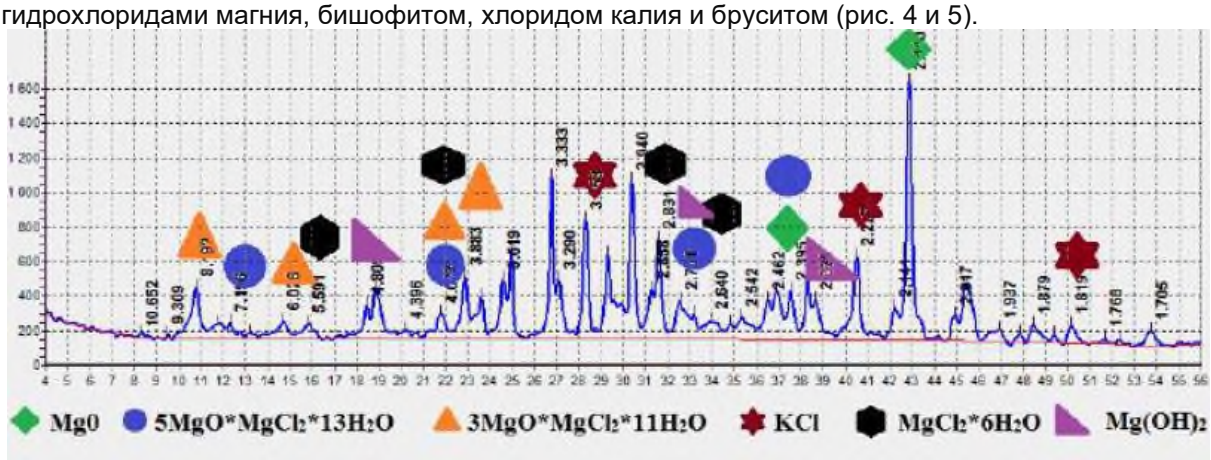


Рисунок 4 – Магнезиально-карналлитовое вяжущее + 1% необожженного серпентина (1КВ+1%НС)

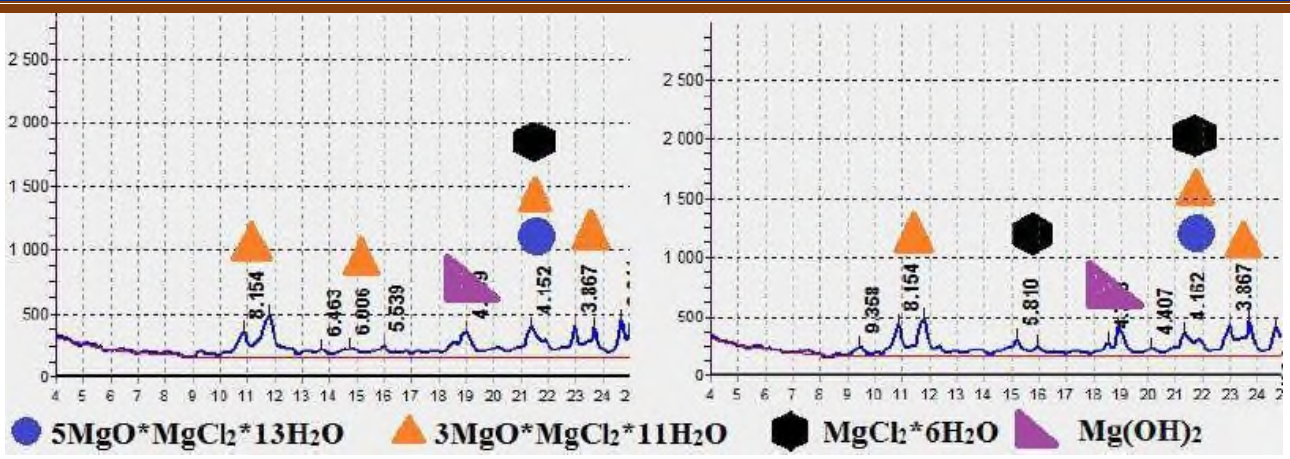


Рисунок 5 – 1КВ+10% доломита *1КВ+10% магнезии*

Выводы

По полученным данным, экономия каустического магнезита при использовании магнезиально-карналлитового вяжущего вместо магнезиального составляет порядка 80%. Наиболее эффективными добавками по результатам исследования смесей с заполнителем стали необожжѐнный и обожжѐнный серпентин, железный купорос, мел и шлак.

При изучении ранних сроков твердения в смесях без заполнителя прочностные характеристики повысили цеолит, трепел и доломит, вводимые в состав вяжущего в количестве 10%.

Данные РФА показывают, что введение исследуемых добавок не привело к образованию новых кристаллогидратов, и различие продуктов гидратации смесей заключается лишь в количественном соотношении 3- и 5-оксигидрохлоридов магния, что в свою очередь влияет на прочностные показатели. Механизм образования новых кристаллогидратов в твердеющем магнезиально-карналлитовом камне пока не выявлен.

Рецензент: Умарзода У.Х. — к.т.н., доцент, первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и строительству при правительстве РТ

Литература

1. Белов В.Н. Добыча и переработка калийных солей. / Белов В.Н., Соколов А.В. // Изд-во «Химия», Л., 1971. 320 с.

2. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих веществ: учеб. пособие для вузов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев; под ред. В.В. Тимашева. М. // Высшая школа, 1980. - 472 с.

3. Ведь, И.А. Способ получения водостойкого магнезиального цемента / И.А. Ведь, Н.И. Пивень, Т.А. Сидорова, В.А. Юрин // (Харьков, политехн, ин-т им. В.И. Ленина) Авт. св. СССР, кл. С 04 В9/04 № 577185, заявл. 2.02.76, №2319509, опубл. 18.11.77.

4. Акрамов А.А. Влияние добавок на магнезиально-карналлитовую смесь. / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(64), Душанбе, 2023. – С. 116-120

5. K. Pauel. Водостойкая масса на основе магнезиального оксихлоридного цемента / K. Pauel. // Wasserfeste Magnesiumoxychloridzementmasse. Заявка ФРГ, кл. С04В9/14, №2644686, заявл 2.10.76, опубл.6.04.78.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Қосимов Одилҷон Баракаевич	Косимов Одилжон Баракаевич	Kosimov Odiljon Barakaevich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, assistant professor
Донишкадаи политехникии Ҷиззах	Джизакский политехнический институт	Jizzakh Polytechnic Institute
odil.kasimov@list.ru		
TJ	RU	EN
Акрамов Авазҷон Абдуллоевич	Акрамов Авазжон Абдуллоевич	Akramov Avazjon Abdulloevich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, assistant professor
Донишгоҳи техниикии Тоҷикистон баноми академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Қосимов Қобилҷон Одил ўғлӣ	Косимов Кобилжон Одил углы	Kosimov Kobilzhon Odil son
унвонҷуй	соискатель	Applicant
Донишкадаи политехникии Ҷиззах	Джизакский политехнический институт	Jizzakh Polytechnic Institute

УДК 624.131

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТУРОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ

С.С. Зарифов, Р.Р. Саидов, И.С. Муминов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье исследуется напряжённо-деформированное состояние контуров подземных сооружений с крепью от различных воздействий на основе метода граничных уравнений. Разработан алгоритм и предлагается математическая модель решения задач взаимодействия подкрепленного подземного сооружения с упругим пространством в условиях плоской деформации.

Ключевые слова: *математическое моделирование, граничные интегральные уравнения, пространство, плоскость, плоская деформация, креп-массив.*

ОМӮЗИШИ ҲОЛАТИ ШИДДАТНОКӢ-ДЕФОРМАТСИОНИИ САТҲҲОИ ИНШООТҲОИ ЗЕРИЗАМИНӢ БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ КАНОРӢ

С.С. Зарифов, Р.Р. Саидов, И.С. Муминов

Дар мақола таҳқиқи ҳолати шиддатнокию деформатсияшавии сатҳҳои иншооти зеризаминӣ бо креп аз таъсиротҳои гуногун дар асоси методи муодилаҳои канорӣ баррасӣ карда мешавад. Алгоритм ва модели математикии ҳалли масъалаҳои таъсири байниҳамдигарии иншооти зеризаминии маҳкамкардашуда бо нимфазои чандир дар шароитҳои деформатсияи ҳамвор аз таъсиротҳои гуногун коркард шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: *моделсозии математикӣ, муодилаҳои интегралии канорӣ, фазо, ҳамворӣ, деформатсияи ҳамвор, креп-массив.*

STUDY OF STRESS-STRAIN STATE OF UNDERGROUND STRUCTURES CONTOURS USING THE METHOD OF BOUNDARY EQUATIONS

S.S. Zarifov, R.R. Saidov, I.S. Muminov

The article examines the stress-strain state of the contours of underground structures with support from various influences based on the method of boundary integral equations. An algorithm has been developed and a mathematical model is proposed for solving problems of interaction of a reinforced underground structure with elastic space under plane deformation conditions.

Keywords: *mathematical modeling, boundary integral equations, space, plane, plane strain, solid mass*

Введение

Практический интерес представляют задачи, связанные с исследованием напряженно–деформированного состояния контуров подземных сооружений без крепи и с крепью произвольного очертания, расположенных на достаточно большой глубине. Несущая способность таких сооружений обычно представляется напряженным состоянием и условиями прочности в местах концентрации напряжений. Для оценки их прочности и жесткости нужно определить напряжения и деформации в зонах концентрации напряжений.

В статье исследуется контактная задача, взаимодействие крепи тоннеля с грунтом на основе метода граничных уравнений [1], [2], [3]

$$\tau_{xy}^{\infty} = \tau_{xy}^{o}, \quad \sigma_x^{\infty} = \sigma_x^{o}, \quad \sigma_y^{\infty} = \sigma_y^{o}. \tag{1}$$

Напряжения на контактной линии до создания выработки записываются в виде

$$P_x^0 = \sigma_x^0 \cos\alpha_1 + \tau_{xy}^0 \sin\alpha_1; \qquad P_y^0 = \sigma_y^o \sin\alpha_1 + \tau_{xy}^0 \cos\alpha_1. \tag{2}$$

Если не учитывать внешние нагрузки на контуре неподкрепленной выработки, то на основе (2) можно записать

$$\bar{P}_x = -P_x^0, \qquad \bar{P}_y = -P_y^0. \tag{3}$$

Компоненты поверхностных напряжений на линии контакта крепи и грунта записываются в виде

$$P_x = P_x^0 + \bar{P}_x, \qquad P_y = P_y^0 + \bar{P}_y, \tag{4}$$

где $\bar{P}_x$, $\bar{P}_y$ – искомые напряжения, соответствующие дополнительному состоянию; P_x^0, P_y^0 – заданные напряжения; α_1 – угол между осью X и нормалью n.

Моделирование

Порядок построения математической модели рассмотрим на примере крепи произвольного очертания (рисунок 1). Предполагается, что крепь с внутренней областью Ω_0 и контуром $S_0 = S_{00} + S_{01}$ контактируется по внешнему контуру в теле деформируемого массива.

Введены обозначения: M3 – число элементов внутреннем и внешнем контуре крепи S_0, с учетом два фиктивных элемента: $M3=M2+N_{01}$, $M2=M1+1$, $M1=N_{00}+1$; $M4=M3+1$; $M6$ – число элементов на трех контуров, включая четыре фиктивных элемента: $M6=M5+N_{11}$, M5=M4+1; N_{00} – число элементов на внутренней поверхности S_{00}; N_{01} – число элементов на внешней поверхности S_{01}; $N_{11}=N_{01}$ – число элементов на поверхности выработки S_{11}. В пределах точек $M1 \div M6$ производится дискретизация контуров граничными элементами.

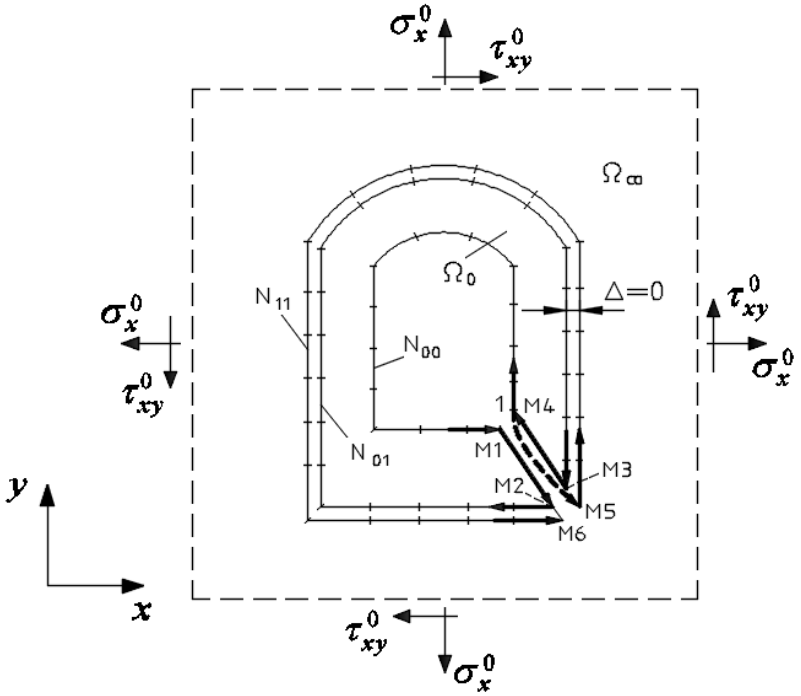


Рисунок 1 – Разбивка контуров исследуемого объекта на граничные элементы и схема их обхода

Граничные интегральные уравнения после дискретизации контуров сооружения представляются в виде (рисунок 1):

а) для контуров крепи

$$\sum_{j=1}^{M3} a_{ij}^{*}\bar{u}_{xj} + \sum_{j=1}^{M3} b_{ij}\bar{u}_{yj} - \sum_{j=M1}^{M3} e_{ij}\bar{P}_{xj} - \sum_{j=M1}^{M3} f_{ij}\bar{P}_{yj} = -\sum_{j=1}^{M3} e_{ij}P_{xj}^{0} - \sum_{j=1}^{M3} f_{ij}P_{yj}^{0},$$

$$\sum_{j=1}^{M3} c_{ij}\bar{u}_{xj} + \sum_{j=1}^{M3} d_{ij}^{*}\bar{u}_{yj} - \sum_{j=M1}^{M3} g_{ij}\bar{P}_{xj} - \sum_{j=M1}^{M3} h_{ij}\bar{P}_{yj} = -\sum_{j=1}^{M3} g_{ij}P_{xj}^{0} - \sum_{j=1}^{M3} h_{ij}P_{yj}^{0}, \quad (5)$$

$$(i = 1,\ 2,\ \ldots,\ M3),$$

б) для контура выработки

$$\sum_{j=M6}^{M4} a_{ij}^{*}\bar{u}_{xj} + \sum_{j=M6}^{M4} b_{ij}\bar{u}_{yj} + \sum_{j=M6}^{M4} e_{ij}\bar{P}_{xj} + \sum_{j=M6}^{M4} f_{ij}\bar{P}_{yj} = -\sum_{j=M6}^{M4} e_{ij}P_{xj}^{0} - \sum_{j=M6}^{M4} f_{ij}P_{yj}^{0},$$

$$\sum_{j=M6}^{M4} c_{ij}\bar{u}_{xj} + \sum_{j=M6}^{M4} d_{ij}^{*}\bar{u}_{yj} + \sum_{j=M6}^{M4} g_{ij}\bar{P}_{xj} + \sum_{j=M6}^{M4} h_{ij}\bar{P}_{yj} = -\sum_{j=M6}^{M4} g_{ij}P_{xj}^{0} - \sum_{j=M6}^{M4} h_{ij}P_{yj}^{0}, \quad (6)$$

$$a_{ij}^{*} = a_{ij} + 0.5\delta_{ij}, \quad d_{ij}^{*} = d_{ij} + 0.5\delta_{ij}, \quad (i = 1,\ 2,\ \ldots,\ M4),$$

где i – номер фиксированного элемента, j – номер элемента, в котором производится интегрирование; M – число узлов на контурах сооружения; u_{xj}, u_{yj} – компоненты искомых перемещений, α_{1j} – угол между осью *x* и внутренней нормалью n в j – ом элементе; δ_{ij} – символ Кронекера.

Уравнения (5) и (6) можно записать в матричной форме [1], [3]

$$\begin{bmatrix} A_{00} & B_{00} & A_{01} & B_{01} & -E_{01} & -G_{01} \\ C_{00} & D_{00} & C_{01} & D_{01} & -F_{01} & -H_{01} \\ 0 & 0 & \tilde{A}_{01} & \tilde{B}_{01} & \tilde{E}_{01} & \tilde{G}_{01} \\ 0 & 0 & \tilde{C}_{01} & \tilde{D}_{01} & \tilde{F}_{01} & \tilde{H}_{01} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_{00} \\ V_{00} \\ U_{01} \\ V_{01} \\ P_{x01} \\ P_{y01} \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} E_{00} & G_{00} & E_{01} & G_{01} \\ F_{00} & H_{00} & F_{01} & H_{01} \\ 0 & 0 & \tilde{E}_{01} & \tilde{G}_{01} \\ 0 & 0 & \tilde{F}_{01} & \tilde{H}_{01} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} P^0_{x00} \\ P^0_{y00} \\ P^0_{x01} \\ P^0_{y01} \end{Bmatrix}. \quad (7)$$

Векторы напряжений на контурах крепи в правой части уравнения (7) определяются по формулам (2). Коэффициенты левой части уравнения (7) имеют порядок

$$M=2N_{00}+2N_{01}+2N_{11}=2(N_{00}+N_{01}+N_{11})=2N_{00}+4N_{01}.$$

Из решения системы уравнений (7) получаем векторы перемещений и контактных напряжений, соответствующие дополнительному состоянию [4], [5]. Затем определим нормальные и тангенциальные перемещения и напряжения на контурах S_{00}, S_{01} и S_{11} соответствующие окончательному состоянию. По найденным значениям тангенциальных напряжений можно определить внутренние усилия в сечениях крепи.

Пример. В качестве примера рассматривается трансформаторное помещение Рогунской ГЭС (рисунок 2) при следующих геометрических данных:

$$a_2=20\text{м};\quad a_1=a_2-2\Delta_S=18\text{м};\quad \Delta_S=1\text{м};\quad \Delta_p=1\text{м};\quad h_2=32\text{м};\quad f_2=5\text{м};\quad f_1=4.341\text{м};$$

$$h_1=h_2-\Delta_{12}-\Delta_p=30.66\text{м};\quad \Delta_{12}=0.341\text{м};\quad R_1=11.5\text{м};\quad R_2=12.5\text{м}.$$

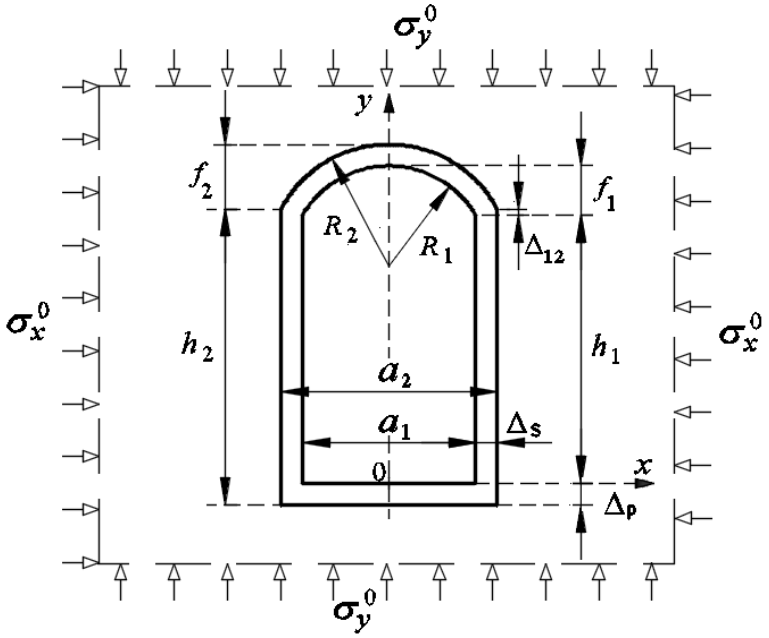


Рисунок 2 – Конструкция крепи подземного сооружения

Породный массив испытывает сжимающие напряжения [1]: $\sigma_x^o=-35\text{МПа},\ \sigma_y^o=-26\text{МПа}$. Модуль деформации и коэффициент Пуассона породного массива $E_1=0.6\cdot10^4\text{МПа}$, $\nu_1=0.3$, модуль упругости и коэффициент Пуассона крепи $E_0=2.5\cdot10^4\text{МПа};\ \nu_0=0.2$.

На основе вышеизложенного алгоритма получены результаты тестовой задачи. Результаты получены при разбивке каждого контура на 48 элементов (рисунок 3, *а, б, в*): арка разбивается на $15\times15\times15$, подошва на $9\times9\times9$, стены на $12\times12\times12$ элементов.

На рисунке 4 показаны эпюры тангенциальных и нормальных перемещений на контурах крепи от действия сжимающих напряжений (рисунок 2). Из представленных эпюр следует, что максимальные тангенциальные перемещения возникают в области опорной части арки и в узлах середины подошвы, а максимальные нормальные перемещения возникают в области середины стенки.

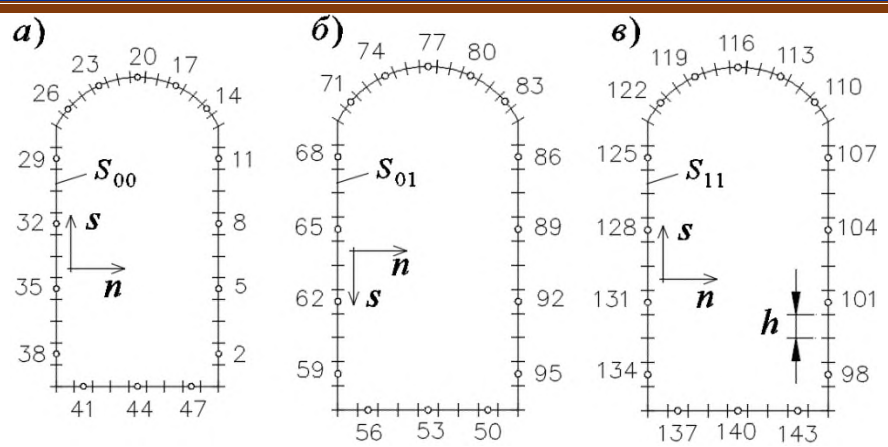


Рисунок 3 – Схема разбивки контуров подземного сооружения на граничные элементы (M=144): а – внутренний контур крепи, б – внешний контур крепи, в – контур выработки

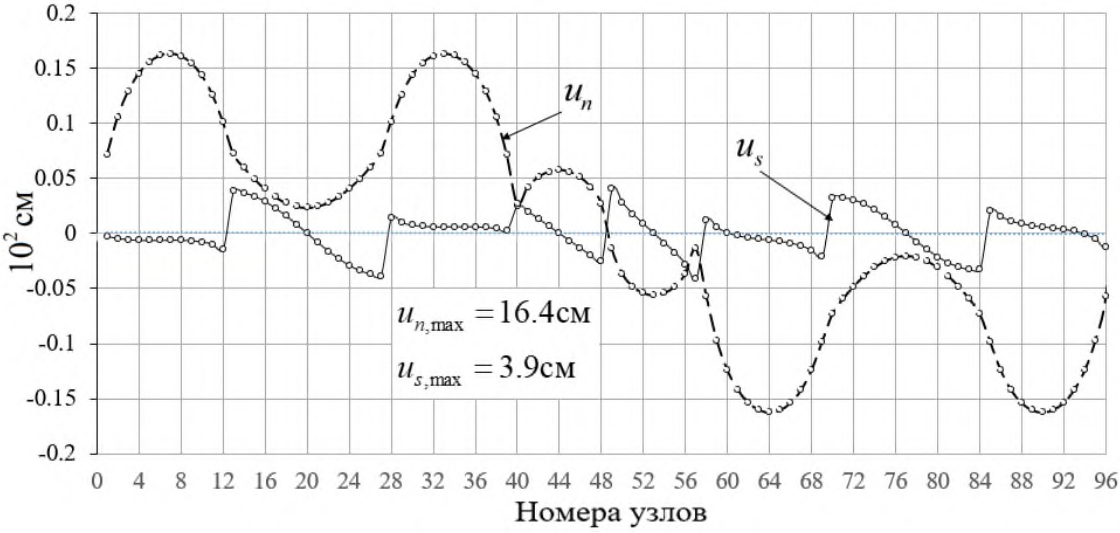


Рисунок 4 – Эпюры– нормальных (u_n) и тангенциальные (u_s) перемещений

Из эпюр σ_n, σ_s и τ_{ns} представленных на рисунке 5, следует, что максимальные сжимающие тангенциальные напряжения появляются в узлах 20-77, 44-53 (элементы свода и элементы середины подошвы крепи) и соответственно равняются 238.87; 212.59МПа и 115.10; 136.70МПа. Концентрация напряжений наблюдается в нижних углах крепи, где тангенциальные напряжения стремятся к бесконечности.

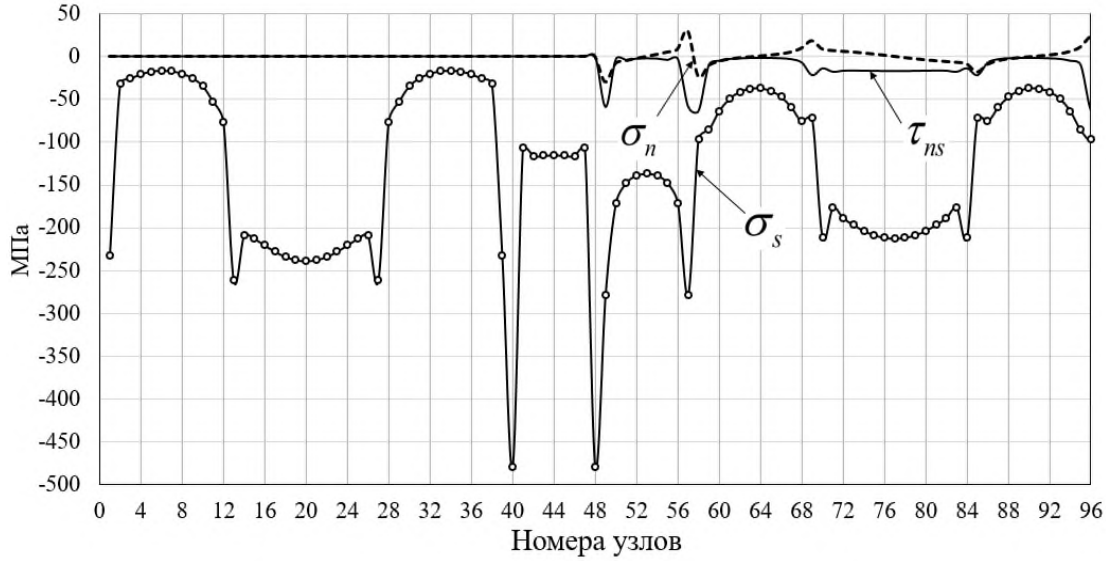


Рисунок 5 – Эпюры напряжений: σ_n – нормальные напряжения; σ_s – тангенциальные напряжения ; τ_{ns} – касательные напряжения

Внутренние силы в сечениях крепи

Внутренние силы – изгибающий момент M и продольная сила N, можно определить по формулам.

$$M = \frac{bt^2}{12}\left(\sigma_s^{вн.} - \sigma_s^{нар.}\right); \qquad N = \frac{bt}{2}\left(\sigma_s^{вн.} - \sigma_s^{нар.}\right), \tag{8}$$

где $в = 1м$ – длина рассматриваемого сечения крепи; $t = \Delta_S$ – толщина крепи

Результаты вычислений по формулам (8) приведены в таблице 1 и на рисунке 6,*б* для рассматриваемых сечений (рисунок 6,*а*)

Таблица 1 – Внутренние силы в рассматриваемых сечениях крепи

Сечение	Соответствующие узлы, внутренние и наружные	$\sigma_{s,j}^{вн.}$, МПа	$\sigma_{s,j}^{нар.}$, МПа	M_j, МН·м	N_j, МН
1	1 - 95	-232.87	-63.40	14.11	-148.14
2	5 - 92	-17.19	-40.87	1.97	-29.03
3	8 - 89	-19.54	-39.72	1.68	-29.63
4	12 - 87	-75.83	-59.13	1.93	-67.48
5	14 - 83	-209.22	-188.30	-1.74	-198.76
6	17 - 80	-227.92	-203.48	-2.04	-215.76
7	20 - 77	-238.87	-212.59	-2.19	-225.73
8	48 - 49	-479.34	-278.56	-16.72	-378.80
9	46 - 51	-116.17	-147.54	2.61	-131.86
10	44 - 53	-115.10	-136.70	1.80	-125.90

Из рисунка 6 следует, что опасными являются сечения крепи, находящиеся в нижних углах подошвы, так как в этих сечениях имеет место максимальный изгибающий момент M и максимальная продольная сила N. Минимальные значения внутренних сил наблюдаются в области середины стенки крепи.

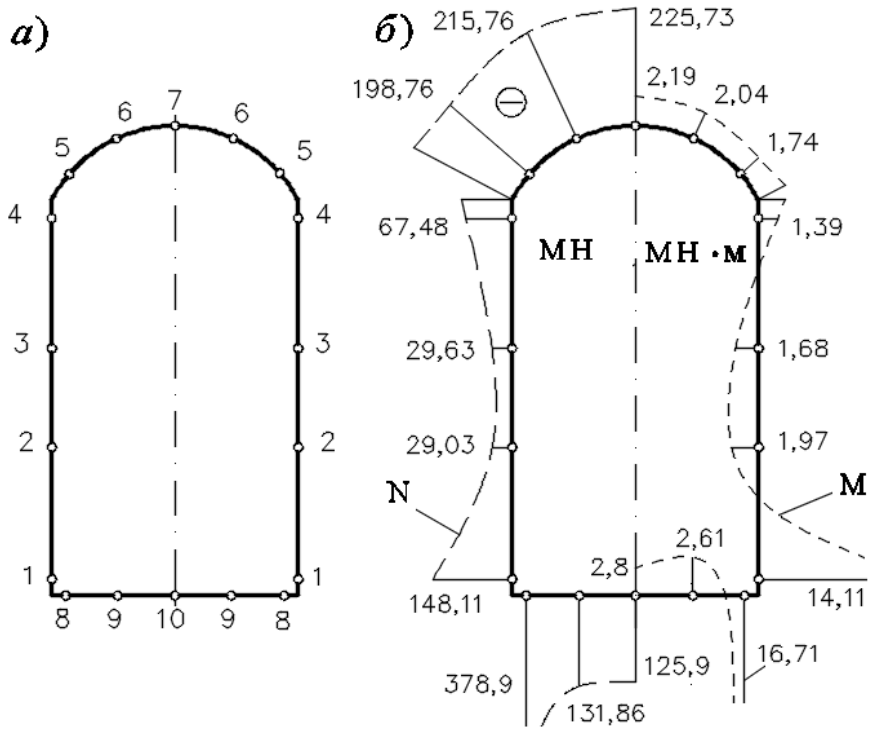


Рисунок 6 – Внутренние силы в сечениях крепи: а) рассматриваемые сечения, б) эпюра изгибающих моментов и нормальных сил

Вывод

На основе МГУ разработаны математическая модель, алгоритм расчета и компьютерная программа взаимодействия сооружения с упругим пространством в условиях плоской деформации.

Предлагаемая методика может быть использована для расчета подземных сооружений разных очертаний, взаимодействующих с грунтом при различных воздействиях.

Рецензент: Икромов И.И. — к.т.н., доцент, заведующий кафедрой строительной механики и гидротехнические сооружения ТАУ имени Ш. Шотемур

Литература

1. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2000, 282 с.
2. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Метод граничных уравнений в решении двумерных задач теории упругости. – Душанбе: Дониш, 2019, 435 с.
3. Зарифов С.С. Численное исследование концентрации напряжений на контурах подземных сооружений методом граничных уравнений: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Душанбе 20019, 23 с.
4. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Зарифов С.С. Концентрация напряжений на контуре незамкнутой крепи // Изв. АН РТ.-2012. -№2.- Вып. 147.- С. 58-63.
5. Низомов Д.Н., Зарифов С.С. Математическое моделирование подземных сооружений, расположенных в однородной упругой среде. – Доклады НАНТ, 2022, т.65, №1-2, с. 81-87.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Зарифов Сирочиддин Садриддинович	Зарифов Сироджиддин Садриддинович	Zarifov Sirojiddin Sadriddinovich
Номзади илмхои техникӣ	Кандидат технических наук, старший преподаватель	Candidate of technical, seniors the teacher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
zarifovsirojidin@gmail.com		
TJ	RU	EN
Саидов Римоххидин Рачабович	Саидов Римоххидин Раджабович	Saidov Rimohhidin Radzhabovich
Номзади илмхои техникӣ	Кандидат технических наук, старший преподаватель	Candidate of technical, seniors the teacher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
rimokhiddin@mail.ru		
TJ	RU	EN
Муминов Ихтиер Субҳонкулович.	Муминов Ихтиер Субхонкулович	Muminov Ikhtiyor Subhonkulovich.
-	-	-
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
imuminov86@gmail.com		

УДК 624

АНАЛИЗ ТИПОВ КРЕПИ ПОРОДЫ НА УЧАСТКЕ РАЗВЕТВЛЕНИЯ СТ-4 С МЕТОДОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.Х. Саидов, Н.М. Хасанов, Д.К. Давронов

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В статье приведены крепи породы, предложенные в результате применения эмпирических методов проектирования, расчетов стабильности для подземных клиньев и К-Э расчетов разветвления СТ-4 и формы. Для толщины бетонной обделки и размера сечений в этой части тоннеля в пикетах от 12+37 м до 13+57 м, который включает участок от начала зоны разветвления вплоть до нижней камеры затворов, было рекомендовано 8 типов крепи породы. Свойства материалов для крепи породы, которые использованы в К-Э моделях включают торкрет-бетон, армоцементные анкеры и сварную арматурную сетку. Свойства материалов двух типов железобетонной обделки включают монолитный бетон марки С25/30 и стальные арки IPE 240 мм или IPE 350 мм.

Ключевые слова: *разветвления, тоннель, арматура, оборудование, механизмы, армирование, методы, земляные работы, крепь*

ТАҲЛИЛИ СИСТЕМАИ МУСТАҲКАМКУНИИ ҶИНСҲОИ КӮҲӢ ДАР МИНТАҚАИ ШОХАБАНДИИ СТ-4 БО УСУЛИ АЗ МОДЕЛСОЗИИ ЭЛЕМЕНТАРИИ НИҲОЙ

М.Ҳ. Саидов, Н.М. Ҳасанов, Д.Қ. Давронов

Дар мақола устуворкунии ҷинсҳои кӯҳӣ, ки дар натиҷаи истифодаи усулҳои тарҳрезии эмпирикӣ, ҳисобҳои устувории каҷиҳои зеризаминӣ ва ҳисобҳои М-Э барои шохаҳои СТ-4 ва шакл пешниҳод шудаанд, оварда шудаант. Ғафсии қабати бетонӣ ва андозаи буришҳо дар ин қисмати нақб дар пикетҳо аз 12+37 м то 13+57 м, ки қисматро аз ибтидои минтақаи шохадор то камераи поёнии клапанҳо дарбар мегирад, 8 намуди устуворкунии ҷинсҳои кӯҳӣ тавсия дода шуд. Хусусиятҳои мавод барои мустаҳкамкунии ҷинсҳои кӯҳӣ, ки дар моделҳои М-Э истифода мешаванд, аз ҷумла торкрет- бетонӣ, лангарҳои арматураи сементӣ ва торҳои арматураи кафшершуда. Хусусиятҳои ду намуди масолеҳи оҳану бетонӣ, аз ҷумла бетони монолитии дараҷаи С25/30 ва камонҳои пӯлоди IPE 240 мм ё IPE 350 мм.

Калидвожаҳо: *шохаҳо, нақб, арматура, таҷҳизот, механизмҳо, арматуракунонӣ, усулҳо, корҳои заминканӣ, мустаҳкамкунӣ*

ANALYSIS OF ROCK SUPPORT TYPES AT THE ST-4 BRANCHING SECTION WITH FINITE ELEMENT MODELING METHOD

M.H. Saidov, N.M. Hasanov, D.Q. Davronov

The paper presents rock supports proposed as a result of empirical design methods, stability calculations for underground wedges and K-E calculations of ST-4 branching and form. The thickness of concrete lining and section size in this part of the tunnel in the pickets from 12+37 m to 13+57 m, which includes the section from the beginning of the branching zone up to the lower gate chamber, 8 types of rock supports were recommended.

Keywords: *branching, tunnel, reinforcement, equipment, mechanisms, reinforcement, methods, excavation works, bracing*

Введение

Для проектирования крепи породы для участка разветвления (от пикета 12+37 м до 13+57 м вдоль тоннеля СТ-4) было выполнено математическое моделирование нескольких сечений данных подземных проходок с целью анализа напряжений сразу же после проходки и также после монтажа системы крепи.

С целью математического анализа использовалась программа на основе конечно-элементного метода RS2 ver. 9.0, разработанная RocScience Co., Торонто, Канада. Данная программа способна решать широкий спектр задач в области горного дела и проектирования сооружений. Известно, что достоверность результатов расчетов для каждой программы зависит от метода моделирования и, в частности, от точности исходных данных. Чем точнее геологические и геомеханические параметры, тем надежнее результаты расчетов. Тем не менее, поскольку точное моделирование условий грунта обычно обеспечить очень сложно или даже невозможно, то неизбежно приходится использовать некоторые упрощенные допущения.

Для математических расчетов СТ-4 были приняты следующие общие допущения и критерии:

-горные массивы являются сплошными средами и являются упруго- пластичными;

-для 2-х-мерных расчетов принято плоское деформированное состояние;

-к горным массивам применяется критерий разрушения Хоек и Браун;

-внешние границы моделей находятся на расстоянии, равном пяти диаметрам.

Материалы и методы исследования

Что касается геологических и геометрических условий вдоль тоннеля СТ-4 и различных типов временных систем крепи, то для анализа напряжений было использовано шесть К-Э моделей:

-сечение 1 моделируется для тоннеля в начале разветвления СТ-4 между пикетами 12+41 м и 12+43 м с временной системой крепи тип VIII. Система включает торкрет-бетон (толщиной 5 см), стальные арки IPE 240 мм с шагом @1.00 м и монолитный бетон С25/30 толщиной 35 см (С25/30:

цилиндрический/кубический образец бетона в МПа). В этой К-Э модели монолитный бетон вдоль стальной арки моделируется как бетонная обделка;

-сечение 2 моделируется для промежуточной части разветвления СТ-4 между пикетами 12+43 м и 12+49 м с временной системой крепи тип IX. Система включает торкрет-бетон (толщиной 5 см), стальные арки IPE 300 мм с шагом @1.00 м и монолитный бетон С25/30 толщиной 40 см с армоцементными анкерами длиной L= 5.85 м, 2x∅32 мм, @ 1.0x1.5 м. В этой К-Э модели монолитный бетон вдоль стальной арки моделируется как бетонная обделка;

-сечение 3 моделируется для средней части разветвления СТ-4 между пикетами 12+49 м и 12+56 м с временной системой крепи тип X. Система включает торкрет-бетон (толщиной 5 см), стальные арки IPE 300 мм с шагом @1.00 м и монолитный бетон С25/30 толщиной 40 см с армоцементными анкерами длиной L= 5.85 м, 2x∅32 мм, шагом (@) 1.0x1.5 м. В этой К-Э модели монолитный бетон вдоль стальной арки моделируется как бетонная обделка;

-сечение 4 моделируется для разветвления СТ-4 с наибольшим пролетом между пикетами 12+56 м и 12+66 м с временной системой крепи тип XI. Система включает торкрет-бетон (толщиной 5 см), стальные арки IPE 300 мм с шагом @1.00 м и монолитный бетон С25/30 толщиной 45 см с армоцементными анкерами длиной L= 5.85 м, 2x∅32 мм, @ 1.0x1.5 м. В этой К-Э модели монолитный бетон вдоль стальной арки моделируется как бетонная обделка;

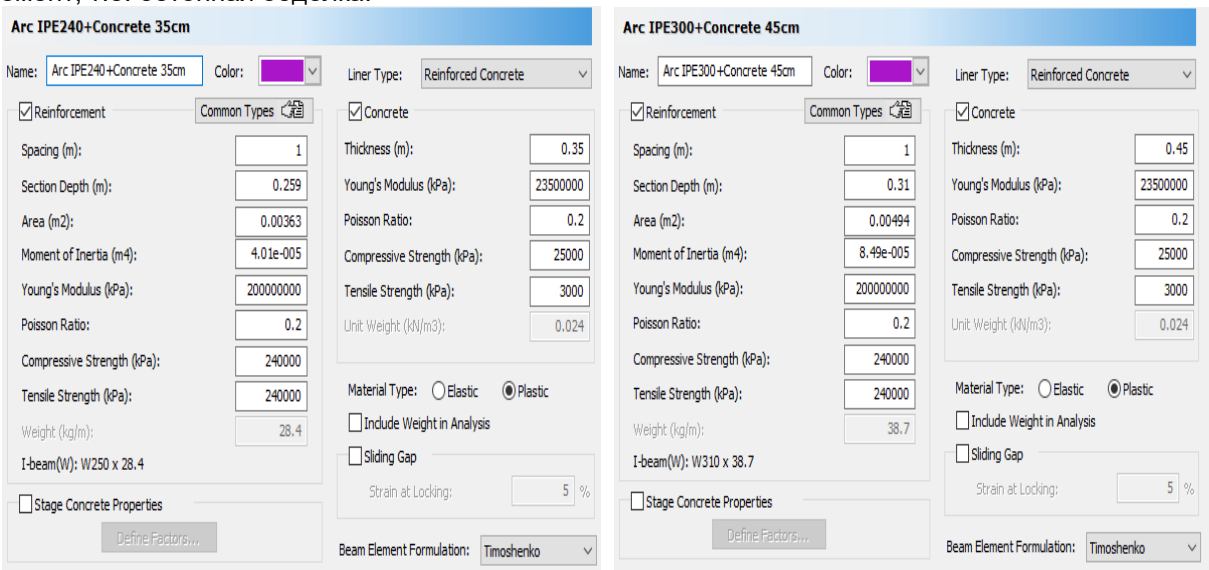
-сечение 5 моделируется для двойных тоннелей сразу же после разветвления СТ-4 с наибольшим пролетом между пикетами 12+66 м и 12+87 м с временной системой крепи тип XII. Система включает торкрет-бетон (толщиной 5 см), стальные арки IPE 240 мм с шагом @1.00 м и монолитный бетон С25/30 толщиной 35 см. В этой К-Э модели монолитный бетон вдоль стальной арки моделируется как бетонная обделка;

-сечение 6 моделируется для двойных тоннелей внизу разветвления СТ-4 между пикетами 12+87 м и 13+23 м с временной системой крепи тип XIII. Система включает торкрет-бетон (толщиной 5 см), стальные арки IPE 240 мм с шагом @1.00 м и монолитный бетон С25/30 толщиной 35 см. В этой К-Э модели монолитный бетон вдоль стальной арки моделируется как бетонная обделка;

-сечение 7 моделируется для двойных тоннелей перед камерой затворов СТ-4 между пикетами 13+23 м и 13+57 м с временной системой крепи тип XIV. Система включает торкрет-бетон (толщиной 5 см), стальные арки IPE 240 мм с шагом @1.00 м и монолитный бетон С25/30 толщиной 35 см. В этой К-Э модели монолитный бетон вдоль стальной арки моделируется как бетонная обделка.

Свойства материалов для крепи пород, которые использованы в К-Э моделях включают торкрет-бетон, армоцементные анкеры и сварную арматурную сетку. Свойства материалов двух типов железобетонной обделки включают монолитный бетон марки С25/30 и стальные арки IPE 240 мм или IPE 300 мм, представленные на рисунке 1.

Анализы чувствительности для напряжений по месту залегания пород (K = 1.3 и K = 0.75) были выполнены для всех сечений, а результаты для сечений 1 и 4 представлены как примерные расчетные случаи. Для упрощения создания К-Э моделей торкрет-бетон и монолитный бетон моделировались как единый элемент, т.е. бетонная обделка.



а) *б)*

Рисунок 1 – Свойства материалов для временной крепи, включая а) стальную арку IPE 240 мм и монолитный бетон С25/30 толщиной 35 см; б) стальную арку IPE 300 мм и монолитный бетон С25/30 толщиной 45 см

Результаты и обсуждения. К-Э расчеты сечения 1 в пикетах от 12+37 м до 12+43 м

К-Э расчет сечения 1 – К = 1.3 и α= 0°

Модель была разработана для D-образной формы сечения тоннеля СТ-4 в начале разветвления (сечение 1), от пикета 12+37 м до пикета 12+43 м, где будет установлена система крепи тип VIII, включающая торкрет-бетон толщиной 5 см, монолитный бетон толщиной 35 см марки С25/30 со стальными арками IPE240 мм с шагом @1.0 м. Габариты тоннеля СТ-4 в этой модели после проходки составляют 19.65м в высоту и 20.80м в ширину, в этом месте вокруг тоннеля залегают породы нижнеобигармской свиты (K1ob1) вблизи контакта с верхнеобигармской свитой (K1ob2), которая преимущественно сложена чередованием песчаников и иловатых песчаников.

В данном К-Э расчете горный массив K1ob1 вокруг тоннеля моделировался как упругопластический материал, где в режиме пластичности прочностные параметры ухудшаются. Механические параметры горного массива K1ob1 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Моделирование СТ-4 в сечении 1 от пикета 12+37 м до пикета 12+43 м (крепь породы тип VIII) в 11 этапов, ПУГ=0.27g

Этапы	Описание	Снятие напряжений при последовательных этапах проходки и установки крепи			
		Передовой забой	уступ 1	уступ 2	уступ 3
Этап 1	Состояние напряжения по месту, предполагая указанные выше напряжения до начала работ (с учетом толщины вскрышных пород 170 м), удельный вес 26 кН/м3, условия плоской деформации	-	-	-	-
Этап 2	Проходка свода	50%	-	-	-
Этап 3	Монтаж временной системы крепи на своде: торкрет-бетон толщиной 5 см, монолитный бетон толщиной 35 см марка С25/30 и стальные арки IPE240 мм с шагом @1.0 м	60%	-	-	-
Этап 4	Проходка уступа 1	70%	60%	-	-
Этап 5	Монтаж временной системы крепи на боковых стенках уступа 1: торкрет-бетон толщиной 5 см, монолитный бетон толщиной 35 см марка С25/30 и стальные арки IPE240 мм с шагом @1.0 м	80%	70%	-	-
Этап 6	Проходка уступа 2	90%	80%	70%	-
Этап 7	Монтаж временной системы крепи на боковых стенках уступа 2: торкрет-бетон толщиной 5 см, монолитный бетон толщиной 35 см марка С25/30 и стальные арки IPE240 мм с шагом @1.0 м	100%	90%	80%	-
Этап 8	Проходка уступа 3	100%	100%	90%	80%
Этап 9	Монтаж временной системы крепи на боковых стенках уступа 3: торкрет-бетон толщиной 5 см, монолитный бетон толщиной 35 см марка С25/30 и стальные арки IPE240 мм с шагом @1.0 м	100%	100%	100%	95%
Этап 10	Завершение проходки и монтажа крепи	100%	100%	100%	100%
Этап 11	Активация сейсмической нагрузки, эквивалентной ПЗ (ПУГ=0.27g)	100%	100%	100%	100%

Рисунок 1 показывает общий вид К-Э модели СТ-4 в сечении 1 в период активизации сейсмической нагрузки, которая активизируется на этапе 10 (ПУГ=0.27g). Увеличенный фрагмент К-Э модели этого сечения на этапе 11 показан на рисунке 2.

На рисунке 3 показаны сигма 1 и деформированные элементы вокруг разветвления СТ-4 в сечении 1 на этапе 11. Сигма 3 и осевые усилия в обделке (стальные арки и монолитный бетон) на этапе 11 показаны на рисунке 4. Далее на рисунке 5 показаны коэффициент запаса прочности и изгибающий момент в обделке, а на рисунке 6 представлены общее смещение и усилия сдвига в обделке. Несущая способность стальных арок и монолитного бетона показана на рисунке 7.

Анализ напряжений показал, что меры по укреплению породы, предусмотренные для данного сечения, будут функциональными на различных этапах. Отмечается, что даже при применении сейсмической нагрузки, эквивалентной землетрясению, которое может произойти при проходке СТ-4 (ПЗ = 0.27g), стабильность тоннеля СТ-4 в сечении 1 будет обеспечена, и туннель сохранит свою функциональность после такой нагрузки.

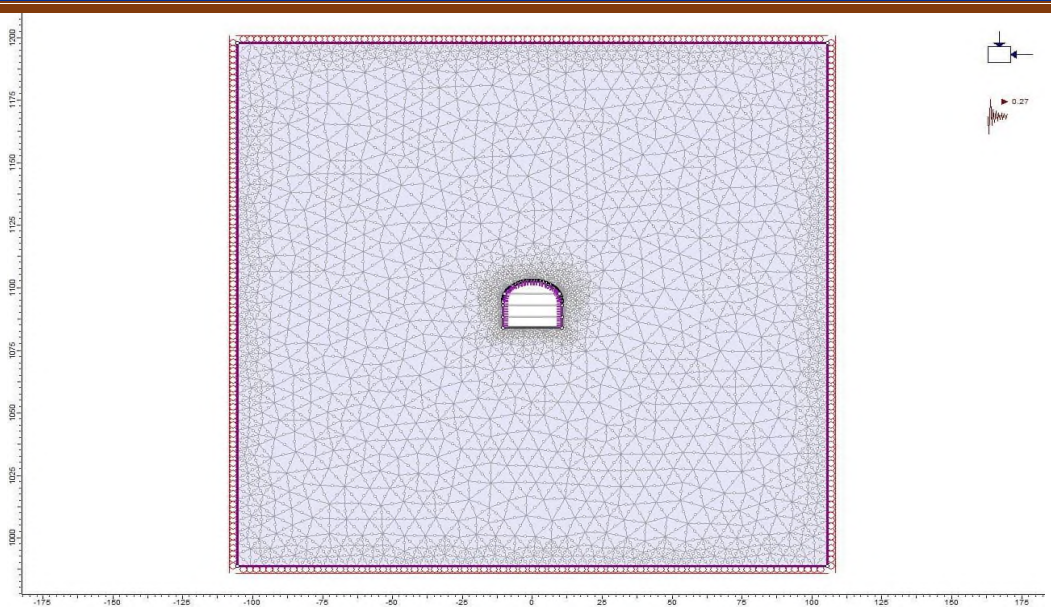


Рисунок 1 – Общий вид К-Э модели разветвления СТ-4 в сечении 1

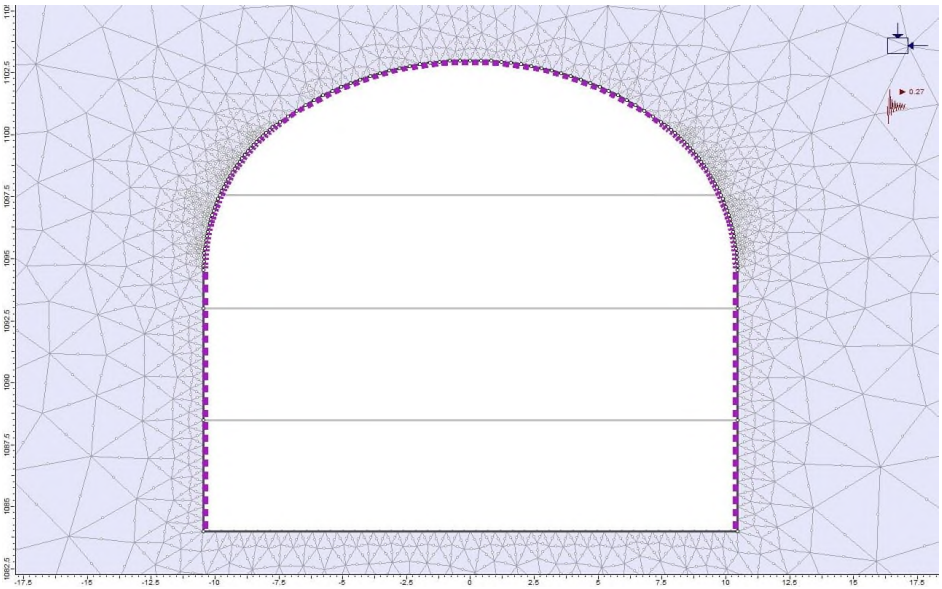


Рисунок 2 – Увеличенный фрагмент К-Э модели разветвления СТ-4 в сечении 1

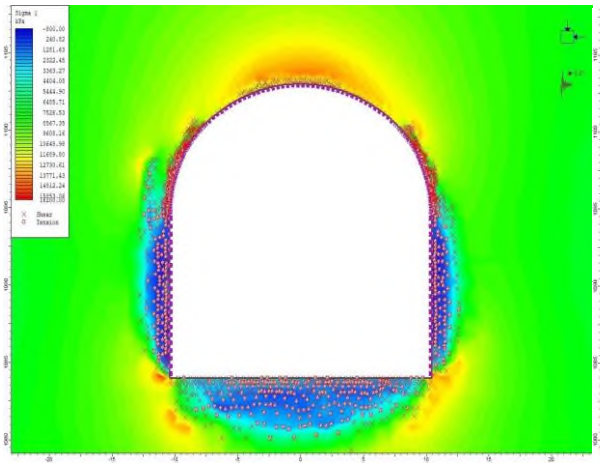


Рисунок 3 – Сигма 1 и деформированные элементы вокруг разветвления СТ-4

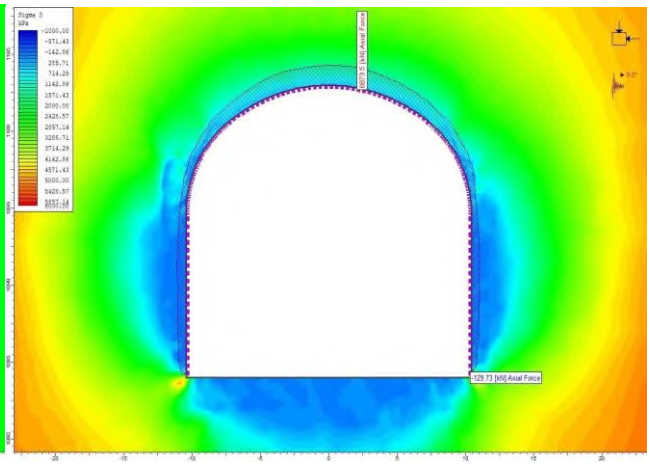


Рисунок 4 – Сигма 3 и осевые усилия в облицовке разветвления СТ-4

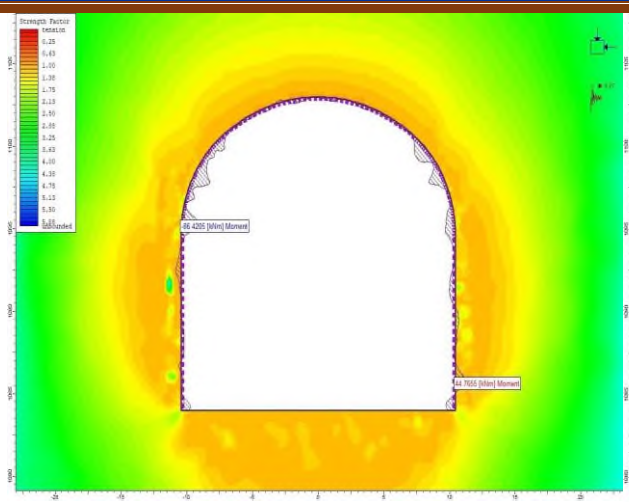


Рисунок 5 – Сигма 1 и деформированные элементы вокруг разветвления СТ-4

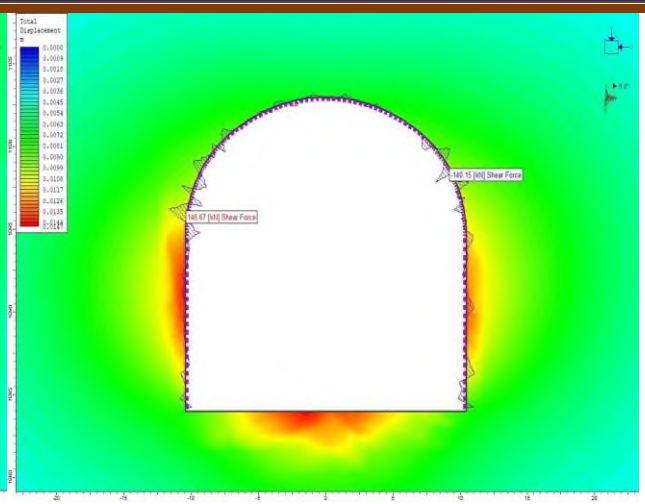


Рисунок 6 – Сигма 3 и осевые усилия в облицовке разветвления СТ-4

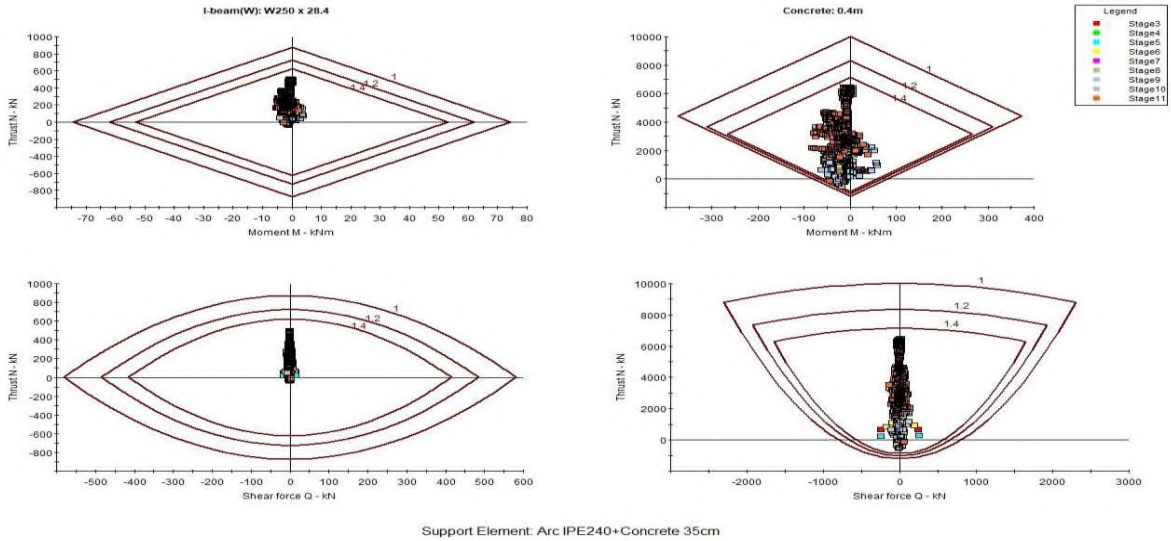


Рисунок 7 – Несущая способность стальных арок и монолитного бетона в сечении 1 разветвления СТ-4

Выводы

Модель была разработана для D-образной формы сечения тоннеля СТ-4 в промежуточной части разветвления аналогично К-Э расчетов в сечениях 2-7.

Анализы напряжений показали, что меры по укреплению породы, предусмотренные для всего сечения, будут функциональными на различных этапах. Отмечается, что даже при применении сейсмической нагрузки, эквивалентной землетрясению, которое может произойти при проходке СТ-4 (ПЗ = 0.27g), стабильность тоннеля СТ-4 во всех сечениях будет обеспечена, и тоннель будет функциональным даже после такой нагрузки.

Таблица 2 – Классы крепи породы, рекомендуемые для участка разветвления СТ-4

Тип крепи	Пикеты (м)	Значения Q и GSI	Торкрет-бетон	Армоцементные анкеры	Монолит-ный бетон	Стальная арка
III-a (1)	12+37 ~ 12+41	1.88 < Q < 5.19 50 < GSI < 55	толщина 5 см	-	C20/25 толщина 40 см	IPE 300 мм, с шагом 1 м
VIII	12+41 ~ 12+43	1.88 < Q < 5.19 50 < GSI < 55	толщина 5 см	-	C25/30(2) толщина 35 см	IPE 240 мм, с шагом 1 м
IX & X (3)	12+43 ~ 12+49 12+49 ~ 12+56	1.88 < Q < 5.19 50 < GSI < 55	толщина 5 см	2 xØ32мм, L = 5.85 м @ 1.0×1.5 м на своде	C25/30 толщина 40 см	IPE 300 мм, с шагом 1 м

Окончание таблицы 2

XI (4)	12+56 ~ 12+66	0.63 < Q < 1.73 50 < GSI < 55	толщина 5 см	2 x Ø32мм, L = 5.85 м @ 1.0×1.5 м на своде	C25/30 толщина 45 см	IPE 300 мм, с шагом 1 м
XII, XIII и XIV	12+66 ~ 12+87 12+87 ~ 13+23 13+23 ~ 13+57	0.63 < Q < 3.89 50 < GSI < 55	толщина 5 см	-	C25/30 толщина 35 см	IPE 240 мм, с шагом 1 м

Рецензент: Эмомов К.Ф. — к.т.н., Зам. директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

Литература

1. Hydroproject Institute Moscow HPI: various geological maps and vertical section of Lot 3 and Lot 4; 2014 and 2015.// ГПИ, Москва: различные геологические карты и вертикальный разрез по Лоту 3 и Лоту 4, 2014 и 2015 гг.
2. Main Dept. of Geology, Govt. of Rep. of Tajikistan, Unitary Enterprise “South Tajik; Prospecting”: Geological Map, right bank of the Rogun hydroelectric; 2012.// Главное управление геологии при Правительстве Республики Таджикистан, Унитарное предприятие «Южно-Таджикская геологоразведочная экспедиция»: геологическая карта, правый берег проекта Рогунской ГЭС, 2012 г.
3. TEAS Techno-Economic Assessment Study for Rogun Hydroelectric Construction Project - Phase II: Project Definition Options - Volume 2: Basic Data - Chapter 2: Geology, Part B - Geological Investigation in the Right Bank, incl. Annexures; Report No. P.002378 RP 29 rev. E; March 2014. // Технико-экономическое обоснование проекта строительства Рогунской ГЭС – Этап II: Варианты определения проекта
4. Том 2: Основные данные – Глава 2: Геология, часть B – Геологические изыскания по правому берегу, вкл. Приложения, отчет № P.002378 RP 29 ред. E; март 2014
5. TEAS Techno-Economic Assessment Study for Rogun Hydroelectric Construction Project - Phase II: Project Definition Options - Volume 2: Basic Data - Chapter 4: Seismicity; Report No. P.002378 RP 33 rev. F; March 2014.// Технико-экономическое обоснование проекта строительства Рогунской ГЭС – Этап II: Варианты определения проекта –Том 2: Основные данные – Глава 4: Сейсмичность, отчет № P.002378 RP 33 ред. F; март 2014
6. TEAS Techno-Economic Assessment Study for Rogun Hydroelectric Construction Project - Phase II: Project Definition Options - Volume 2: Basic Data - Chapter 2: Geology, Part A - Assessment of Geological Conditions; Report No. P.002378 RP 34 rev. B; March 2014. // Технико-экономическое обоснование проекта строительства.
7. AFRY-Samanian: Rogun HPP - Level 1 Design – Right Bank – 3D Model, May 2019// Проект Уровня 1 – Правый берег – 3-х мерная модель, май 2019 г.
8. Хасанов Н.М., Саидов М.Х., Хасанов М.Н. Применение КИА для измерений гидравлических параметров в тоннеле СТ-4 Рогунской ГЭС // Теоретический и научно-практический журнал. Кишоварз. ТАУ.2024.№1.-С.115-121
9. Хасанов Н.М., Саидов М.Х., Хасанов М.Н. Геотехнической мониторинг контрольной измерительной аппаратурой для СТ-4 Рогунской ГЭС // Политехнический Вестник №4. ТТУ, 2023. -С.120-128

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- AUTHORS BACKGROUND

RU	TJ	EN
Саидов Мансур Хамрокулович	Саидов Мансур Ҳамрокулович	Saidov Mansur Khamrokulovich
кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов»	номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи «Механикаи назарявӣ ва муқовимати мавод»	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics and Resistance of Materials
Таджикский технический университет имени академика М.С .Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
RU	TJ	EN
Хасанов Нурали Мамедович	Ҳасанов Нуралӣ Мамедович	Khasanov Nurali Mamedovich
Доктор технических наук, и.о. проф. кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения»	Доктори илмҳои техникӣ и.в. проф, кафедраи «Асосҳо, таҳкурсиҳо ва иншоотҳои зеризаминӣ»	Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Foundations, Foundations and Underground Structures
Таджикский технический университет имени академика М.С .Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
Khasanov.nurali@mail.ru		
RU	TJ	EN
Давронов Диловар Курбоназарович	Давронов Диловар Курбоназарович	Davronov Dilovar Kurbonazarovich
Соискатель кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения»	Унвонҷӯ кафедраи «Асосҳо, таҳкурсиҳо ва иншоотҳои зеризаминӣ»	Applicant of the Chair "Foundations, Foundations and Underground Structures"
Таджикский технический университет имени академика М.С .Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

УДК 624.04

ТАДҚИҚОТИ ДИАФРАГМАИ МАЗБУТӢ БО МЕТОДИ ДЕФОРМАТСИЯҲОИ МУТАМАРКАЗШУДА

Р.Р. Саидов, И.С. Муминов, С.С. Зарифов, И.Ш. Ашуров

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Дар мақола натиҷаҳои масъалаи моделсозии ададии диафрагмаи мазбутӣ бо суролхӣ ва бе сурохӣ дар асоси чандир бо се зариби болин бо методи деформатсияҳои мутамарказшуда (МДМ) оварда шудааст. Таҳқиқоти ҷамшавии шиддат дар ҳамвории бо сурохиҳо суст кардашуда аз таъсироти гуногун яке аз масъалаҳои муракаб мебошад. Натиҷаҳои ҳисоби бадастомадаи диафрагмаи мазбутӣ бо сурохиҳо бо методи МДМ ба натиҷаҳои бадастомадаи методи элементҳои охирнок (МЭО) муқоиса карда шудаст.

Вожаҳои калидӣ: *диафрагмаи мазбутӣ, моделсозии ададӣ, методи деформатсияҳои мутамарказшуда, асоси чандир, шиддати нормалӣ, консентратсияи шиддатҳо.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАФРАГМЫ ЖЕСТКОСТИ МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Р.Р. Саидов, И.С. Муминов, С.С. Зарифов, И.Ш. Ашуров

В статье рассмотрены результаты численного моделирования задачи диафрагмы жесткости с отверстиями и без отверстий на упругом основании с тремя коэффициентами постели методом сосредоточенных деформаций (МСД). Сложную проблему представляет также исследование концентрации напряжений в плоскости, ослабленной отверстиями при различных воздействиях. Полученные результаты расчета диафрагмы жесткости с отверстиями по МСД сопоставлены с данными, полученными по методу конечных элементов (МКЭ).

Ключевые слова: *диафрагма жесткости, численное моделирование, метод сосредоточенных деформаций, упругое основание, нормальные напряжения, концентрация напряжений.*

RESEARCH OF THE RIGIDITY DIAPHRAGM USING THE CONCENTRATE DEFORMATION METHOD

R.R. Saidov, I.S. Muminov, S.S. Zarifov, I.Sh. Ashurov

The article presents the results of numerical simulation of the stiffness diaphragm problem on an elastic base with three bed coefficients using the method of concentrated deformations (MCD). The obtained results of calculating the stiffness diaphragm with holes according to the MCD are compared with data obtained by the finite element method (FEM).

Keywords: *A rigidity diaphragm, numerical modelling, a method of the concentrated deformations, the elastic basis, normal pressure, concentration of pressure.*

Муқаддима

Диафрагмаи мазбутӣ яке аз элементхои асосии борбардори бинохои истикоматӣ ва чамъиятӣ буда, кори бехатарии онҳоро таъмин мекунад. Вазифаи асосии диафрагмаи мазбутӣ (бо сурохӣ ё бе сурохӣ) аз он иборат аст, ки қувваҳои сейсмикии уфуқӣ тавассути дискҳои болопӯш ба онҳо интиқол дода шаванд. Диафрагмаҳои мазбут барои биноҳои баландошёна одатан дар таҳкурсии плитаҳои монолитӣ насб карда мешаванд, ки дар навбати худ ба таҳкурсии чандир такя мекунанд. Онҳо як қисми амудӣ ва қисми асосии уфуқии борҳои ба бино таъсиркунандаро қабул намуда, ба таҳкурсӣ интиқол медиҳанд. Аз ин рӯ, масъалаи омӯзиши консентратсияи шиддатҳои диафрагмаҳои мазбут дар таҳкурсии чандир аз таъсири бори уфуқӣ актуалӣ мебошад. Дар кори [3] барои ҳисоб кардани диафрагмаҳои мазбут бо методи деформатсияҳои мутамарказшуда, бо назардошти дарзҳои воқеӣ бидуни мувофиқати нармии асос ба даст оварда шуданд.

Дар амалияи тадқиқоти илмӣ ва ҳисобҳои муҳандисӣ дар соҳаи мустаҳкамӣ бештар ба истифода бурдани методҳои тахминии ададии ҳалли масъалаҳои механикаи ҷисмҳои сахти деформатсияшаванда машғул мешаванд. Дар ин мақола ҳалли ададии масъалаи статикӣ оид ба ҳисоб кардани диафрагмаи мазбутӣ бо сӯрохиҳо дар шартҳои гуногуни канорӣ мувофиқ ба нармии асос бо МДМ дида баромада мешавад [1,2,4,5,6]. Хусусияти фарққунандаи методи деформатсияҳои мутамарказшуда дар он аст, ки он имкон медиҳад, нармии дарзҳои воқеии конструксияи биноҳо ва иншоот дар масъалаҳои расишӣ (контактӣ) ба назар гирифта шавад.

Гузориш ва ҳалли масъала

Системаи муодилаҳои алгебравӣ бо методи деформатсияҳои мутамарказшуда дар намуди зерин навишта шудааст

$$RU = P, \tag{1}$$

дар ин ҷо $R = ACA^{\mathrm{T}}$ - матритсаи мазбутии берунӣ, $A-$ матритсаи росткунҷаи зарибҳои андозаи $n \times m$, $A^{\mathrm{T}}-$ матритсаи транспонишудаи зарибҳои A, $C-$матритсаи мазбутии дохилӣ, $U-$ матритсаи

ҷойивазкуниҳои ҷусташаванда, $P-$ матритсаи қувваҳои берунӣ. Бояд гуфт, ки МДМ имкон медиҳад, ки ҳангоми ташаккули матритсаи мазбутии дохилӣ C деформатсияи дарзҳои воқеӣ ба назар гирифта шавад [5]. Аз ҳалли (1) ҷойивазкуниҳо муайян карда шуда, баъд деформатсияҳо ва қувваҳои дохилӣ ҳисоб карда мешаванд:

$$D=-A^{\mathrm{T}}U, \quad S=KD. \tag{2}$$

Алгоритми ҳисобкунӣ бо МДМ чунин аст. Системаҳои муодилаҳои мувозинат барои унсурҳои охирноки МДМ тартиб дода, матритсаи A ташкил карда мешавад, ва пас аз транспоникунӣ мо матритсаи $A^{\mathrm{T}}-$ро ба даст меорем. Тахмин меравад, ки ҳар як элементи диафрагма се дараҷаи озодӣ дорад. Фарз мекунем, ки ҳар як элемент ба унсурҳои атроф бо истифода аз дарзҳои комплесӣ, ки дар онҳо деформатсияи элемент ва дарз мутамарказ пайваст карда мешавад, матритсаи мазбутии дохилӣ C ба вуҷуд меояд. Сипас матритсаи мазбутии берунӣ $K=ACA^{\mathrm{T}}$ ташаккул меёбад. Дар асоси боргузории додашуда ва вазни хоси конструксияҳо вектори аъзоҳои озод P ташкил карда мешавад. Аз ҳалли системаи муодилаҳо (1) бо усули итератсияи Зайдел вектори ҷойивазкуниҳои ҷусташаванда U муайян карда мешавад. Бо истифода аз формулаҳои (2) векторҳои деформатсияҳои D ва қувваҳои дохилӣ $\mathbf{S}$ ҳисоб карда мешаванд. Элементҳои вектори қувваҳои дохилӣ, қувваи нормалӣ (тулӣ), моменти хамкунанда ва қувваи арзӣ дар рӯяҳои элементҳои канории МДМ мебошанд.

Дар асоси модели риёзии таҳияшудаи МДМ барномаи компютерӣ тартиб дода шуда, натиҷаҳои ҳисобкунии диафрагмаи сахтӣ ба схемаҳои гуногуни конструкторӣ мувофиқанд, ба даст оварда шуданд.

Методи ҳалли масъала

Ба сифати мисол ҳисоб кардани диафрагмаи росткунҷаи мазбутро бо панҷ сӯрохии росткунҷа зери таъсири боргузории баробар тақсимшуда дар рӯяи амудӣ тадқиқот гузаронида мешавад (расми 1). Элементҳои канории методи деформатсияҳои мутамарказшуда дар расми 2 нишон дода шудааст. Натиҷаҳои диафрагмаи мазбутии модели ҳисобӣ бо додашудаҳои зерин ба даст оварда шуданд:

$$q=1\,\text{тс/м};\ L_x=5{,}5\,\text{м};\ L_y=15{,}5\,\text{м};\ \delta=0{,}2\,\text{м};$$

$$E=2\cdot10^6\,\text{МПа};\ \mu=0{,}3;\ a=1{,}5\,\text{м};\ b=2\,\text{м},$$

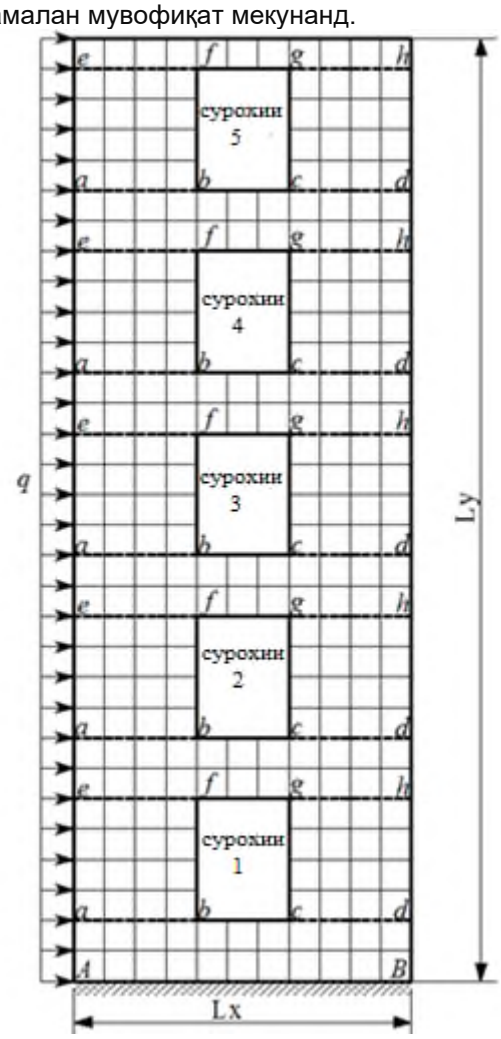
дар инҷо $\delta-$ғавсии диафрагма, $a,b-$андозаҳои сурохиҳо, $\mu-$зариби Пуассон. Барои муқоисаи натиҷаҳо, ин масъала низ бо истифода аз МЭО бо ёрии барномаи комплексӣ ЛИРА САПР 2013 ҳисоб карда шудааст. Дар ҷадвал 1 натиҷаҳои шиддатҳои нормалӣ ва расанда дар минтақаҳои кунҷии қисми такягоҳии диафрагмаи мазбутӣ бе сӯрохӣ ва бо сӯрохиҳо ҳангоми бо асос мазбут пайваст будани он нишон дода шудааст. Натиҷаҳои аз МДМ дар тури *11x31* гирифташуда бо натиҷаҳои МЭО муқоиса карда мешаванд. Аз муқоиса маълум мешавад, ки фарқияти калонтарин дар натиҷаҳои шиддатҳои расанда мушоҳида мешавад, ки фарқияти аз 37 то 60% фоизро ташкил медиҳад. Яъне, ин бо он шарҳ дода мешавад, ки дар МДМ шиддатҳо дар дохили элементи канорӣ мувофиқи қонуни хаттӣ тағйир меёбанд ва дар МЭО онҳо характери тағйирёбии қисман-доимӣ доранд.

Ҷадвали 1 - Муқоисаи натиҷаҳои шиддатҳои нормалӣ ва расанда дар диафрагмаи мазбутӣ дар таҳкурсии мазбут

Тур	Метод	Бе сӯрохӣ				Бо сӯрохӣ			
		σ_{yA}	σ_{yB}	τ_{xyA}	τ_{xyB}	σ_{yA}	σ_{yB}	τ_{xyA}	τ_{xyB}
11×31	МДМ	22,13	-21,72	-2,42	-1,79	29,53	-27,72	-3,025	-1,16
	МЭО	23,50	-23,10	-3,85	-3,24	29,60	-28,50	-3,74	-2,94
Фарқият, %		5,8	5,9	37,1	44,7	0,23	2,73	19,1	60,5

Дар ҷадвали 2 шиддатҳои нормалӣ, ки ба гиреҳҳои хатҳои уфуқии ad ва eh-и диафрагмаи такягоҳи мазбут дошта бо сӯрохиҳо мувофиқанд, муқоиса карда шудааст (расми 1). Мумкин аст, ки фарқияти калонтарини натиҷаҳо дар гиреҳҳои наздикии минтақаҳои кунҷии сӯрохиҳо мушоҳида карда мешавад, ки дар он сатҳи консентратсияи шиддатҳо зиёд мешавад. Инчунин бояд қайд кард, ки шакли

таҳсимоти шиддатҳои нормалӣ, ҳам аз рӯи баландӣ ва ҳам аз рӯи паҳнои диафрагмаи мазбутӣ, ки бо ду метод ба даст оварда шудаанд, амалан мувофиқат мекунанд.



Расми 1 – Модели дискретии диафрагмаи мазбутии бинои 5-ошёна

Ҷадвали 2 – Шиддатҳои нормалӣ бо сӯрохиҳо дар асоси мазбут

№ сурохихо	Метод	Шиддатҳои нормалӣ							
		$\sigma_{y,(a)}$	$\sigma_{y,(b)}$	$\sigma_{y,(c)}$	$\sigma_{y,(d)}$	$\sigma_{y,(e)}$	$\sigma_{y,(f)}$	$\sigma_{y,(g)}$	$\sigma_{y,(h)}$
1	МДМ	23,67	-6,91	8,81	-24,42	13,06	6,67	-6,74	-13,12
	МЭО	23,30	-3,86	3,67	-23,30	13,80	6,06	-6.06	-13,80
2	МДМ	11,63	-2,94	2,58	-11,36	5,10	9,15	-9,45	-4,88
	МЭО	12,60	-1,27	1.35	-12,70	6,48	5,74	-5.86	-6,33
3	МДМ	4,83	-0,92	0,65	-4,65	0,86	1,78	-8,01	-0,71
	МЭО	6,27	-1,01	0.911	-6,23	2,12	4,04	-4,19	-1,92
4	МДМ	1,10	-0,216	0,038	-0,98	0,83	5,10	-5,26	-0,91
	МЭО	2,17	-0,76	0,634	-2,12	0,102	2,27	-2,39	-0,257
5	МДМ	0,196	-0,67	0,59	-0,189	0,263	1,72	-1,46	0,640
	МЭО	0,228	-0,857	0.88	-0,333	0,074	0,399	-0.299	-0,125

Нармии чандирии хоки асоси таҳкурсӣ бо параметрҳои зерин тавсиф карда мешавад: фишори статикии ҷоиз σ_s; зариби чандирӣ ҳангоми фишуриши якхелаи амудӣ c_y; зариби тобхурии асос c_φ; зариби чандирии ҳангоми ғеҷиши мунтазам c_x. Дар ин маврид зарибҳои мазбутии такягоҳхо, ки ба фишуриш, тобхурӣ ва ғеҷиш мувофиканд, ба таври зерин муайян карда мешаванд:

$$k_y = c_y F_y; \quad k_\varphi = c_\varphi J_y; \quad k_x = c_x F_x;$$

дар ин ҷо $F_y = F_x = \delta \cdot d_x;\ \ J_y = \delta \cdot d_x^3/12$ - масоҳат ва моменти инерцияи рӯяи элементи канорӣ, ки бо асос часпиш дорад. Нармии чандирии хоки асоси таҳкурсӣ бо зарибҳои фишуриши якхела, гардиш ва ғеҷиш тавсиф карда мешавад ва ба қиматҳои зерин баробар гирифта мешавад:

$$c_y = 4 \cdot 10^3 \text{ тс/м}^3,\ c_\varphi = 8 \cdot 10^3 \text{ тс/м}^3,\ c_x = 2 \cdot 10^3 \text{ тс/м}^3.$$

Натичахои хисоби диафрагмахои мазбутӣ бо назардошти нармии асоси чандир ба даст оварда шуданд. Дар ҷадвали 3 шиддатҳои нормалӣ ва расанда, ки аз МДМ барои намудҳои гуногуни моделҳои ҳисобкунии диафрагмаҳои мазбутӣ гирифта шудаанд, нишон дода шудааст. Натичахое, ки барои диафрагмаи мазбутӣ дар асоси мазбут ва асоси нарм, инчунин бе сӯрохӣ ва бо сӯрохиҳо гирифта шудаанд, муқоиса карда мешаванд. Ин натиҷаҳои ҳолати шиддатнокӣ бо истифода аз муодилаҳои (2) дар минтақаҳои кунҷӣ дар қисми такягоҳии диафрагма мувофиқанд.

Ҷадвали 3 - Муқоисаи натиҷаҳои шиддат дар минтақаҳои кунҷӣ

Метод (тур)	Шартҳои канорӣ	Бе сурохӣ				Бо сурохӣ			
		σ_{yA}	σ_{yB}	τ_{xyA}	τ_{xyB}	σ_{yA}	σ_{yB}	τ_{xyA}	τ_{xyB}
МДМ (11х31)	Асоси чандир	10,30	-10,29	-2,09	-1,63	11,40	-11,35	-2,23	-1,41
	Асоси мазбут	22,13	-21,72	-2,42	-1,79	29,53	-27,72	-3,025	-1,16

Аз муқоисаи натиҷаҳои ҳисоб дида мешавад, ки шиддатҳои нормалӣ дар минтақаҳои кунҷии модели сӯрохӣ дошта назар ба модели бе сӯрохӣ тақрибан 10% зиёданд. Қайд кардан мумкин аст, ки шиддатҳои нормалӣ дар асоси мазбут назар ба асоси чандир тақрибан ду маротиба зиёдтаранд. Тавре ки аз ҷадвали 2 дида мешавад, дар хати такягоҳии диафрагмаи сӯрохидор, сатҳи консентратсияи шиддати нормалӣ нисбат ба диафрагмаи бе сӯрохӣ каме зиёд мешавад.

Ҷадвали 4 – Шиддатҳои нормалӣ дар наздикии сӯрохиҳо

№№ сурохӣ	Шиддатҳои нормалӣ							
	$\sigma_{y,(a)}$	$\sigma_{y,(b)}$	$\sigma_{y,(c)}$	$\sigma_{y,(d)}$	$\sigma_{y,(e)}$	$\sigma_{y,(f)}$	$\sigma_{y,(g)}$	$\sigma_{y,(h)}$
1	14,01	-17,96	4,53	-15,65	7,14	7,99	-8,26	-7,10
2	6,80	-13,59	7,23	-6,27	2,41	7,63	-8.03	-2,08
3	2,46	-2,14	1,12	-2,22	1,44	5,74	-5.98	-1,72
4	0,302	-0.078	2,07	-1,75	0,75	3,46	-3.62	-0.83
5	0,257	-0.037	0,30	-0,25	0,22	1,17	-0.91	-0.15

Дар ҷадвали 4 қиматҳои шиддатҳои нормалӣ, ки ба нуқтаҳои кунҷии модели диафрагмаи мазбути сурохидоштадар асоси чандир бо МДМ ба даст омада нишон дода шудаанд. Аз муқоисаи натиҷаҳое, ки дар ҷадвалҳои 4 ва 2 оварда шуда дида мешавад, ки ҳолати шиддатнокӣ дар бӯрришҳои диафрагма дар асоси чандиру нарм нисбат ба диафрагмаи дар асоси мазбут тақрибан ду маротиба камтар аст.

Хулоса

Алгоритм ва барномаи компютерии коркардшуда имкон медиҳад, ки ҳолати шиддатнок-деформатсияшавии диафрагмаҳои мазбутии биноҳои бисёрошёна омӯхта шавад. Таҳлили натиҷаҳои моделсозии ададии ҳолати шидатнокии ҳамвори диафрагмаи мазбутӣ бо сӯрохиҳо, ки бо истифода аз МДМ ба даст оварда шудааст, нишон медиҳад, ки бо назардошти нармии хок боиси камшавии консентратсияи шиддат мегардад. Усули пешниҳодшудаи ҳисобкунии диафрагмаҳои мазбутӣ метавонад дар лоиҳакашии биноҳо ва иншоот истифода шавад.

Муқарриз: Иқромов И.И. — н.и.т., дотсент, мудири кафедраи сохтмон ва иншооти гидротехникии ДАТ ба номи Ш. Шотемур

Адабиёт

1. Низомов Д.Н, Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций. Душанбе, "Дониш", 2015. - 436 с.
2. Каландарбеков И. Развитие метода сосредоточенных деформаций применительно к расчетам конструкций с учетом податливости соединений. Автореферат Москва 2009.- 37с.

3. Г. Дж. Адыракаева. Расчет диафрагм жесткости методом сосредоточенных деформаций с учетом реальных швов. Вестник КРСУ. 2008. Том 8. № 9, 146-152с.

4. Низомов Д.Н, Саидов Р.Р. Расчет диафрагм жесткости на упругом основании методом сосредоточенных деформаций. Известия АНРТ ISSN 0002-3485. №2 (179) - 2020г ст. 89-96

5. Саидов Р.Р. Численное решение статических задач теории упругости методом сосредоточенных деформаций. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №4 (40) – 2018, с. 186-193.

6. Саидов Р.Р., Фаттоев Б.Дж. Расчет балки-стенки на упругом основании методом сосредоточенных деформаций. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №1 (49) - 2020 с. 172-174

7. Зулпуев А.М., Темикеев К., Ганыев А.М., Асанова С.А., Турсунов И.Р. Метод сосредоточенных деформаций для расчета плосконапряженных железобетонных конструкций. Синергия. 2017. № 4 с. 88-96.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Саидов Римоххидин Рачабович	Саидов Римоххидин Раджабович	Saidov Rimohhidin Radzhabovich
Номзади илмхои техникӣ	Кандидат технических наук, старший преподаватель	Candidate of technical, seniors the teacher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
rimokhiddin@mail.ru		
TJ	RU	EN
Муминов Ихтиер Субҳонкулович.	Муминов Ихтиер Субхонкулович	Muminov Ikhtiyor Subhonkulovich.
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Зарифов Сирочиддин Садриддинович	Зарифов Сироджиддин Садриддинович	Zarifov Sirojiddin Sadriddinovich
Номзади илмхои техникӣ	Кандидат технических наук, старший преподаватель	Candidate of technical, seniors the teacher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Ашуров Идрис Шарифхонович	Ашуров Идрис Шарифхонович	Ashurov Idris Sharifkhonovich
муаллими калон	старший преподаватель	senior lecturer
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

УДК 699.86

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

И.И. Нигматов, Ш.З. Усмонов

Таджикский технический университет имени академик М.С. Осими

Худжандский политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Данная статья посвящена рассмотрению и анализу различных подходов к обеспечению комфортного микроклимата в жилых помещениях, расположенных в аридных зонах с характерными сухими и жаркими климатическими условиями. Особое внимание уделяется комплексным методам, включающим в себя как традиционные, так и современные технологические решения.

Ключевые слова: *микроклимат, жилые помещения, аридные зоны, технологические решения, сухой климат, жаркий климат, энергоэффективность, пассивное охлаждение, устойчивое строительство, теплоизоляция, архитектурные стратегии, комфортная среда.*

УСУЛҲОИ ТАЪМИНИ ФАЗОИ БАРОҲАТ ДАР БИНОҲОИ ИСТИҚОМАТӢ ДАР ШАРОИТИ ИҚЛИМИ ХУШК ВА ГАРМ

И.И. Нигматов, Ш.З. Усмонов

Ин мақола ба таҳлили равишҳои гуногуни таъмини микроиқлими бароҳат дар биноҳои истиқоматӣ, ки дар минтақаҳои хушк бо шароити хоси иқлимии хушк ва гарм ҷойгир шудаанд, бахшида шудааст. Ба усулхои комплексӣ, аз он чумла ҳам ҳалли анъанавӣ ва ҳам муосири технологӣ диққати махсус дода мешавад.

Калимаҳои калидӣ: *микроиқлим, биноҳои истиқоматӣ, минтақаҳои хушк, ҳалли технологӣ, иқлими хушк, иқлими гарм, самаранокии энергетикӣ, хунуккунии ғайрифаъол, сохтмони устувор, гармидиҳӣ, стратегияҳои меъморӣ, муҳити бароҳат.*

METHODS FOR ENSURING A COMFORTABLE MICROCLIMATE IN RESIDENTIAL SPACES IN DRY AND HOT CLIMATE CONDITIONS

I.I. Nigmatov, Sh.Z. Usmonov

This article is dedicated to the examination and analysis of various approaches to ensuring a comfortable microclimate in residential spaces located in arid zones characterized by dry and hot climatic conditions. Special attention is given to comprehensive methods that include both traditional and modern technological solutions.

Keywords: *microclimate, residential spaces, arid zones, technological solutions, dry climate, hot climate, energy efficiency, passive cooling, sustainable construction, insulation, architectural strategies, comfortable environment.*

Введение

Жаркий и сухой климат, характерный для определенных географических зон, предъявляет уникальные требования к жилым помещениям, целящимся в обеспечении в них комфорта и энергоэффективности зданий. Адаптация архитектурных стратегий к местным условиям позволяет снизить энергопотребление в первую очередь за счет пассивного охлаждения и комфортного микроклимата.

Методы

Оптимизация микроклимата достигается через ряд архитектурных приемов, ориентированных на минимизацию внешнего теплового воздействия и максимизацию внутреннего комфорта без усиленного использования искусственных систем охлаждения. К примеру, при ориентации здания необходимо принимать в рассмотрение направление ветров и максимальное солнечное излучение, при этом здание позиционируется для естественного охлаждения.

При селекции материалов используются материалы с высокой тепловой массой, таких как камень или полистирол, для регуляции дневной температуры.

При высоких потолках и вентиляционных окнах обеспечивается естественный конвективный поток воздуха, способствующего естественному охлаждению.

При применении козырьков, навесов и других элементов снижается прямое солнечное воздействие.

При озеленении крыш и стен используется живая растительность как природный изоляционный барьер.

А применение специальных покрытий и стеклопакетов минимизирует солнечный нагрев.

Для обеспечения естественного охлаждения в жилых помещениях могут быть использованы следующие архитектурные приемы:

1. Элементы активного затенения: складирующие панели, раздвижные решетки или различные типы жалюзи могут активно управлять количеством поступающего солнечного света и тепла.

2. Тепловые противотоки системы, в которой холодный воздух входит в помещение внизу, а теплый воздух удаляется через высоко расположенные выходы.

3.Подвесные зеленые элементы в интерьере могут помогать в охлаждении воздуха и улучшении условий микроклимата.

4.Регулируемые внутренние перегородки позволяют изменить конфигурации пространств и регулировать воздушные потоки внутри здания.

5. Туман или пар, распыляемый внутри или около здания, могут снизить температуру за счет испарительного охлаждения.

6. Создание в здании мест с различными условиями микроклимата, где жильцы могут почувствовать себя комфортно при различных внешних температурах.

7. Посадка деревьев и кустарников вокруг здания, создание зеленых зон, которые защищают от прямых солнечных лучей и улучшают местный микроклимат.

8. Кулеры испарения (природные или механические устройства), используют принцип испарения для охлаждения воздуха без применения традиционных кондиционеров.

Эти архитектурные приемы можно адаптировать к местным климатическим особенностям и интегрировать в проекты зданий для постоянного повышения уровня комфорта при минимальной энергетической нагрузке.

При выборе материалов для обеспечения комфортного микроклимата в жилых помещениях следует использовать:

-материалы с высокой тепловой массой, которые аккумулируют тепло и отдают его в более прохладное время, что полезно для стабилизации температурных колебаний;

-коэффициент теплопроводности определяет, насколько эффективно материал будет проводить тепло, влияющее на изоляционные свойства материала.

А способность материала пропускать пар позволяет регулировать влажность внутри помещения и предотвратить возникновение плесени и грибка.

Материалы должны быть безвредными для здоровья и предпочтительно иметь низкий уровень выбросов в процессе производства и эксплуатации.

Важна способность материалов выдерживать экстремальные температуры, влажность, ультрафиолетовое излучение без потери своих изолирующих свойств.

Материалы должны обладать достаточной прочностью и износостойкостью для обеспечения долгосрочной службы конструкции.

Предпочтение следует отдавать материалам, которые могут быть получены из устойчивых источников или подлежат вторичной переработке.

Учет этих факторов позволит создать жилые помещения с оптимальными тепловыми, влажностными и акустическими характеристиками для обеспечения комфорта и благоприятной внутренней среды.

Наряду с этим для активного охлаждения жилых помещений можно использовать:

– электрически управляемые жалюзи; позволяющие регулировать интенсивность солнечного света и тепла, поступающие в помещение, с помощью дистанционного управления;

– фотохромные (умные) окна: меняющие свою тонировку от интенсивности солнечного излучения;

– внешние затеняющие панели: двигающиеся и изменяющие своё положение в ответ на движение солнца;

– складные арматурные ставни: изготавливаемые из металла или дерева, позволяющие произвольно управлять уровнем света и воздуха, проникающего в помещение;

– ретрактабельные (откатные, выдвигающиеся козырьки), создающие тень, когда это необходимо;

– системы внешних занавесок и тканевых экранов, защищающих от солнца;

– солнцезащитные экраны с фотовольтаическими элементами, генерирующие электроэнергию, используя солнечный свет.

Эти элементы активного затенения дают возможность контролировать микроклимат внутри здания, уменьшать потребление энергии на охлаждение и обеспечивать комфорт для жителей, сохраняя архитектурные особенности и эстетическую привлекательность.

Результаты и обсуждение

В рамках нашего исследования были рассмотрены и оценены различные методы и стратегии обеспечения комфортного микроклимата в жилых пространствах, расположенных в сложных условиях сухих и жарких климатов. Комплексный подход, учитывающий ориентацию здания, выбор материалов с учетом тепловой массы и потребностей вентиляции, позволяет значительно увеличить эффективность пассивного охлаждения. Инновационные элементы затенения, такие как электрически регулируемые жалюзи и фотохромные окна, а также архитектурные нововведения в виде ветровых башен и складывающихся козырьков, демонстрируют значительное снижение потребления энергии на охлаждение помещений, одновременно повышая комфорт жильцов.

Важность избирательности материалов с различными характеристиками теплопроводности и влагопроницаемости подтверждается их способностью влиять на температурный режим и влажностный баланс внутри помещений. Экологически безвредные материалы с хорошими изоляционными и звукоизоляционными свойствами стали предпочтительны для обеспечения здоровой жизненной среды.

Использование направленных ландшафтных решений и технологий парообразного охлаждения также способствовало комфортным условиям проживания.

Заключение

Сокращение зависимости от активных систем кондиционирования в жарком и сухом климате возможно благодаря применению целого ряда инновационных архитектурных и инженерных подходов. Индивидуально подобранное сочетание методов пассивного охлаждения, включая правильное использование солнца, ветра, воды и растительности, может обеспечить комфортные условия в жилых помещениях без значительных затрат на электроэнергию.

Адекватное применение архитектурных методов, а также качественный выбор теплоизоляционных материалов, в условиях сухого и жаркого климата, образуют фундамент для эффективного пассивного охлаждения, создавая устойчивые и энергоэффективные решения в жилищном строительстве.

Статья может быть примером комплекса рекомендаций по проектированию качественного жилищного пространства в аридных регионах, включая Таджикистан.

Рецензент: Аминов Ф.А. — к.т.н., заведующий кафедрой «Строительство» ХГИПТУ им. акад. М.С. Осими

Литература

1. Albatayneh, A., Alterman, D., Page, A., & Moghtaderi, B. (2018). Indoor Thermal Comfort Analysis: A Case Study of Modern and Traditional Households in Hot Arid Climate. Sustainability, 5(3),

2. Al-Sallal, K. A. (2019). Energy efficiency and thermal comfort of buildings in arid climates – A critical assessment. Energy, 192, 116647.

3. Ballinger, J. A., & Haryott, R. (2023). Assessment of indoor thermal comfort temperature and ventilation in arid climates. Journal of Thermal Biology, 10287772.

4. Hegde, G., & Ananthakrishna, N. (2018). Thermal Comfort Studies on Houses in Hot Arid Climates. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 401(1), 012028.

5. Yang, L., Fu, R., He, W., He, Q., Liu, Y. - Energy and Buildings, 2020. "Adaptive thermal comfort and climate responsive building design strategies in dry–hot and dry–cold areas: Case study in Turpan, China."

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Нигматов Икромҷон Исматҷонович	Нигматов Икромджон Исматджонович	Nigmatov Ikromdzhon Ismatdzhonovich
Номзади илмҳои техникӣ, профессор	Кандидат технических наук, профессор	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e-mail: nigmatov40@bk.ru		
TJ	RU	EN
Усмонов Шӯҳрат Заурович	Усмонов Шухрат Заурович	Usmonov Shuhrat Zaurovich
Номзади илмҳои техникӣ	Кандидат технических наук	Candidate of Technical Sciences
Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хуҷанд	Худжандский политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими	Khujand Polytechnic institute of Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
e-mail: usmonov.shuhrat@gmail.com		

УДК 624.04

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИЗГИБА ПЛАСТИН С ЗАЩЕМЛЕННЫМИ КРАЯМИ МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Д.Дж. Исвалиев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приводится решение задачи изгиба пластин с защемленными краями от действия равномерно распределенной нагрузки методом сосредоточенных деформаций. Изложен алгоритм составления матрицы жесткости изгибаемых пластин с учетом граничных условий. На основе предлагаемого алгоритма разработана компьютерная программа на языке Фортран и получены результаты численного решения статической задачи плиты.

Ключевые слова: *изгиб пластины, конечный элемент, матрица внутренней жесткости, матрица внешней жёсткости, квадратичная аппроксимация.*

ҲАЛЛИ АДАДИИ МАСЪАЛАҲОИ ҚАТШАВИИ ТАХТАСАНГИ БО ҲАМАИ ТАРАФҲОЯШ МАҲКАМШУДА

Д.Ҷ. Исвалиев

Дар мақола ҳалли масъалаҳои қатшавии тахтасанги бо ҳамаи тарафҳояш маҳкамшуда аз таъсири борҳои баробар тақсимшуда бо методи мутамарказкунонии деформатсия оварда шудааст. Алгоритми тартибдиҳии матритсаҳои сахтии қатшавии тахтасанг бо баҳисобгирии шартҳои канорӣ дида баромада шудааст. Дар асоси алгоритми пешниҳодшуда, барномаи компютерӣ бо забони Фортран коркард шуда ва натиҷаҳои гирифташудаи ҳалли ададии масъалаҳои статикии тахтасанг ба даст оварда шудааст.

Калимаҳои калиди: *қатшавии тахтасанг, унсури охирнок, матритсаи дохилии сахтӣ, матритсаи берунаи сахтӣ, аппраксиматсияи квадратӣ.*

NUMERICAL SOLUTION OF THE PROBLEM OF BENDING PLATES WITH RESTRAINTED EDGES USING THE CONCENTRATE STRAIN METHOD

D.J. Isvaliev

The article provides a solution to the problem of bending plates with pinched edges under the action of a uniformly distributed load using the concentrated deformation method. An algorithm for compiling a stiffness matrix for bending plates is presented, taking into account boundary conditions. Based on the proposed algorithm, a computer program in Fortran was developed and the results of a numerical solution of the static slab problem were obtained.

Keywords: *plate bending, finite element, internal stiffness matrix, external stiffness matrix, quadratic approximation.*

Введение

В настоящее время разработано множество приближенных методов расчета: метод конечных элементов, метод конечных разностей и другие.

Требования к методам расчета состоят в снижении трудоемкости расчетов при сохранении достаточной точности получаемых результатов.

Как известно, задача исследования и расчета железобетонных конструкций прежде всего начинается с формирования расчетной модели, и от того насколько правильно выбрана расчетная модель зависят результаты расчета. Поэтому совершенствование методов расчета, которые учитывают конструктивные особенности исследуемого объекта, является актуальной задачей.

В данной работе развит метод сосредоточенных деформаций (МСД) применительно к расчету изгибаемых плит. Идея метода сосредоточенных деформаций была изложена в работах [2,3]. Дальнейшее развитие этого метода изложено в работах [4]. Главная особенность метода сосредоточенных деформаций заключается в том, что он позволяет учитывать податливость реальных связей в дискретной модели исследуемого объекта.

Сущность МСД сводится к преобразованию дифференциальных уравнений, описывающих поведение искомой функции внутри и на границе области, в систему алгебраических уравнений. Идея метода состоит в сосредоточении деформаций конечных элементов на их гранях и вычислении внутренних усилий по контурам и внутри области. Метод сосредоточенных деформаций, который реализован на примере расчета пластины, позволяет учитывать её конструктивные особенности.

Метод исследования

В данной работе в качестве метода исследования используется численный метод – метод сосредоточенных деформаций. Рассматриваемая прямоугольная пластина разбивается на конечные элементы размерами $a_k \times b_k$, $k = 1, 2, \ldots, n$, где при равномерной разбивке $a_k = a / n_x$, $b_k = b / n_y$, n_x, n_y – число элементов по направлениям осей x и y соответственно, $n = n_x \cdot n_y$ -общее число конечных элементов. Рассматриваемые конечные элементы считаются абсолютно жесткими, а их собственные деформации при изгибе, кручении и сдвиге сосредотачиваются по границам между ними введением фиктивных связей соответствующего типа. Узлы, в которых сосредоточены деформации изгиба, кручения и сдвига, располагаются посередине граней элементов. Следующую группу узлов составляют узлы, расположенные в центре элементов, в которых накладываются по три связи,

препятствующие их линейным перемещениям по оси Z и поворотам вокруг осей x и y. В эти же узлы будут приложены внешние сосредоточенные силы и моменты.

Вектор внешних сил для каждого элемента состоит из трех составляющих:

$$\mathbf{P}_k = \left(M_{xk}\, M_{yk}\, P_{zk}\right)^T,$$

где M_{xk}, M_{yk}, P_{zk} - заданные сосредоточенные изгибающие моменты и вертикальная сила.

Уравнения равновесия k-го элемента, которые выражают равенство нулю суммарного момента всех сил вокруг осей $x, y,$ проходящих по центру элемента и сумму проекций всех сил на ось $z,$ можно представить в матричной форме

$$\mathbf{A}_k \mathbf{S}_k + \mathbf{P}_k = 0, \tag{1}$$

где матрица коэффициентов $\mathbf{A}_k$, вектор внутренних усилий $\mathbf{S}_k$, вектор внешних сил $\mathbf{P}_k$ записываются в виде

$$\mathbf{A}_k = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -b_k/2 & -1 & 0 & -b_k/2 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & a_k/2 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & a_k/2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{S}_k = \left(M_{k,k-1} H_{k,k-1} Q_{k,k-1} \middle| M_{k,k+m} H_{k,k+m} Q_{k,k+m} \middle| \right.$$
$$\left. \middle| M_{k,k-m}\, H_{k,k-m} Q_{k,k-m} \middle| M_{k,k+1} H_{k,k+1} Q_{k,k+1}\right)^{\mathrm{T}},$$

$$\mathbf{P}_k = \left(-M_{x,k} M_{y,k} P_z\right)^{\mathrm{T}}.$$

Записав уравнения равновесия k-го элемента типа для всех конечных элементов, получим систему из $3n$ уравнений с $3m$ неизвестными внутренними усилиями, где $m = 2n + n_x + n_y$, $m > n$, то есть мы имеем статически неопределимую систему. Это система уравнений, которая выражает связь между внутренними и внешними силами, представляется в матричной форме

$$\mathbf{AS} + \mathbf{P} = 0 \tag{1,a}$$

где $\mathbf{A}$ – прямоугольная матрица коэффициентов размера $3n \times 3m$;

$\mathbf{P}$ – вектор внешних размеров $3n$;

$\mathbf{S}$ – вектор внутренних сил размера $3m$.

Система уравнений, которая выражает связь между перемещениями пластины и деформациями ее элементов, записывается в виде матричного уравнения [3]

$$\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{W} + \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{0}, \tag{2}$$

где $\mathbf{A}^{\mathrm{T}}$ – матрица размера $3m \times 3n$, взаимно транспонированная с матрицей $\mathbf{A}$. Векторы перемещений и деформаций состоят из $3n$ элементов

$$\mathbf{W} = \left(\varphi_{x1}\varphi_{x1} w_1 \middle| \varphi_{x2}\varphi_{x2} w_2 \middle| \cdots \middle| \varphi_{xn}\varphi_{xn} w_n\right)^T,$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \left(\lambda_{x1}\, \lambda_{y1}\, \Delta_1 \middle| \lambda_{x2}\lambda_{y2}\Delta_2 \middle| \cdots \middle| \lambda_{xn}\lambda_{yn}\Delta_n\right)^T.$$

Зависимость вектора внутренних сил от вектора деформаций выражается формулой [3]

$$\mathbf{S} = \mathbf{C}\boldsymbol{\lambda}. \tag{3}$$

Из (1,а) с учетом (3) и (2) получаем зависимость между вектором внешних сил и $3n$- мерным вектором перемещений

$$\mathbf{P} = \mathbf{ACA}^{\mathrm{T}}\mathbf{W} = \mathbf{KW}, \tag{4}$$

где $\mathbf{K} = \mathbf{ACA}^{\mathrm{T}}$ – квадратная матрица внешней жесткости $3n$- го порядка.

Моделирование задачи сводится к решению системы алгебраических уравнений (4), которая представляется в виде

$$\mathbf{K}\,\mathbf{W}=\mathbf{P}. \tag{5}$$

Из решения уравнения (5) определяется вектор перемещений, а затем из (2) и (3) последовательно вычисляются векторы деформаций и внутренних усилий.

С целью вычисления перемещений и усилий в контрольных точках пластины используется экстраполяция. Для этого применяется квадратичная аппроксимация. На рисунке 1 показана разбивка пластины на конечные элементы МСД и указаны соответствующие сечения для определения перемещения и внутренних усилий в её центре.

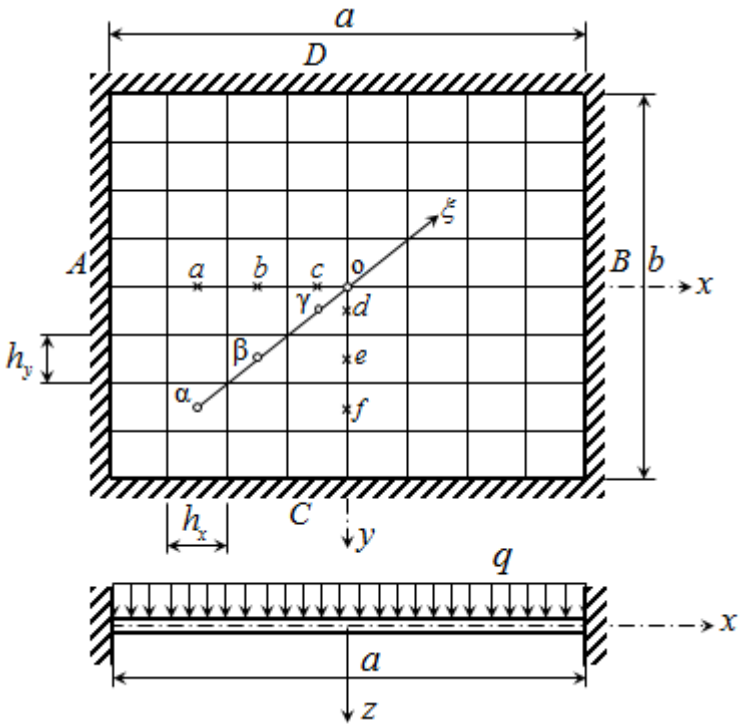


Рисунок 1 - Определение перемещений и внутренних усилий в конечных элементах

Проведя вдоль оси ξ через точки α,β,γ (рисунок 1) квадратную параболу [5]

$$w(\xi)=a_0+a_1\xi+a_2\xi^2, \tag{6}$$

получим: $\xi=0,\quad w=w_m,\quad a_0=w_m,$

$$\xi=\Delta\xi,\quad w=w_\beta,\quad w_\beta=w_\alpha+a_1\Delta\xi+a_2\Delta\xi^2, \tag{7}$$

$$\xi=2\Delta\xi,\quad w=w_\gamma,\quad w_\gamma=w_\alpha+2a_1\Delta\xi+4a_2\Delta\xi^2. \tag{8}$$

Из совместного решения (6,7) и (8) находим

$$a_1=(-3w_\alpha+4w_\beta-w_\gamma)/2\Delta\xi,\quad a_2=(w_\alpha-2w_\beta+w_\gamma)/2\Delta\xi^2.$$

С учетом найденных значений коэффициентов a_0, a_1 и a_2 вектор перемещений (6) представляется в виде

$$w(\xi)=w_\alpha+\frac{-3w_\alpha+4w_\beta-w_\gamma}{2\Delta\xi}\xi+\frac{w_\alpha+2w_\beta-w_\gamma}{2\Delta\xi^2}\xi^2, \tag{9}$$

откуда при $\xi=2{,}5\Delta\xi$ получаем

$$w_o=w_\alpha+\frac{-3w_\alpha+4w_\beta-w_\gamma}{2\Delta\xi}\frac{5}{2}\Delta\xi+\frac{w_\alpha+2w_\beta-w_\gamma}{2\Delta\xi^2}\frac{25}{4}\xi^2=$$

$$=(15w_\gamma-10w_\beta+3w_\alpha)/8\cdot$$

По формуле (9) определяются прогибы и в других точках, обозначенных крестиком, а также в точках контура пластины.

Результаты исследования и обсуждения

Алгоритм расчета реализован на примере квадратной пластинки с защемленными краями. В таблице прогиб в центре пластины, полученный при различных разбиениях, сравнивается с точным решением. Из таблицы следует, что с уменьшением шага сетки решение приближается к точному решению. При этом наблюдается сходимость результатов, что подтверждает их достоверность.

Таблица - Сопоставление результатов численного решения с точным решением

Прогиб	Численное решение по МСД при чётных разбиениях пластинки				Точное решение
	20 x 20	22 x 22	24 x 24	26 x 26	
$w_0 D/q_0 a^4$	0,001342	0,001338	0,001321	0,001302	0,00126
Погрешность %	6,11	5,83	4,62	3,22	

С целью наглядности на рисунке 2 приведены графики изменения прогиба. Прогибы соответствуют точкам в центре элементов.

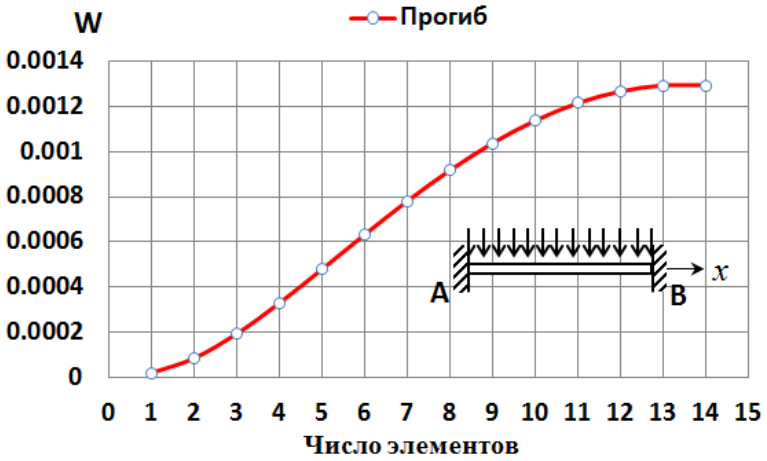


Рисунок 2 - Графики изменения прогиба по линии АВ

Вывод

Разработанные алгоритм и компьютерные программы на основе метода сосредоточенных деформаций дают возможность проводить исследования напряженно–деформированного состояния плит от воздействия различных нагрузок.

Рецензент: Сангинов А.М. — к.т.н., ведущий научный сотрудник Лаборатории сейсмостойкого строительства зданий и сооружений Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ

Литература

1. Каландарбеков И. Развитие метода сосредоточенных деформаций применительно к расчетам конструкций с учетом податливости соединений. дис. … док. тех. наук: строительная механика - Москва, 2009, 435 с.
2. Ржаницын А.Р. Расчет сплошных конструкций методом упругих сосредоточенных деформаций. Строительная механика и расчёт сооружений, 1980, №5, с. 15-20.
3. Ржаницын А.Р. Строительная механика. - М.: Высшая школа, 1991, 439 с.
4. Додонов М.И. Расчет изгибаемых пластин методом сосредоточенных деформаций. Строительная механика и расчёт сооружений, 1986, №2, с. 22-25.
5. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций. - Душанбе: «Дониш», 2015, 436 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Исвалиев Далерҷон Ҷурахонович	Исвалиев Далерджон Джурахонович	Isvaliev Dalerjon Djurakhonovich
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
disvaliev@mail.ru		

УДК 624

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ БЕТОНА МОДЕЛЕЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

О.Р. Нуманов, Т.С. Сафаров, У.Р.Тешаев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Применяемые типовые плоскостные железобетонные покрытия тормозят строительство зданий и сооружений с крупной сеткой колонн вследствие того, что с увеличением пролётов их масса и соответственно расход бетона и стали, а также их стоимость возрастают. Если вместо плоскостных применять пространственные конструкции, например, тонкостенные пологие оболочки, то расход материалов уменьшается в пределах 15-20%, это влияет на лёгкость конструкции, что играет немаловажное значение для строительства в сейсмических районах. Кроме этого, в плоскостных покрытиях материал работает в основном на изгиб, являясь нагрузкой для нижележащего, а в пространственных конструкциях благодаря их кривизне материал используется эффективнее, и они работают как на сжатие, так и на растяжение, и поэтому нагрузка воспринимается всей конструкцией, а не отдельными её элементами. Все это создаёт дополнительные резервы в строительстве и обеспечивает экономию трудовых затрат и капитальных вложений и отвечает основным направлениям развития современной строительной индустрии. Изложенное относится не только к промышленным, транспортным и сельскохозяйственным зданиям и сооружениям, но и к общественным: спортивным, зрелищным, торговым и другим, где пространственные конструкции, особенно пологие оболочки, позволяют без больших затрат перекрывать большие пролёты, а также своими видами дают сооружению архитектурную выразительность. Основной принцип при выборе типа покрытия — это сочетание технической и экономической целесообразности. Будущие здания и сооружения должны не только отвечать предъявляемым к ним техническим, технологическим и архитектурным требованиям, но и быть экономичными. При рассмотрении геометрии тонкостенной оболочки будем иметь в виду геометрию её срединной поверхности, т.е. поверхности проходящей через середину её толщины. В статье приведены результаты геодезической исполнительной съёмки моделей неразрезных пологих оболочек положительной гауссовой кривизны. В качестве прибора использован тахеометр SOKKIA. Произведено сравнение толщины оболочек с помощью тахеометра и сверление поле оболочек.

Ключевые слова: *толщина бетона, неразрезность, пологая оболочка, исполнительная съёмка, опалубка.*

МУАЙЯН КАРДАНИ ҒАФСИИ БЕТОНИ МОДЕЛҲОИ БУРИДАНАШУДАИ ҶИЛДҲОИ МОИЛ

О. Р. Нуманов, Т. С. Сафаров, У. Р. Тешаев

Истифодабарии конструксияҳои болопӯши якхелаи ҳамвори оҳанубетонӣ сохтмони биноҳо ва иншоотро бо сеткаи калони сутунҳо бозмедорад, зеро бо афзоиши сохти равоқҳо вазни онҳо ва мувофиқан истифодаи бетон ва пӯлод, инчунин арзиши онҳо меафзояд. Агар ба ҷои сохтҳои ҳамвор сохторҳои фазоӣ, масалан, ҷилдҳои тунук истифода шаванд, пас сарфаи маводҳо дар доираи 15-20% коҳиш меебад, ин ба сабукии сохт таъсир мерасонад, ки барои сохтмон дар минтақаҳои сейсмикӣ аҳамияти калон дорад. Ғайр аз ин, дар болопӯшҳои ҳамвор мавод асосан дар фишуриш кор мекунад, ки борро ба зер медиҳад, дар сохтҳои фазоӣ бошад бо сабаби каҷшавӣ доштаи онҳо мавод самараноктар истифода мешавад ва онҳо ҳам ба фишор ва ҳам ба дарозкунӣ кор мекунанд ва аз ин рӯ бори онҳоро тамоми сохт ва унсурҳои алоҳидаи он қабул мекунад. Ҳамаи ин дар сохтмон захираҳои иловагӣ эҷод мекунад ва сарфаи хароҷоти меҳнатӣ ва сармоягузории асосиро таъмин мекунад ва ба самтҳои асосии рушди саноати муосири сохтмон ҷавобгӯ аст. Инҳо на танҳо ба биноҳо ва иншооти саноатӣ, нақлиетӣ ва кишоварзӣ, балки ба биноҳои ҷамъиятӣ низ дахл доранд: ба монанди варзишӣ, тамошобоб, тиҷоратӣ ва ғайра, ки дар он сохтҳои фазоӣ махсусан ҷилдҳои тунук имкон медиҳанд, ки бе хароҷоти зиёд равоқҳои калонро пӯшонанд ва инчунин бо намуди худ ба иншоот намуди хуби меъморӣ медиҳанд. Принсипи асосӣ ҳангоми интихоби намуди болопӯш маҷмӯи мақсаднокии техникӣ ва иқтисодӣ мебошад. Ояндаи бино ва иншоот бояд на танҳо ба талаботи техникӣ, технологӣ ва меъмории ба он пешниҳодшуда ҷавобгӯ бошад, балки аз ҷиҳати иқтисодӣ камхарҷ бошад. Ҳангоми баррасии геометрияи қабати ҷилдҳои тунук, мо геометрияи сатҳи миенаи онро, яъне сатҳи ғафсии миёнаи гузаштаи онро дар назар дорем. Дар мақола натиҷаҳои ҳисобкунии ичроияи геодезии моделҳои буриданашудаи ҷилҳои моили гауссии мусбат оварда шудаанд. Тахеометри SOKKIA ҳамчун асбоб истифода шудааст. Муқоисаи ғафсии ҷилдҳои тунук бо ёрии тахеометр ва пармакунии майдони ҷилдҳо анҷом дода шудааст.

Калидвожаҳо: *ғафсии бетон, буриданашуда, ҷилди моил, наворбардории ичроия, қолаб.*

DEFINITION OF CONTINUOUS CONCRETE MODELS ONLY THE CANOPY OF SHELLS

R. Numanov, T.S. Safarov, U.R.Teshaev

The standard planar reinforced concrete coatings used slow down the construction of buildings and structures with a large grid of columns due to the fact that with increasing spans their mass and, accordingly, the consumption of concrete and steel, as well as their cost, increase. If spatial structures are used instead of planar ones, for example thin-walled flat shells, then material consumption decreases within 15-20%, this affects the lightness of the structure, which plays an important role for construction in seismic areas. In addition, in planar coatings, the material works mainly for bending, being a load for the underlying, and in spatial structures, due to their curvatures, the material is used more efficiently, and they work both for compression and tension, and therefore the load is perceived by the entire structure, and not by its individual elements. All this creates additional reserves in construction and provides savings in labor costs and capital investments and meets the main directions of development of the modern construction industry. The above applies not only to industrial, transport and agricultural buildings and structures, but also to public ones: sports, entertainment, shopping and others, where spatial structures, especially flat shells, make it possible to cover large spans without great expense, and also give the structure architectural expressiveness with their views. The main principle when choosing the type of coating is a combination of technical and economic feasibility. The future of a building and structure must not only meet the technical, technological and architectural requirements imposed on it, but also be economical. When considering the geometry of a thin-walled shell, we will keep in mind the geometry of its median surface, i.e. the surface passing through the middle of its thickness. The article presents the results of geodetic executive survey of models of continuous flat shells of positive Gaussian curvature. The SOKKIA total station is used as a device. The thickness of the shells was compared using a total station and the field of the shells was drilled.

Keywords: *concrete thickness, incision, flat shell, executive survey, formwork.*

Введение

Железобетонные пологие оболочки положительной гауссовой кривизны широко применяются в качестве покрытия как в гражданском, так и в промышленном строительстве. Конструктивные особенности и область применения неразрезных пологих оболочек приведены в работе [1].

Для проведения статических и динамических испытаний и определения их параметров необходимо изготовить модели неразрезных пологих оболочек. Толщина моделей неразрезных оболочек играет важную роль при определении динамических параметров пространственной конструкции [2].

Ведущими специалистами стран СНГ выпущено очень много технической литературы по дисциплинам «Геодезия», «Инженерная геодезия», а также специальные литературы, как современная геодезическая техника и ее применение и др., которые необходимы для инженеров-строителей [3-11].

Рисунок 1 – Момент съёмки с помощью тахеометра SOKKIA

Для изготовления трёх моделей неразрезных пологих оболочек были изготовлены три деревянные опалубки. Размеры каждой модели оболочки 2,4х2,4 м в плане (рисунок 1).

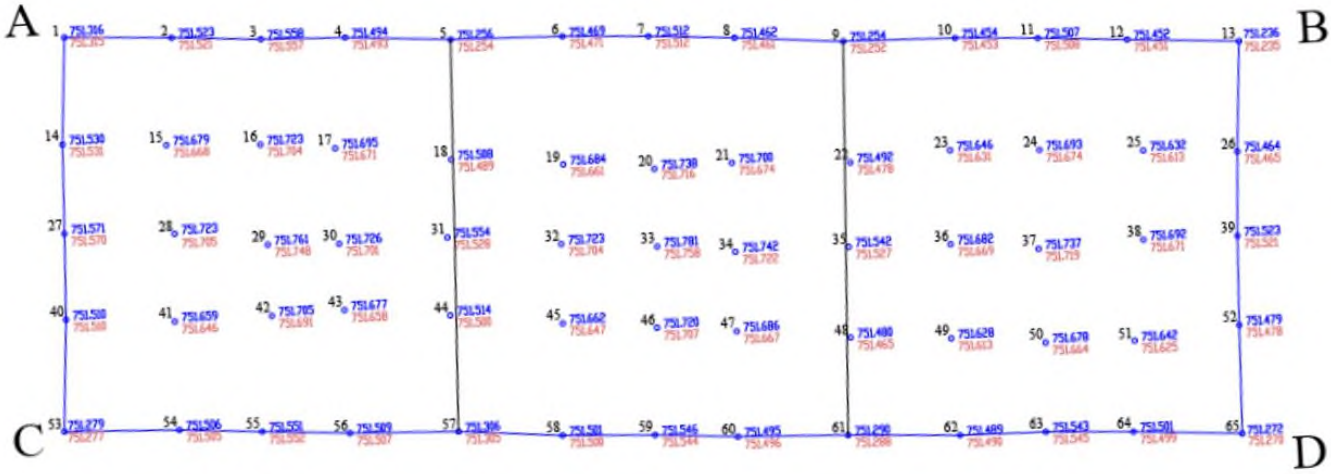


Рисунок 2 – Первоначальные и исполнительные съёмки поля оболочек

Используя результаты первоначальных и исполнительных съёмок поля оболочек, определяем среднюю толщину оболочек:

-52,11:3=17,37 мм средняя толщина бетона поля оболочки;

-20,3 мм - средняя толщина бетона приконтурной полосы оболочки;

-27,8 мм - средняя толщина бетона углов оболочки.

Отметки обреза фундаментов и высота головки колонн. Высота колонны А равна 1230 мм, а В равна 1243 мм. Высота колонны С равна 1224 мм, а D равна 1258 мм.

Стрела подъёма фермы-диафрагмы в первой оболочке 318 мм, в средней 310 мм, а в третьей составляет 317 мм.

Стрела подъёма фермы-диафрагмы в первой оболочке 320 мм, в средней 310 мм, а в третьей составляет 324 мм.

Максимальные точки середины каждой модели оболочки находятся в пределах 751.761-для первой модели, 751.781–для средней модели и 751.737-для третьей модели оболочки, толщина оболочек составляет 13, 18 и 23 мм. После завершения экспериментальных испытаний произвели разгрузку

физической модели неразрезных оболочек. Для определения толщины бетона с помощью электродрели просверлили (диаметр сверло 5 мм) 3 оболочки в 51 месте.

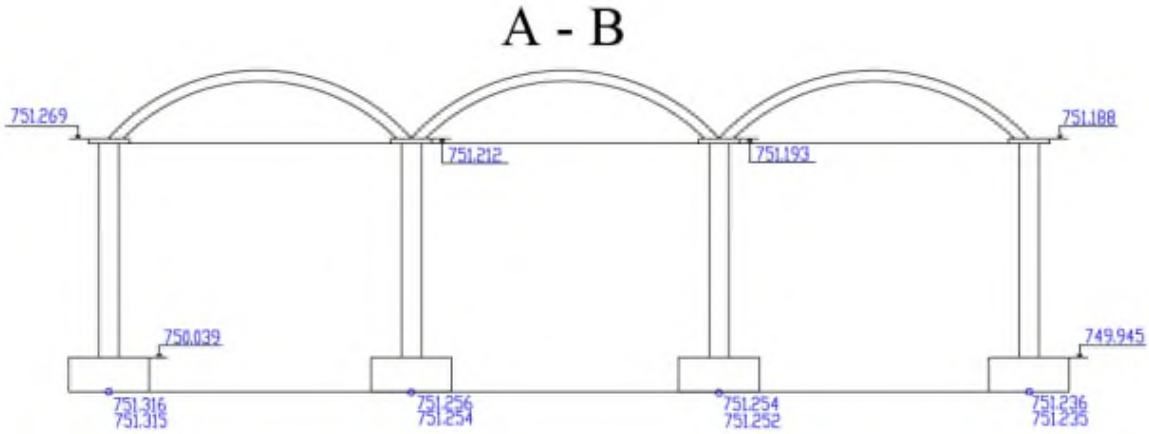


Рисунок 3 – Отметки у обреза фундаментов и верха колонны по направлению А-В

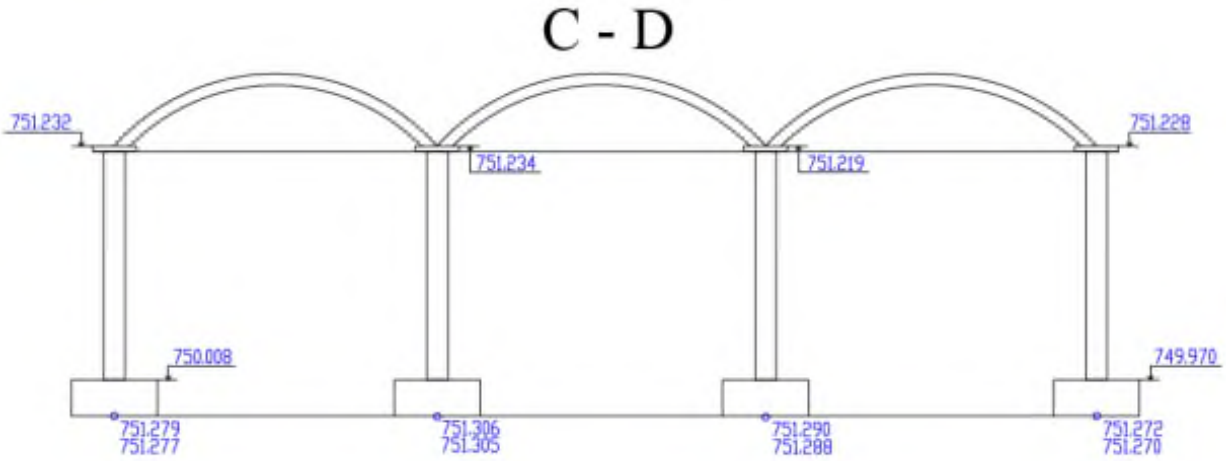


Рисунок 4 – Отметки у обреза фундаментов и верха колонны по направлению С-D

Если сравнить толщину середины каждого поля оболочки в 9 точках с помощью тахеометра SOKKIA и просверленных отверстий, то получим следующие средние толщины оболочек. Для оболочки 1, 2 и 3 соответственно 16,87, 18,89 и 17,33 мм по тахеометру SOKKIA, а по отверстиям соответственно 22,22, 17,67 и 16,89 мм, а среднее значение соответственно 17,67 и 18,93 мм, то есть разница составляет всего 9,3%.

Учитывая вышеуказанное в дальнейшем, можно приступить непосредственно к проведению экспериментальных исследований физической модели неразрезных оболочек.

Вывод

1. Толщина оболочек по данным тахеометра находятся в пределах:

-17,37 мм средняя толщина бетона поля оболочки;

-20,3 мм - средняя толщина бетона приконтурной полосы оболочки;

-27,8 мм - средняя толщина бетона углов оболочки.

2. Толщина середины поля для оболочки 1, 2 и 3 соответственно 16,78, 18,89 и 17,33 мм по тахеометру SOKKIA, а по отверстиям соответственно 22,22, 17,67 и 16,89 мм, а среднее значение соответственно 17,67 и 18,93 мм, то есть разница составляет всего 9,3%.

3. Стрела подъёма фермы-диафрагмы в первой оболочке 318 мм, в средней 310 мм, а в третьей составляет 317 мм, а стрела подъёма фермы-диафрагмы в первой оболочке 320 мм, в средней 310 мм, а в третьей составляет 324 мм.

Рецензент: Абдуллоев И. — к.т.н., доцент, ведущий специалист Государственное унитарное предприятие Научно-исследовательски институт «Строительство и архитектура»

Литература

1. О.Р. Нуманов. Конструктивные особенности и область применения неразрезных пологих оболочек. /Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. ТТУ №4 (56) – 2021.- с. 147-151.

2. Р.А. Шакирзянов, Ф.Р. Шакирзянов. Динамика и устойчивость сооружений. Учебное пособие. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Казань 2015 г.-120 стр.

3. Инженерная геодезия: Учебник для вузов / Е.Б. Клюшин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман; Под ред. Д.Ш. Михелева. – 4-е изд., испр. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.

4. Инженерная геодезия: Учебник / Г.А. Федотов. – 2-е изд., исправл. – М.: Высшая шк., 2004. – 463 с.: ил.

5. Перфилов В.Ф. Геодезия: Учеб. для вузов/ В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. шк., 2008. – 350 с. : ил.

6. Поклад Г.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – 2-е изд. – М.: Академический проект, 2008. – 592 с.

7. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение: Учебное пособие для вузов – Изд. 2-е. – М.: Академический проект, 2008. – 591 с.

8. Куштин И.Ф., Куштин В.И. Инженерная геодезия. Учебник. Ростов-на-Дону: Издательство ФЕНИКС, 2002. – 416 с.

9. Инженерная геодезия. Геодезические задачи и полевые работы: Учеб. пособие / Н.Н. Загрядская, Е.Б. Михаленко, Н.Д. Беляев и др. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 192 с.

10. Инженерная геодезия. Геодезические разбивочные работы /Учеб. пособие/ Е.Б. Михаленко, Н.Д. Беляев, В.В. Вилькевич, Н.Н. Загрядская, А.А. Смирнов. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 50 с.

11. Инженерная геодезия. Решение инженерных задач на планах и картах: Учеб. пособие / Н.Д. Беляев, Ф.Н. Духовской, Н.Н. Загрядская, Е.Б. Михаленко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 66 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Нуманов Олим Раҳимович	Нуманов Олим Рахимович	Numanov Olim Rahimovich
Н.и.техникӣ, дотсент	К.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciencts, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi
e-mail: nor5@mail.ru		
TJ	RU	EN
Сафаров Тағоймурод Сангимуродович	Сафаров Тагоймурод Сангимуродович	Safarov Tagoymurod Sangimurodovich
муаллими калон	старший преподаватель	senior teacher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi
e-mail: tagay84@mail.ru		
TJ	RU	EN
Тешаев Умарҷон Риёзидинович	Тешаев Умарджон Риёзидинович	Teshaev Umardzhon Riyozidinovich
Н.и.техникӣ	К.т.н.	Candidate of Technical Sciencts
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi
umar.teshaev@mail.ru		

УДК 72.036 (575.3)

НАҚШИ АНЪАНАҲОИ МЕЪМОРИИ ХАЛҚӢ ДАР РУШДИ ШАҲРАКҲОИ БОСТОНӢ

Р.Ш. Зокиров

Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Ба назар гирифтани хусусиятҳои иҷтимоию демографии аҳолии шаҳрҳои хурд вобаста ба омилҳои сохтории оила, таркиб, тарзи зиндагӣ ва тамоюли тағйироти минбаъдаи онҳо бояд талаботи асосӣ ҳангоми ташкили манзили мувофиқ ва мусоид барои ин оилаҳо бошад. Омӯзиши омилҳои иҷтимоию демографии аҳолии шаҳракҳои бостонӣ, алалхусус вижагиҳои зисту зиндагӣ ва фаъолияти оилаҳои серфарзанд, оилаҳои мураккаби 2-3 насл ва ташаккули оилаҳои мураккаб дар шароити Тоҷикистон яке аз роҳҳои муайян намудани маҷмуаи хусусиятҳои хоси ташаккули манзилидорои хоси дугонаи деҳот ва шаҳр ва ба ҳалли меъморию тарҳрезии манзил мувофиқ будани ин оилаҳо дар мақола мавриди баррасӣ қарор гирифтааст.

Калидвожаҳо: *меъмории халқӣ, манзили истиқоматӣ, демография, оилаҳои мураккаб, шаҳрҳои хурд, фарҳанги бостонӣ, анъана.*

РОЛЬ НАРОДНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ТРАДИЦИЙ В РАЗВИТИИ ДРЕВНИХ ГОРОДКОВ

Р. Ш. Зокиров

Учет социальных и демографических особенностей населения малых городов в зависимости от особенностей семейной структуры, состава, образа жизни и тенденции их дальнейших изменений должен быть основным требованием при создании подходящего и благоприятного жилья для этих семей. Изучение социальных и демографических факторов населения древних поселений, в частности, особенностей жизни и деятельности многодетных семей, сложных семей 2-3 поколений и формирования сложных семей в Таджикистане является одним из способов определения В статье рассматривается совокупность особенностей формирования жилья с двойственными характеристиками сельской и городской местности и решения архитектуры и дизайна жилья.

Ключевые слова: *народная архитектура, жилище, демография, сложные семьи, малые города, древняя культура, традиция.*

THE ROLE OF FOLK ARCHITECTURAL TRADITIONS IN THE DEVELOPMENT OF THE ANCIENT TOWNS

R. Sh. Zokirov

Taking into account the social and demographic characteristics of the population of small towns, depending on the characteristics of the family structure, composition, lifestyle and the tendency of their further changes, should be the main requirement when creating suitable and favorable housing for these families. The study of social and demographic factors of the population of ancient settlements, in particular, the features of life and activities of large families, complex families of 2-3 generations and the formation of complex families in Tajikistan is one of the ways to determine the set of characteristics of the formation of housing with the dual characteristics of rural and urban areas and the solution of architecture and design of housing. existence of these families is discussed in the article.

Keywords: *folk architecture, dwelling, demography, complex families, small towns, ancient culture, tradition.*

Муқаддима

Таҳияи тарҳ ва бунёди манзилхои инфиродии истиқоматӣ дар ҳама давру замон аз масъалаҳои вижаи илми меъморӣ маҳсуб меёбад. Он хусусияти минтақавиро ба он ҷиҳат ба худ касб намудааст, ки омилҳои табиию иқлимӣ бо анъанаҳои фарҳангии ҳар миллат мебояд ҳамоҳанг бошанд. Таҳқиқи манзил ҳам аз лиҳози сотсиологӣ ва ҳам иқтисодӣ ба сатҳи рушди ҷомеа ва инкишофи технологияҳои муосир алоқаманд мебошад. Лекин омӯзиш ва ҳифзи мероси фарҳангии моддӣ, махсусан манзили истиқоматии инфиродӣ аз масоили мубрами илми таърих ва назарияи меъморист. Ҳадафи таҳқиқот баррасии анъанаҳои асили таърихӣ дар самти лоиҳакашӣ ва бунёди манзилҳои халқӣ дар мисоли шаҳракҳои бостонии Шимоли Тоҷикистон, мисли Хуҷанд, Гулистон, Исфара, Конибодом, Ғончӣ, Шайдон ва амсоли онҳо маҳсуб меёбад, ки ҳар минтақа вижагиҳои хоси худро дар зовияи таърих ҳифз намудааст.

Маводҳо ва методҳо

Муаллиф дар асоси таҳлили ҳолати имрӯзаи иншооти мардумии минтақаҳои таърихии шаҳракҳо, суҳбат бо ашхоси солхӯрда, ҳофизаи таърихӣ ва шоҳиди бевоситаи бунёди манзилҳои анъанавӣ буданд ва омӯзиши сарчашмаҳои илмии муҳаққиқони Экспедитсияи бостоншиносии Русия дар солҳои 20-уми асри гузашта усули таҳқиқотро муайян намудааст.

Масолеҳи асосии сохтмони манзии истиқоматӣ то ибтидои асри ХХ дар манотики Хуҷанд ва атрофи он чӯбҳои дарахтони сафедор, гилхок, гач ва санг ба ҳисоб мерафт. Молики манзил ба устои иморатсоз-харрот, муйсафедон, ҳамсояҳо маслиҳат намуда, ҷои иморатро интихоб ва мувофиқа менамуданд. Харрот бо гунё ростию каҷии минтақаи иморатро муайян менамуд ва бо *реҷаресмон* кунҷҳои катории қутри биноро дақиқ мувозӣ менамуд. Сипас бо мақсади ташаккули ҳамвории нисбӣ ҷойҳои баландро тарошида, ба мавзеи қитъаҳои паст *шибба* карда, ҳудуди иморати бунёдшавандаро омода (ҳамвор) менамуданд.

Бо кӯбакчӯби сахти вазнин мавзеи асос ва таҳкурсиро ҳамвор намуда, он дар натиҷаи сангчинӣ, истифодаи чӯбҳои арча бо усулҳои хоси мустаҳкамкунӣ, ки *тароқбандӣ* ном дошт, бунёд мегашт. Омилҳои ба зилзила тобовар гаштани биноро тагсинҷ, бурё, гӯша, чаҳоргӯша, равоқ, болосинҷ ва сутунҳо таъмин менамуданд.

Тавассути *ҳашар*, ки дар он хешу пайвандон, ҳаққу ҳамсояҳо, ҳамммаҳалла ва ҳамгузарҳо иштирок намуда, кулӯхдеворҳо бардошта, онҳоро бо *коҳгили* даҷал *хомлой* мекарданд. Лойи хом якҷоя бо *кулӯхдеворҳо, синҷҳо, равоқҳо* ва сутунҳо мустаҳкамии иморатро таъмин менамуданд.

Пас аз он маъракаи муҳимми болорбардорӣ барпо мегашт. Мувофикан ба сатҳу фазо ва ҳаҷми ҳуҷра шумораи болорҳо муқаррар ва мавриди истифода қарор мегирифт. Одатан болори ҳуҷраҳо мувофиқ бо шумораи тоқ, мисли ҳафт, нуҳ, ёздаҳ, сенздаҳ ададӣ гузошта мешуд. Баъдан харрот бо шогирдонаш ҷузъҳои *сақф: арақа, қабза, фурӯмон*, *ҳошия вассаҳо*ро бо тартиби муайян чида ҷобаҷо менамуданд. Пас аз он ҷузъҳоро ба рӯи болорҳо бароварда, васлу насб менамуданд.

Пайвасти сақф бо болорҳо, сутунҳо, синҷҳо бидуни истифода мех амалӣ мегардид ва ин ҷараёни бағоят муҳими корро харротҳо «қулфу калиди иморат» меномиданд. Равоқи байни болорҳо одатан яклухт ва ё қисман бо вассаҳо пӯшида мешуд. Ҳолати яклухти ҷузъҳоро вассаҷуфт ва омехтаи вассаю бӯрёро *вассабӯрё* меномиданд.

Ашхоси сарватманд сақфи иморати худро бо ҳавсалаи том *кандакорӣ, нақкошӣ, оинакорӣ, гачкорӣ ва ҳавзак* зебу зиннат медоданд. Пас аз ҷобаҷо намудани сақфи хона бардоштани кулӯхдеворро ба итмом мерасониданд ва ин ҷузъи иморат *сардеворӣ* ном дошт.

Пас болои вассаҷуфт ва ё *вассабурё* навъи махсуси *бӯрё* (ё худ най) ва аз болои он *пахол(коҳ)* паҳн мекарданд. Ба рӯйи пахол лойи ба хок омехтаро бо номи *ғурагил* мепартофтанд ва алоҳида аз рӯйи он хок мекашиданд. Тамоми рӯйи бомро роҳи обҳои борону барф, тарновҳоро ба назар гирифта, болои омехтаи коҳгил бо ҳавсалаи том меловиданд.

Бо шинонидани дару тиреза тобадон-панҷараи кандакоришудаи болои даромадгоҳ, ки аз он рӯшной ба хона медаромад, *дарпарда*-табақи тахтагини рӯйи тирезаҳо, дарича ва равзанаҳо эътибори калон медоданд.

Сипас деворҳои даруни манзилро бо лойи омехтаи коҳи маҳин пардоз медоданд. Мардуми доро барои пардоз *гачхок*ро истифода мебурданд. Дар деворҳои дохили хона *таҳмон*, таҳмончаҳо ва *нимаравзанаҳои меҳробӣ* ҷузъҳои муҳимми манзили истиқоматӣ маҳсуб меёфтанд.

Таҳмон дар миёнаҷои девор, *пешгоҳи манзил* барои гузоштани сандуқхо ва дар болои он гузоштани ҷиҳози рӯзгор ҷузъҳои муҳим ба ҳисоб мерафтанд. дар тахмончаҳо, ки одатан дар ду тарафи тахмон ҷой доштанд, воситаҳои маишию хоҷагӣ нигоҳ дошта мешуд.

Ток, ки буриши қисми поёнии деворро ишғол менамуд, барои гузоштани ҷиҳози ҳаҷман хурди таиноти рӯзмарраи рӯзгор истифода бурда мешуд.

Дар токчаҳо зарфҳои сафолӣ, чинӣ, мисин ва биринҷиро чида мемонанд. Инчунин аз рӯи анъана китобҳои муқаддасро боло аз ҳама ашё ҷой медоданд.

Дар хавлиҳои берун одамони мутаассиб хонаҳои махсуси *«меҳробдор»* бунёд менамуданд. Меҳроб дар девори самти ғарбии ҳуҷра бо усули кандакории рӯйи гаҷ кашида мешуд. Токчаҳои ин гуна манзилҳо болопӯшдор буда, ба сифати ороиш ва аз макрӯҳшавӣ эмин нигоҳ доштани зарфҳо хизмат мекарданд.

Ба фарши хона вобаста ба ҳолу вазъи оила бӯрё, ё худ пахол, аз болои онҳо *палос, гилем ё намад* паҳн менамуданд. Воситаи муҳимми гаркунии манзилҳо дар фасли зимистон сандалӣ маҳсуб меёфт.

Ҳуҷраи даромадгоҳи ҳавлиро бошад, даҳлез меномиданд. Даҳлез ҳатман оташдон, мӯрӣ ва ташновро дарбар мегирифт. Дар деворҳои даҳлез низ *ток ва токча* месохтанд. *Нондон*-сандуқи нон, хумҳо ва кӯзаҳои об, сатили болопӯшида, зарфҳои гуногуни рӯзғор дар даҳлез ҷой мегирифтанд.

Ҳуҷраҳои камоина ва аз тахта кунгурабандӣ кардашударо айвони тахтабанд ва сароинадорро айвони равон (дорои дарпарда) меномиданд. Дар меъмории халқии Шимоли Тоҷикистон хазинаи ҳавлиро *қазноқ* мегуфтанд. Ин яке аз усулҳои муайяннамуда барои минтақа маъмул буд.

Масъалагузориҳо

Имрӯз диди ҷомеа ба манзил комилан дигаргун гардидааст. Афзоиши ҳаҷм ва суръати сохтмони биноҳои истиқоматӣ дар Тоҷикистони Шимолӣ, махсусан дар шаҳрҳои хурд ба интихоби биноҳои муосир таваҷҷӯҳи ҷиддӣ медиҳад. Намудҳои биноҳои истиқоматӣ бо назардошти фароҳам овардани шароити мусоиди зист барои аҳолӣ ва мутобиқат ба талаботи замонавии санитарию гигиенӣ, экологӣ, меъморӣ ва бадеӣ мунтазам такмил дода мешавад [1].

Пас масоили таъмини манзил дар сохтмони манзили Тоҷикистон хануз хам масоили муҳимтарин бошад, дар давраи миёнамӯҳлат бояд дигаргуниҳои сифатӣ ва сохторӣ ба амал оянд. Аз ин рӯ, суоле ба миён меояд: сохтмони нави манзил дар шаҳрҳои хурди таърихии Тоҷикистон чӣ гуна ҷойгир хоҳад шуд, оё навъҳои биноҳои истиқоматӣ ба тамоми маҷмааи хусусиятҳои иқлимии ин минтақа, таркиби демографии аҳолӣ мувофиқат мекунанд? Ҳалли меъморӣ ва банақшагирии манзилҳо, биноҳои истиқоматӣ дар кадом конструксияҳо ва аз кадом масолеҳи бинокорӣ сохта мешаванд, миқдори ошёнаҳо, таҷҳизоти муҳандисӣ, дараҷаи обёрӣ ва ободонӣ ва ташаккули хонаҳое, ки дар солҳои наздик пешбинӣ карда шудаанд, навъҳои биноҳои истиқоматии дорои дурнамо, чӣ гунаанд? Ба назар гирифтани хусусиятҳои зисту зиндагӣ ва анъанаҳои миллӣ ва хусусиятҳои иқлимӣ хело муҳим мебошад.

Натиҷаҳо

Банақшагирии пояи моддию техникии сохтмони манзил, иқтисодиёт, тараққӣ додани индустрияи намунавии лоиҳакашии бинокорӣ ва умуман дараҷаи умумии рушди бемайлони хоҷагии манзил бештар ба ҳалли ин масъалаҳо вобаста аст.

Рушди сохтмони манзил дар ҳудуди ноҳияҳои ҷуғрофии Тоҷикистони Шимолӣ аҳамияти калон дорад, зеро шароити иқлимӣ ва ҷуғрофии минтақа ба тарҳи меъморӣ, банақшагирӣ ва конструктивии бинои истиқоматӣ таъсири назаррас мерасонад.

Ҳаҷми калони сохтмони манзил имрӯзҳо дар шаҳракҳои Ғончӣ, Меҳробод, Шайдон ва Навкат аз ҳисоби тараққиёти марказҳои иқтисодӣ ва азхудкунии сарватҳои зеризаминии кӯҳсор ба амал меояд.

Дар солҳои наздик дар раванди лоиҳакашӣ ва сохтмон ба намуд ва сохти биноҳои истиқоматӣ ва манзилҳо дигаргуниҳои калони сифатӣ, технологияи муосири соҳа (Расми 1) таъсир расонида истодааст. Лоиҳаҳои нави намунавии биноҳои истиқоматии дар ҳоли ҳозир амалкунанда ва дар сохтмон қабулшуда барои шароити сохтмони маҳаллӣ тарҳрезӣ шудаанд, ки ба имкониятҳои муосири рушдёфта, вазъи кунунии заминаи сохтмонӣ ва меъёрҳои мавҷудаи ҷойгиршавии фонди манзил нигаронида шудаанд, қадами аввалин ба навоварӣ дар сохтмони манзили муосир маҳсуб меёбад [2].

Расми 1 –Таҷдиди манзили анъанавӣ тавассути барнома (муаллиф)

Суръати баланди инкишофи пояи моддию техникии сохтмони манзил, ба вуҷуд овардани масолеҳи нави самарабахши деворию пардоздиҳӣ ва навъҳои навоваронаи таҷҳизот, васеъ намудани имкониятҳои иҷтимоию иқтисодии Тоҷикистони Шимолӣ мунтазам беҳтар намудани шароити манзилӣ ва зиёд кардани дараҷаи истиқомати фонди манзил — ҳамаи ин бо мақсади дар ояндаи дурнамо татбиқ намудани тарҳҳои нави банақшагирӣ ва лоиҳакашии хонаҳо ва манзилҳо заруратро ба миён меорад.

Кӯчонидани оилаҳои серфарзанд дар биноҳои истиқоматии серошёна низ масоили мубрами шаҳрҳои хурди муосир мебошад.

Ҳиссаи муайяни масоҳати қисмати азнавсозии шаҳракҳо (нисбатан 35-55%), аз қабили шаҳракҳои Бӯстон, Гулистон, Истиқлол ва Навкат барои биноҳои камошёна ҷудо шудааст. Пас дар давоми даҳ соли оянда ин маҳаллаҳо мувофиқи талабҳои иқтисодиёти шаҳрсозӣ метавонанд ба ҳудуди ғайриоқилона истифодашаванда ва пуррзиш барои азнавсозии минбаъдаи шаҳри хурд табдил ёбанд.

Ҳоло дар шаҳрҳои хурди Тоҷикистони Шимолӣ қисми зиёди сохтмони манзилҳо аз рӯи лоиҳаҳои инфиродии биноҳои камошёнаи истиқоматӣ аз тарафи устоҳои халқӣ ба ҷо оварда мешавад.

Муҳокима

Таҳқиқоти муаллиф нишон дод, ки ҳалли меъморию нақшакашии манзилҳои миёна ва баландошёна шароити табиию иқлимии маҳалро пурра инъикос намекунанд, ғайр аз ин, вижагии онҳо ба фоизи оилаҳои маҳаллаю мавзеъҳои аҳолинишин дар оянда ба онҳо мувофиқ нест, ки дар оянда метавонад боиси фарсудашавии маънавии фонди манзил гардад. Иқлим ва анъанаҳои бостонии мо ба ҳавлиҳои сарсабзу манзили камошёна (Расми 2) эҳтиёҷи бевосита дорад.

Хусусияти сохтори демографии аҳолии шаҳрҳои хурди минтақа афзоиши ҳиссаи оилаҳои серфарзанди 3-4 насл мебошад, ки бароҳатии хонагӣ дар шароити иқлими гарм мавҷудияти ҳавлӣ ё фазои калонро тақозо мекунад, ки мувофиқ бо манзилҳои истиқоматӣ алоқаманд аст. Хонаҳои истиқоматии барои оилаҳои мушаххасро, ки табиист, пурра дар манзилҳои биноҳои истиқоматии 3—4-ошёна таъмин кардан мумкин нест ва онҳо аз рӯи лоиҳаҳои намунавии серияҳои 134 ва 142 солҳои 60-уми асри XX сохта шудаанд[3].

Расми 2 – Азнавсозии манзили анъанавӣ. Исфара, 2023с. (акси муаллиф)

Ҳалли меъморӣ ва банақшагирии манзилҳои истиқоматӣ барои оилаҳои серфарзанд дар лоиҳаҳои таҷрибавии биноҳои истиқоматии 4 ва 5-ошёна, ки аз ҷониби ҶММ «Шаҳрофар» барои сохтмони оянда дар шаҳри Гулистон таҳия шудаанд, таваҷҷӯҳи хоса доранд. Аммо, мутобиқат ба равшанӣ ва аэратсияи хонаҳои бисёрҳуҷрагӣ бо биноҳои кунҷӣ, умқи калони умумии тобистон ва ҷойҳои зист дар онҳо мувофиқи мақсад нест.

Биноҳои истиқоматии 5-ошёнаи панелӣ (ҳангоми ба тарафи шимолии уфуқ нигаронидашуда боиси нокифоя таъмини равшанӣ шудани онҳо мегардад) шаҳодат медиҳад, ки мушкилот дар ҳалли меъморӣ ва нақшакашии манзилҳо як чизи мукаррарӣ шуда мондаанд. Бинобар ин пеш аз тартиб додани лоиҳаҳои намунавии биноҳои миёнаошёнаи истиқоматӣ барои сохтмони минбаъда, аз нуқтаи назари мо, ҷӯстуҷӯи шакли биноҳои камошёнаро васеътар вусъат додан лозим аст, ки ба мувофиқ будани зиндагии аҳолӣ дар шароити табиию иқлимии шаҳрҳои хурди Тоҷикистони Шимолӣ мувофиқ бошад.

Ҳалли меъморию тарҳрезӣ барои лоиҳаҳои биноҳои истиқоматии типӣ, бисёрошёна, ки барои бунёд дар шароити иқлими гарму хушки минтака қобили қабул аст, ба роҳ монда шавад. Бо ин мақсад камаш 50 фоиз зиёд кардани фоизи манзилҳои бисёрҳуҷрадорро тағйир додан лозим аст (ба истиснои ашхоси яккаю танҳое, ки бояд дар хонаҳои типи меҳмонхона ҷойгир карда шаванд) ҷойгир намудани аҳолӣ ба назар гирифта шавад.

Ҳалли меъморӣ, банақшагирӣ ва созандаи биноҳои истиқоматии замонавӣ, ки муаллиф тавсия кардааст, ба шароити табиию иқлимии маҳаллӣ ва анъанаҳои мусбати зиндагии аҳолии шаҳракҳои Истиқлолу Бӯстон ва истифодаи оқилонаи ҳудуди фонди пурарзиши истиқоматӣ дар як шаҳраки хурд мувофиқат мекунад.

Масоилҳои меъморию бадеии сохтмони манзил дар шаҳрҳои хурди Тоҷикистони Шимолӣ, махсусан, таърихӣ ба монанди Шайдон, Ғончӣ, Исфара ва Конибодом аз масоили ҳалнашудаи шаҳрсозӣ дар марҳалаи ҳозира мебошанд. Меъмории халқии (биноҳои истиқоматии инфиродии) шаҳрҳои хурди таърихӣ қариб дар ҳама ноҳияҳои Тоҷикистони Шимолӣ бо вижагиҳои хоси худ, маҳорати бадеӣ ва завқи худ дар интихоби маҳалли аҳолинишин, таркиби ҳаҷмию фазоӣ, пластикӣ ва ороиши биноҳо фарқ менамояд. Ҳоло бисёр шаҳракҳо бо роҳи ободонию кабудизоркунӣ, асфалтпӯш кардани кӯчаю роҳравҳо, вайрон кардани биноҳои фарсуда, айвонҳо ва деворҳои ҳавлиҳо симои худро натанҳо нигоҳ медоранд, балки беҳтар мекунанд. Хусусиятҳои муосири тамаддуни ҷаҳонӣ тадриҷан ба меъмории худи манзилҳо ворид мешаванд, ки онҳоро таҳиякунандагони алоҳида аз рӯи анъанаҳои таърихии ҳазорсола ва алоқаманд бо биноҳои мавҷуда бунёд намудаанд.

Атрофи хона низ тағйир меёбад: ҳаҷми қитъаҳои шахсӣ кам мешавад, саройхонаҳо аз байн мераванд, оғилхонаҳо барои чорво ва нигоҳдошти маҳсулоти кишварзӣ танзим мешаванд, дар баробари ин мошинсаройҳо барои нақлиёти шахсӣ торафт бештар пайдо мешаванд. Алоқамандӣ ба ранг дар коркарди тобишҳои контрастӣ ва гуногунҷанбаи намои манзилҳо, асосан дар ду ранг (сабз ва кабуд) зоҳир мешавад, ороиши мунаққаш ва дигар ҷузъҳои ороиширо ташаккул медиҳад.

Дар биноҳои алоҳидаи маҳаллаҳо ва шаҳракҳо рангубори якранг ва ду-рангаи деворҳоро бо хусусиятҳои миллии худ дидан мумкин аст, ки тахминан дар як самт иҷро карда мешавад [3].

Иддае аз тарроҳон ва бунёдгарон дар шаҳрҳои хурди Тоҷикистони Шимолӣ манзилҳоро хишт сохтанд, ки деворҳои онҳо бештар бо нақшу нигори ороишӣ аз хишти пӯхта ва гилу оҳак кашида шудаанд. Ҳамин тариқ, хусусиятҳои нав тадриҷан ба тасвирҳои барҷастаи манзили оммавӣ дохил мешаванд. Вазифаи меъмор аз он иборат аст, ки хусусиятҳои зиндагӣ дар манзили аҳолӣ, татбиқи дастовардҳои пешқадамро ба дараҷаи маҳорати касбии меъморӣ инкишоф дода, барои амалия дар мухити зисти шаҳри хурд дастрас гардонанд. Дар ҳақиқат, ба масъалаҳои симои бадеии муҳити зисти шаҳракҳои минтақа муддати зиёд эътибор дода намешуд.

Ҳангоми тарҳрезии нав ё азнавсозии маҳаллаҳо ва маҳаллаҳои таърихӣ, чун қоида, ҷузъҳои ташаккули симои меъмории шаҳри хурд (интихоби ҷойгиршавӣ, таркиби ҳаҷмӣ-фазоии он, навъҳои манзилҳо, анъанаҳои миллӣ, кабудизоркунӣ, шаклҳои хурд ва ғ.) ҳалли мақсаднок ва ба ҳамдигар мувофиқ кардашуда ба инобат нагирифтанд.

Аз ҷиҳати таркиб ривоҷу равнақ шаҳрҳои хурди Бустон, Гулистон ва Гафуров бо хонаҳои сексиявии 4—5-ошёна аз дигар шаҳракҳо беҳтар буд. Хонаҳои сексиявӣ, ки аз балконҳо маҳрум буданд, дар байни биноҳои пастошёнаи як шаҳраки хурдакак танҳо ба муҳити зист мувофиқат намекарданд. Вакте, ки бо хонаҳои сексиавии 4—5-ошёна (дар шаҳрҳои Ғончӣ, Шайдон ва Меҳробод) сохта шуданд, деҳа хусусияти деҳотии худро гум карданд; онҳо ба як маҳаллаи оддии шаҳрӣ табдил ёфта, бо намуди худ биноҳои хурди маркази ҷамъиятии деҳотро, ки дар наздикии он воқеъ гардидаанд, фаро гирифт.

Бешубҳа, биноҳои пастошёна дар шаҳри хурдакак зебоманзар ба назар мерасанд. Таносуби биноҳои пастошёна бо майдонҳои сабз, биноҳои ҷамъиятӣ ва гирду атрофи табиӣ онҳоро аз ҷиҳати меъморӣ барои посёлкаҳои хурди шаҳрӣ, ки 20-30 ҳазор аҳолӣ доранд, хеле мувофиқ мегардонад. Инро таҷрибаи истифодаи биноҳои камошёна дар ноҳияҳои гуногуни иқлимии Ҷумҳурии Тоҷикистон шаҳодат медиҳад. Дар биноҳои камошёна ба назар гирифтани шароити этникӣ, иқлимии минтақавӣ ва дигар шароит осонтар аст.

Ҳамин тавр, ба хонаҳои баландкӯҳи Кӯҳистони Мастчоҳ ва Айнӣ умқӣ ва зич будани хонаи сангин, ки бо хохиши кам кардани талафи гармӣ, мавҷуд будани шабакаи зеризамини аэратсияшаванда, боми ҳамвор, равзанаҳои нисбатан хурди тиреза, гузаргоҳҳои байни биноҳои истиқоматӣ ва хавлиҳои айвондор дар нишебиҳои мураккаб ба роҳ монда шудааст.

Хусусияти хонасозии водии Фарғонаи Тоҷикистон (ноҳияҳои агломератсияи Хуҷанд) вобаста ба намуди хона бо сохтани лодҷияхо, айвонҳо, (расми 3) воситаҳои аз офтоб муҳофизаткунанда, галлерея, айвонҳо ва равонҳо ба вуҷуд оварда мешавад.

Расми 3 – Айвон ва ҳавз қисми ногусастаи ҳавлии анъанавӣ. ш. Конибодом, 2023. (акси муаллиф)

Тавре муаллиф бар ин назар аст, «ҳангоми ба нақша гирифтан ва обод кардани шаҳрҳо дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон ба назар гирифта мешавад, ки одам дар ин ҷо метавонад қисми зиёди вақти солро (8-9 моҳ) дар ҳавои кушод, берун аз он хона (дар берун, дар ҳавлии кабудизоршуда, дар боғҳо) гузаронад» [4].

Мушкилтарин монеа дар тарҳи намунавӣ ҳалли масъалаҳои меъмории миллӣ гардид. Дар ин ҷо айвонҳо ё қитъаҳои боғча мавҷуданд. Агар дар вақти сохтани биноҳои камошёна ҳануз ҳам анъанаҳоро риоя кардан мумкин аст.

Меъмории даврахои таърихӣ ва меъмории халқии ноҳияҳои гарму хушк, баъд биноҳои серошёна воситаҳои нави бадеӣ ва усулҳои бинокорӣ, масолеҳи нав ва усулҳои нави нақшакаширо талаб мекунанд. Ғайр аз ин, майдони иловагии истиқоматиро ёфтан лозим аст, ки вай ҳавлии кабудизоршуда, ферма ё боғро иваз кунад.

Ҷумҳурии Тоҷикистон дар аксарияти (93%) ҳудуди кӯҳистон бартарӣ дошта, сейсмикии баланд ва иқлими гарму хушкро тақозо мекунад. Муаллиф хусусиятҳои характернок ва роҳҳои ташаккули манзилро дар шаҳрҳои хурди шимоли кишварамон таҳқиқ кардааст. Вилояти Суғд ин минтақаро фаро гирифта, ки 18 воҳиди шаҳру ноҳияҳои маъмуриро дар бар мегирад. Аз ин шумора баъзе шаҳракҳои хурд дорои хусусиятҳои таърихии асрҳои 6-7 мебошанд. Манзили шаҳракҳои хурди таърихӣ ба мо анъанаҳои қадимаи мардумии сохтмони манзилро ба ёд меорад.

Афзоиши босуръати рушди масолеҳи бинокории муосир, таъсири тамаддуни ҷаҳонӣ ва инноватсия анъанаҳои кӯҳнаро ба тафаккур, тасвир ва услубҳои нав табдил медиҳанд.

Талаботи махсуси тарҳрезӣ ва намунаҳои таркиби муосири биноҳои истиқоматӣ дар иқлими гарму хушк зоҳир мегардад. Таҷрибаи муосири сохтмони шаҳрвандӣ дар минтақаҳои дорои иқлими гарму хушк аз рушди эволютсионии ҳаҷми пӯшида балки-таркиби фазоӣ биноҳо шаҳодат медиҳад.

Ҳангоми тарҳрезии онҳо, маҷмӯи чунин талаботҳои муҳими махсус бояд риоя карда шаванд: маҳдуд кардани миқдори гармӣ дар вақти гармии рӯз дар натиҷаи таъсири баланди беруна, ҳарорат ва радиатсияи офтобӣ (бевосита, паҳншаванда ва инъикосшаванда); аз шамолҳои гарм ва чанги рузона муҳофизат карданро таъмин мекунад.

Ҳангоми таъмини вентилятсия бо максадҳои гигиенӣ (режими пушидаи кори бино); дар вақтҳои хунуки рӯз (пас аз ғуруби офтоб ва шабона) фароҳам овардани шароити мусоид барои вентилятсияи табиӣ -ҳадди аксар кушодани фазои дохилии биноҳо ба муҳити берунии сардтар (реҷаи кушод); самаранок истифода бурдани таҒйирёбии якбораи ҳарорати беруна, ки хоси минтақаҳои гарм-хушк чи дар давоми рӯз ва чи дар давоми сол; ҳифзи фазои дохилӣ аз радиатсияи ҳароратии ҳуҷраҳои дар давоми рӯз гармшавандаи хона ва ашёву сатҳи атрофи бино (биноҳои ҳамшафат, деворҳо, замини холӣ, асфалту бетонӣ ва ғайра) ифода меёбад.

Аз биноҳои камошёнаи шаҳрчаҳои хурди Тоҷикистони Шимолӣ хонаҳои атриумӣ бо ҳавли-боғҳо, ки ҳамаи хонаҳои асосӣ дар онҳо кушодаанд, васеъ паҳн шуда, ба онҳо садҳои баландиашон гуногун дохил мешаванд, ки баъзан бо ҳавлиҳои кушод ё қитъаҳои шахсӣ иваз мешаванд.

Бинобар азхуд карда шудани силсилаи ҷумҳуриявии лоиҳаҳои типи биноҳои истиқоматӣ ҳамчун навъи иқтисодӣ, мувофиқ ва хеле бароҳат биноҳои истиқоматии шаҳракҳо симои навро ба худ гирифта истодаанд. Дар инкишофи меъмории миллӣ дар шароити вилояти Суғд тартиб додани лоиҳаҳои биноҳои

истиқоматӣ барои посёлкаҳои таҷрибавии ҷумҳуриявӣ мисли Истиқлол, Бустон ва Гулистон хусусияти хосро ба худ гирифтааст.

Дар сохтмони муосири миёнаи шаҳракҳои хурд, ҳамон намуди хонаҳо, ки дар иқлими маҳал мутобиқ истифода мешаванд: сексия, манорави баландошёна, галереявӣ ва долондор ба назар мерасад [5].

Барои таъмини шароити вентилятсияи табиӣ дар зери таъсири фишори гармӣ бисёр биноҳо бо вентилятсияи дохилӣ муҷаҳҳаз карда мешаванд ё барои ин як агрегати алоқаи амудиро якҷоя бо биноҳои хидматрасонии он (залҳои фарш, вестибюл, зинапоя, лифт ва ғайра) истифода мебаранд. Чунин дастгоҳҳо асосан дар биноҳои истиқоматии долонҳо ва намудҳои сексиявӣ насб карда мешаванд.

Аз навъҳои сексиявии хонаҳои истиқоматии серошёна дар шаҳрҳои Тоҷикистони Шимолӣ хонаҳои сексияҳои думанзилдор ва хонаҳои сексия-галереяи бисьёрманзилдор (Гафуров, Гулистон ва Бустон) васеъ паҳн шудаанд.

Биноҳои истиқоматии сексия-галерея ба шароити иқлими гарму хушк хуб ҷавоб медиҳанд. Ба шарофати рушди ҳадди аксар дар умқи манзилҳое, ки ба галереяҳои кӯтоҳ рӯ ба рӯ мешаванд, пеши деворҳои амудии беруна ба таври назаррас коҳиш ёфта, “таъсири ҳаҷмӣ”-и бино дар маҷмӯъ зиёд мешавад. Ғайр аз ин, чунин сохтори банақшагирӣ майдони истиқоматиро ба ҳар 1 метри галлерея зиёд карда, бо ҳамин хароҷотро арзиши бештари манзил ва 1 м2 майдони истиқоматиро кам мекунад.

Дар асоси ин, дар ду хонаи ҳамшафат, беҳтар ҷудо кардани ошхонаҳо аз ҷойҳои истиқоматӣ тавассути ҷойгир кардани онҳо дар дохили ҳуҷраҳои истиқоматӣ ба даст оварда мешавад. Дар ин ҷо ошхонаю нуқтаҳои санитарӣ, қисмҳои ду манзил ба галлерея пайваст карда шудаанд.

Дар баъзе шаҳракҳои хурд, аз қабили Исфара, Конибодом, Ғончӣ ва Шайдон тамоюли ба назар намоён ворид намудани нақшҳои миллӣ дар ороиши деворҳо, пояҳо, сутунҳо, пардаҳо, айвонҳо ва болопӯшҳои нижвон (карниз) мебошад. Чунин равишҳоро дар дигар шаҳрҳои хурд низ дидан мумкин аст. Танҳо дар лоиҳаи намунавии ташкилотҳои давлатии лоиҳакашӣ масоилҳои меъмории миллӣ ҳануз қариб фаромуш карда шудаанд.

Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон №1232, ки соли 2022 «Дар бораи тадбирҳои рушди минбаъдаи шаҳракҳои хурд» қабул шудааст, меъморонро вазифадор кардааст, ки ин масъаларо ба миён гузоранд. Дар як муддати кӯтоҳ маҳаллаи анъанавӣ бозсозии ҷиддиро аз сар мегузаронад. Ҳолати кӯҳнаи онҳо аз нав сохта шуда, посёлкаю маҳаллаҳои нави дорои маркази ҷамъиятӣ ва кучаҳои хуб, бо хонаҳои ободу зебои замонавӣ пайдо мешаванд Дар баробари ин, зарур аст, ки онҳо симои меъмории миллиро, ки дар тули асрҳо инкишоф ёфта, ба худ хосанд, аз даст надиханд то имрӯз боқӣ мондааст.

Биноҳои истиқоматии аз хиштчини дорои дарачаи пасти бадей, ки асосҳои меъмории халқиро нафаҳмида сохтаанд, ба меъмории тоҷик бегонаанд, гарчанде ки онхо аз боло то поён бо кандакориҳои чубин, расму лавҳаҳои ганч пушонда шудаанд. Агар аз ин мафҳум пластикии деворҳои сангин, тағйирёбанда, дар минтақаҳои гуногун ба куллӣ фарққунанда ва унсурҳои ороиши ороишӣ, ки дар тӯли садсолаҳо борҳо тағйир ёфта, роҳи истифодаи шаклҳои меъмории муосирро пеш гирифтаанд, хорич кунем, чӣ гуна анъанаҳои меъмории мардуми тоҷик ҳастанд?

Ба таври умум эътироф шудааст, ки меъмории тоҷик дар халли масъалаҳои шаҳрсозӣ бо тамоюли тектоникӣ, пластикии шакл, ҳаҷм, силуэт ва ансамбл хос аст. Аммо ин хусусиятҳо аз ҷиҳати ҷуғрофӣ на дар ҳама ҷо ва на дар ҳамаи давраҳои таърихи меъмории тоҷик мушоҳида карда мешаванд: масалан, ҳолати тектоникӣ ва пластикии шаклҳои манзили шимоли Фарғона қисман ба биноҳои Хуҷанд хос буда, дар солҳои охир аз байн рафтааст.

Анъанаҳои бостонию миллии тоҷикон, мафҳуми васеъро фаро мегирад. Онҳо дар ҳалли масоилҳои шаҳрсозӣ, дар муносибатҳои хоси сохтмони манзил ва биноҳои маркази ҷамъиятии посёлка-маҳалла, ташкили алоқа бо фазои атроф ва аз ҳама муҳимаш дар муайян намудани он моҳияти амиқи идеявие, ки дар давоми садсолаҳо инкишофи меъмории халқиро дар саъю кӯшиши худ ба худшиносии миллӣ ва муттахид намудани сарзамин муайян мекард.

Дар ин ҷо мо ҳамон меъмориро мебинем бино бо ободу ғанӣ гардондани болои бино имрӯз ҳам ҳамон тамоюлҳо дар сохтмони худфаъолонаи шаҳрвандон дар шакли айвоне, ки дар намои асосии хона бо ороиши бой фаро гирифта шудаанд, идома дорад.

Имрӯз мушкилоти тасвир ва ифодаи хона шаҳрҳои хурд мазмуни нав пайдо мекунанд, ки бо дигаргуниҳои амиқи иҷтимоии меъмории миллӣ, гузаштан ба усулҳои ҳозиразамони сохтмони инфиродӣ ва саноатӣ алоқаманданд.

Дар халли ин масоил биноҳои истиқоматӣ аз масолеҳи маҳаллии бинокорӣ, аз қабили сангу чубу тахта, хишт ва сементи истеҳсоли ватанӣ роли калон мебозанд. Деталҳои ороишии замонавии даромадгоҳ (айвон, биноҳои тобистона, соябонҳои хона ва саройҳо, пӯшонидани девор бо рангҳои дурахшон ва тарҳи ҳаҷмӣ-пластикии бино дар маҷмӯъ шартҳои зарурии эҷоди симои муосири миллии манзили муосир мебошанд. Мулоҳизаҳои дар боло зикршуда умуман метавонанд дар тамоми ҳудуди баррасишавандаи Ҷумҳурии Тоҷикистон татбиқ карда мешавад.

Аммо дар шаҳрҳои хурди таърихии Тоҷикистони Шимолӣ, аз қабили Бустон, Гулистон ва Меҳробод, характери гуногуни меҳнати аграрию саноатӣ ба хусусиятҳои типологии манзил ба таври назаррас таъсир мерасонад. Ҳамин тариқ, ба навъҳои хонаҳои дар боло зикршуда хонаҳои долонӣ ва долон-сексиавӣ, маҷмааҳои истиқоматӣ, хонаҳои истиқоматии шаҳракҳои мавсимӣ ва муваққатии коргарон илова карда мешаванд. Дар Шайдон низ баъзе дигаргуниҳо ба амал меоянд, ки дар он хонаҳои типи галерея, хонаҳои типи блоки сохтмони пай дар пай ва айвондор ва ғайра ба вуҷуд меоянд. Дар баробари номенклатураи навъҳои хонаҳо, таркиб ва масоҳати манзилҳо чи дар ҷануб ва ҳам дар шимол ба андозае тағйир дода мешавад.

Хулоса

Чунон ки бармеояд «манзил бояд талаботи тамоми оила, инчунин эҳтиёҷоти намояндагони табақаҳои гуногуни синну солро қонеъ гардонад. Омӯзиши талабот оид ба ташкили муҳити созгори истиқоматӣ шарти зарурии таҳияи принсипҳои ташкили банақшагирии функционалии манзил дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон мебошад».

Манзили шаҳраки хурд аксаран дар алоқамандӣ бо муҳити сарсабзу олами табиат ҷойгир аст, аз ҷиҳати функционалӣ низ бо табиати иҳоташуда пайваст аст. Аз ин рӯ, шароити иқлим, ки дар ташаккули навъҳои манзил фаъолона иштирок мекунанд, дар шароити деҳот назар ба шароити манзилӣ таъсири беназир ва қавӣ доранд. Ҳифзи анъанаҳои таърихи меъмории халқӣ бошад, махсусан дар шаҳракҳои аҳамияти таърихидошта барои ҳар соҳибватан хело муҳим аст.

Муқарриз: Шерматов М.У. — номзади меъморӣ, дотсенти қафедраи "Меъморӣ ва шаҳрсози"-и ДПҲТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Зокиров, Р.Ш. Принципы функционально-планровочного зонирования жилищ малых городов Таджикистана/ Р.Ш. Зокиров, Б.В. Нормуротов // Интерактивная наука №1 (47) 2020, с 34-35. DOI 10 .21661/г - 519499.
2. Зокиров, Р.Ш., Влияние климатических факторов на формирование населенных мест / Р.Ш. Зокиров, А.А. Каюмов // Интерактивная наука №1 (47) 2020, с 36-37. DOI 10.21661/г-529547.
3. Иконников А.В. Архитектура города (Эстетические проблемы композиции). - М.: Издательство: Стройиздат, 1972, - 215 с.
4. Марков, Б.М. Малые города в системах расселения. / Б.М. Марков // Проблемы малых городов. -М.: Стройиздат, 1980. -196с.
5. Тобилев, Б. П. Основные направления формирования архитектурного облика жилой среды малых городов. / Б.П. Тобилев //Жилая среда малого города. -М., 1972. -174 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Зокиров Раҳимҷон Шарифович	Зокиров Рахимджон Шарифович	Zokirov Rahimjon Sharifovich
омӯзгори калон	старший преподаватель	senior Lecturer
ДПХДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ХПИТТУ имени академика М.С. Осими.	Polytechnic Institute TTU named after academician M.S.Osimi
E-mail: zokirov_1974_rahimjon@mail.ru		

УДК 624.074

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАЗРЕЗНОЙ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ

Д.Н. Низомов[1], О.Р. Нуманов[2]

[1]Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ

[2]Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье излагаются основные особенности задач, связанных с моделированием большепролётных строительных конструкций в виде неразрезных пологих оболочек. Были проведены статические и динамические испытания модели, состоящей из трёх пологих оболочек положительной гауссовой кривизны, образующуюся многоволновую систему. Результаты экспериментальных исследований сопоставлены с данными аналитического решения.

Ключевые слова: *оболочка, моделирование, теория подобия, статическая нагрузка, динамическая нагрузка, неразрезность, граничные условия, частота колебаний, период колебаний.*

МОДЕЛКУНОНИИ ҚИШРИ КАМФАРОЗИ ҚАТЪНАЁФТА

Ҷ.Н. Низомов, О.Р. Нуманов

Дар мақола хусусиятҳои хоси масъалаҳое, ки бо моделкунонии конструксияҳои сохтмонии калонравоқ дар шакли қишрҳои камфарози қатънаёфта алоқаманданд, мақсади муҳокима қарор гирифтаанд. Озмоиши статикӣ ва динамикии модели мазкур, ки аз се қишри камфарози каҷшавии мусбати гауссӣ дошта иборат мебошад, ҳамчун дар системаи яклухт гузаронида шуд. Натиҷаҳои тадқиқоти таҷрибавӣ бо маълумоти ҳалли аналитикӣ муқоиса карда шуданд.

Калимаҳои калидӣ: *қишр, моделкунонӣ, назарияи монандӣ, бори статикӣ, бори динамикӣ, қатънаёфта, шартҳои канорӣ, зудии лаппиш, даври лаппиш*

MODELING OF A CONTINUOUS FLAT SHELL

J.N. Nizomov, O.R. Numanov

The article presents the main features of the problems associated with modeling large-span building structures in the form of continuous shallow shells. Static and dynamic tests of the model were carried out, consisting of three shallow shells of positive Gaussian curvature, forming a multi-wave system. The results of experimental studies are compared with the data of the analytical solution.

Keywords: *shell, modeling, similarity theory, static load, dynamic load, continuity, boundary conditions, oscillation frequency, oscillation period.*

Введение

Пологие оболочки широко применяются в практике строительства зданий и сооружений. В развитии теории пологих оболочек следует отметить работы В.З. Власова, А. С. Вольмира, А.Л. Гольденвейзера, А.И. Лурье, Х.М. Муштари, В.В.Новожилова, С.П. Тимошенко, В. Флюге и др. Развитие конструктивных решений пологих оболочек и плит в значительной степени определялось состоянием методов их расчёта, основы которых заложили в трудах В.С. Бартенева, Н.Н. Леонтьева, П.А. И.Е. Милейковского, А.А.Назарова, П.Л. Пастернака, В.Д. Райзера, А.Р. Ржаницына, и др.

Многоволновые системы из пологих оболочек двоякой кривизны широко применяются в покрытиях зданий различного назначения. Особенность этих конструкций состоит в необходимости учёта реальных жёсткостей контурных элементов, воспринимающих нагрузку от смежных оболочек. Экспериментальным и теоретическим исследованиям многоволновых оболочек посвящены работы В.С. Бартенева [3], Б.В. Горенштейна [7], Б.С. Жармагамбетова [8], Я.Ш. Исхакова [9, 10], Л.А. Коробова [12, 13], Б.К. Михайлова [14], О.Р. Нуманова [10, 17] , Ю.В. Чиненкова [12, 13,19] и др.

Методы решения динамических задач оболочек в основном развиваются в двух направлениях – аналитическом и численном. Аналитические методы определения частот и форм собственных колебаний пологих оболочек были развиты в работах Б.Н. Бастатского [4], В.С. Гонткевича [6], О.Д.Ониашвили [18] и др. Методам численного моделирования динамических задач пологих оболочек положительной гауссовой кривизны посвящены работы Д.Н. Низомова [15, 16].

Моделирование

Отметим, что здесь под термином «моделирование» понимается метод экспериментально-теоретического исследования объекта. Моделирование базируется на теории подобия, позволяющей от процессов, изучаемых на модели, перейти к исследуемым явлениям в натуре. Различают три вида моделирования: математическое, механическое и физическое.

Механическое моделирование, которое основано на использование основных законов механического подобия процессов, развивается в следующих направлениях: 1) испытания моделей с целью проверки достоверности методов расчёта; 2) исследование системы, которая не имеет методики расчета; 3) исследование процессов с целью переноса результатов испытания на натурную конструкцию.

В основу физического моделирования лежит использование известных аналогий. Классическим примером физического моделирования является аналогия между законом Гука в теории упругости и законом Ома в физике. Следовательно, электрические модели могут быть использованы для исследования механических систем.

Суть математического моделирования заключается в том, что процессы, протекающие в натурной конструкции, описываются математическими уравнениями, которые могут быть решены аналитическими

или численными методами. Достоверность результатов математического моделирования проверяются либо механическим моделированием, либо проведением численных экспериментов.

Теория подобия

Физическое подобие, как основа механического моделирования, подразумевает воспроизведение физических процессов, протекающих в натурном объекте. Механическое моделирование включает в себя такие операции как построение модели, изучение этой модели от внешнего воздействия и перенос полученных данных на исследуемый объект в натуре.

Теория подобия, лежащая в основе механического моделирования, рассматривает соотношений геометрических и механических параметров натуры и ее модели. Критерии подобия дают правила переноса результата эксперимента с модели на натуру. Для определения безразмерных коэффициентов подобия применяются: 1) метод анализа дифференциальных уравнений, описывающих исследуемый процесс (метод нормализации); 2) метод анализа размерностей параметров поставленной задачи. Метод анализа размерностей для определения коэффициентов подобия основан на второй теореме подобия и применяется в случае, когда исследуемый процесс не имеет строгого математического описания (М.В. Кирпичев [11], П.М. Алабужев [1], В.А. Веников [5], Г.И. Баренблатт [2])

Реализация теории подобия осуществляется в следующей последовательности.

1. Создание математической модели исследуемого объекта, которая включает в себя дифференциальные уравнения, а также начальные и граничные условия задачи.

2. Преобразование дифференциальных уравнений и приведение их к безразмерному виду с целью формирования критериев подобия.

3. Проведение эксперимента на модели исследуемого объекта и определение величин, входящих в критерии подобия (амплитуда, период и логарифмический декремент свободных колебаний модели).

4. Обработка результатов эксперимента с целью получения зависимости между определяемым и определяющими критериями.

Моделирование большепролётных железобетонных конструкций

В экспериментально-теоретических исследованиях железобетонных большепролетных пространственных конструкций, которые широко применяются в строительной практике, моделирование имеет особое значение. Это связано с тем, что только экспериментальным путём в этих конструкциях можно выявить все возможные схемы разрушения и деформации, что необходимы для создания методики расчёта их несущей способности и оценки надёжности. Запроектированные большепролетные железобетонные пространственные конструкции, особенно пологие оболочки, с применением программных комплексов, также требует проведения испытания их на моделях с целью проверки трещинообразования. Для получения надёжных экспериментальных данных модель должна проектироваться таким образом, чтобы были учтены основные конструктивные особенности натурной конструкции. Особенно это касается монолитной железобетонной пологой оболочки, где в качестве контурных элементов используется металлические фермы, и их связь с поля оболочки играют особую роль.

На полигоне факультета строительства и архитектуры Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, с целью проведения статических и динамических экспериментальных исследований, была запроектирована, а затем построена модель неразрезной оболочки[1] (рис.1). Данная модель состоит из трех оболочек размерами $2,4 \times 2,4$м, соединённых между собой одним контурным элементом в виде металлической фермы.

Материалы для моделирования

Модель многоволновой системы размерами в плане 2,4$\times$7,2 м состоит из трех пологих оболочек 2,4$\times$2,4 со стрелами подъёма $f = 0,48$м (рисунок 1). Модель изготовлена из мелкозернистого бетона класса $B15$ и сетки 20×20мм из проволочной арматуры диаметром $0,8$мм специального назначения. Толщина поля оболочек 10 мм, в приконтурных зонах - 17 мм, а в угловых зонах - 25 мм.

[1] Модель изготовлена под руководством О.Р.Нуманова при участии инженерно-технических сотрудников кафедры ПГС ТТУ

Рисунок 1 – Модель системы из трёх оболочек

Испытания модели проводились в нескольких этапах с учётом статического пригруза. Динамические воздействия осуществлялись с использованием ударной нагрузки в горизонтальном и вертикальном направлениях.

На рис. 2 приведены записи[2] колебаний модели от горизонтальной ударной нагрузки в поперечном направлении. Кривая 1 на рис. 2 соответствует горизонтальным колебаниям системы в поперечном направлении, а кривая 2 – в продольном направлении. Кривая 3 – запись вертикальных колебаний точки примерно в центре крайней оболочки.

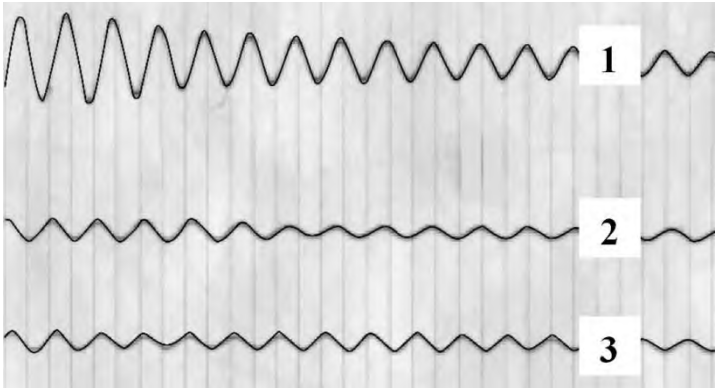


Рисунок 2 – Результаты динамических испытаний модели

Из приведённых записей следует, что периоды горизонтальных колебаний модели как система с одной степенью свободы имеет периоды $T_1 = 0,2\,\text{с}$, $T_2 = 0,195\,\text{с}$, $T_3 = 0,2\,\text{с}$. Рассматривая движения модели в горизонтальном направлении как систему с одной степени своды, где частота свободных колебаний

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1}{\delta_{11} m}} = \sqrt{\frac{24EI}{h^3 m}} = 36,4\ \text{с}^{-1}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,173\,\text{с}.$$

Основная частота свободных колебаний одной пологой оболочки модели (Ониашвили, 1978)

$$\omega_{11}^2 = \frac{g}{\gamma\delta}\left[D\left(\lambda_n^2 + \mu_m^2\right)^2 + \frac{E\delta}{R^2}\right] = 746,8\,\text{с}^{-2}, \quad \omega = 27,3\,\text{с}^{-1}, \quad T_{11} = \frac{2\pi}{\omega_{11}} = 0,23\,\text{с}.$$

Видно, что результаты аналитического расчета отличаются от данных эксперимента в пределах 11-13%.

Вывод

1. Пологие оболочки положительной гауссовой кривизны имеют преимущество перед плоскостными покрытиями. При применении пологих оболочек экономия расхода стали составляет 10-15 %, расход бетона - 15-20%.

2. Для создания неразрезности моделей пологих оболочек, в местах примыкания оболочек установлен одна ферма-диафрагма, которая обеспечивает неразрывности деформаций. При этом экономия стали для ферм–диафрагм составляет 15-20 %.

---

[2] В проведении записи динамических испытаний принимали участие сотрудники лаборатории Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ.

3. Погрешность между экспериментальными и теоретическими расчётах данными по периодам свободных колебаний моделей составляет от 10 до 13 %.

Рецензент: Абдуллоев И. — к.т.н., доцент, ведущий специалист Государственное унитарное предприятие Научно-исследовательски институт «Строительство и архитектура»

Литература

1. Алабужев, П. М. Теория подобия и размерностей. Моделирование / П.М.Алабужев, В.В.Геронимус, Л.М.Минкевич, Б.А.Шеховцов. – М.: Высшая школа, 1968. – 206 с
2. Баренблатт, Г.И. Анализ размерностей /Г.И. Баренблатт. М.: МФТИ, 1987.-168 с
3. Бартенев В.С. и др. Экспериментально-теоретические исследования пологих оболочек с арочными диафрагмами. – В сб.: Пространственные конструкции в Красноярском крае, Красноярск, 1968, с
4. Бастатский Б.Н. Об определении частоты собственных колебаний пологих оболочек методом Бубнова-Галеркина. – Труды IV научной сессии ИАСС, Алма-Ата, 1973, с
5. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) / В.А.Веников. – М.: Высшая школа, 1976. – 479с
6. Гонткевич В.С. Собственные колебания пластинок и оболочек. – Киев, «Наукова думка», 1964. – 238 с.
7. Горенштейн Б.В. К расчету многоволновых сводов. – «Строительная механика и расчет сооружений», 1974, №2, с
8. Жармагамбетов Б.С., Акбедин Т.Ж. Влияние бортовых элементов на динамические характеристики пологой оболочки. – Тр. IV научной сессии ИАСС, Алма-Ата, 1973, с
9. Исхаков Я.Ш. Кудусов А., Шарипов Л.Ш. Методика испытания и экспериментальные исследования сейсмостойкости оболочек на моделях. – Сб. «Пространственные конструкции зданий и сооружений», 1977, вып.3, с
10. Исхаков, Я.Ш. Монолитные железобетонные неразрезные оболочки с улучшенными технико-экономическими показателями для сейсмических районов / Я.Ш. Исхаков, О.Р. Нуманов /Журнал Архитектура и строительство Узбекистана.- Ташкент, 1983, №12.- С. 30-31.
11. Кирпичев, М.В. Математические основы теории подобия / М.В.Кирпичев, П.К.Конаков – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – 103 с.
12. Коробов Л.А., Чиненков Ю.В. Исследование диафрагм многоволновых оболочек. – «Прикладная механика», т.1Х, вып.3, Киев, 1973, с
13. Коробов Л.А., Чиненков Ю.В. К расчету многоволновых пологих оболочек по безмоментной теории.- «Строительная механика и расчет сооружений», 1966, №5, с
14. Михайлов Б.К. Многоволновые покрытия из пологих оболочек. – «Исследования по строительным конструкциям и испытанию сооружений», Сб. трудов ЛИСИ, №51, 1968, с
15. Низомов Д.Н. Численное решение динамических задач по расчету балок, плит и пологих оболочек. – Автореферат диссертации к.т.н. – М.: МИСИ, 1982. – 18 с.
16. Низомов Д.Н. Численное решение динамических задач по расчету пологих оболочек. – Известия АН Тадж. ССР. – 1987, № 1 (103)- с. 74-79
17. Нуманов О.Р. Динамические параметры неразрезных пологих оболочек. – Автореферат диссертации к.т.н. – М.: ВЗИИЖТ, 1993. –23 с
18. Ониашвили О.Д. Избранные труды. Тбилиси, изд. Мецниереба,1978. – 297 с.
19. Чиненков Ю.В., Коробов Л.А. Влияние жесткости диафрагм на работу многоволновых оболочек положительной гауссовой кривизны. – В сб. Тонкостенные и железобетонные пространственные конструкции. – М. : Стройиздат, 1970

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Низомов Ҷаҳонгир Низомович	Низомов Джахонгир Низомович	Nizomov Jahongir Nizomovich
Доктори илмҳои техникӣ, профессор, узви вобастаи АМИТ	Доктор ттехнических наук, профессор, чл.-корр. НАНТ	Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Институти геология, сохтмони ба заминҷунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ.	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ.	Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
e-mail: tiees@mail.ru		
TJ	RU	EN
Нуманов Олим Раҳимович	Нуманов Олим Рахимович	Numanov Olim Rahimovich
Н.и.техникӣ, дотсент	К.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciencts
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
e-mail: nor5@mail.ru		

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Приложение 1
к Положению о научном журнале
"Политехнический вестник"

ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей в журнал "Политехнический вестник"

1. В журнале публикуются статьи научно-практического и проблемного характера, представляющие собой результаты завершенных исследований, обладающие научной новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала.
2. Основные требования к статьям, представляемым для публикации в журнале:
   - статья (за исключением обзоров) должна содержать новые научные результаты;
   - статья должна соответствовать тематике и научному уровню журнала;
   - статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями к оформлению статей (см. пункт 5).
3. Статья представляется в редакцию по электронной почте и в одном экземпляре на бумаге, к которому необходимо приложить электронный носитель текста, идентичного напечатанному, а также две рецензии на статью и справку о результате проверки на оригинальность.
4. Структура статьи

Текст статьи должен быть представлен в формате IMRAD[3] на таджикском, английском или русском языке:

ВВЕДЕНИЕ (Introduction)	Почему проведено исследование? Что было исследовано, или цель исследования, какие гипотезы проверены? Включает: актуальность темы исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы исследования, формулирование цели и задач исследования.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ (MATERIALS AND METHODS)	Когда, где и как были проведены исследования? Какие материалы были использованы или кто был включен в выборку? Детально описывают методы и схему экспериментов/наблюдений, позволяющие воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи. Описывают материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)	Какой ответ был найден. Верно ли была протестирована гипотеза? Представляют фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).
ОБСУЖДЕНИЕ (DISCUSSION)	Что подразумевает ответ и почему это имеет значение? Как это вписывается в то, что нашли другие исследователи? Каковы перспективы для будущих исследований? Содержит интерпретацию полученных результатов исследования, включая: соответствие полученных результатов гипотезе исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)	Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. п.3).
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)	оформляется в конце статьи в следующем виде:

[3] Данный термин составлен из первых букв английских слов: Introduction (Введение), Materials and Methods (Материалы и методы), Results (Результаты) Acknowledgements and Discussion (Обсуждение). Это самый распространенный стиль оформления научных статей, в том числе для журналов Scopus и Web of Science.

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name			
Дарача ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title[4]			
Ташкилот, Организация, Organization			
e-mail			
ORCID[5] Id			
Телефон			

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ (CONFLICT OF INTEREST)	Конфликт интересов — это любые отношения или сферы интересов, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на вашу работу или сделать её предвзятой. Пример: 1. Конфликт интересов: Автор X.X.X. Владеет акциями Компании Y, которая упомянута в статье. Автор Y.Y.Y. – член комитета XXXX. 2. Если конфликта интересов нет, авторы должны заявить: Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ (AUTHOR CONTRIBUTIONS).	Публикуется для определения вклада каждого автора в исследование. Описание, как именно каждый автор участвовал в работе (предпочтительно), или сообщение о вкладах авторов в процентах или долях (менее желательно). Пример данного раздела: 1. Авторы A1, A2 и A3 придумали и разработали эксперимент, авторы A4 и A5 провели теоретические исследование. Авторы A1 и A6 участвовали в обработке данных. Авторы A1, A2 и A5 участвовали в написании текста статьи. Все авторы участвовали в обсуждении результатов. 2. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации
ДОПОЛНИТЕЛЬНО (по желанию автора)	
БЛАГОДАРНОСТИ (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional)	Если авторы в конце статьи выражают благодарность или указывают источник финансовой поддержки при выполнении научной работы, то необходимо эту информацию продублировать на английском языке.
ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ (FUNDING)	Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ (ADDITIONAL INFORMATION)	В этом разделе могут быть помещены: Нестандартные ссылки. Например, материалы, которые по каким-то причинам не могут быть опубликованы, но могут быть предоставлены авторами по запросу. Дополнительные ссылки на профили авторов (например, ORCID). Названия торговых марок на иностранных языках, которые необходимы для понимания статьи или ссылки на них. Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе). Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладов на конференциях и семинарах.

5. Требования к оформлению статей

[4] Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, senior lecture, associate professor, full professor

[5] ORCID или Open Researcher and Contributor ID (Открытый идентификатор исследователя и участника) — незапатентованный буквенно-цифровой код, который однозначно идентифицирует научных авторов. www.orcid.org.

Рекомендуемый объем оригинальной статьи – до 10 страниц, обзора – до 15 страниц, включая рисунки, таблицы, библиографический список. В рубрику «Краткие сообщения» принимаются статьи объемом не более 3 страниц, включая 1 таблицу и 2 рисунка.

Рекомендации по набору и оформлению текста

Наименование	Требования	Примечания
Формат страницы	А4	
Параметры страницы и абзаца	отступы сверху и снизу - 2.5 см; слева и справа - 2 см; табуляция - 2 см;	ориентация - книжная
Редактор текста	Microsoft Office Word	
Шрифт	Times New Roman, 12 пунктов	
межстрочный интервал	Одинарный, выравнивание по ширине	Не использовать более одного пробела между словами, пробелы для выравнивания, автоматический запрет переносов, подчеркивания.
Единица измерения	Международная система единиц СИ	
Сокращения терминов и названий	В соответствии с ГОСТ 7.12-93.	должны быть сведены к минимуму
Формулы	Математические формулы следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские курсивом. Формулы и уравнения печатаются с новой строки и центрируются.	Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо
Таблицы	При создании таблиц рекомендуется использовать возможности MS Word (Таблица – Добавить таблицу) или MS Excel. Таблицы должны иметь порядковые номера, название и ссылку в тексте. Таблицу следует располагать в тексте после первого упоминания о ней. Интервал между строчками в таблице можно уменьшать до одинарного, размер шрифта – до 9 пунктов.	Внутри таблицы заголовки пишутся с заглавной буквы, подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком. Заголовки центрируются. Боковые – по центру или слева. Диагональное деление ячеек не рекомендуется. В пустой ячейке обязателен прочерк (тире –). Количество знаков после запятой (точность измерения) должно быть одинаковым.
Рисунки (иллюстрации, графики, диаграммы, схемы)	Должны иметь сквозную нумерацию, название и ссылку в тексте, которую следует располагать в тексте после первого упоминания о рисунке. Рисунки должны иметь расширение, совместимое с MS Word (*JPEG, *BIF, *TIFF (толщина линий не менее 3 пкс) Фотографии должны быть предельно четкими, с разрешением 300 dpi. Максимальный размер рисунка: ширина 150 мм, высота 245 мм. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись, в которой дается объяснение всех его элементов. Кривые на рисунках нумеруются арабскими цифрами и комментируются в подписях к рисункам.	Заголовки таблиц и подрисуночные подписи должны быть по возможности лаконичными, а также точно отражающими смысл содержания таблиц и рисунков. Все буквенные обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Все надписи на рисунках (наименования осей, цифры на осях, значки точек и комментарии к ним и проч.) должны быть выполнены достаточно крупно, одинаковым шрифтом, чтобы они легко читались при воспроизведении на печати. Наименования осей, единицы измерения физических величин и прочие надписи должны быть выполнены на русском языке. Не допускается наличие рамок вокруг и внутри графиков и диаграмм Каждый график, диаграмма или схема вставляется в текст как объект MS Excel.

Рукопись должна быть построена следующим образом:

Раздел	Содержание (пример)	Расположение
Индекс УДК[6]	**УДК 62.214.4; 621.791.05**	в верхнем левом углу полужирными буквами
Заголовок	**НАЗВАНИЕ СТАТЬИ** **(должен быть информативным и, по возможности, кратким)** (на языке оригинала статьи)	В центре полужирными буквами
Авторы	**Инициалы и фамилии авторов** (на языке оригинала статьи)	В центре полужирными буквами
Организация	**Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими**	В центре полужирными буквами
Реферат (аннотация)	Должен быть информативным и на языке оригинала статьи (таджикском, русском и английском), содержать 800-1200 печатных знаков (120-200 слов). Структура реферата: Введение. Материалы и методы исследования. Результаты исследования. Заключение.	Выровнять по ширине
Ключевые слова	5-6, разделены между собой « , ». (на языке оригинала статьи) Пример: энергосбережение, производство корунда, глинозем, энергопотребление, оптимизация	Выровнять по ширине
На двух других языках приводится: Заголовок Авторы Организация Реферат (аннотация)	перевод названия статьи, авторов[7], организации[8], заголовки и реферат[9] и ключевые слова[10] на двух других языках	
Статья согласно структуры	Согласно требованиям пункта 4 требования и условия предоставления статей в журнал "Политехнический вестник"	Выровнять по ширине

К статье прилагается (см. http://vp-es.ttu.tj/):

1. Сопроводительное письмо (приложение 1А).
2. Авторское заявление (приложение 1Б).
3. Лицензионный договор (приложение 1В).
4. Экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати (приложение 1Г).
5. Рецензия (приложение 1Д).

[6] Универса́льная десяти́чная классифика́ция (УДК) — система классификации информации, широко используется во всём мире для систематизации произведений науки, литературы и искусства, периодической печати, различных видов документов и организации картотек. Межгосударственный стандарт ГОСТ 7.90—2007. Пример: https://www.teacode.com/online/udc/

[7] В английском переводе фамилии авторов статей представляются согласно системе транслитерации BSI (British Standard Institute). Стандарт BSI обычно применяется в случае, когда требуется корректная транслитерация букв, слов и предложений из кириллического алфавита в латинский в случае оформления библиографических списков с официальным статусом. Им пользуются для того, чтобы попасть в зарубежные базы данных.

[8] Название организации в английском переводе должно соответствовать официальному, указанному на сайте организации. Непереводимые на английский язык наименования организаций даются в транслитерированном варианте.

[9] Необходимо использовать правила написания организаций на английском языке: все значимые слова (кроме артиклей и предлогов) должны начинаться с прописной буквы. Совершенно не допускается написание одних смысловых слов с прописной буквы, других – со строчной.

[10] В английском переводе ключевых слов не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводимых названий собственных имен, приборов и др. объектов, имеющих собственные названия; также не должен использоваться непереводимый сленг, известный только ограниченному кругу специалистов.

Муҳаррири матни русӣ:	**М.М. Яқубова**
Муҳаррири матни тоҷикӣ:	**Муаллифон**
Муҳаррири матни англисӣ:	**Муаллифон**
Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ:	**М.А. Иззатуллоев**

Редактор русского текста:	**М.М. Якубова**
Редактор таджикского текста:	**Авторская редакция**
Редактор английского текста:	**Авторская редакция**
Компьютерный дизайн и верстка:	**М.А. Иззатуллоев**

Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Рачабовҳо, 10^{А}
Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10^{А}

Ба чоп 25.06.2024 имзо шуд. Ба матбаа 28.06.2024 супорида шуд.
Чопи офсетӣ. Коғази офсет. Андозаи 60x84 1/8
Адади нашр 50 нусха.

Матбааи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ
ш. Душанбе, кӯчаи акад. Рачабовҳо, 10 ^{А}