

МУҚОБИЛ ЭНЕРГЕТИКА

ИЛМИЙ-ТЕХНИК ЖУРНАЛИ

2021 йилдан чоп этила бошлаган

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ALTERNATIVE ENERGY

SCIENTIFIC - TECHNICAL JOURNAL

ҚАРШИ–2022



БОШ МУҲАРРИР

Орифжан Базаров

Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти ректори

e-mail: qmii@qmii.uz

Бош муҳаррир ўринбосари

Гулом Узоқов

Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти профессори, т.ф.д.

e-mail: uzoqov66@mail.ru

Масъул котиб

Давлонов Хайрулла

Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти доценти

e-mail: davlonov80@mail.ru

ТАҲРИР ҲАЙЪАТИ

Зоҳидов Р.А., т.ф.д., проф., ЎЗР ФА акад., Энергетика муаммолари институти, Ўзбекистон

Аллаев Қ.Р., т.ф.д., проф., ЎЗР ФА акад., Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон

Авезова Н.Р., т.ф.д., проф., Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти, Ўзбекистон

Аббасов Ё.С., т.ф.д., проф., Фарғона политехника институти, Ўзбекистон

Матчанов Н.А., т.ф.д., проф., Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти, Ўзбекистон

Мирзабоев А.М., т.ф.д., проф., “MIRSOLAR” МЧЖ, Ўзбекистон

Хохлов В.А., т.ф.д., проф., Миллий тадқиқот университети “МЭИ”, Россия

Харченко В.В., т.ф.д., проф., Федерал илмий агроинженерлик маркази, ФНАЦ, ВИМ, Россия

Баштовой В.Г., ф-м.ф.д., проф., Беларусь миллий техника университети, Беларусь

Седнин В.А., т.ф.д., проф., Беларусь миллий техника университети, Беларусь

Елистратов В.В., т.ф.д., проф., СПбПУ Муҳандис-қурилиш институти, Россия

Виноградов А.В., т.ф.д., доц., Орел давлат аграр университети, Россия

Панченко В.А., т.ф.н., доц., Россия транспорт университети, Россия

Хайридинов Б.Э., т.ф.д., проф., Қарши Давлат университети, Ўзбекистон

Ташатов А.Қ., ф-м.ф.д., проф., Қарши Давлат университети, Ўзбекистон

Уришев Б., т.ф.д., проф., Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти, Ўзбекистон

Имомов Ш.Ж., т.ф.д., проф., Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти, Ўзбекистон

Пиримов О.Ж., т.ф.д., проф., Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти, Ўзбекистон

Тойиров О.З., т.ф.д., проф., Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон

Юлдошев И.А., т.ф.д., проф., Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон

Садуллаев Н.Н., т.ф.д., проф., Бухоро муҳандислик-технология институти, Ўзбекистон

Ахмедов А.Н., т.ф.д., проф., Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти, Ўзбекистон

Комилов А.Ғ., т.ф.н., доц., ЎЗР ФА Физика-техника институти, Ўзбекистон

Ахадов Ж.С., т.ф.д., к.и.х., ЎЗР ФА Физика-техника институти, Ўзбекистон

Нижёзов Ш.К., т.ф.н., проф. Гулистон давлат университети, Ўзбекистон

Вардияшвили А.А., т.ф.н., доц., Қарши Давлат университети, Ўзбекистон

Файзиев Т.А., т.ф.н., доц., Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти, Ўзбекистон

Хужакулов С.М., т.ф.ф.д., доц., Қарши муҳандислик-иқтисодиёт институти, Ўзбекистон

Муқобил энергетика – муқобил энергетика соҳасида эришилган илмий ютуқлар, илмий инновацион ишланмалар ва тадқиқот натижалари ёритилган илмий ва таҳлилий мақолалар, қисқа хабарлар чоп этиладиган илмий журнал. Журнал рўқналари доирасида ўтказиладиган халқаро конгресслар, симпозиумлар ва конференциялар материаллари жамланган махсус сон чоп этилиши ҳам режалаштирилган.

Таҳририят манзили: Қарши муҳандислик иқтисодиёт институти

180100, Ўзбекистон, Қарши ш. Мустақиллик, 225 уй.

Телефон: (8375) 221-09-23, факс: (8375) 224-13-95, E-mail: qmii@qmii.uz





ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Орифжан Базаров

Ректор Каршинского инженерно-экономического института

e-mail: qmii@qmii.uz

Заместитель главного редактора

Гулом Узаков

д.т.н., профессор Каршинского инженерно-экономического института

e-mail: uzoqov66@mail.ru

Ответственный секретарь

Давлонов Хайрулла

доцент Каршинского инженерно-экономического института

e-mail: davlonov80@mail.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Захидов Р.А., д.т.н., проф., акад. АН РУз., Институт проблем энергетике, Узбекистан

Аллаев К.Р., д.т.н., проф., акад. АН РУз., Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

Авезова Н.Р., д.т.н., проф., Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии, Узбекистан

Аббасов Ё.С., д.т.н., проф., Ферганский политехнический институт, Узбекистан

Матчанов Н.А., д.т.н., проф., Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии, Узбекистан

Мирзабоев А.М., д.т.н., проф., "MIRSOLAR" ООО, Узбекистан

Хохлов В.А., д.т.н., проф., Национальный исследовательский университет "МЭИ", Россия

Харченко В.В., д.т.н., проф., Федеральный научный агроинженерный центр, ФНАЦ, ВИМ, Россия

Баштовой В.Г., д.ф-м.н., проф., Беларусский национальный технический университет, Беларусь

Седнин В.А., д.т.н., проф., Беларусский национальный технический университет, Беларусь

Елистратов В.В., д.т.н., проф., Инженерно-строительный институт СПбПУ, Россия

Виноградов А.В., д.т.н., доц., Орловский государственный аграрный университет, Россия

Панченко В.А., к.т.н., доц., Российский транспортный университет, Россия

Хайридинов Б.Э., д.т.н., проф., Каршинский государственный университет, Узбекистан

Ташатов А.К., д.ф-м.н., проф., Каршинский государственный университет, Узбекистан

Уришев Б., д.т.н., проф., Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

Имомов Ш.Ж., д.т.н., проф., Национальный исследовательский университет "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства", Узбекистан

Пиримов О.Ж., д.т.н., проф., Национальный исследовательский университет "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства", Узбекистан

Тойиров О.З., д.т.н., проф., Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

Юлдошев И.А., д.т.н., проф., Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

Садуллаев Н.Н., д.т.н., проф., Бухарский инженерно-технологический институт, Узбекистан

Ахмедов А.Н., д.т.н., проф., Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

Комилов А.Г., к.т.н., доц., Физико-технический институт АН РУз., Узбекистан

Ахадов Ж.С., д.т.н., с.н.с., Физико-технический институт АН РУз., Узбекистан

Ниязов Ш.К., к.т.н., проф. Гулистанский государственный университет, Узбекистан

Вардияшвили А.А., к.т.н., доц., Каршинский государственный университет, Узбекистан

Файзиев Т.А., к.т.н., доц., Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

Хужакулов С.М., д.ф.т.н., доц., Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

Альтернативная энергетика - научный журнал, в котором публикуются научные и аналитические статьи, короткие сообщения, освещающие научные достижения в области альтернативной энергетики, инновационные разработки и результаты исследований. Также планируется издание специального выпуска, в котором в рамках журнала будут опубликованы материалы международных конгрессов, симпозиумов и конференций.

Адрес редакции: Каршинский инженерно-экономический институт
180100, Узбекистан, г.Карши, ул. Мустакиллик, дом 225.

Телефон: (8375) 221-09-23, факс: (8375) 224-13-95, E-mail: qmii@qmii.uz





EDITOR-IN-CHIEF

Orifdjan Bazarov

Rector of the Karshi Engineering-Economics Institute

e-mail: qmii@qmii.uz

Deputy Chief Editor

Gulom Uzakov

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Karshi Engineering-Economics Institute

e-mail: uzoqov66@mail.ru

Executive Secretary

Davlonov Khayrulla

Docent Karshi Engineering-Economics Institute

e-mail: davlonov80@mail.ru

EDITORIAL BOARD

Zakhidov R.A., d.t.s., prof., acad. ASUz., Institute of Energy Problems, Uzbekistan

Allaev K.R. d.t.s., prof., acad. ASUz., Tashkent state technical university, Uzbekistan

Avezova N.R. d.t.s., prof., National research institute of renewable energy sources, Uzbekistan

Abbasov E.S., d.t.s., prof., Fergana polytechnic institute, Uzbekistan

Matchanov N.A., d.t.s., prof., National research institute of renewable energy sources, Uzbekistan

Mirzaboev A.M., d.t.s., prof., "MIRSOLAR" LLC, Uzbekistan

Khokhlov V.A., d.t.s., prof., National research university "MEI"

Kharchenko V.V., d.t.s., prof., Federal Scientific Agroengineering Center FNAS VIM, Russia

Bashtovoy V.G., d.ph-m.s. prof., Belarusian National technical university, Belarus

Sednin V.A., d.t.s., prof., Belarusian National technical university, Belarus

Elistratov V.V., d.t.s., prof., StPPU Institute of Civil Engineering, Russia

Vinogradov A.V., d.t.s., doc., Orel state agrarian university, Russia

Panchenko V.A., c.t.s., doc., Russian transport university, Russia

Khayriddinov B.E. d.t.s., prof., Karshi state university, Uzbekistan

Tashatov A.K. d.ph-m.s. prof., Karshi state university, Uzbekistan

Urishev B., d.t.s., prof., Karshi engineering-economics institute, Uzbekistan

Imomov Sh.J., d.t.s., prof., Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers, Uzbekistan

Pirimov O.J., d.t.s., prof., Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers, Uzbekistan

Toirov O.Z., d.t.s., prof., Tashkent state technical university, Uzbekistan

Yuldoshev I.A., d.t.s., prof., Tashkent state technical university, Uzbekistan

Sadullaev N.N. d.t.s., prof., Bukhara engineering-technological institute, Uzbekistan

Akhmedov A.N., d.t.s., prof., Karshi engineering-economics institute, Uzbekistan

Komilov A.G., c.t.s., doc., Physical-technical institute of the ASUz, Uzbekistan

Akhadov J.S., d.t.s., s.r., Physical-technical institute of the ASUz, Uzbekistan

Niyazov Sh.K. c.t.s., prof., Gulistan state university, Uzbekistan

Vardiyashvili A.A., c.t.s., doc., Karshi state university, Uzbekistan

Faiziev T.A., c.t.s., doc., Karshi engineering-economics institute, Uzbekistan

Khuzhakulov S.M., PhD. doc., Karshi engineering-economics institute, Uzbekistan

Alternative Energy is a scientific journal that publishes scientific and analytical articles, short reports covering scientific achievements in the field of alternative energy, innovative developments and research results. It is also planned to publish a special issue, where the materials of international congresses, symposiums and conferences will be published within the framework of the journal.

Editorial office address: Karshi engineering-economics institute
180100, Uzbekistan, Karshi, Independence av.-225.
Tel: (8375) 221-09-23, fax: (8375) 224-13-95, e-mail: qmii@qmii.uz





МУҚОБИЛ ЭНЕРГЕТИКА АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ALTERNATIVE ENERGY

Илмий-техник журнал
2021 йилда ташкил
этилган

2022/4 (07)-сон

Илмий-техник журналга 2021
йил 4 апрелда асос солинган
бўлиб, у 2021 йил июль
ойидан бошлаб чиқарилган.

МУНДАРИЖА / СОДЕРЖАНИЕ/ CONTENT

**ҚУЁШ ЭНЕРГЕТИКАСИ/ СОЛНЕЧНАЯ
ЭНЕРГЕТИКА/ SOLAR ENERGY**

Муассис:
Қарши муҳандислик-
иктисодиёт институти

Манзил:
180100, Қарши шаҳри.
Мустақиллик шоҳ кўчаси, 225
Телефон: 0375 221-09-23
+998 90-716-51- 92
Сайт: <http://aenergy.qmii.uz>
E-mail: aenergy@mail.ru

Журнал Ўзбекистон
Республикаси Президенти
Администрацияси ҳузуридаги
Ахборот ва оммавий
коммуникациялар агентлиги
томонидан
2021 йил 4 апрелда рўйхатга
олинган ва 1176 рақамли
гувоҳнома берилган.
Нашр индекси - 4074
ISSN 2181-2284
7-сонли нашр.
Теришга топширилган сана
06.10.2022 й.
Нашрга рухсат берилган
сана 30.10.2022 й.
Чоп этилган сана
23.12.2022 й.
Бичими 60x84 1/8. Тимес
гарнитураси. Шартли босма
табоғи 6,26. Нашр босма
табоғи 6,25. Адади 100.
Буюртма №87
ҚарМИИ “ИНТЕЛЛЕКТ”
nashriyoti МИУ да чоп этилди.
Тахририят:

Назаров М.Р., Жураев Т.Д., Назарова Н.М. Компактная солнечная сушилка с активным вентилированием.....	7
Рахимов Р.Х., Самиев К.А., Арабов Д.Х. Оценка возможности использования светопрозрачных ограждений на керамической основе в пассивных системах солнечного отопления	12
Вардияшвили А.А. Расчет энергосбережения при применении теплонасосной установки в гелиотеплицах.	18
Дусяров А.С. Определение тепловых потерь инсоляционных пассивных систем солнечного отопления.....	23
Жураев И.Р., Юлдошев И.А., Жураева З.А. Экспериментальное изучение фотоэлектрической тепловой батареи на основе тонкопленочной структуры в натуральных условиях.....	27
Мирзаев Ш.М., Кодиров Ж.Р., Ҳақимова С.Ш., Хамраев С.И. Табиий конвекцияли билвосита қуёш қуритгич қурилмасининг физикавий хусусиятларини аниқлаш методлари.....	35
Абилфайзиев Ш.Н., Тошпўлатов С.Ф., Абилфайзиев Р.Н. Фотоэлектрик батареяларни ҳаво ва сув ёрдамида совутишда энергия самарадорлиги таҳлиллари.....	41
Xujakulov S.M., Fayziyev T.A., SHERQULOV B.G., Mirzayorova S.U. Parabolotsilindrik konsentratordi kollektorlarda issiqlik tashuvchi oqim gidrodinamikasini matematik modeli natijalarini qayta ishlash.....	47
Fayziyev M.M., Ibragimov I.I., Radjabov M.K. Quvvati 200 w bo'lgan quyosh (PV) modulini “matlab simulink” dasturida modellashtirish.....	52
Nematov I.L., Fayziyev T.A., Ergashev Sh.H., Xayriddinov B.E. Quyosh hajmiy havo qizdirish kollektorli quritgichda mevalarni quritish jarayonida issiqlik-massa almashinuvi jarayonlarini tadqiq qilish.....	57



<p>Техник муҳаррир: Тоғаев И.Й. Қарши шаҳри, Мустақиллик шоҳ кўчаси, 225.</p>	<p>БИОЭНЕРГЕТИКА. БИОМАССА ЭНЕРГИЯСИ/ БИОЭНЕРГЕТИКА. ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ/ BIOENERGY. BIOMASS ENERGY</p> <p>Маматкулова С.Г. Современное состояние и перспективы использования биоэнергетических установок в системах теплоснабжения 63</p> <p>ШАМОЛ ЭНЕРГЕТИКАСИ/ ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА/ WIND ENERGY</p> <p>Сафаров А.Б., Узакон Г.Н., Мамедов Р.А., Давлонов Х.А., Бекназаров С.Э. Исследование технико-экономической эффективности использования энергии ветра в Кашкадарьинской области..... 68</p> <p>ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОР ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР/ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ/ ENERGY SAVING TECHNOLOGIES AND INSTALLATIONS</p> <p>Toshmamatov B.M. Solar energy application in municipal solid waste: experience, results and efficiency..... 84</p> <p>Уришев Б.У., Умиров А.П., Қуватов У.Ж., Жомуродова М.К. Қайта тикланадиган энергия манбаларига асосланган локал энергия тизимларининг самарадорлигини аниқлаш..... 97</p>
---	---





ҚУЁШ ЭНЕРГЕТИКАСИ/ СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА/ SOLAR ENERGY

КОМПАКТНАЯ СОЛНЕЧНАЯ СУШИЛКА С АКТИВНЫМ
ВЕНТИЛИРОВАНИЕМ

М.Р. Назаров¹, Т.Д. Жураев², Н.М. Назарова²

¹Бухарский педагогический институт, доцент (90 413-65-36)

e-mail: mustagnazarov940@gmail.com

²Бухарский государственный университет, доцент

e-mail: tdjuraev@mail.ru

²Бухарский государственный университет, преподаватель (90 513-85-22)

e-mail: nazarova_narqiza85@mail.ru

Аннотация. Для интенсификации процесса сушки и поддержания режимов сушки плодов авторами разработана компактная рециркуляционная солнечная сушилка с активным вентилированием объемом загрузки по свежему плоду 20 кг. Данная сушильная установка содержит сушильную камеру, снабженную системой вентиляции, автономный блок питания (солнечную панель) с контроллером, системы автоматического управления.

Солнечная сушилка может работать в режимах вынужденной циркуляции и рециркуляции. В сушильной установке за счет применения системы автоматического управления можно поддерживать необходимый температурно-влажностный режим, который обеспечивает поддержание режимов сушки некоторых видов плодоовощной продукции.

Ключевые слова: сушка, солнечная панель, солнечная энергия, автоматическая система управления, сушилка, рециркуляция, вентиляция.

Abstract. To intensify the drying process and develop the drying regimes of fruits, the authors have developed a compact recirculating solar dryer with active ventilation with a load volume of 20 kg for fresh fruit. This drying unit contains a drying chamber equipped with a ventilation system, an autonomous power supply unit (solar panel) with a controller, and an automatic control system.

The solar dryer can operate forced circulation and recirculation. In the drying plant, due to the use of an automatic control system, it is possible to maintain the required temperature and humidity conditions, which ensures the development of drying modes for some types of fruit and vegetable products.

Keywords: drying, solar panel, solar energy, automatic control system, dryer, recirculation, ventilation.

Введение.

В Центральноазиатском регионе сушка плодоовощной продукции в основном осуществляется воздушно-солнечным способом, так как сушка на солнце - популярный и экономичный метод сушки плодоовощных продуктов в развивающихся странах. Но основным недостатком этого способа является продолжительность процесса сушки, а также зависимость от климатических условий и неэкологичность (поверхность продуктов взаимодействует с пылью и атмосферными осадками; продукцию портят также насекомые и грызуны). Указанные недостатки могут быть устранены путем использования эффективных гелиосушилок [1,3,5,7,8,11].

До настоящего времени исследователями разработано большое количество разнообразных солнечных сушильных установок, отличающихся по конструкции, принципу работы и назначению: от простейших типов гелиосушилок до комбинированных, оснащенных системами вентиляции, аккумуляции тепла и средствами автоматизации. Несмотря на многочисленные исследования и разработки конструкций солнечных установок,





нет действующих промышленных установок с высокой эффективностью, поэтому разработка высокоэффективных солнечных установок для сушки плодов и ягод, позволяющих обеспечить производство сухофруктов высокого качества, имеет большое народнохозяйственное значение [2,4,5,11,6].

Для решения данной проблемы необходимо исследовать методы повышения энергетической (теплотехнической) эффективности гелиосушилок и разработать рациональную конструкцию солнечных сушилок. Это может быть достигнуто путем повторного использования в сушильных агрегатах отработанного сушильного агента, обладающего значительной энтальпией, что обуславливает целесообразность использования его как вторичного источника энергии [5,7].

Известны комбинированные солнечно-сушильные установки радиационно-конвективного типа, состоящие из сушильной камеры, гелио воздухонагревателя, калорифера и системы вентиляции [2,3,4,5,6,7]. В указанных сушилках для интенсификации процесса сушки, наряду с солнечной энергией, используется дополнительно и тепловая энергия.

В работе [10] описана гибридная солнечная сушилка для сушки помидоров. Разработанная авторами солнечная сушильная установка состоит из плоского концентрирующего солнечного коллектора, теплообменника с дополнительным теплоаккумулятором и сушильного агрегата, ее вместимость составляет 20 кг свежих нарезанных помидоров за одну загрузку. Размеры горизонтального солнечного коллектора составили: длина 2,8 м, ширина 1,8 м и высота- 0,18 м, верхняя часть коллектора покрыта прозрачным стеклом толщиной 4 мм. Внутри солнечного коллектора установлен лист железа толщиной 2 мм, окрашенный в черный цвет, он использовался в качестве поглотителя солнечного излучения. Чтобы увеличить КПД солнечного коллектора, к нему добавлен плоский отражатель, сделанный из яркого алюминия в верхней части рефлектора солнечной сушилки. Размеры рефлектора были такими же, как у солнечного коллектора, чтобы его можно было использовать днем в качестве отражателя и закрывать коллектор ночью.

Сушилка была испытана в разных погодных условиях. Производительность и качественные параметры сушилки сравнивали с сушкой (на открытой площадке) на солнце.

В настоящее время разработаны и используются различные варианты солнечных сушильных установок для сушки плодоовощной продукции. Традиционно такие установки являются стационарными, предназначены для сушки больших объемов продукции, имеют сложную конструкцию. Широкое развитие частных хозяйств, производящих различную сельскохозяйственную продукцию, диктует появление упрощенных, мобильных вариантов солнечных сушильных установок, которые не требуют больших капитальных и эксплуатационных затрат, могут устанавливаться в сезон сушки в местах производства сельхозпродукции [1,9].

Для повышения эффективности гелиосушки плодов авторами разработана солнечно-тепловая сушилка объемом загрузки по свежему плоду 12 кг [5]. Солнечная сушильная установка снабжена системой вентиляции, автоматической системой управления и дополнительным источником тепла. Устройство и принцип работы данной сушильной установки подробно описаны в работе [5].

Проведенный обзор литературы по солнечным сушилкам показывает острую необходимость в повышении энергетической эффективности сушильных установок путем использования лучших достижений современной техники и технологических приемов, возможность рекуперации теплоты отработанного сушильного агента и оптимизации сушки [7].

В последнее время в сушильной технике основные усилия были направлены на создание энергосберегающей технологии сушки с использованием альтернативных источников энергии.





Методы и материалы.

Для качественной сушки и повышения эффективности сушилок необходимо использовать солнечную энергию и автоматизировать работу сушильных агрегатов. Применение солнечной батареи к гелиосушилкам и автоматизация их работы дает возможность решить следующие актуальные задачи:

- получить высококачественный высушенный продукт сушки; это достигается путем поддержания температурно-влажностного режима сушки в сушильной камере.
- обеспечить разработку режимов сушки конкретного плода путем поддержания заданной температуры в процессе сушки продуктов и освободить оператора установки от постоянного наблюдения за приборами [5,6,7].

С этой целью авторами разработана рециркуляционная солнечная сушилка с активным вентилированием (РСС) объемом загрузки по свежему плоду 20 кг. Данная сушильная установка содержит сушильную камеру, снабженную системой вентиляции, автономный блок питания (солнечную панель) и систему автоматического управления.

Проведенные опыты показывают, что данная солнечная сушилка обладает высокой эффективностью и производительностью за счет применения солнечной батареи для питания вентиляторов, ИК лампы и применения устройства усовершенствованной автоматической системы управления.

Принципиальная схема предлагаемой солнечной сушильной установки изображена на рис.1.

Компактная солнечная сушильная установка содержит сушильную камеру, снабженную системой вентиляции 2,3 и блок автоматического управления с автономным электропитанием.

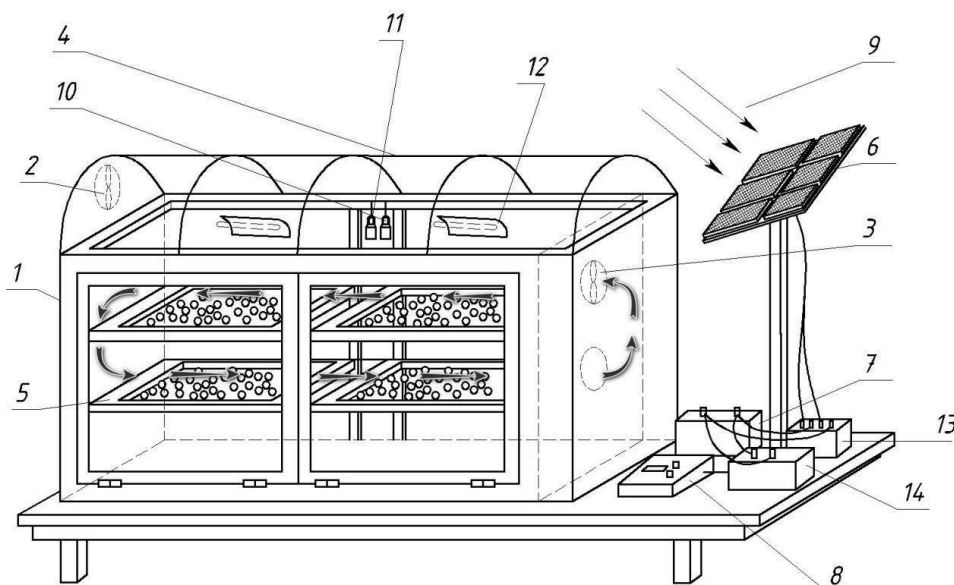


Рис.1. Принципиальная схема сушильной установки.

1 – сушильная камера ; 2 – вентилятор 1 (для выброса влажного воздуха); 3 – вентилятор 2 (для активной вентиляции); 4 – прозрачная изоляция; 5 – поддоны для высушиваемой продукции; 6 – СБ (солнечная батарея); 7 – аккумулятор; 8 – ПУ (пульт управления); 9 – солнечные лучи; 10 – датчик температуры; 11 – датчик влажности воздуха; 12 – ИК лампы; 13 – контроллер; 14 – инвертор.

Сушильная камера представляет собой прямоугольную форму размером 2,0×0,8×1,3 м с дугообразным, прозрачным верхним покрытием 4, сетчатыми подносами 5 для высушиваемого продукта. Сушилка и воздухонагреватель совмещены в одной камере. Сетчатые подносы располагаются в сушильной камере ярусами, причем расстояние между



ними выбиралось с учетом создания равномерного потока теплоносителя. Подносы имеют прямоугольную форму с размерами сторон $0,8 \times 0,8 \times 0,05$ м и металлическим сетчатым дном. В сушилке размещаются четыре подноса общей площадью $1,80 \text{ м}^2$. Верхние и боковые части солнечно-сушильной установки покрыты прозрачными листами сотового поликарбоната толщиной 6 мм и плотно герметизированы, так как этот материал уменьшает тепловые потери в 2-3 раза по сравнению с оконным стеклом. Для заправки свежими порциями плодов в передней части сушильной камеры имеются плотно закрывающиеся двери.

Блок автоматического управления с автономным электропитанием состоит из солнечного модуля 6, аккумулятора 7 и пульта управления 8. Солнечная панель установлена на специальном держателе возле сушильной камеры. С выхода солнечной батареи напряжение подается на контроллер, и от него электрическая энергия передается в аккумулятор.

Блок автономного электропитания работает следующим образом: под воздействием солнечного излучения 9 фотоэлектрическая панель преобразует солнечную энергию в электрическую, которая накапливается в аккумуляторе через контроллер (рис.2.). В качестве дополнительного источника тепла в сушильной камере использована инфракрасная лампа (ИК-лампа), излучатель типа КГТ-500 с рефлектором 12 (в количестве 2 шт.), который питается от солнечной батареи.



Рис.2. Блок-схема автономного электропитания сушилки.

Предлагаемая сушильная установка может работать в следующих режимах: 1) вынужденной циркуляции; 2) рециркуляции.

Сушилка в режиме рециркуляции работает следующим образом: в дневное время солнечные лучи проходят через прозрачную изоляцию внутрь конструкции сушилки, нагревают воздух, высушиваемые продукты и приспособления внутри камеры. Воздух, нагретый до температуры $50-60^\circ\text{C}$, прогоняется нагнетающим вентилятором 3 сквозь высушиваемые плоды. Вентилятор 2 служит для удаления паровоздушной смеси из сушильной камеры на начальном этапе сушки и позволяет поддерживать необходимый температурно-влажностный режим сушки. На первом этапе сушки плодов влагосодержание воздуха в камере постепенно увеличивается. По достижении установленного значения относительной влажности воздуха внутри камеры датчик влажности (типа ДНТ-21) 11 автоматически включает втягивающий вентилятор для выбрасывания отработанной паровоздушной смеси наружу камеры. Далее с понижением влажности воздуха в камере до





заданного значения по сигналу датчика влажности вентилятор 2 отключается, и процесс повторяется.

Благодаря применению элементов автоматического управления (датчики температуры 11 и влажности воздуха 10), в сушильной камере можно поддерживать необходимый температурно-влажностный режим.

Заключение.

На основе проведенной экспериментальной и проектно-конструктивной работы можно сделать следующие выводы:

- разработана полупромышленная (лабораторного образца) солнечная сушильная установка с активным вентилированием для плодов и овощей.
- в солнечной сушильной установке за счет применения системы автоматического управления можно поддерживать необходимый температурно-влажностный режим, который обеспечивает поддержание режимов сушки некоторых видов плодоовощной продукции.

Предлагаемая солнечная сушильная установка компактна и предназначена для использования в фермерских хозяйствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Д. Ким, Б.Э. Хайриддинов, Б.Ч. Холлиев. *Естественно-конвективная сушка плодов в солнечных сушильных установках: практика и теория*, – Т.: «ФАН», 1999, 378 с.
2. Р.А. Захидов, Д.А. Киргизбаев, Н.И. Орлова, Х.Н. Нуриддинов, “Комбинированная сушильная установка”, *Гелиотехника*, № 4, стр. 60-64, 1988.
3. З.С. Искандаров. “Вертикальная солнечно-топливная установка с регенеративным теплообменным устройством”, *Гелиотехника*, №2, стр. 24-26, 2004.
4. М.Р. Назаров, О.С. Камилов, и др. “Комбинированная солнечная сушилка-теплица с аккумулятором тепла” *Гелиотехника*. №2, стр. 70-72, 1993.
5. С.К. Каххаров, М.Р. Назаров, Х.О. Жураев О.С. Каххаров “Комбинированная гелиосушилка” Узбекистан, Ташкент, Патент на изобретение №UZIAP 05746.
6. Г.Г. Умаров, Ш.М. Мирзаев, О.Н. Юсупбеков, *Гелиосушка сельхозпродукции*. , – Т.: «ФАН», 1999, 378 с.
7. О. Рахматов. “К вопросу тепловой оптимизации режима эксплуатации солнечно-топливной сушильной установки конвективного типа”, *Вестник Алтайского государственного аграрного университета* № 1(135), стр. 132-136, 2016.
8. М.Р. Назаров, “Разработка и исследование эффективности опытно-производственной радиационно-конвективной солнечной сушильной установки для плодов и ягод” Автореферат диссертации канд. тех. наук. –Т.: 1997, 19 с.
9. Б.Э. Хайриддинов, Т. А. Садыков, *Комбинированные гелиотеплицы-сушилки*. Т.: «Фан». 1992, 184 с.
10. М. А. Hossain, В. М. А. Amer & К. Gottschalk, “Hybrid Solar Dryer for Quality Dried Tomato”, *Drying Technology*, vol 26, pp 1591-1601, 2008.
11. Н.С. Холмирзаев. “Экспериментальное исследование топливно-солнечно-рекуперативного теплоснабжения при сушке хлопка-сырца”. *Гелиотехника*, №1, стр. 34-40, 2007.
12. З.С. Искандаров “Условия эффективности применения регенеративных аккумуляторов тепла в солнечно- топливных сушилках”, *Гелиотехника*, №2, стр. 89-91, 2003.



ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ В ПАССИВНЫХ СИСТЕМАХ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Р.Х. Рахимов¹, К.А. Самиев^{2,1}, Д.Х. Арабов¹

¹Институт материаловедения АН РУз

²Физико-технический институт АН РУз

Аннотация. В данном исследовании экспериментальным путем оценена возможность использования светопрозрачных ограждений на керамической основе в пассивных системах солнечного отопления. Как показывают результаты, использование светопрозрачных ограждений на керамической основе в пассивных системах солнечного отопления является приемлемым. Преимуществом таких светопрозрачных ограждений являются: почти идентичное с обычным стеклом влияние на температурный режим пассивной системы солнечного отопления; благодаря отсутствию конденсата на поверхности обеспечивается работа элементов системы пассивного солнечного отопления с сохранением их свойств в течение длительного времени; легко устанавливается и заменяется; стоимость в несколько раз меньше, чем обычное стекло.

Ключевые слова. Солнечная энергия, теплоаккумулирующая стена, светопрозрачное ограждение на керамической основе, температурный режим, солнечная радиация.

Abstract. In this study, the possibility of using translucent ceramic-based fences in passive solar heating systems has been experimentally evaluated. As the results show, the use of ceramic-based translucent barriers in passive solar heating systems is acceptable. The advantage of such translucent barriers is: the effect on the temperature regime of a passive solar heating system is almost the same as with ordinary glass; due to the absence of condensate on the surface, the operation of the elements of the passive solar heating system is ensured with the preservation of their properties for a long time; easy to install and replace; the cost is several times less than ordinary glass.

Keywords. Solar energy, heat storage wall, translucent ceramic-based fencing, temperature regime, solar radiation.

Введение. Энергия всегда была преобладающим стимулом финансового прогресса человечества [1]. В последние десятилетия энергетические системы по всему миру в таких сферах, как производство, жилой сектор, транспорт и сельское хозяйство, стали сильно зависеть от неустойчивых источников энергии, и в результате возникли проблемы, связанные с истощением запасов ископаемых видов топлива и загрязнением атмосферы [2].

Потребление энергии в строительном секторе, как правило, связано с системами вентиляции, отопления и охлаждения [3]. Приблизительно половина энергии, потребляемой строительным сектором, используется для управления нагрузками на отопление и охлаждение зданий, достижения желаемых тепловых условий [4]. Необходимость повышения энергоэффективности зданий привела к усовершенствованию различных методов использования энергии [5].

Стена Тромба представляет собой простую классическую пассивную систему солнечного отопления, используемую в зданиях, которую можно недорого синтезировать, удобно применять и легко обслуживать [6].

Стены Тромба являются важными элементами “зеленой” архитектуры, которые способствуют вентиляции, обогреву и охлаждению зданий [7].



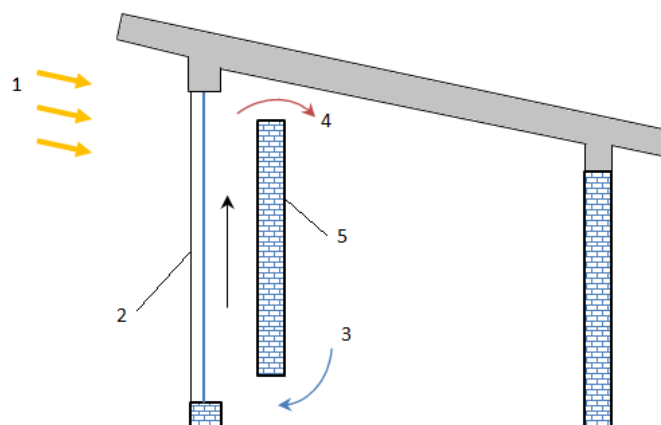


Рис.1. Классическая стена Тромба:

1- Солнечная радиация; 2- светопрозрачное ограждение; 3-прохладный воздух; 4- теплый воздух; 5-массивная стена.

Классическая стена Тромба (как показано на рис. 1) состоит из массивной черной стены, наружного остекления и вентилируемого воздушного зазора между ними [8]. Массивная стена обычно сделана из камня, кирпича, самана или бетона; из-за высокой емкости этих материалов. Два вентиляционных отверстия на массивной стене предназначены для подачи воздуха в помещение. Массивная черная стена поглощает и накапливает солнечную энергию, передаваемую через наружное остекление. Поглощенное тепло частично передается через стену внутрь помещения за счет конвекции и излучения, а частично передается через вентиляционные отверстия путем циркуляции воздуха за счет эффекта плавучести [9].

Светопрозрачное ограждение является основным элементом теплоаккумулирующей стены (стены Тромба) [10]. В практике используются различные виды светопрозрачного ограждения, например: однослойное обычное оконное стекло [11]; многослойные стеклопакеты [12], жидкостные стеклопакеты [13], полиэтиленовые пленки на керамической основе [14-15] и т.д.

Материалы и методы. В данном исследовании представлены результаты натурных экспериментов температурного режима экспериментального объекта с теплоаккумулирующей стеной с различными светопрозрачными ограждениями.

Описание экспериментальных объектов. Принципиальная схема стены Тромба приведена на рис. 2. Высота физической модели (Термобокс уменьшенного масштаба) равна 0.6 м, ширина 0.6 м, длина 1 м, толщина южной бетонной стены 6 см, она окрашена черной краской (коэффициент лучепоглощения $\alpha_{ст}=0,8$). Бетонная стена (2) расположена так, что внизу и наверху остаются отверстия высотой 1.5 см. На расстоянии 1.5 см от южной стены расположено однослойное светопрозрачное ограждение. Остальные элементы являются двухслойными, изнутри выполнена теплоизоляция пенопластом (3) толщиной 4 см, а снаружи покрыты древесно-стружечной плитой (4), теплофизические свойства которых приведены в [22]. Древесно-стружечная плита (ДСП) окрашена в молочный цвет.

Все размеры выбраны по теории подобия [23-25]. Термическое сопротивление стен равны первому уровню теплоизоляции [22]. Для измерения температур в различных местах рассматриваемого объекта расположены цифровые датчики температуры ArduinoDS18B20. Погрешность измерения не больше 0.5°C , для температур от -10 до $+85^{\circ}\text{C}$ [26]. Для измерения плотности потока падающего суммарного солнечного излучения использован высоковольтный беспроводной характериограф (с ФВ эталонным датчиком): PVA-1000SPV [27].

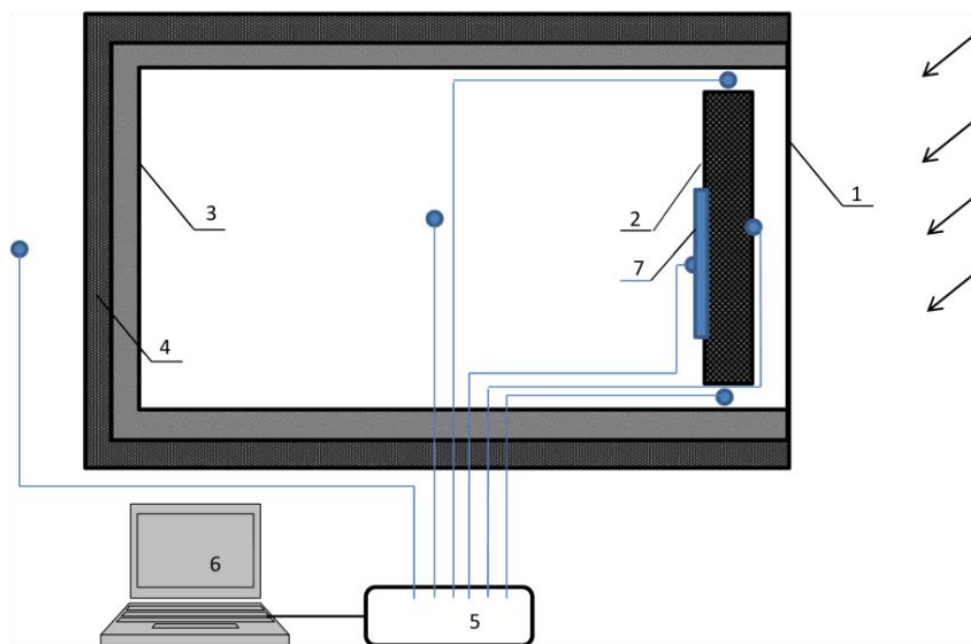


Рис. 2. Принципиальная схема пассивного солнечного отопления со стеной Тромба.

1-светопрозрачное ограждение; 2-южная бетонная стена; 3-пенопласт; 4- наружная часть ограждения (ДСП); 5- Arduino; 6- компьютер; • - датчики температуры.

Экспериментальная часть. Результаты экспериментов приведены на рис. 3-7. Из рис.3 видно, что в дневные часы максимальная температура внутреннего воздуха объекта с обычным оконным стеклом и керамическими пленками (пленка расположена снаружи стекла, керамическая сторона обращена наружу) на 5-15°C выше, чем у остальных объектов. Это объясняется тем, что внутрь этого объекта в дневные часы падает солнечная радиация. У остальных двух объектов температурный режим образуется в основном конвективным путем. Из-за того, что в экспериментальном объекте не установлен тепловой аккумулятор (на остальных объектах установлена бетонная стена), во второй половине дня наблюдается резкое понижение температуры.

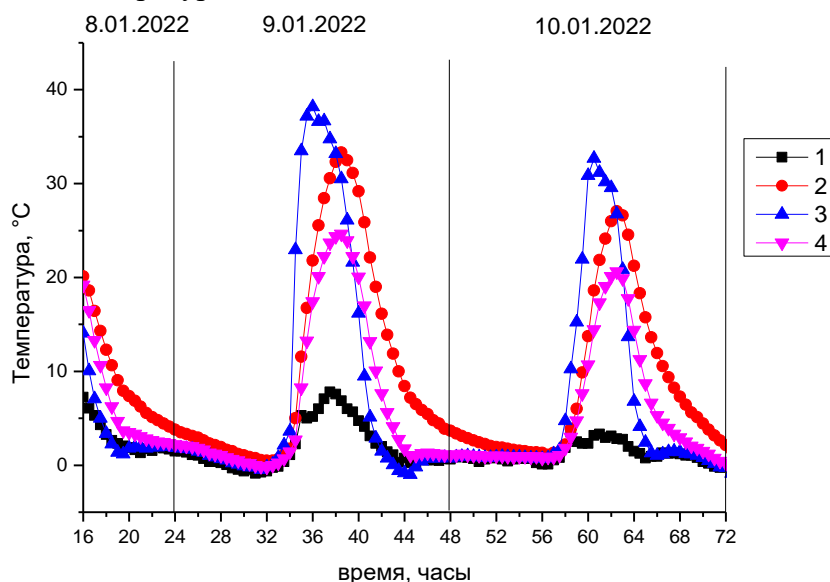


Рис. 3. Суточные изменения температур:

1- температура окружающей среды; 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба; 3- температура внутреннего воздуха в объекте с обычным оконным стеклом и керамическим светопрозрачным ограждением (пленка расположена на наружной поверхности стекла, керамическая сторона обращена наружу); 4- температура внутреннего воздуха в объекте с бетонной стеной.



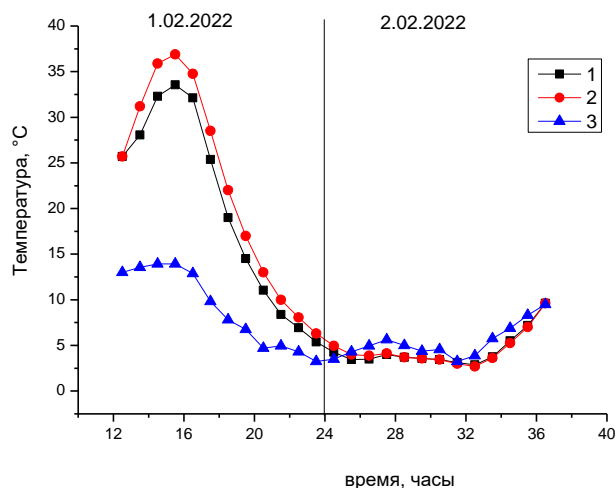


Рис.4. Суточные изменения температур:

1- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом и керамическим светопрозрачным ограждением (пленка расположена на наружной поверхности стекла, керамическая сторона обращена внутрь); 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом; 3- температура окружающей среды.

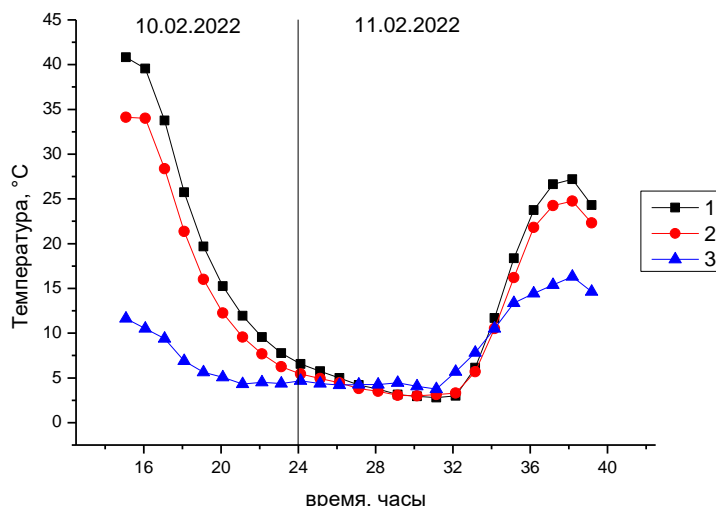


Рис.5. Суточные изменения температур:

1- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом; 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с керамическим светопрозрачным ограждением (керамическая сторона обращена внутрь); 3- температура окружающей среды.

Результаты, приведенные на рис. 4 и 5 показывают, что совместное использование обычного оконного стекла и светопрозрачного ограждения на керамической основе ухудшает общую эффективность. Это происходит из-за уменьшения оптического свойства системы, т.е. коэффициента пропускания солнечной радиации через светопрозрачное ограждение.

Сопоставление температурного режима объектов с обычным оконным стеклом, обычной пленкой и светопрозрачным ограждением на керамической основе приведены на рис. 6 и 7. Как видно, разница температур внутреннего воздуха экспериментальных объектов не более 5°C.

На рис. 8 показаны фотографии экспериментальных объектов до начала эксперимента (а) и в течение эксперимента (б). Как видно, до начала эксперимента объекты выглядят одинаково, через некоторое время на внутренней поверхности светопрозрачного ограждения образуется водяной конденсат. Как известно, образование конденсата плохо влияет на

теплофизические и оптические свойства элементов объекта и ускоряет деградацию. С другой стороны, образование конденсата меняет влажностный режим внутри здания.

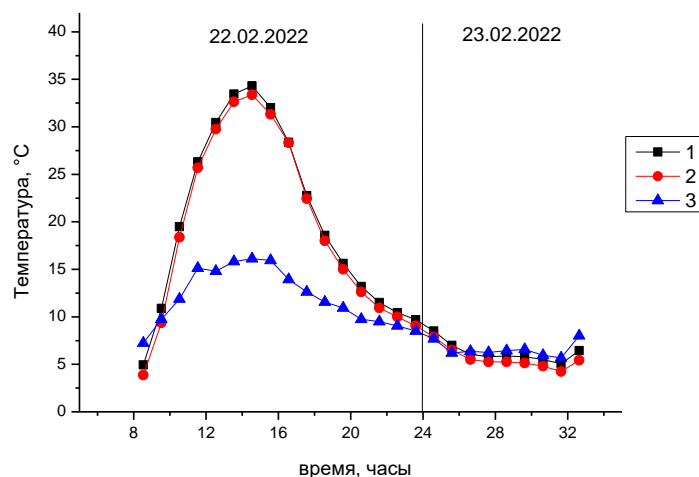


Рис.6. Суточные изменения температур:

1- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычной пленкой; 2- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с керамическим светопрозрачным ограждением (керамическая сторона обращена внутрь); 3- температура окружающей среды.

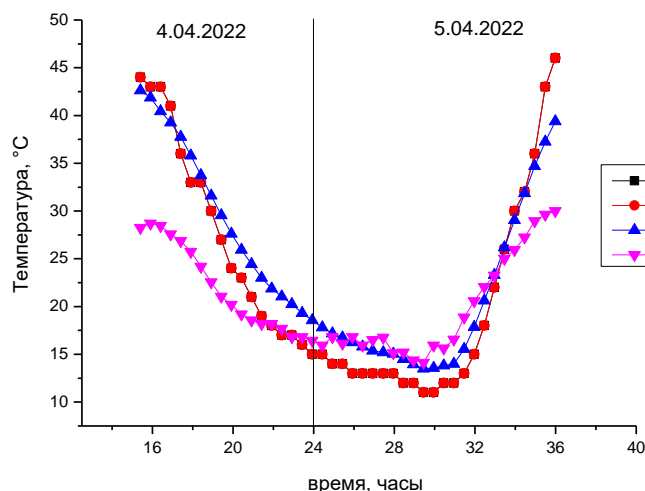


Рис.7. Суточные изменения температур:

1,2 - температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с керамическим светопрозрачным ограждением (керамическая сторона обращена внутрь и наружу); 3- температура внутреннего воздуха в объекте со стеной Тромба с обычным оконным стеклом; 4- температура окружающей среды.



а)



б)

Рис. 8. Объекты до начала эксперимента (а) и в течение эксперимента (б).



Выводы.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что использование светопрозрачных ограждений на керамической основе в пассивных системах солнечного отопления является приемлемым. Преимущество таких светопрозрачных ограждений заключается в следующем: идентичное с обычным стеклом влияние на температурный режим пассивной системы солнечного отопления; благодаря отсутствию конденсата на поверхности обеспечивается работа элементов системы пассивного солнечного отопления с сохранением их свойств в течение длительного времени; легко устанавливается и заменяется; стоимость в несколько раз меньше, чем обычное стекло.

Данная работа выполнена в рамках базового финансирования Физико-технического института и Института Материаловедения АН РУз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Omara A.M., Abuelnuor A.A. Trombe walls with phase change materials: A review / Energy Storage. 2020, P.1-28. DOI: 10.1002/est2.123
2. Reynolds L, Wenzlau S. Climate-Friendly Agriculture and Renewable Energy: Working Hand-in-Hand toward Climate Mitigation. Washington: Worldwatch Institute; 2012.
3. Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy Buildings*. 2008;40: 394-398.
4. Omrany H, Ghaffarianhoseini A, Ghaffarianhoseini A, Raahemifar K, Tookey J. Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2016;62:1252-1269.
5. Diaconu BM. Thermal energy savings in buildings with PCM enhanced envelope: influence of occupancy pattern and ventilation. *Energy Buildings*. 2011;43:101-107.
6. Dong J, Chen Z, Zhang L, Cheng Y, Sun S, Jie J. Experimental investigation on the heating performance of a novel designed Trombe wall. *Energy*. 2019;168:728-736.
7. Duan S, Jing C, Zhao Z. Energy and exergy analysis of different Trombe walls. *Energy Buildings*. 2016;126:517-523.
8. Chan H-Y, Riffat SB, Zhu J. Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renew Sustain Energy Rev*. 2010;14: 781-789.
9. Akbarzadeh A, Charters W, Lesslie D. Thermocirculation characteristics of a Trombe wall passive test cell. *Solar Energy*. 1982;28:461-468.
10. Duffie J., Beckman W. "Solar engineering of thermal processes", New York, Wiley, p. 928, 2013.
11. F. Abbassi, L. Dehmani, Experimental and numerical study on thermal performance of an unvented Trombe wall associated with internal thermal fins, *Energy and Buildings* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.042>
12. Н.Р. Аvezова, К.А. Самиев. Выбор рациональных значений параметров невентилируемой стены Тромба с помощью метода многокритериальной оптимизации для климатических условий Узбекистана / Проблемы энерго- и ресурсосбережения, Специальный выпуск, 2021г. С.358-365
13. Y. Piffer et al. A review on windows incorporating water-based liquids / *Solar Energy* 214 (2021) 606–631
14. R. Kh. Rakhimov, D. N. Mukhtorov, Application of solar dryers for drying agricultural products and optimization of drying time, *Comp. nanotechnol.*, 2020, Issue 4, 21–24 DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2020-7-4-21-24>
15. R.Kh. Rakhimov, V.P. Ermakov, M.P. Rakhimov Solar Heater Incorporating Polythene Film–Ceramics Composite Material on the Basis of Iron Oxide / *Applied Solar Energy*, 2010, Vol. 46, No. 1, pp. 56–59.



РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В ГЕЛИОТЕПЛИЦАХ

доц. А.А.Вардияшвили
Каршинский государственный университет
E-mail: vardi41@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы энергосбережения и принципиальные схемы в системах теплохладоснабжения гелиотеплицы с использованием теплонасосных установок. Выявлены основные направления энергосбережения и разработана альтернативная система теплохладоснабжения гелиотеплицы с теплонасосной установкой.

Ключевые слова: Энергосбережение, теплоснабжение, отопление, тепловой насос, эффективность, сельский солнечный дом, энергетический баланс, энергетический ресурс, горячее водоснабжение, теплохладоснабжение, холодный источник, горячий теплоноситель.

Abstract. Are shown questions energy savings is considered in system heat chill of the provision vegetable vault with use heat pumping installation. On base of the research analysis existing systems heat chill of the provision helio hot houses are revealed main trends energy savings and is designed alternative system heat chill of the provision helio hot houses with heat by pumping installation.

Keywords: Energy saving, heat supply, heating, heat pump, efficiency, rural solar house, energy balance, energy resource, hot water supply, heat supply, cold source, hot coolant.

Введение.

В настоящее время на теплоснабжение жилых, общественных и промышленных зданий, теплохладоснабжение овощехранилищ и холодильников, а также на низкотемпературные тепловые процессы в различных отраслях промышленности и сельскохозяйственного производства расходуется более половины всего добываемого природного газа [1].

Поэтому энергосбережение с использованием тепловых насосов, использующих рассеянную в окружающей среде тепловую энергию или утилизирующих вторичные энергоресурсы для теплохладоснабжения различных отраслей промышленности и сельскохозяйственного производства с наименьшими затратами является актуальной проблемой.

Использование тепловых насосов для отопления, горячего водоснабжения и теплохладоснабжения представляет собой способ, альтернативный другим способам, таким как традиционное сжигание органического топлива, центральное паровое или водяное отопление, электрообогрев и др. [2].

Методы и материалы.

Тепловой насос представляет собой устройство, позволяющее передать теплоту от более холодного тела к более нагретому за счет использования дополнительной энергии (чаще всего - механической). Применение тепловых насосов – один из важных путей утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов [3].

Известно, что теплота низкого потенциала является продуктом технической деятельности человека, и чем ниже ее температурный уровень, тем больше этой теплоты безвозвратно теряется, рассеиваясь в окружающей среде. Примером носителей такой теплоты может служить нагретый воздух, уходящий в атмосферу из систем вентиляции и кондиционирования, или теплые бытовые и промышленные сточные воды, имеющие температуру примерно 20÷40 °С. Очень часто единственным экономически оправданным





способом утилизации теплоты таких вторичных энергетических ресурсов является применение тепловых насосов. Тепловые насосы могут использовать не только теплоту, выработанную в различных технических устройствах, но и теплоту природных источников – воздуха, воды естественных водоемов, грунта, солнечной радиации [4-9].

Главное применение тепловых насосов в настоящее время – нагрев теплоносителя для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий. Однако их можно использовать и для технологических целей.

Наибольший энергетический и экономический выигрыш от тепловых насосов можно достичь применением комплексных систем тепло- и хладоснабжения при получении холода и тепла на любом из возможных для данной системы температурном уровне.

Целью работы является разработка принципиальной схемы солнечного дома с гелиотеплицами, солнечными батареями и солнечной водонагревательной установкой.

Наиболее приемлемым вариантом с позиции энергетического анализа является режим одновременно существующей потребности в охлаждении и отоплении, когда два потребителя могут быть соединены друг с другом посредством теплового насоса. Периоды кондиционирования воздуха в солнечном сельском доме и эксплуатации теплиц хорошо сочетаются, так как один из них - теплица является потребителем тепла а другой - требует охлаждения (рис.1).

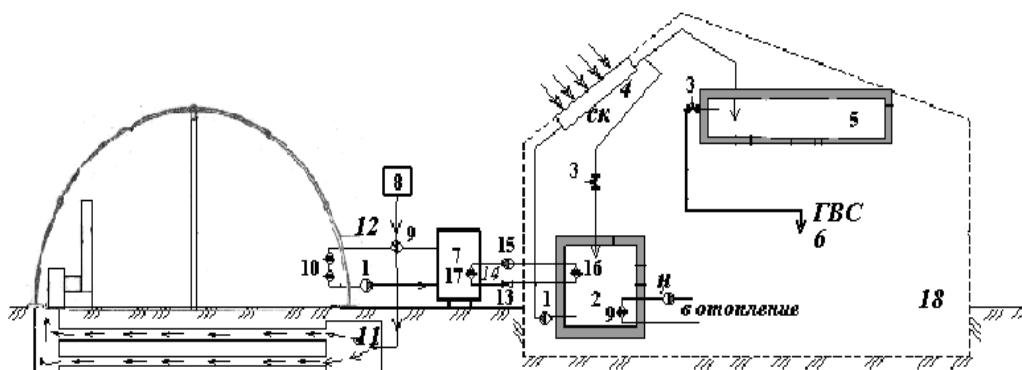


Рис. 1. Принципиальная схема системы тепло- и хладоснабжения солнечного сельского дома с гелиотеплицами.

1-циркуляционный насос; 2-аккумулирующий бак горячей воды; 3-электромагнитные вентили; 4-солнечный водонагреватель; 5-бак горячей воды для теплоснабжения сельского дома; 6-потребитель горячей воды; 7-бак горячей воды для системы отопления теплицы; 8-малая котельная – источник тепла дымовых газов; 9-водяной теплообменник; 10-отопительный прибор; 11-внутрипочвенный теплоаккумулирующий канал; 12-солнечная теплица; 13-регулирующий вентиль теплового насоса; 14-теплонасосная установка; 15-компрессор теплового насоса; 16-испаритель теплового насоса; 17-конденсатор теплового насоса; 18-солнечный сельский дом.

В совместной системе тепло- и хладоснабжения теплиц и солнечного сельского дома 18 тепловой насос (ТН) 14 устанавливается между солнечным домом 18 и теплицей 12. Солнечный дом 18, охлаждается ТН 14, тепло вентиляционных выбросов отнимается испарителем ТН 16. Затем пары хладагента сжимаются в компрессоре 15 и становятся перегретыми. Конденсатор ТН 17 погружен в бак-аккумулятор 2, где происходит конденсация паров хладагента и вода нагревается до $50\div 60^{\circ}\text{C}$. С помощью циркуляционного насоса 1 горячая вода из бака-аккумулятора 2 проходит через водяной теплообменник 9, где вторично нагревается отходными дымовыми газами 8, до температуры $90\div 100^{\circ}\text{C}$ и поступает в отопительный прибор 10 теплицы. При необходимости охлажденные продукты сгорания 8 можно подавать через внутрипочвенный теплоаккумулирующий канал



11, и затем в теплицу для подкормки растений углекислым газом. Солнечный водонагреватель 4 предназначен для отопления солнечного дома и регулируется вентилями 3 и 13.

Результаты.

В целях энергосбережения и создания автономного теплоснабжения сельского жилого дома нами предложена теплонасосная система. Как и холодильная машина, тепловой насос потребляет энергию на реализацию термодинамического цикла (привод компрессора). Коэффициент преобразования теплового насоса - отношение теплопроизводительности к электропотреблению - зависит от уровня температур в испарителе и конденсаторе и колеблется в различных системах в диапазоне от 2,5 до 5, т.е. на 1 кВт затраченной электрической энергии тепловой насос производит от 2,5 до 5 кВт тепловой энергии. Температурный уровень теплоснабжения от тепловых насосов 35-55°C. Экономия энергетических ресурсов достигает до 70%.

Промышленность технически развитых стран выпускает широкий ассортимент парокompрессионных тепловых насосов тепловой мощностью от 5 до 1000 кВт.

Энергетический баланс ТН записывается следующим образом:

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{исп}} + L_{\text{комп}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{конд}}$ - теплота, отводимая от конденсатора; $Q_{\text{исп}}$ - теплота, подводимая к испарителю; $L_{\text{комп}}$ - работа компрессора.

Коэффициент преобразования ТН определяется по формуле:

$$\phi = Q_{\text{конд}} / L_{\text{комп}} = \alpha \cdot T_{\text{конд}} / (T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}), \quad (2)$$

где $T_{\text{конд}}$ - температура конденсации рабочего тела; $T_{\text{исп}}$ - температура испарения рабочего тела; α - суммарный коэффициент потерь ТН (потери цикла, потери в компрессоре, потери от необратимости при теплопередаче и т.п.).

Идеальный коэффициент преобразования ТН:

$$\phi = T_{\text{конд}} / (T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}). \quad (3)$$

Системы теплоснабжения с использованием тепловых насосов - теплонасосные системы теплоснабжения - могут быть применены для отопления, подогрева вентиляционного воздуха, нагрева воды для горячего водоснабжения и т.п.

В качестве низкопотенциальных (низкотемпературных) источников теплоты могут использоваться:

а) вторичные энергетические ресурсы (ВЭР):

- теплота вентиляционных выбросов;
- теплота серых канализационных стоков;
- сбросная теплота технологических процессов и т.п.

б) нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ):

- теплота окружающего воздуха;
- теплота грунтовых и геотермальных вод;
- теплота водоемов и природных водных потоков;
- теплота солнечной энергии и т.п.;
- теплота поверхностных и более глубоких слоев грунта.

Следует учесть, что использование тепловых насосов для теплохладоснабжения с использованием ВЭР и НВИЭ представляет собой новую современную технологию и требует современных архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерно-технологических решений по всему объекту в целом. ТСТ должна быть органично вписана в объект и рационально сопряжена с остальными инженерными системами объекта.



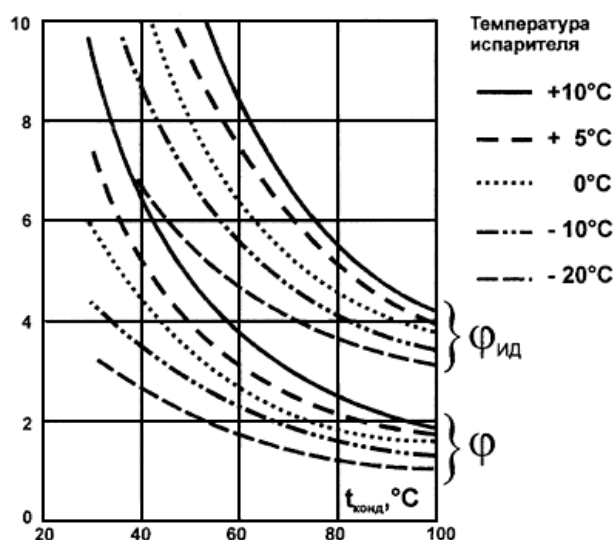


Рис.2. Зависимость идеального и действительного (реального) коэффициента преобразования ТН от температур испарения и конденсации хладагента.

Обсуждение.

Рассмотрим методику расчёта тепловых насосов.

Исходные условия: теплотребность одноэтажного сельского дома площадью 100 м^2 (в зависимости от теплоизоляции) $P=12 \text{ кВт}$ [9]; температура воды в системе отопления должна быть 60°C . Для отопления здания выбран тепловой насос мощностью $14,5 \text{ кВт}$ (ближайший больший типоразмер), затрачивающий на нагрев фреона $3,22 \text{ кВт}$ энергии. Отапливаемый объем здания составляет $V=300 \text{ м}^3$.

Годовая тепловая нагрузка для отопительного периода города Карши за 132 суток составляет:

$Q = p \cdot \tau = 12 \cdot 132 \cdot 24 = 38016 \text{ кВт}\cdot\text{час}$ или $Q=38,016 \text{ МВт}\cdot\text{час}$. Если переводим на: $38,016 \cdot 3,6 = 136,8 \text{ МДж}$.

Основными энергетическими характеристиками теплового насоса являются коэффициент преобразования (трансформации) тепла, термодинамический КПД, удельная стоимость, т.е. стоимость, отнесенная к теплопроизводительности теплового насоса.

Коэффициент преобразования тепла представляет собой отношение получаемой тепловой мощности к затрачиваемой мощности на привод компрессора. Он выше единицы и существенно зависит от температуры холодного источника теплоты T_1 и температуры получаемого горячего теплоносителя T_2 . В результате работы теплового насоса мы можем получить примерно в $2 \div 8$ раз больше теплоты, чем в случае непосредственного подогрева теплоносителя в электрокалорифере [4-14]: Коэффициент преобразования тепла теплового насоса равна (рис. 2):

$$\varphi_T = \frac{Q_B}{N} \quad (4)$$

где, Q_B – получаемая тепловая мощность, к Вт; N – затрачиваемая мощность на привод компрессора, кВт.

$$Q_i = Q_0 + N \quad (5)$$

где, Q_0 – теплота, получаемая от низкопотенциального источника, кВт.

Определим экономию топлива при использовании теплонасосной установки для отопления вместо котельной. Тепловая нагрузка $Q=12 \text{ кВт}$ при температуре воды в подающем трубопроводе $t_1 = 60^\circ\text{C}$. Коэффициент трансформации теплового насоса $\varphi = 4,7$ КПД электросетей $\eta_c = 0,95$; КПД котельной $\eta_k = 0,85$.

Мощность, потребляемая электродвигателем компрессора теплонасосной установки,

$$N_y^e = \frac{Q_B}{\varphi} = \frac{12}{4,7} = 2,55, \text{ кВт} \quad (6)$$



Потребляемая мощность с учетом потерь в электросетях

$$N_y = \frac{N_y^e}{\eta_c} = \frac{2,55}{0,95} = 2,7, \text{ кВт} \quad (7)$$

Расход топлива в котельной на выработку 136,8 МДж тепла:

$$B_k = \frac{Q_B}{Q_{p,n} \eta_k} = \frac{136,8}{29,3 \cdot 0,85} = 5,5 \text{ кг условного топлива/ч.}$$

Экономия условного топлива

$$\Delta B = B_k - B_m = 5,5 - 1,03 = 4,47 \text{ кг/ч} \text{ или экономия энергии за счет применения}$$

теплового насоса в период отопления составляет:

$$\Delta B = 4,47 \cdot 132 \cdot 24 = 14160 \text{ кг или } 14,1 \text{ тонны условного топлива.}$$

Заключение.

На основе проведенных исследований и расчетов выбираем тепловой насос типа «вода-вода». Таким образом, разработанная система отопления с тепловым насосом позволяет в условиях города Карши сэкономить 14 тонн условного топлива в расчете на один сельский дом с отапливаемой площадью 100 м² в течение одного отопительного периода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кальнин И.М. Оценка эффективности термодинамических циклов парокомпрессионных холодильных машин и тепловых насосов. Высшая школа. 1983 г. 39 стр.
2. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы. пер.с.англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
3. Применение термотрансформаторов (тепловых насосов) в автономных системах отопления и кондиционирования. // Холодильная техника, 2005. - №2. – с. 6 – 9.
4. Узаков Г.Н., Хужакулов С.М., Кадыров И.Н. Расчет энергетической эффективности применения теплового насоса в системах теплоснабжения. //Вестник ТашГТУ, 2009. - №1,2. - с. 51 – 53.
5. Маркус Т.А., Моррис Э.Н. Здание, климат и энергия. Ленинград. Гидрометеиздат 1985-542с.
6. Хайнрих Г., Найорн Х. Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. Москва. Стройиздат 1985.-351стр.
7. Драганов Б.Х., Есин В.В., Зуев В.П. Применение теплоты в сельском хозяйстве. Киев: Высшая школа. Головное издательство 1983-239стр.
8. Вардияшвили А.А. “Разработка и исследования многофункциональных энергоэффективных гелиотехнических комплексов с использованием энергетических отходов”. Монография. Карши «Насаф» нашриёти 2013 г. 9,6 п.л.
9. Э. Бубялис, В. Макарявичюс Процессы энергопереноса в тепловых насосах. Вильнюс. Макслас. 1990. -184с.
10. Вардияшвили А.А. “Солнечный сельский дом с гелиотеплицей”. Монография. Издательство «Насаф» Карши 2017 г. 165 с.
11. Uzakov G N 2010 Efficiency of joint operation of greenhouses and solar greenhouses *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)* 46(4) PP. 319–320.
12. Uzakov G N 2011 Calculation of the heat engineering characteristics of a combined system of a vegetable storage facility and solar greenhouse *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)* 47(3) PP. 248–251. (4)
13. Khuzhakulov, S.M., Uzakov, G.N., Vardiyashvili, A.B. Effectiveness of solar heating systems for the regeneration of adsorbents in recessed fruit and vegetable storages. *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*, 2013, 49(4), PP. 257–260. (4)
14. Uzakov, G.N. Technical and economic calculation of combined heating and cooling systems vegetable store-solar greenhouse. *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*, 2012, 48(1), PP. 60–61. (3)





ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ИНСОЛЯЦИОННЫХ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Дусяров А.С.

Каршинский инженерно-экономический институт, г.Карши, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрено определение тепловых потерь инсоляционных пассивных систем солнечного отопления. Приведена расчетная формула определения тепловых потерь в здании с системой прямого солнечного обогрева через остекление, общие теплотери помещения рассматриваются как сумма двух составляющих: тепловые потери южной стены со светопроемом, как переменные в зависимости от площади светопроема; тепловые потери через остальные ограждения (западная, восточная и северные стены, пол, потолок).

Ключевые слова: Солнечный обогрев, потери теплоты, солнечная радиация, гелиоприемник, пассивная система солнечного отопления, инсоляция, эффективность, аккумулятор тепла.

Annotation: The article is considered, the definition of heat losses of insolation passive solar heating systems. The calculation expressions for determining heat losses in a building with a direct solar heating system through glazing are given and the total heat loss of the room is considered as the sum of two components: heat losses of the southern wall with a light opening, as variables depending on the area of the light opening; heat losses through other fences (western, eastern and northern walls, floor, ceiling).

Key words: Solar heating, heat loss, solar radiation, solar receiver, system, passive solar heating, insolation, efficiency, heat accumulator.

Потери теплоты в здании с системой прямого солнечного обогрева через остекление могут быть довольно ощутимыми. Коэффициент теплопередачи через однослойное остекление равен $5,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при двойном остеклении он снижается до $3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Если температура воздуха в прослойке между стеной (система «массивная стена») и стеклом $+35^\circ\text{C}$, а температура снаружи -15°C , то количество теряемой в 1 ч теплоты составляет при однослойном остеклении $280 \text{ Вт}/\text{м}^2$, а при двойном остеклении $150 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Однако двойное остекление снижает также коэффициент пропускания солнечной радиации, который равен $0,85$ для однослойного и $0,72$ для двойного остекления. Таким образом, если солнечная радиация, достигшая поглощающей поверхности гелиоприемника, при одинарном остеклении равна $425 \text{ Вт}/\text{м}^2$, то при двойном – $360 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Двойное остекление можно использовать только с учетом климатических условий. Она необходима в местностях с холодным климатом, но не обязательна – в условиях мягкой зимы. В любом случае надо иметь в виду, что снижение солнечного поступления наблюдается только в дневное время, тогда как сокращение теплотерь происходит постоянно.

Во время солнечной радиации нужно максимально использовать селективно прозрачную защиту в виде остекления, но после захода солнца, чтобы сократить потери теплоты, целесообразно применять для остекленной поверхности трансформируемую непрозрачную теплоизоляцию.

Предложены и продемонстрированы сотни разных решений [1]. Для системы прямого солнечного обогрева простейшим является использование тяжелых штор с плотно закрытым верхним торцом, чтобы перекрыть конвективный поток теплоты между шторой и стеклом. Очень эффективны наружные ставни, скользящие или на петлях. Они должны быть теплоизолированы (по крайней мере полистиролом толщиной 50 мм или его эквивалентом) и быть непроницаемыми для воздуха. В одном остроумном решении использован вентилятор от пылесоса для заполнения пространства между двумя слоями стекла маленькими сферическими гранулами (диаметром около 5 мм) из полистирола. Утром их высасывают



обратно и содержат в контейнере в течение дня. Система очень эффективна, но недолговечна.

В необычной системе, разработанной Стивом Баером (Нью-Мексико, Америка), применены большие складывающиеся ставни. Их внутренняя поверхность отделена алюминием, так что, когда ставни закрывают стекло, повышается защитный эффект за счет дополнительного отражения излучения от стекла.

Наиболее широко используемый вариант пассивного солнечного отопления, системы с инсолируемым объемом - оранжерея. Ее можно рассматривать как видоизмененный вариант системы «массивная стена», где обычное расстояние между стеклом и стеной, равное 100-120 мм, увеличено до 2 м. Это помещение можно использовать как оранжерею - для выращивания растений, но оно служит также и источником теплоты для комнаты, расположенной за ней, за счет либо конвекции, либо замедленной теплопередачи через стену. Действие этой системы очень похоже на действие системы «массивная стена».

Оранжерея – не единственная форма системы с инсолируемым объемом. Это могут быть и остекленные крыльцо или веранда, или какой-то смешанный вариант.

В некоторых небольших зданиях учреждений в качестве инсолируемого пространства используется фойе. Фактически это может быть любое помещение, где возможны большие температурные колебания, чем в жилых помещениях.

В инсоляционных пассивных системах солнечного отопления солнечные лучи проникают в отапливаемые помещения через оконные проемы (обычно увеличенных размеров) и нагревают внутренние ограждения помещения, которые становятся приемниками излучения и аккумуляторами тепла. Несмотря на самую высокую тепловую эффективность, следует отметить ряд недостатков, свойственных инсоляционным пассивным системам – неустойчивость теплового режима, необходимость применения вспомогательных устройств, снижающих дополнительные тепловые потери в ночное время, тепловой и световой дискомфорт в дневное время.

В инсоляционных пассивных системах солнечного отопления с прямым теплопоступлением, как это следует из названия, солнечные лучи, проходящие сквозь остекление, поглощаются поверхностью внутреннего ограждения и масса всех ограждений является аккумулятором тепла. Отличительная особенность инсоляционных пассивных систем солнечного отопления по сравнению с другими заключается в том, что тепловые потери отапливаемого помещения являются функцией площади поверхности светопроема, через который солнечные лучи поступают в помещение [2,3].

Следовательно, общие тепловые потери помещения (Q_{mn}) рассматриваются как сумма двух составляющих: тепловые потери южной стены со светопроемом, как переменные в зависимости от площади светопроема; тепловые потери через остальные ограждения (западная, восточная и северные стены, пол, потолок) [3] как постоянные ($Q_{ГП}^o$), т.е.

$$Q_{mn} = Q_{mn}^{jo} + Q_{mn}^o. \quad (1)$$

В свою очередь, значение Q_{mn}^{jo} складывается из тепловых потерь через проем ($Q_{mn,n}^{jo}$) и остальные глухие ограждения южной стены ($Q_{mn,z}^{jo}$), т.е.

$$Q_{mn}^{jo} = Q_{mn,n}^{jo} + Q_{mn,z}^{jo}. \quad (2)$$

Расчетные значения $Q_{mn,n}^{jo}$ и $Q_{mn,z}^{jo}$ в (2), в свою очередь, определяются по формулам

$$Q_{mn,n}^{jo} = F_n^{jo} K_n (t_k + t_{o,p}); \quad (3)$$

$$Q_{mn,z}^{jo} = F_z^{jo} K_z (t_k + t_{o,p}), \quad (4)$$

где F_n^{jo} и K_n - площадь поверхности и коэффициент тепловых потерь через светопроем южной стены; F_z^{jo} и K_z - площадь поверхности и коэффициент тепловых потерь через





глухие ограждения южной стены; t_k и $t_{o,p}$ - соответственно, температура воздушной среды отапливаемого помещения и расчетная температура наружного воздуха для отопления [4-5]. Очевидно, что

$$F_{\Pi}^{jo} + F_{\Gamma}^{jo} = F_c^{jo} \quad (5)$$

В соответствии с результатами расчетов по определению постоянной составляющей теплопотерь экспериментального объекта с инсоляционной системой солнечного отопления (табл. 1) значение $Q_{ТП}^o$, составляет 1051,81 Вт. при $t_k = 18^{\circ}\text{C}$ и $t_{o,p} = -13^{\circ}\text{C}$ (для г. Карши)

При $K_{\Pi} = 2,91 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$, $K_{\Gamma} = 1,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$, $F_c^{jo} = 12,24 \text{ м}^2$ и $a = 1,1$ формула (1) с учетом (2)-(4) может быть представлено в виде функции от F_n^{jo} , т.е.

$$Q_{ТП} = 1051,81 + 99,23F_n^{jo} + 34,78(F_c^{jo} - F_n^{jo}), \text{ Вт} \quad (6)$$

или

$$Q_{ТП} = 1051,81 + 64,45F_n^{jo} + 34,78F_c^{jo}, \text{ Вт} \quad (7)$$

Формула для удельных теплопотерь (отнесенных на разности температур $t_k - t_{o,p} = 18 - (-13) = 31,0^{\circ}\text{C}$ для экспериментального объекта при этом имеет вид

$$q_0 = \frac{Q_{ТП}}{t_k - t_{o,p}} = 33,93 + 2,08F_n^{jo} + 1,12F_c^{jo}, \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right) \quad (8)$$

Зависимость q_0 от отношения $\frac{F_n^{jo}}{F_{пол}}$ при $F_{пол} = 6,85 \text{ м}^2$ для экспериментального объекта приведена на рис. 2.

Таблица 1

Расчет постоянной составляющей теплопотерь опытной комнаты экспериментального объекта с пассивной системой солнечного отопления при $t_k = 18^{\circ}\text{C}$

Наименование ограждения	Ориентация	Площадь, (м ²)	Коэффициент теплопередачи, ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$)	Расчетная наружная температура (°C)	Основные теплопотери, (Вт)	Добавки к тепловым потерям, (а)	Общие расчетные теплопотери (Вт)
Наружная стена	Запад	9,18	1,02	-13	290,3	1,15	333,81
Наружная стена	Север	10,50	1,02	-13	332,0	1,2	398,41
Внутренняя стена		3,72	1,49	9,1	49,33	-	49,33
Дверь		1,62	4,65	9,1	67,04	-	67,04
Пол		6,85	0,66	-13	140,15	0,75	105,11
Потолок		6,85	0,77	-13	163,51	0,6	98,11
Итого							1051,81

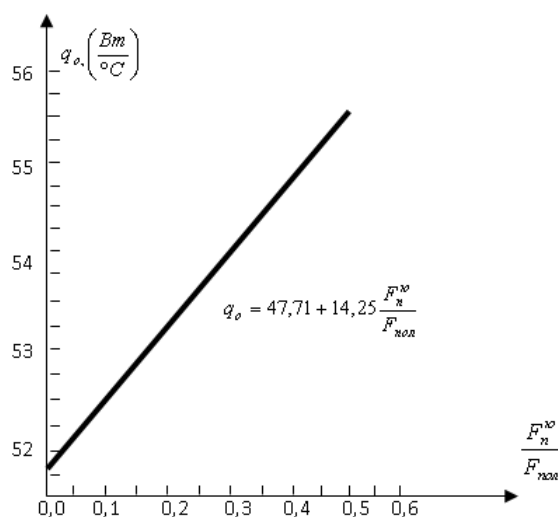


Рис.1. Зависимость удельной тепловой характеристики отопляемого помещения (q_0) от отношения $\frac{F_n^{jo}}{F_{пол}}$.

Как следует из рис. 1, зависимость между q_0 и $\frac{F_n^{jo}}{F_{пол}}$ линейная, что позволяет ее представить в виде уравнения прямой т.е.

$$q_0 = 47,71 + 14,25 \frac{F_n^{jo}}{F_{пол}}, \frac{Bm}{M^2} \quad (9)$$

Тепловые потери экспериментального объекта за сутки (Z_c) в зависимости от фактической температуры окружающей среды на основе (8) и (9) могут быть определены по формуле

$$Q_{ТП}^{\phi} = \left(47,71 + 14,25 \frac{F_n^{jo}}{F_{пол}} \right) (t_k - \bar{t}_{o,\phi}) \cdot Z_c \quad (10)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Shurcliffe W. A. (1980). Thermal Shutters and Shades. Brick House Publishing. Andover, Mass.
2. Дусяров А.С., Авезов Р.Р. Оптимальный угол наклона к горизонту трансформируемого рефлектора пассивных систем солнечного отопления // Гелиотехника, 2000. –№1. –Ст. 60-63.
3. Дусяров А.С., Авезов Р.Р. Температурный режим помещения с рефлекторной пассивной системой солнечного отопления и аккумулятором тепла // Гелиотехника, 2000. –№4. –С.50-54.
4. Дусяров А.С. Расчет теплозащитного эффекта применения шарнирно-трансформируемого рефлектора для дополнительной теплоизоляции поверхности светопроема ночью. // Гелиотехника, 2004. –№4. –С.88-91.
5. Дусяров А.С. Расчет тепловых потерь помещений с инсоляционной пассивной системой солнечного отопления. // Гелиотехника, 2002. –№4. –С.93-95.
6. Справочник по климату. Вып.19. Часть 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние.- Л.: Гидрометиздат, 1966. –76 с.
7. Авезов Р.Р. и др. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. -М.: Стройиздат, 1990.-328с.
8. Зоколей С. Солнечная энергия и строительство. – М.: Стройиздат, 1979. -209 с.
9. Сабади П.Р. Солнечный дом. -М.: Стройиздат, 1985. -113с.
10. Зоколей С.В. Пассивные методы использования солнечной энергии. В кн. Энергоактивные здания. -М.: Стройиздат, 1988. -С. 276-305.





ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Жураев Ислон Рахматович – соискатель
Юлдошев Исроил Абриевич – д.т.н., доцент
Жураева Зухра Исламовна – ассистент

Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова,
кафедра «Альтернативные источники энергии», г.Ташкент

Аннотация. В данной статье приводятся результаты экспериментального изучения тонкопленочного фотоэлектрического модуля (ФЭМ) и разработанной на основе ФЭМ фотоэлектрической тепловой батареи (ФЭТБ) с абсорбером из композитного материала. Экспериментальная установка была установлена на гелиополигоне кафедры АИЭ ТГТУ им. Ислама Каримова. Экспериментальные измерения параметров окружающей среды, электро-физических и теплотехнических характеристик установок проведены 4 августа 2022 г. За счет теплоотвода и охлаждения модуля среднее значение температуры на поверхности ФЭТБ снизилось на 8,6 %, величина электрической мощности увеличилась на 1,9%, значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания увеличились соответственно на 1,2% и 0,9%. С помощью данной разработанной конструкции ФЭТБ за время измерений с 9-30 до 17-30 часов выработано 121 л нагретой воды средней температурой 37,8°C. Как показывает результат исследования, данная конструкция ФЭТБ имеет энергоэффективные показатели и может быть успешно использована для комбинированного производства электрической и тепловой энергии для нужд потребителей.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль; фотоэлектрическая тепловая батарея; температура нагрева; способ охлаждения.

Abstract. This article presents the results of an experimental study of a thin-film photovoltaic module (PVM) and a photovoltaic thermal battery (PVTB) developed on the basis of PVM with an absorber made of composite material. The experimental setup was installed on the helio-polygon of the Department of AES of TashSTU named after I.Karimov. Experimental measurements of environmental parameters, electro-physical and thermal characteristics of the installations were carried out on August 4, 2022. Due to the heat removal and cooling of the module, the average daily temperature values on the surface of the PVTB decreased by 8.6%, the value of electrical power increased by 1.9%, the values of the open circuit voltage and short-circuit current increased by 1.2% and 0.9%, respectively. With the help of this developed design of the PVTB, were produced 121 liters of heated water with an average temperature of 37.8°C during measurements from 9-30 to 17-30 hours. As the result of the study shows, this design of the PVTB has energy-efficient indicators and can be successfully used for the combined production of electric and thermal energy for the needs of consumers.

Key words: photovoltaic module; photovoltaic thermal battery; heating temperature; cooling method.

Введение.

Одной из глобальных задач, стоящих перед обществом в мире, является увеличение доли использования альтернативных и возобновляемых источников энергии в производстве энергии, а также внедрение энергосберегающих и энерго-эффективных технологий в энергопотреблении. Постановлением Президента РУз от 09.04.2021 г. №ПП-5063 «О мерах о развитии возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан» определены задачи по изучению и внедрению эффективных способов использования возобновляемых



источников энергии и водорода в высокотехнологических сферах и отраслях экономики за счет превращения полученной от них энергии в электрическую и тепловую энергию [1]. На совещании по вопросам расширения использования возобновляемых источников энергии, проведенном под председательством Президента РУз 10 июня 2022 года, были даны поручения по экономному использованию газа и электричества и покрытию дефицита электроэнергии путем перехода отраслей экономики на ВИЭ [2]. На основании данных решений и указаний проводим научно-исследовательские изыскания по созданию высокоэффективных энергоустановок по солнечной энергетике с применением фотоэлектрических тепловых батарей и установок для комбинированного производства электрической и тепловой энергии.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана и создана фотоэлектрическая тепловая батарея (ФЭТБ) с абсорбером из композитного материала. Применение технологичных и относительно дешевых, простых в изготовлении и практичных установок является приоритетом при разработке гелиотехнических энергоустановок. Задачу по снижению стоимости гелиотехнических установок можно осуществить за счет перехода на использование в солнечных коллекторах, фотоэлектрических батареях и других установках полимерных и композиционных материалов [3]. В данной работе приводим результаты экспериментального изучения работы опытной конструкции ФЭТБ с абсорбером из композитного материала в натуральных условиях.

Методы и материалы.

Научно-исследовательские работы как правило проводятся на основе теоретического и экспериментального исследования и изучения объектов в соответствующих конкретных условиях с проведением расчетных и измерительных работ [4]. В настоящей работе в качестве метода исследования характеристик ФЭМ и ФЭТБ в естественных условиях окружающей среды выбрано проведение натуральных экспериментов. При выборе методики экспериментов и методов измерений показателей фотоэлектрических модулей в данной работе руководствовались стандартом [5].

- электрические характеристики ФЭМ и ФЭТБ;
- температура нагрева поверхности ФЭМ и ФЭТБ;
- температура воздуха и скорость ветра;
- солнечная радиация на поверхности ФЭМ и ФЭТБ;
- давление холодной воды в системе подачи воды в ФЭТБ;
- температура холодной воды при входе в ФЭТБ;
- температура нагретой воды при выходе из ФЭТБ;
- время нагрева воды в ФЭТБ;
- объем нагретой воды в мерной ёмкости;



Рис.1. Виды используемых измерительных приборов.





Объектом экспериментального исследования является:

- ФЭМ и ФЭТБ тонкопленочной структуры на основе CdTe.

ФЭМ и ФЭТБ на основе CdTe для экспериментального исследования были установлены 4 августа 2022 г. на гелиополигоне кафедры АИЭ ТГТУ им. Ислама Каримова под углом наклона 40° к горизонту с южной ориентацией (рис.2).



Рис.2. Фото экспериментальной установки

Цель проведения экспериментального изучения заключалась в измерении, сравнении и сопоставлении характеристик и параметров ФЭМ и ФЭТБ. Задачами экспериментального исследования являлись изучение влияния температуры среды, скорости ветра, плотности потока солнечной радиации на нагрев и характеристики ФЭМ и ФЭТБ, а также охлаждение ФЭМ и возможности получения нагретой воды для бытовых нужд с помощью ФЭТБ с применением композитного материала.

Результаты и обсуждения.

В данной работе приведены результаты экспериментального изучения опытного образца ФЭТБ, разработанной на основе тонкопленочного фотоэлектрического CdTe модуля с разработкой тепловой батареи с абсорбером из композитного материала. Экспериментальные измерения параметров производились 4 августа 2022 г., с 9-30 до 17-30 часов с повторением каждые полчаса. Измеренные значения плотности потока солнечной радиации, температуры воздуха, скорости ветра приведены в графическом виде на рис.3. Значения плотности потока солнечной радиации на поверхности ФЭМ и ФЭТБ составили 738 Вт/м^2 в 13-00 часов, а в 17-30 вечера – 260 Вт/м^2 . Среднедневная температура воздуха составила $33,6^\circ\text{C}$, среднедневная скорость ветра – $1,2 \text{ м/с}$.

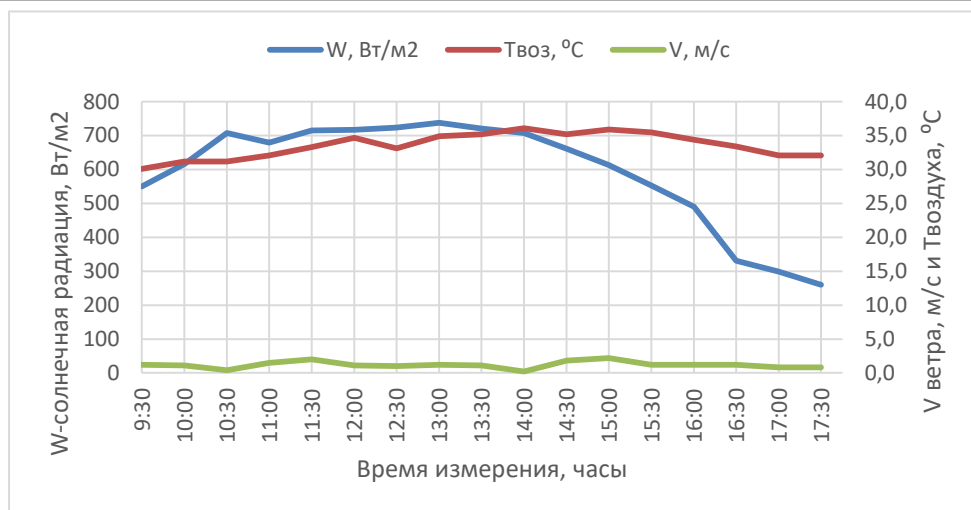


Рис.3.График изменения значения солнечной радиации, температуры воздуха и скорости ветра в течение дня.

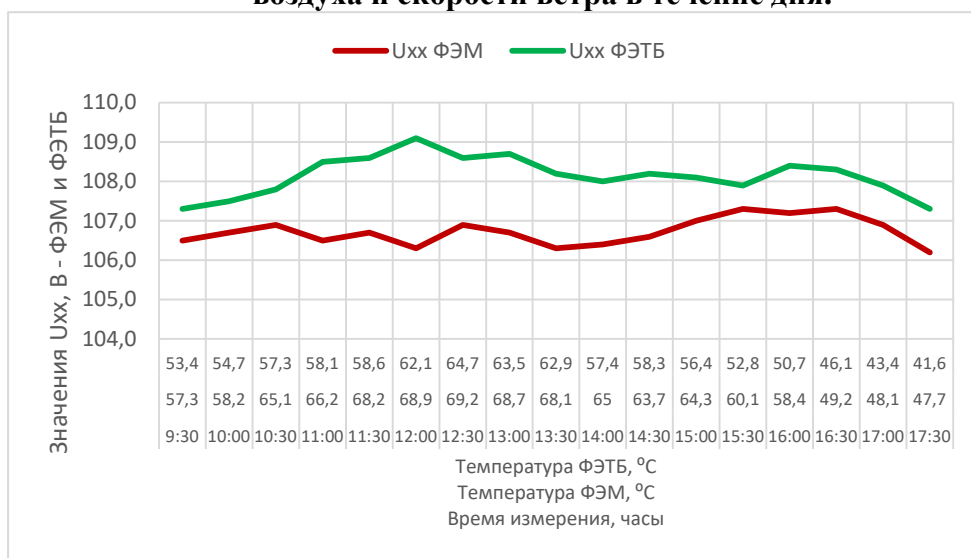


Рис.4.График изменения значений Uxx в течение дня в зависимости от температуры ФЭМ и ФЭТБ.

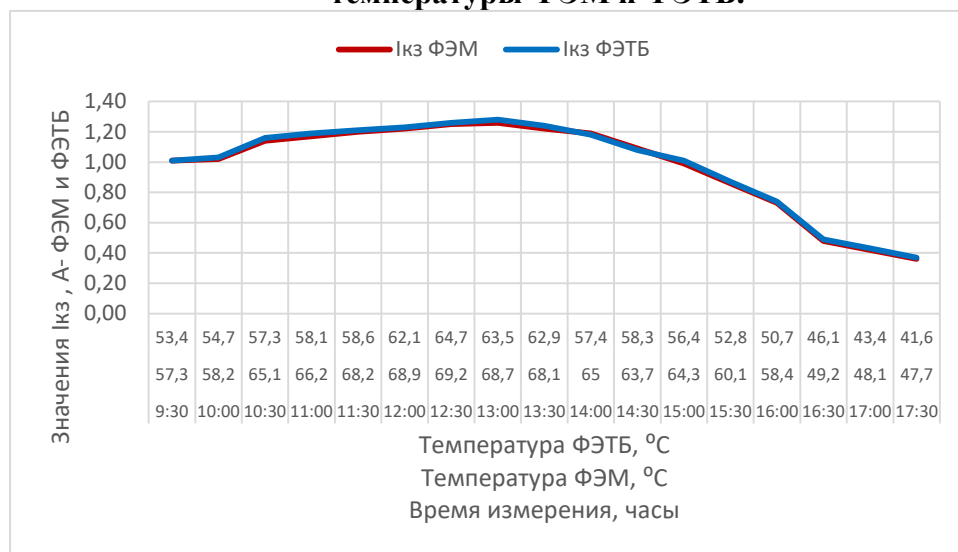


Рис.5.График изменения значений Iкз в течение дня в зависимости от температуры ФЭМ и ФЭТБ.

На рис.4 и рис.5 представлены графики изменения значений Iкз и Uxx для ФЭМ и ФЭТБ соответственно. В 9:30 утра напряжение холостого хода ФЭМ под воздействием





температуры снизилось и составило 106,5 В, а U_{xx} – ФЭТБ составило 107,3 В, по сравнению с номинальным напряжением холостого хода (122 В по табл.1), измеренного по условиям STC. Паспортные данные исследуемого модуля, согласно данным производителя приведены в табл.1.

Таблица 1

Тип и марка модуля	Паспортные данные исследуемого модуля		
	Номинальные значения при условиях STC: 1000 Вт/м ² , 25°C, AM1,5		
	Напряжение холостого хода U_{xx} , В	Ток короткого замыкания $I_{кз}$, А	Мощность P_n , Вт
Тонкопленочный на основе CdTe ASP-S1-90	122	1,06	90

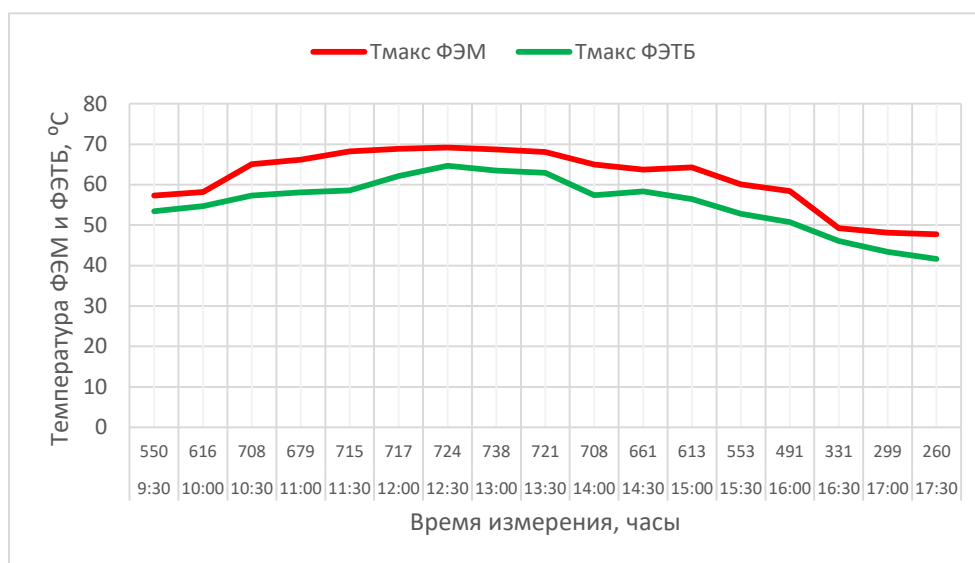


Рис.6.График изменения температуры ФЭМ и ФЭТБ в течение дня

Мощность модуля P_n , по измеренным значениям напряжения холостого хода и тока короткого замыкания можно подсчитать по следующей эмпирической формуле [6],

$$P_n = U_{xx_и} * I_{кз_и} * k, \quad (1)$$

где, $U_{xx_и}$, $I_{кз_и}$ - соответственно, фактически измеренные значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания исследуемого модуля, k -коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики (ВАХ), рассчитывается как отношение номинальной мощности модуля к произведению номинальных значений $U_{xx_н}$ с $I_{кз_н}$, значения которых берутся по паспорту производителя модуля.

$$k = P_n / (U_{xx_н} * I_{кз_н}), \quad (2)$$

Рассчитаем по следующей формуле (2) k - коэффициент заполнения ВАХ для исследуемого модуля:

$$k = 90 / (122 * 1,06) = 0,7$$

Следовательно, изменения величины мощности P_n - фотоэлектрического модуля и P_n – фотоэлектрической тепловой батареи, подсчитанные по формуле (1) по измеренным значениям напряжения холостого хода и тока короткого замыкания по проведенным экспериментальным исследованиям приведены в виде графика на рис.7. На рис.8 приведён график изменения температуры ФЭМ и ФЭТБ. На рис.9 и рис.10 соответственно изображены диаграммы зависимости объема нагретой воды от времени нагревания холодной воды в тепловой батарее и изменения температуры воды за счет теплопередачи от модуля на теплоноситель.

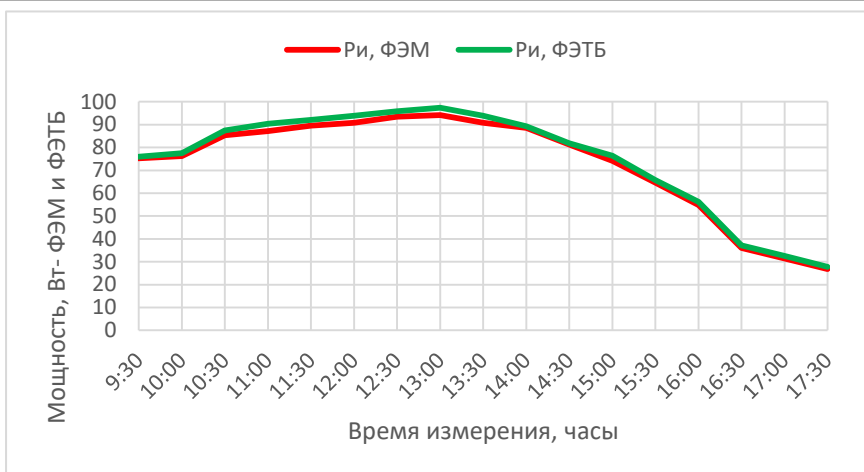


Рис.7.График изменения мощностей ФЭМ и ФЭТБ в течение дня.



Рис.8.Диаграмма зависимости объема нагретой воды от времени нагреха холодной воды.

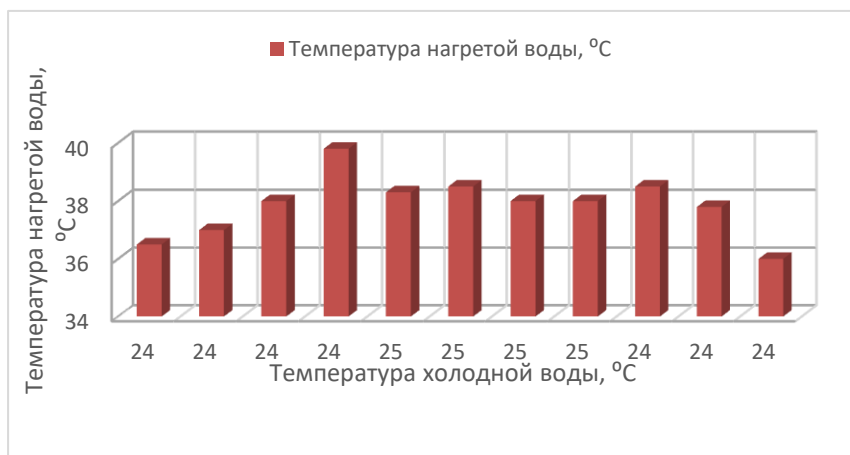


Рис.9.Диаграмма изменения температуры воды

Аналитические данные, сопоставленные в определенные часы дня, приведены в табл.2.1 и табл.2.2. Как видно из таблиц средние значения напряжения холостого хода - U_{xx} и тока короткого замыкания – $I_{кз}$ ФЭТБ увеличились соответственно на 1,2% и 0,9% относительно значений U_{xx} и $I_{кз}$ ФЭМ. Температура поверхности ФЭТБ снизилась в среднем на 5,0°C или на 8,6% относительно температуры ФЭМ. Среднее значение рассчитанной по формуле (1) P_i - мощности ФЭТБ по измеренным значениям U_{xx} и $I_{кз}$ увеличилось на 1,1 Вт или на 1,9%. Анализ данных на рис.8 показывает, что за световой день с 9-30 до 17-30 часов выработан в общем объеме 121 л нагретой воды средней температурой





37,8°C. По данным рис.9 можно видеть динамику увеличение температуры воды в тепловой батарее в течение дня.

Таблица 2.1

Параметр	Сопоставление измеренных параметров в дневные часы							
	9:30				12:30			
	ФЭМ	ФЭТУ	Откл	% увелич	ФЭМ	ФЭТУ	Откл	% увелич
U _{хх} , В	106,5	107,3	0,8	0,75	106,9	108,6	1,7	1,59
I _{кз} , А	1,01	1,01	0	0,0	1,25	1,26	0,01	0,8
W, Вт/м ²	550	550	0	0,0	724	724	0	0,0
T _{воз} , °С	30,1	30,1	0	0,0	33,1	33,1	0	0,0
V, м/с	1,2	1,2	0	0,0	1	1	0	0,0
T _{макс пов}	57,3	53,4	-3,9	-6,8	69,2	64,7	-4,5	-6,5
P _и	75,3	75,9	0,6	0,8	93,5	95,8	2,3	2,5

Таблица 2.2

Параметр	Сопоставление измеренных параметров в дневные часы									
	14:30				17:30				сред	%
	ФЭМ	ФЭТУ	откл	% увелич	ФЭМ	ФЭТУ	Откл	% увелич	откл	увелич
U _{хх} , В	106,6	108,2	1,6	1,50	106,2	107,3	1,1	1,04	1,3	1,2
I _{кз} , А	1,09	1,09	0	0,0	0,36	0,37	0,01	2,8	0,0	0,9
W, Вт/м ²	661	661	0	0,0	260	260	0	0,0	0,0	0,0
T _{воз} , °С	35,2	35,2	0	0,0	32,1	32,1	0	0,0	0,0	0,0
V, м/с	1,8	1,8	0	0,0	0,8	0,8	0	0,0	0,0	0
T _{макс пов}	63,7	58,3	-5,4	-8,5	47,7	41,6	-6,1	-12,8	-5,0	-8,6
P _и	81,3	81,8	0,5	0,6	26,8	27,8	1	3,7	1,1	1,9

Заключение.

В данном экспериментальном изучении ФЭТБ на основе тонкопленочной структуры с абсорбером из композитного материала были проведены измерения входных внешних параметров, выходных характеристик и теплофизических параметров ФЭТБ и ФЭМ. Анализ экспериментально измеренных данных за световой день 04.08.2022 г., с 9-30 до 17-30 показали эффективность собранной ФЭТБ в комбинации с изготовленной конструкцией тепловой батареи из композитного материала и приспособленной соответствующим способом к тыльной поверхности ФЭМ тонкопленочной структуры. По экспериментальным данным, с помощью ФЭТБ площадью 0,7 м² получен объем нагретой воды 121 л (рис.8), средней температурой 37,8°C. За счет снижения температуры модуля посредством теплоотвода, электрическая мощность ФЭТБ за время измерений увеличилась в среднем на 1,9% (табл.2.2). В дальнейших экспериментальных исследованиях планируется отработать



и нормировать технические и конструктивные параметры ФЭТБ с тепловой батареей из композитного материала для изготовления промышленного образца.

Благодарности.

Выражаем благодарность заведующему кафедры АИЭ ТГТУ имени Ислама Каримова, д.т.н. Юлдошеву И.А. за помощь в организации экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства инновационного развития Республики Узбекистан в рамках проекта Ф-ОТ-2021-497 «Разработка научных основ создания солнечных когенерационных установок на основе фотоэлектрических тепловых батарей»

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Постановление Президента Республики Узбекистан от 09.04.2021 г. №ПП-5063 «О мерах по развитию возобновляемой и водородной энергетики в Республике Узбекистан».
- 2 Президент обозначил меры развития возобновляемой энергетики. <https://www.spot.uz/ru/2022/06/10/renewables-expansion/> Энергетика/10 июня 2022 г.
- 3 М.Ю.Ощепков, С.Е.Фрид. Перспективы применения композиционных материалов в гелиотехнике. Материалы 5-международной конференции «Композитный мир», Минск, 2015.
- 4 Пономарев А.Б., Э.А. Пикулева. Методология научных исследований. Учебное пособие, Пермь, Изд-во Перм.нац. исслед. политехн. ун-та, 2014, с.186.
- 5 O'z DSt/IEC 61853-1:2018 «Модули фотоэлектрические. Определение рабочих характеристик и энергетическая оценка». Методика проведения эксперимента осуществляется путем измерения с использованием необходимых измерительных приборов нижеследующих параметров
- 6 Способы измерения мощности солнечных батарей, <https://www.solnechnye.ru/batareya> [Дата обращения 07.08.2022г].





ТАБИЙ КОНВЕКЦИЯЛИ БИЛВОСИТА ҚУЁШ ҚУРИТГИЧ ҚУРИЛМАСИНИНГ ФИЗИКАВИЙ ХУСУСИЯТЛАРИНИ АНИҚЛАШ МЕТОДЛАРИ

Ш.М. Мирзаев, Ж.Р. Кодиров, С.Ш. Ҳақимова, С.И. Хамраев

Бухоро давлат университети

Аннотация: Ушбу мақолада табиий конвекцияли ва ҳаво коллекторли билвосита қуёш қуритгичининг такомиллашган схемаси ишлаб чиқилган, асосий чизиқли ўлчамлари аниқланган. Қуёш қуритгич қурилмаси қуритиш шкафининг вертикал баландлик узунлигини ва коллекторга кирадиган ҳаво массасини, ясси қуёш коллекторининг ва қуритиш шкафининг иссиқлик самарадорлигини ва иссиқлик кувватини аниқлаш имконини берадиган ярим эмпирик тенгламалар ишлаб чиқилган.

Калит сўзлар: ясси қуёш коллектори, ярим эмпирик тенгламалар, иссиқлик аккумулятори, шагал, шиша қопқоқ, қуёш исситиш коллектори.

Annotation: In this article, an improved scheme of a solar indirect dryer with natural convection and an air collector has been developed, and the main linear dimensions have been determined. Semi-empirical equations have been developed to determine the length of the vertical height of the drying cabinet of a solar drying installation and the mass of air entering the collector, the thermal efficiency of a flat solar collector and drying cabinet, and thermal power.

Key words: flat solar collector, semi-empirical equations, heat accumulator, gravel, glazing, solar collector.

Кириш.

Қайта тикланадиган энергия манбалари нафақат атроф-муҳитни тоза сақлайди, балки инсонларни иш билан таъминлаш имкониятлари орқали иқтисодиётга кучли туртки беради, шунингдек қуёш қуритгичлари каби қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини сақлаш тизимлари орқали озик – овқат хавсизлигини яхшилайдди.

Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини ўрим-йиғимидан кейин исрофгарчиликларини кескин даражада камайтириш учун уларни жойида қуритиш зарурлиги анъанавий энергия манбаларига муҳтож бўлмаган ва маҳсулотларни юқори даражада сифатли қуритадиган самарали қуёш қуритгичларини ишлатишга қаратилган дунё олимлари олдида муҳим бир масала бўлиб қолмоқда. Аксарият дунё олимлари [1,2,3,4] ва [5] бу масалани ҳал этиш учун герметикалаштирилган қуритиш шкафида ўрнатиладиган қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини табиий ҳаво конвекцияси билан бир меъёрда қуритадиган билвосита турдаги қуёш қуритгичларини ишлатишни тавсия этмоқдалар.

Мақолада келтирилган муоммоларни ечиш йўналишида табиий ҳаво конвекцияли билвосита қуёш қуритиш қурилмасини яратиш ва тадқиқ қилиш масалалари ушбу мақолада келтирилди: қуритиш қурилмасининг асосий таркибий элементларининг мақбул чизиқли ўлчамларини ўрнатиш методи ишлаб чиқилди, унга асосланиб физик ва иссиқлик хусусиятларини ўрнатиш учун ярим эмпирик формулалар олинди.

Табиий ҳаво конвекциясига эга билвосита турдаги қуёш қуритиш қурилмаси асосан икки қисмдан иборат: ясси қуёш коллектори ва қуритиш шкафи (1-расм).

Ясси қуёш коллектори иссиқ кути ва тўртбурчак асосли параллелепипед шаклида тайёрланган, унинг пастки ва ён томонлари атроф-муҳитга иссиқлик узатилишидан ҳимояланган. Иссиқликни захиралаш учун коллекторнинг пастки қисмига иссиқлик аккумулятори ўрнатилади. Қопқоқлар (тирқишлар) коллекторнинг икки томонида (пастки ва юқори томонларида) ўрнатиладиган: атроф-муҳитдан ҳаво кириши учун қопқоқ (А) ва иситиладиган ҳавони коллектордан қуритиш шкафига ўтказиш учун қопқоқ (В) (1-расм).



Иссиқ кутининг қуёшга қараган қисми шиша билан қопланган. Қолган барча ён деворларнинг ички ва ташқи қисмлари, пастки (туб) қисми фанер билан ўралган, иссиқликни ташқи муҳитдан ҳимоялаш учун улар орасида иссиқлик изолятори (пеноплас) ўрнатилган.

Қуришиш шкафи, шунингдек, тўртбурчак асосли параллелепипед шаклида қилинган ва унинг барча деворлари атрофдаги муҳитга иссиқлик узатилишидан ҳимояланган. Шкафнинг шимолий қутбга қараган томонида маҳсулотларни жойлаштириш учун иссиқликдан ҳимоя эшиги ўрнатилган.

Ясси коллектордан иситиладиган ҳавонинг қуришиш шкафига оқишини таъминлаш учун шкафнинг пастки қисмига тешик (B) ўрнатилган, буғ-ҳаво аралашмасини атроф-муҳитга чиқартириш учун шкафнинг томига тешик (D) ўрнатилган (1-расм).

Қуёш радиацияси ясси коллекторнинг шаффоф юзасига тушади, қуёш радиациясининг бир қисми шаффоф юзадан акс (қайтади) этади ва бир қисми у томонидан ютилади, қолган қисми коллектор ичидаги ҳаводан ўтиб, коллекторнинг пастки қисмида ўрнатилган иссиқлик аккумулятори юзасига тушади.

Қуёш радиациясини олган ҳаво ва аккумулятор иситилади. Шу билан бирга, иситиладиган аккумулятор иссиқлик энергиясини ўзининг атрофидаги ҳавони иситиш учун ҳам узатилади. Нисбатан юқори ҳароратли ҳаво коллекторнинг (B) тирқишга қараб кўтарилади ва қуришиш шкафига киради. Шу билан бирга, атроф-муҳитдан ҳаво коллекторга (A) тешик орқали киради.

Иситилган ҳаво вертикал равишда ҳаракатланади ва шкафнинг юқори қисмида ўрнатилган тешик (D) орқали атроф-муҳитга чиқарилади. Қуришиладиган маҳсулот шкафга жойлаштирилган тақдирда, иситилган ҳаво, ўзининг иссиқлигини маҳсулотга узатиб, ундаги сувни буғлантиради. Кейин тешик (D) орқали буғ-ҳаво аралашмаси чиқарилади.

Қуришиш қурилмасининг тугунларида ҳароратларни белгилаб оламиз: атроф-муҳитдан коллекторга кирувчи ҳавонинг ҳарорати- T_a , коллектордан чиқаётган ҳарорат- T_c , қуришиш шкафидан атроф-муҳитга чиқаётган буғ-ҳаво аралашмасининг ҳарорати- T_d .

Қуришиш қурилмасининг қизиқли ўлчамларини белгилаб оламиз: қуришиш қурилмасининг баландлик узунлиги (вертикал) - H , коллекторнинг баландлик (вертикал) - h_c , қуришиш шкафининг баландлик (вертикал) - $h_{ук}$.

Қуёш қуришиши қурилмасининг қизиқли ўлчамларини ўрнатиш учун термодинамика ва жисмларнинг эркин тушиш қонунларга асосланамиз ва башоратлар қиламиз.

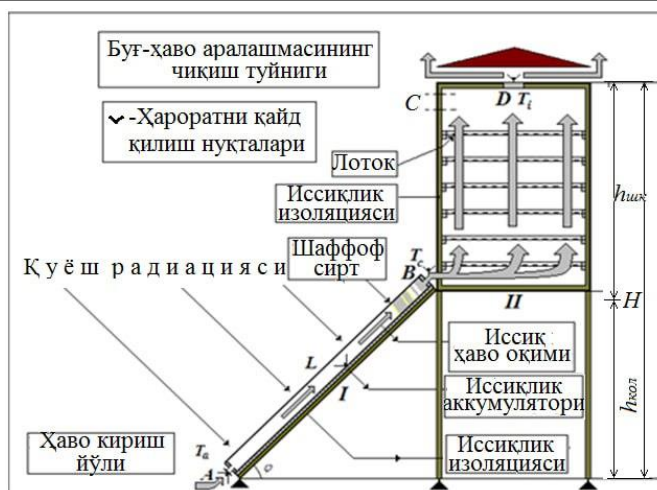
Башоратлар: ясси коллектор камераси атроф-муҳитдан ҳаво олади ва дастлабки ҳажмини- V_c тўлдиради, ҳаво эса қуёш радиациясидан маълум миқдорда иссиқлик энергиясини A_1 қабул қилади (термодинамика қонунларига асосан):

$$A_1 = c_p \cdot m_c \cdot (T_c - T_a), \quad (1)$$

бу ерда c_p - $(0-50)^\circ C$ ҳароратда ҳавонинг солиштирма иссиқлик сифими, $c_p \approx 1,005 \frac{кДж}{кг \cdot K}$;

m_c - коллектор камераси ичида мҳаво массаси, $m_c = \rho_a \cdot V_c = \rho_a \cdot L_c \cdot M_c \cdot N_c$, кг; ρ_a - дастлабки ҳолатда ҳаво зичлиги, $\frac{кг}{м^3}$; L_c - коллекторнинг баландлик узунлиги, м; M_c - энининг узунлиги, м; N_c - коллектор бўйининг узунлиги, м.





1-расм. Табiiй ҳаво конвекцияли билвосита турдаги қуёш қуритиш қурилмасининг схемаси.

Бундай ўлчамлардан келиб чиқиб коллекторнинг ҳажмини V_c қуйидагича топиш мумкин бўлади: $V_c = L_c \cdot M_c \cdot N_c$

Башоратлар: иситилган ҳаво ишлаб чиқрадиган коллектор тешигини B очганимизда, ҳаво қуёш радиациясидан қабул қилган $A_1 = A_x$ энергия ҳисобида, иситилган ҳавонинг доимий босимда ($p = const$) бўлиши учун ўзининг ҳажмини V_c дан V_x гача кенгайтиради:

$$A_x = p \cdot (V_x - V_c) = p \cdot \Delta V. \quad (2)$$

(1) ва (2) тенгламаларни тенглаштириб ҳавонинг кенгайган ҳажмини V_x аниқлаймиз:

$$c_p \cdot m_c \cdot (T_c - T_a) = p \cdot (V_x - V_c),$$

$$V_x = \frac{c_p m_a (T_c - T_a) + p V_c}{p}. \quad (3)$$

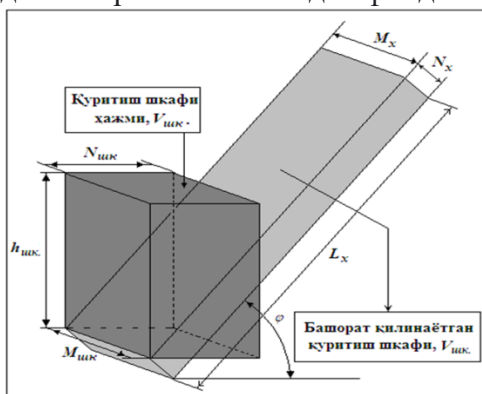
Ифода (3) дан қуритиш шкафининг ҳажмини $V_{шк.}$ ҳажмлар фарақи $V_{шк.} = V_x - V_c$ орқали аниқлаб оламиз:

$$V_{шк.} = \frac{c_p m_a (T_c - T_a)}{p}. \quad (4)$$

Маълумки, қуритиш шкафининг ҳажми унинг учта ўлчамлар кўпайтмаси орқали аниқланади:

$$V_{шк.} = (L_x - L_c) \cdot M_x \cdot N_x = L_{шк.} \cdot M_c \cdot N_x, \quad (5)$$

буерда $L_{шк.}$ – башорат қилаётган қуритиш шкафининг баландлик узунлиги, M_c – энининг узунлиги, N_x – коллектор бўйининг узунлиги. Қуритиш шкафининг чизикли ўлчамларини ҳисоблаш учун схема 2-расмда тасвирланган схемадан фойдаланамиз.



2.2-расм. Қуритиш шкафининг чизикли ўлчамларини ҳисоблаш схемаси.



Қуритиш шкафи кутиси асос тўртбурчагининг $M_{\text{ук.}}$ кенглиги узунлигини коллектор кутиси кенглиги узунлигига тенглаштириб танлаймиз $M_c = M_{\text{ук.}}$, шкаф асос тўртбурчагининг N_x энини эса қуритиладиган мевалар жойлаштириладиган патниснинг ўлчамига қараб мослаштириб оламиз.

Коллектор туби ташқи сиртининг уфққа нисбаттан қиялик бурчагини φ ҳамда (4) и (5) ифодаларни ҳисобга олиб, қуритиш шкафининг вертикал баландлик узунлигини аниқлаш ярим эмпирик формуласини ўрнатиш мумкин бўлади:

$$h_{\text{ук.}} = L_{\text{ук.}} \cdot \sin\varphi = \frac{c_p \cdot m_c \cdot (T_c - T_a)}{\rho \cdot M_{\text{ук.}} \cdot N_{\text{ук.}}} \cdot \sin\varphi. \quad (6)$$

Коллекторда илиқ (иссиқ $20 \div 70^\circ \text{C}$) ҳавони ишлаб чиқариш қувватини аниқлаш учун, албатта, қуритиш шкафига кирадиган илиқ ҳаво массасини аниқлаш зарур. Дастлабки ҳолатда коллектор ҳажмида тўпланган ҳаво массаси қуйидагича аниқланади:

$$m_c = \rho_a \cdot V_c = \rho_a \cdot L_c \cdot M_c \cdot N_c. \quad (7)$$

Коллектор камераси ичидаги ҳаво куёш радиациясидан олган иссиқлик энергияси ҳисобида (1) бажарадиган иши ҳаво массаси $m_c = \text{const}$ бўлганда ҳавога ҳаракатлантирувчи куч ($F_{\text{хар.}} = m_c \cdot \bar{a}$, ҳавонинг ҳаракатланиш тезланиши) таъсирида ҳавонинг ҳажмини кенгайтиради:

$$A_1 = c_p \cdot m_c \cdot (T_c - T_a) = F_{\text{хар.}} \cdot L_x = m_c \cdot a \cdot L_x = m_c \cdot a \cdot (L_c + L_{\text{ук.}}). \quad (8)$$

(2.8) тенгламадан коллектор камерасига кирувчи ҳавонинг A нуқтадан B нуқтага (2.2-расм) кўтарилишда ҳаракат тезланишини аниқлаймиз:

$$\bar{a} = \frac{c_p \cdot (T_c - T_a)}{(L_c + L_{\text{ук.}})}. \quad (9)$$

Коллекторнинг A нуқтасидан B нуқтасига кўтарилган ҳаво энергиясини жисмларнинг эркин тушиш қонунларидан фойдаланиб қуйидагича аниқлаймиз:

$$m_c g h_c = m_c \frac{g^2}{2}. \quad (10)$$

Биринчидан, (10) дан фойдаланиб коллекторга кирувчи ҳаво тезлигини вақт бирлиги ичида, $\frac{M}{C}$ ўлчов бирликда қуйидаги шаклдаги ифода билан аниқлаймиз (коллектор камерасини атроф-муҳитдан ҳаво билан тўлдириш тезлиги,):

$$g = \sqrt{2gh_c}. \quad (11)$$

Жисмларнинг эркин тушиш қонунларига асосан коллекторга кирувчи ҳавонинг тезлигини аниқлаймиз:

$$g = a \cdot \tau_1. \quad (12)$$

(11) ва (12) ифодаларни тенглаштириб, (9) ифодани қўллаган ҳолда коллектор ҳажмида бўлган m_c массали ҳаво A нуқтадан B нуқтага кўтарилиш вақтини аниқлаймиз:

$$\tau_1 = \frac{\sqrt{2gh_c}}{a} = \frac{\sqrt{2gh_c} \cdot (L_c + L_{\text{ук.}})}{c_a \cdot (T_c - T_a)}. \quad (13)$$

Бир секундда коллекторга кирадиган ҳаво m' массасини қуйидаги мунособатдан $\frac{kg}{C}$ ўлчов бирлигида топиш мумкин бўлади:

$$m' = \frac{1}{\tau_1} \cdot m_c = \frac{c_p \cdot (T_c - T_a) \cdot m_c}{\sqrt{2gh_c} \cdot (L_c + L_{\text{ук.}})} = \frac{c_p \cdot (T_c - T_a) \cdot m_c}{\sqrt{2gh_c} \cdot (h_c + h_{\text{ук.}})} \cdot \sin\varphi \quad (14)$$

Ясси коллекторнинг шаффоф сирт юзасидан ўтган куёш радиацияси унинг камераси ичидаги ҳавони ($A_{\text{хаво}}$) ва коллекторнинг тубида ўрнатилган иссиқлик аккумулятор





материалини иситишга ($A_{аккумулятор}$) сарф қилинади деб қараб коллекторнинг бажарган фойдали ишини топиш мумкин:

$$A_{кол.} = A_{хаво.} + A_{аккумулятор} = c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a) + c_p^{аккумулятор} \cdot m_{аккумулятор} \cdot (T_{i+1} - T_i) \quad (15)$$

буерда $c_p^{хаво.}$ – коллектор ичидаги ҳавонинг ҳарорати $(20 \div 70)^\circ C$ бўлганда ва ўзгармас босимда ва солиштирма иссиқлик сифими, $c_p^{хаво.} = 1,005 \frac{кДж}{(кг \cdot K)}$; $c_p^{аккумулятор}$ – коллекторнинг тубида ўрнатилган аккумуляторнинг солиштирма иссиқлик сифими, $2,3 \frac{кДж}{(кг \cdot K)}$ (метаморфик жинслар учун); m' – ароф-муҳитдан коллекторга бир секундга кирувчи ҳаво массаси, $\frac{кг}{с}$; $m_{аккумулятор}$ – иссиқлик аккумулятори сифатида ишлатилган материалнинг массаси, $кг$; T_i – ва T_{i+1} – аккумулятор сирти юзасида ҳар бир соатда ва шу бир соатдан кейин ўртача ҳарорат, $^\circ C$;

(15) тенгламага асосланиб, коллекторнинг иссиқлик самарадорлиги коэффициентини топишнинг куйидаги кўринишдаги ярим эмпирик формуласини тузамиз:

$$\eta_c = \frac{c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a) + c_p^{аккумулятор} \cdot m_{аккумулятор} \cdot (T_{i+1} - T_i)}{R_o \cdot F_a \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2} \quad (16)$$

бу ерда R_o – уфқ текислигининг бир метр квадрат юзасига тушувчи йиғинди қуёш радиацияси, $МДж$; F_a – шаффоф сирт юзаси, $м^2$; κ_1 – шишанинг ёруғликни қайтариш коэффициенти, $\approx 7.2\%$ [6]; κ_2 – шишанинг ёруғликни ютиш коэффициенти, ≈ 1 [7].

Ясси қуёш коллекторининг соатлик ўлчаш интервалида ўртача иссиқлик қуввати, коллекторнинг ён туби томонларидан иссиқлик йўқотишларини ҳисобга олмаган ҳолда, куйидаги мунособат билан аниқлаш мумкин бўлади:

$$Q_{кол.} = \frac{A_{кол.}}{\tau_o} = \frac{c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a) + c_p^{аккумулятор} \cdot m_{аккумулятор} \cdot (T_{i+1} - T_i)}{\tau_o} \quad (17)$$

бу ерда τ_o – соатли вақт интервали.

D нуқтада буғ-ҳаво аралашмасининг иссиқлик энергиясини $A_d = c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_d)$ тенг деб қабул қилсак, унда қуритиш шкафининг иссиқлик самарадорлик коэффициентини куйидаги ярим эмпирик формула билан билан аниқлаш мумкин бўлади:

$$\eta_{шк.} = \frac{A_{хаво.} - A_d}{A_{хаво.}} = \frac{c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a) - c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_d)}{c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a)} = \frac{(T_d - T_a)}{(T_c - T_a)} \quad (18)$$

(17) ифодадан келиб чиқиб қуритиш шкафининг бажарган фойдали иши куйидагига тенг бўлади:

$$A_{шк.} = A_{хаво.} - A_d = c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a) - c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_d) = c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_d - T_a) \quad (19)$$

$$\eta_{шк.} = \frac{A_{шк.}}{A_{хаво.}} = \frac{c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_d - T_a)}{c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a)} = \frac{(T_d - T_a)}{(T_c - T_a)}$$

Бундай ҳолда, соатлик ўлчов интервалида иссиқлик йўқотишларини ҳисобга олмаган ҳолда қуритиш шкафининг ўртача соатлик иссиқлик қуввати куйидаги эмпирик формула билан аниқланиши мумкин бўлади:

$$Q_{шк.} = \frac{A_{шк.}}{\tau_o} = \frac{A_{шк.}}{\tau_o} = \frac{c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_a) - c_p^{хаво.} \cdot m' \cdot (T_c - T_d)}{\tau_o} \quad (20)$$

Шундай қилиб, табиий ҳаво конвекцияли билвосита қуёш қуритгич қурилмаси конструкцион модели элементларининг физик хусусиятларини, яъни, чизиқли ўлчамларини ўрнатиш методи яратилди, булардан фойдаланган ҳолда асосий иссиқлик хусусиятларига



тегишли параметрларининг ярим эмпирик формулалари аниқланди. Қуритиш шкафи баланлигининг узунлиги, иссиқлик самарадорлиги коэффициенти, иссиқлик қуввати; коллекторнинг иссиқлик самарадорлиги, иссиқлик қуввати, илиқ сув ($20 \div 70^\circ C$ ҳароратли ҳаво) ишлаб чиқариш вақти ва массасини $\frac{\kappa z}{c}$ бирликларда аниқлашнинг ярим эмпирик формулалари яратилди.

Хулоса:

Табиий ҳаво конвекцияли билвосита қуёш қуритгич қурилмаси конструкцион модели элементларининг физик хусусиятларини, яъни, чизиқли ўлчамларини ўрнатиш методи яратилди, булардан фойдаланган ҳолда асосий иссиқлик хусусиятларига тегишли параметрларининг ярим эмпирик формулалари аниқланди. Қуритиш шкафи баланлигининг узунлиги, иссиқлик самарадорлиги коэффициенти, иссиқлик қуввати; коллекторнинг иссиқлик самарадорлиги, иссиқлик қуввати, илиқ сув ($20 \div 70^\circ C$ ҳароратли ҳаво) ишлаб чиқариш вақти ва массасини $\frac{\kappa z}{c}$ бирликларда аниқлашнинг ярим эмпирик формулалари яратилди.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Nicholas Musembi Maundu, Kosgei Sam Kiptoo, Kiprop Eliud, Dickson Kindole, Yuichi Nakajo. Airflow Distribution Study and Performance Analysis of a Natural Convection Solar Dryer. // American Journal of Energy Research, 2017, Vol. 5, No 1, 12-22.
2. B.C. Udeinya, O. Ojike, W.I. Okonkwo, U.C. Abada. Performance Evaluation of Mixed Mode Passive Solar Stock Fish Dryer. // Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH) Vol. 40, No. 6 November, 2021, pp1104–1109
3. Dinesh Acharya., Improvement of an Indirect Solar Dryer. // Academic View TUTA, Tri-Chandra Campus Unit, Apr 2016, Vol-7:50-55
4. Abhay Lingayat, Chandramohan V.P., V.R.K. Raju. Design, development and performance of indirect type solar dryer for banana drying // Energy Procedia 109 (2017) 409 – 416.
5. Messaoud Sandali1., Abdelghani Boubekri., Abderrahmane Benhamza., Belkhir Settou., Daoud Halassa., Djamel Mennouche. A Simulation study of a solar collector using phase change materials for air heating application needs // Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability AIP Conf. Proc. 1814, (2017); 020010-1–020010-11.
6. <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/LightAndColor/FactorReflection/>.
Коэффициент отражения (p, %) при различных углах падения для стекла и воды.
7. Кистенева М.Г. Оптические свойства твердых тел. // Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА. 2016 г. С 48.

ФОТОЭЛЕКТРИК БАТАРЕЯЛАРНИ ҲАВО ВА СУВ ЁРДАМИДА СОВУТИШДА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ ТАҲЛИЛЛАРИ





Ш.Н. Абилфайзиев, С.Ф. Тошпўлатов, Р.Н. Абилфайзиев

Термиз давлат университети
тел.: +99890 747-83-38; e-mail: abilfayziyev@inbox.ru

Аннотация: Ушбу тадқиқотда фотоэлектрик батареяларни (ФЭБ) бир вақтнинг ўзида табиий шароитда икки хил усулда совутилганда уларнинг энергия самарадорликлари бир бирига тақослаш натижалари келтирилган. Ўтказилган тажриба синов натижалари иссиқ иқлим шароитида сув ёрдамида совутилган ФЭБ ни электр кўрсаткичлари, ҳаво ёрдамида совутилган ФЭБ га қараганда 1,4 марта юқори эканлиги кузатилди.

Калим сўзлар: фотоэлектрик батарея, совутиш усуллари, коллектор, поликарбонат, электр қуввати, ҳарорат.

Annotation: This paper presents the results of comparing the energy efficiency of photovoltaic arrays (PV) with simultaneous cooling in two different ways in natural conditions. The results of experimental tests showed that the electrical characteristics of PVs with water cooling in hot climates are 1.4 times higher than those of PVs with air cooling.

Keywords: photoelectric battery, cooling methods, collector, polycarbonate, electric power, temperature.

Кириш.

Қуёш энергиясидан максимал фойдаланиш энергия ишлаб чиқариш муаммосига чек қўядиган қайта тикланувчи энергиянинг муҳим манбаларидан биридир. Ерга етиб келадиган қуёш энергиясининг миқдори тахминан 85ПВт ни ташкил қилади. Бу жаҳондаги қувват (15ТВт) сарфидан 500 баравар кўп дегани [1]. Бундан ташқари бу экологик тоза энергия манбаи ҳисобланади. Халқаро энергия агентлиги маълумотида кўра қуёш энергиясининг умумий улуши 2017 йилда тахминан 2,1% дан 2050 йилга келиб 16% ни ташкил қилиши мумкин [2]. Қуёш энергиясини электр энергияга айлантириб берувчи ФЭБ лардан фойдаланиш йил сайин ортиб бормоқда. Бироқ, ФЭБ ларнинг асосий камчилиги қуёш энергиясини электр энергиясига конвертация қилиш самарадорлиги паслиги бўлиб, тахминан 11% дан 18% гача [3]. ФЭБ юзасига тушаётган қуёш нурунинг кичик бир қисми ютилиб электр энергиясига айланади. Қолган конвертация қилинмаган қисми ФЭБ дан фойдаланиш жараёнида ҳароратни кўтариб, ФЭБ нинг самарадорлигини яна ҳам пасайтиради. Бу жараён нурланишнинг қуёш элементлари томонидан ютилмайдиган ва иссиқликка айланмайдиган қисми билан боғлиқ. ФЭБ нинг самарадорлигини ошириш учун унинг ишлаш жараёнида ҳароратини пасайтириш зарурати туғулади [4]. Шу сабабли фотоиссиқлик батареяси (ФИБ) ғояси вужудга келди. ФЭБ ҳароратини пасайтириш учун иссиқлик коллекторлари орқали суоқликлар ёки ҳаво оқими ўтказилади. ФЭБ нинг иссиқлик коллектори билан бирлаштирилган тизими ФИБ деб аталади. Сўнгги йилларда тадқиқотчилар томонидан турли хил ФИБ моделлари ишлаб чиқилиб, ФЭБ лар билан энергия самарадорлиги тақосланмоқда [5].

Ўзбекистонда ушбу йўналиш бўйича илк тадқиқотларни ЎзФА Физика-техника институти ходимлари олиб боришган. Тажрибаларда ёруғликни ютиш коэффициенти катта бўлган ФЭБ га иссиқлик коллектори бириктириб ФЭБ самарадорлиги оширилган [6]. Дунё миқёсида ФИБ қурилмалари бўйича илмий изланишлар кўпинча иссиқ иқлим минтақаларидаги олимлар томонидан ўтказилмоқда. Хусусан, Ҳ.А. Насеф ва бошқаларнинг мақоласида эса концентрланган фотоэлектрик қуёш тизими иссиқлигини тартибга солиш учун пассив ва фаол совутиш тизимларининг интеграцияси ишлаб чиқилган ва моделлаштирилган [7]. Л. К. Алексис ва бошқаларнинг тадқиқот ишида табиий иқлим шароитида ФЭБ ва ФИБ ларнинг энергия ишлаб чиқариши бир-бирига солиштирилган. ФИБ анъанавийси билан тақосланганда энергияси 12,3% га ортиқ бўлган. Бунда ФИБ нинг коллектор қисми мис трубка бўлиб, совутишда сувдан фойдаланилган [8]. О.Ф. Тукфатуллиннинг тадқиқот ишида ФЭБ ни сув орқали совутиш ҳароратида унинг салт юриш



кучланиши сезиларли ўсиши ўрганилган. Синов атроф-муҳит ҳарорати 35°C , нурланиш интенсивлиги 820 Вт/м^2 ва сув сарфи бкг/соат бўлган ҳолат учун текширилган [9]. С.А.Зубер ва ҳаммуаллифлари ёзган шарҳида ФЭБ нинг иш ҳароратини пасайтиришнинг турли хил совутиш техникалари ёритилган. ФЭБ ни ҳаво каналлари орқали, сувли каналлар орқали ва сув пуркагичли совутиш техникаси орқали совутишнинг афзалликлари ва камчиликлари ўрганилган [10]. И.А Юлдошовни тадқиқотида ФЭБ нинг анъанавий дизайнидан фарқли ўларок, совутиш мақсадида ФЭБ нинг орқа томонига кулерлар ўрнатилган [11]. Ушбу тадқиқотда иссиқ иқлим шароитида (30°C дан юқори) ФЭБ самарадорлигини термоэлементлар ёрдамида ошириш имкониятлари ўрганилган [12].

Сўнгги йиллар давомида ФЭБ лар иссиқ иқлим шароитида ишлаганда самарадорлиги пасайишини олдини олиш учун уларнинг орқа томонига ИК ўрнатиш технологияси ишлаб чиқилди. Юқорида келтирилган тажрибаларда ФЭБ ларни ҳаво, сув ёки бошқа совутиш воситалари ёрдамида алоҳида – алоҳида ва турли вақтларда фойдаланилган. Лекин, бир вақтнинг ўзида табиий шароитда ҳаво ва сув ёрдамида совутиш усуллари билан фойдаланилганда ФЭБ нинг самарадорлиги қайси усулда юқори эканлиги келтирилмаган.

Ушбу мақолада иссиқ иқлим шароитида температура таъсирига сезгир бўлган ФЭБ ни бир вақтнинг ўзида ҳаво ва сув орқали совутиш усуллари қўлланган ва олинган натижалар баён қилинган.

Материаллар ва усуллар.

Ушбу тадқиқот учун иккита бир хил ФЭБ танланган бўлиб, ҳар бир ФЭБ да қуёш элементлари (КЭ) сони 36 та, уларнинг электр параметрларини стандарт синов (STC , AM1.5 $T=25^{\circ}\text{C}$ $E=1000\text{W/м}^2$) шароитида қуввати 50Вт дан. ФЭБ ларни бир вақтнинг ўзида табиий шароитда сув ва ҳаво ёрдамида совутилган. Бунинг учун нурланиш интенсивлиги кам бўлган совуқ иқлим минтақаларига мўлжалланган орқа томон қопламаси қора рангли иккита ФЭБ танланган. Бундай ФЭБ танлашдан мақсад улар температура таъсирига сезгир бўлиб, турли усуллар билан совутганда энергия ўзгаришларининг самарадорлиги яққол билинади. Биринчи ФЭБ ни совутиш мақсадида орқа томони кулерлар билан бирлаштирилган махсус қопқоқ ёрдамида ёпилган бўлиб, бунда ФЭБ ҳаво ёрдамида совутилади. Иккинчи ФЭБ ни совутувчи модда сифатида сувдан фойдаланилиб, иссиқлик коллектори (ИК) орқали ўтказилди. ИК билан бирлаштирилган ФЭБ ни ФИБ дейилади. ФИБ одатда ФЭБ ни совутиш орқали электр энергияни ошириш ва иссиқлик энергияси олиш учун ишлаб чиқилади. 1-расимда ФЭБ ларнинг ишчи ҳолатдаги кўриниши тасвирланган.



1-расм. ФЭБ ва ФИБ ни ҳаво ва сув орқали совутиш жараёни.

ФЭБ ни совутишда параллел каналли поликарбонат ИК дан фойдаланилган [13].

Поликарбонат – иссиқликка чидамли полимер материал бўлиб, иссиқлик коллектори сифатида унинг тўғри тўртбурчак шаклидаги каналларидан совуқ сув ўтказилади. Поликарбонат шакли, ўлчамлари ва ясси сирти ФЭБ билан яхши иссиқлик алмашинувини таъминлайди. ФИБ да иссиқлик фақат сувга берилиши учун иссиқлик коллектори орқасидан пенопласт ва фольгоизол орқа қопқоқ билан зич ёпилган.

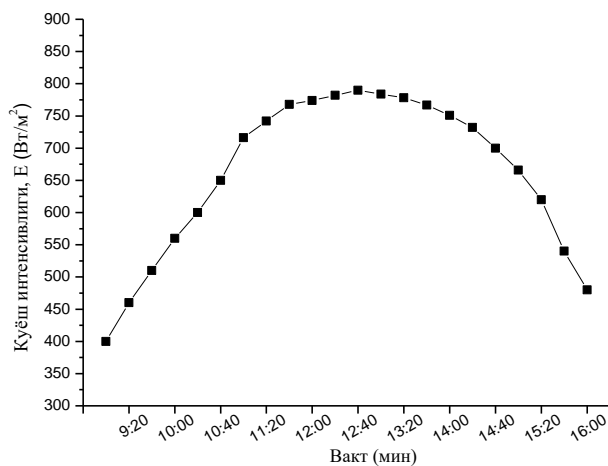
Натижалар ва мунозаралар.





ФЭБ ларнинг электр параметрлари 2022 йил 17-август куни Тошкент шароитида (Физика-техника институти гелиополигониди) ҳаво ҳарорати 38°C , нисбий намлик 19% ва шамолнинг тезлиги 15km/h бўлган шароитда ўтказилди. Бунда қурилмадаги ФЭБ ва ФИБ нинг ҳолатини ўзгартирмасдан “тармоқ” станциялар каби, жанубга қаратилган ҳолда қуёшнинг қиём вақтидаги қуёш нурланиши тик тушадиган қилиб ўрнатилди.

Тадқиқот кундузи 9:00 дан 16:00 гача вақт оралиғида олиб борилди. Ушбу санада ФЭБ ва ФИБ юзасига тушаётган қуёш нурланиш интенсивлиги кун вақтларига боғлиқлиги 2-расмда кўрсатилган.

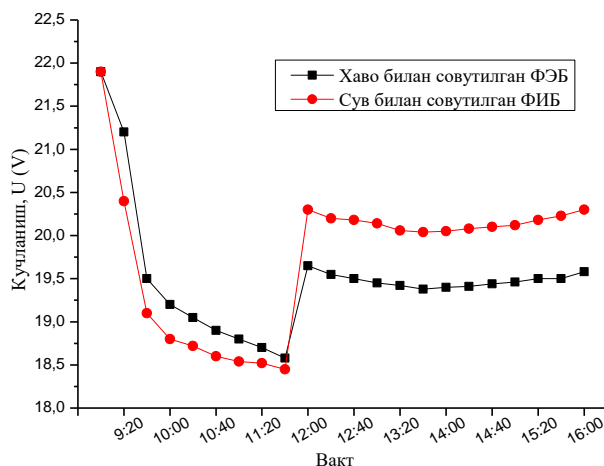


2-расм. ФЭБ ва ФИБ ларини зенитга йўналтириш режимида қуёш нурланиш интенсивлигининг вақтга боғлиқлиги.

Қуёш нурланишининг интенсивлиги кристалли кремний асосида тайёрланган эталон ҚЭ қисқа туташув токини ўлчаш йўли билан аниқланган.

Ёруғлик нурланиш интенсивлиги қуёш чиқишидан бошлаб кун қиём нуқтасига етгунча ортиб боради ва максимал қийматга эришгач, то қуёш ботгунича камайиб боради. Ёруғлик нурланиш интенсивлиги камайишига атмосферадаги чанг ва булутлар ҳам сабаб бўлади. Бу эса ФЭБ ларнинг электр параметрларига таъсир кўрсатади.

Синов вақтида қуёш нурланиши интенсивлиги, салт юриш кучланиши, қисқа туташув токи ва электр қувватининг вақтга боғлиқлиги ўрганилди. 3-расмда салт юриш кучланишининг вақтга боғлиқлиги тасвирланган.



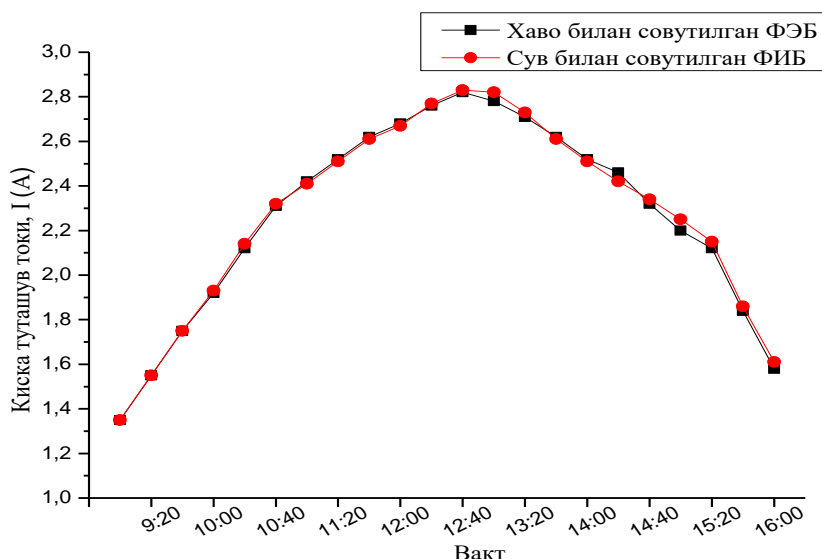
3-расм. ФЭБ ва ФИБ ларни салт юриш кучланишларининг вақтга боғлиқлиги.

Кўриб турганингиздек 9⁰⁰ дан 11⁴⁰ гача бўлган вақт давомида ФЭБ лар салт юриш кучланишининг қийматлари – кулерли ФЭБ $\sim 3,2\text{В}$, сувга асосланган ФИБ $\sim 3,5\text{В}$ га пасайган. Бу ўзгариш кристалли кремнийдан тайёрланган ҚЭ нинг қизиқ кетиши билан боғлиқ бўлиб,



бу ўзгаришлар фарқи катта қувватли ФЭБ лар учун яна ҳам юқори кўрсаткичда бўлиши тадқиқотлардан маълум [14]. Ушбу режимда сувга асосланган ФИБ сининг салт юриш кучланиши кулерли ФЭБ га қараганда кўрсаткичлари тез камайишини кўриш мумкин. Бунинг сабаби сувга асосланган ФИБ ларнинг орқа сиртига коллектор ўрнатилганлиги сабабли тўпланган иссиқликни тўғридан тўғри ташқи муҳитга конвектив иссиқлик алмашиш жараёни орқали узатиш имконияти йўқлиги билан изоҳлаш мумкин. Бу ҳол ФЭБ ларини совутиш жараёни бошланадиган вақтгача давом этишини кўрамиз.

Соат 12⁰⁰ да ФЭБ ларни совутиш жараёни бошланди. Биринчи ФЭБ нинг кулерларига электр қуввати юборилиб ишлатилди. Куллерларга берилган электр қувватини қўшимча 20Вт ли ФЭБ дан олинди. Иккинчи сувга асосланган ФИБ си ИК дан ҳарорати 28-30⁰ С ли сув ўтказилиб совутилди. ФЭБ ларнинг орқа юзаси ҳароратининг пасайиши натижасида салт юриш кучланиши, кулерли ФЭБ да ~ 1,2В, сувга асосланган ФИБ учун ~2В га ошганини юқоридаги графикдан кўришимиз мумкин. Бу эса ФЭБ ва ФИБ ларидаги электр қувватининг мос равишда ошишига олиб келади. ФЭБ ларнинг қуввати кучланиш билан бир вақтда қисқа туташув токига ҳам боғлиқ бўлиб 4-расмда қисқа туташув токининг вақтга боғлиқлигини кўрсатади.



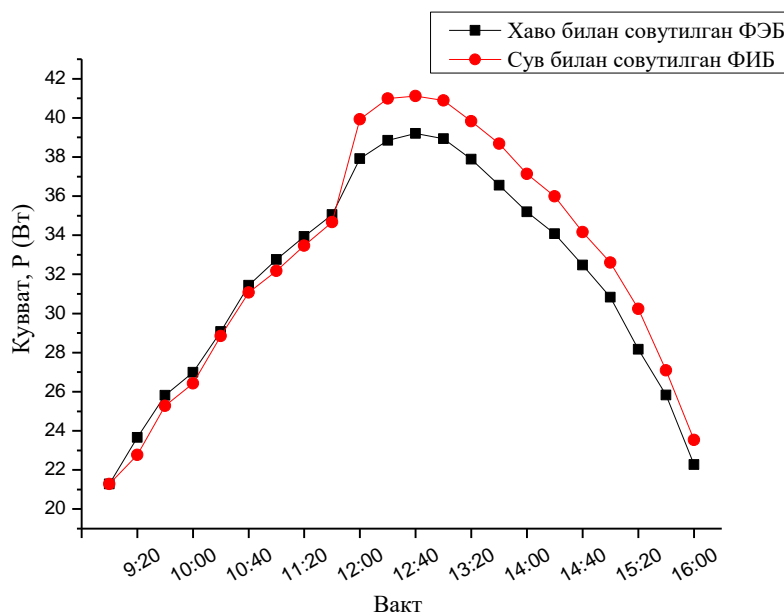
4-расм. ФЭБ ва ФИБ ларни қисқа туташув токининг вақтга боғлиқлиги.

ФЭБ ва ФИБ лари қувватининг вақтга боғлиқлиги салт юриш кучланиши ва қисқа туташув токини ҳисобга олган ҳолда, қуйида келтирилган (1) ифода орқали аниқланади.

$$P = FF \cdot I_{кт} \cdot U_{сво} \quad (1)$$

бу ерда $I_{кт}$ -ФЭБ қисқа туташув токи (А), $U_{сво}$ -ФЭБ салт юриш кучланиши (В), FF -ФЭБ вольт-ампер характеристикаси (ВАХ) нинг тўлдириш коэффициенти. ФЭБ ларда ВАХ нинг тўлдириш коэффициенти 0,71-0,72 ни ташкил қилади. 5-расмда юқоридаги маълумотлардан фойдаланган ҳолда, ФЭБ ва ФИБ ларини электр қувватларининг кундузги вақтга боғлиқлиги кўрсатилган.





5-расм. Қувватнинг вақтга боғланиш графиги.

Графикдан кўриниб турибдики, ҳаво ёрдамида совутилган куллерли ФЭБ нинг максимал қувватининг қиймати $\sim 38,5$ Вт, сувга асосланган ФИБ ники эса ~ 42 Вт ни ташкил этмоқда. Бундан ташқари, ФИБ қўшимча равишда ҳарорати 63°C ли иссиқ сув ҳам олинди. ФЭБ дан олинган иссиқлик энергияси керакли эҳтиёжлар учун ишлатилиши мумкин. Агар иссиқ сувга зарурат бўлмаса, ИК ларидан ўтаётган сувнинг тезлигини оширилса, ФИБ ларнинг орқа қисмида тўпланадиган иссиқликни олиб кетиш жараёни тезлашади. Бунинг натижасида, ФИБ сининг ҳарорати тезроқ пасайиб, салт юриш кучланишини яна ҳам ошириш мумкин. Бу эса ФЭБ лар исиши натижасида юқотиладиган қувватни тиклаш имконияти ортади.

Хулоса.

ФЭБ ларни куллерлар орқали ҳаво ёрдамида совутиш учун қўшимча электр энергия сарфланиши лозим бўлади. Бу эса фотоэлектрик батарея ишлаб чиқадиган электр энергиянинг бир қисми йўқотилади деган гап. Қўшимча энергия сарфламасдан конвекцион усулда совутганда ҳам барибир сув ёрдамида совутиш усули каби энергия самарадорлигини ошира олмайди. ФЭБ ни ҳаво ёрдамида совутганда куллерларларга сарфланган электр энергиясини айириб ташланган ҳолда ФИБ самарадорлиги билан таққосланди. Натижада, иссиқ иқлим шароитида сув ёрдамида совутилган ФЭБ ни электр кўрсаткичлари, ҳаво ёрдамида совутилган ФЭБ га қараганда 1,4 марта юқори эканлиги кузатилди. ФИБ асосидаги қишлоқ аҳолиси учун автоном электр станциясини яратиш ва ундан фойдаланиш, марказлаштирилган электр энергия таъминоти ва иссиқ сув етишмовчилиги бўлган ҳудудлар учун самаралидир.

АДАБИЁТЛАР

1. Khamooshi, M., Salati, H., Egelioglu, F., Hooshyar Faghiri, A., Tarabishi, J., & Babadi, S. (2014). A Review of Solar Photovoltaic Concentrators. *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1–17. doi:10.1155/2014/958521
2. César Kapseu, Noel Djongyang et al, énergies renouvelables en Afrique subsaharienne, 2013 ; P233-236.
3. Chow T.T., HE W., JI J. Performance evaluation of photovoltaic thermosiphon system for subtropical climate application. *Solar Energy* 2007; 81:123-130
4. Haitham M, Bahaidarah , Experimental Evaluation of the Performance of a Photovoltaic Panel with Water Cooling. *Energy* 59 (2013) 445-453.



5. He, W., Zhou, J., Chen, C., & Ji, J. (2014). *Experimental study and performance analysis of a thermoelectric cooling and heating system driven by a photovoltaic/thermal system in summer and winter operation modes*. *Energy Conversion and Management*, 84, 41–49. doi:10.1016/j.enconman.2014.04.019
6. М.Н. Турсунов, В.Г. Дыскин, Х. Сабилов, Б.М. Турдиев, “Повышение эффективности работы фототеплопреобразовательной установки”, Гелиотехника, Vol. 4, pp. 84-86, 2014.
7. H. A. Nasef, S. A. Nada, H. Hassan, “Integrative passive and active cooling system using PCM and nanofluid for thermal regulation of concentrated photovoltaic solar cells”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 199, pp. 1-15, 2019, doi:10.1016/j.enconman.2019.112065
8. L. K. Alexis, Tangka Julius Kewir, Djousse Kanouo Boris Merlain, Sogang Segning Harry Bertholt. “Experimental study on the electrical and thermal characteristics of a hybrid photovoltaic/thermal water solar collector model using photovoltaic solar modules of different brands”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 14, May 2022, 100198. doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100198
9. О.Ф.Тукфатуллин “Разработка конструкции и технологии производства комбинированной фототеплопреобразовательной установки для работы в условиях жаркого климата”. *Кандидатская диссертация*, 2019, с. 109-115.
10. S. A. Zubeer, H. A. Mohammed, M. Ikan, “A review of photovoltaic cells cooling techniques”, *E3S Web of Conferences*, Vol.22, pp. 1-11, 2017, doi:10.1051/e3sconf/20172200205
11. И.А. Юлдошев Комбинированные энергоустановки на основе фотоэлектрических батарей из кристаллического кремния. Докторская диссертация, 2016, с. 140-148.
12. Р.А. Муминов, М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, Б.А. Юлдошов, Ш.Н. Абилфайзиев “Фотоэлектрик батареяни термоэлемент ёрдамида совутиш” Узб. Патент, № SAP 02099, 14 апрель, 2021.
13. Р.А. Муминов, М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, Б.А. Юлдошов, Ш.Н. Абилфайзиев “Поликарбонат коллекторли фототиссиқлик батареяси” Узб. Патент, № FAP 01886, 24 март, 2022.
14. Р.А. Муминов, М.Н. Турсунов, Х. Сабилов, У.Б. Абдиев, Б.А. Юлдошов, Ш.Н. Абилфайзиев. Исследование влияния температуры на параметры фототепловых батарей в южных регионах республики, *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»* 2021, № 7-9. ст. 40-47. doi.org/10.15518/isjaee.2021.09.040-047





PARABOLOTSILINDRIK KONSENTRATORLI KOLLEKTORLARDA ISSIQLIK TASHUVCHI OQIM GIDRODINAMIKASINI MATEMATIK MODELI NATIJALARINI QAYTA ISHLASH

dots. S.M. Xujakulov, dots. T.A. Fayziyev, B.G'. SHERqulov, S.U. Mirzayorova
Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, "Issiqlik energetikasi" kafedrası

Annotatsiya. Maqolada quyosh parabolotsilindrik konsentratorlarining nur qabul qilish sirtlari va absorberi orasida issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonlarini modellashtirish hisoblarida ishlatish uchun uchta keng tarqalgan diskretlashtirish yondashuvlari - cheklangan hajm usuli, chekli elementlar usuli va chekli farq usullari taqqoslangan hamda konsentrator absorber trubasining tashqi yuzasi bo'ylab issiqlik oqimining taqsimlanishi OpenFOAM dasturi vositasida Monte-Karlo usulida modellashtirilib natijalar olingan.

Kalit so'zlar: matematik modellashtirish, quyosh energiyasi, konsentratsiya, quyosh parabolotsilindrik konsentratori, Frenel linzalari, chegara shartlari, turbulent oqim.

Abstract. The article compares three common discretization approaches - finite volume method, finite element method and finite difference method - for use in modeling calculations of heat transfer processes between the light receiving surfaces of solar parabolocylindrical concentrators and the absorber, and the distribution of heat flow along the outer surface of the concentrator absorber tube using Monte Carlo software OpenFOAM results were obtained by modeling the method.

Key words: mathematical modeling, solar energy, concentration, solar parabolocylindrical concentrator, Fresnel lens, boundary conditions, turbulent flow.

Kirish. Bugungi kunning dolzarb muammosi, global isish muammosi hisoblanadi, global isish ta'sirida kelib chiqadigan oqibatlar – ob-havoning o'zgarishi, dengiz sathining ko'tarilishi va xalq iste'mol tovarlarini yetishtirish imkoniyatining buzilishini o'z ichiga oladi [1-4]. Global isish muammosini hal qilish maqsadida atmosferaga tarqaladigan CO₂ chiqindilari miqdorini kamaytirish uchun toza, qayta tiklanadigan va barqaror energiya manbalarini aniqlash talab etiladi. Quyosh issiqlik energiyasi organik yoqilg'ilarga bo'lgan qaramlikni kamaytirish, issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish va aholining elektr energiyasi, issiq suv ta'minoti tizimlari va boshqa sanoat ehtiyojlarini qondirishning samarali yechimlaridan biri hisoblanadi.

Quyosh energiyasini konsentratsiyalash (QEK) qurilmalari, xususan, to'g'ridan-to'g'ri normal nurlanish oqimlaridan foydalanishga tayanadi, konsentratsiyalangan quyosh nurlanish energiyasi normal sirt birligidan olingan quyosh energiyasi miqdori sifatida tavsiflanadi. Quyosh nurlanish oqimi energiyasini yig'ish usuliga qarab QEK qurilmalarini to'rtta asosiy guruhga ajratish mumkin: 1) parabolotsilindrik kollektorlar (PSK), 2) chiziqli Frenel reflektorlari, 3) parabolik konsentratorlar va 4) quyosh minoralari [5,6,7].

Tadqiqot jarayonining maqsadi va metodologiyasi. Tadqiqotning asosiy maqsadi sonli modellashtirish yordamida parabolotsilindrik konsentratori kollektorda issiqlik energiyasidan foydalanish, issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish, FIKni oshirish kabi issiqlik tavsifnomalarini yaxshilashga erishishdan iborat.

Joriy ishda Open Field Operation and Manipulation (OpenFOAM) deb nomlangan ochiq manbali hisobiy suyuqliklar dinamikasi dasturidan foydalanilgan. Ushbu dasturiy ta'minot fizikaviy xususiyatlar va aniq masalalarni turli yechimlarini tanlash imkoniyatini saqlagan holda C++ tilida yozilgan. Dastur universal usulda amalga oshiriladigan tadqiqot uchun tanlangan, chunki u to'liq ochiq tuzilishga ega. Shunday qilib, u issiqlik fizikaviy xususiyatlar, sxemalar, chegara shartlari va diskretlash usullari kabi barcha masalalarni takomillashtirishga imkon beradi. Ushbu usuldan qattiq yoki suyuq qatlamlar uchun hech qanday cheklolrsiz mos keluvchi masalalarda oqim tavsifnomalarini va issiqlik almashinish jarayonini modellashtirish uchun foydalanish mumkin.



Oqimning turbulentlik tartibini modellashtirish asoslari. Suyuqlik oqimlarini oqim xususiyatlariga ko'ra uchta asosiy- laminar oqim, o'tish oqimi va turbulent oqim turiga bo'lish mumkin. Turbulent oqim sanoat va muhandislik masalalarida hisoblanadigan suyuqlik oqimlariga xos oqim turi hisoblanadi. Masalan, uchuvchi apparatlar atrofidagi oqim turbulent, yonish jarayonlarining aksariyati yuqori turbulentlik holatida amalga oshadi, quvurlar ichidagi tabiiy gaz va neft oqimi turbulentlik holatida, kemalar va suv osti kemalarining harakatlantiruvchi qismidagi oqim turbulent, okean ostidagi suv oqimi yuzalari turbulent harakatdanadi, mo'ridan chiqayotgan tutun oqimi turbulent va hokazo. Ko'rinib turibdiki, laminar oqimlar cheklangan parametrlar doirasida amalga oshishi bilan bir paytda, turbulentlik hisobiy suyuqliklar dinamikasining keng doirasini qamrab oladigan ilmiy masalalardan biri hisoblanadi. Energiya uzatish imkoniyatlari turbulentlik bilan kuchayadi va bu amaliy masalalarda turbulent oqimlarning dolzarbligini ifodalaydi [8,9,10].

Oqimning turbulentlik xususiyatlari. Turbulentlik suyuqlikka emas, balki uning oqim tavsifiga aloqador xususiyatdir. Turbulentlik xususiyatiga ega oqimlar suyuqliklar dinamikasida aniq ta'rifga yoki turbulentlik tabiati bilan bog'liq muammolar sababli umumiy nazariyaga ega emas [11].

Siljish kuchlanishini uzatish (SKU) uchun $k-\omega$ modeli. Menter (1994) tomonidan taklif qilingan ushbu model ham turbulent qovushqoqlik modeli hisoblanadi, shuningdek, ikkita qo'shimcha uzatish tenglamalariga asoslangan. Ulardan birinchisi turbulent kinetik energiya k uchun, ikkinchisi esa solishtirma tarqalish tezligi ω uchun. $k-\omega$ model devordan uzoqda aralashish funksiyasiga asosan devor yaqinidagi kichik qiymatli Re soniga ko'ra $k-\varepsilon$ modeliga o'tadi. Modelni hisoblash jarayonida kichik o'zgarish bilan $k-\omega$ standart modelida qo'llanilgan k -tenglama bilan bir xilda, bu yerda ε hisoblanadigan k va ω larning hosilasi bo'lib hisoblanadi. Turbulentlik modelini devorga yaqin sohadan erkin oqim sohasiga tadbiiq etish, modelni solishtirma tezlik ω tenglamasidan, ekvivalent tezlik tarqalishi ε tenglamasiga o'tkazish uchun ishlatiladigan aralashirish funksiyasi yordamida amalga oshiriladi. SKU modeli devor yaqinidagi oqimning turbulentlik xususiyatlarini yaxshilash uchun devor xususiyatlarini tavsiflashni talab qilmaydi. Turbulent kinetik energiya va uning o'ziga xos energiya tarqalish tezligi uchun uzatish tenglamalari quyidagicha yoziladi [8]:

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\tau_{ij}}{\rho} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((v + \sigma_k v_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) - \beta^* k \omega \quad (1)$$

$$\frac{D\omega}{Dt} = \frac{\gamma}{v_t} \frac{\tau_{ij}}{\rho} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \omega^2 \beta \frac{\partial}{\partial x_j} \left((v + \sigma_\omega v_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + 2(1 - F_1) \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (2)$$

(2)-tenglamaning oxirgi hadi model konstantalarini quyidagi tarzda interpolatsiya qilish uchun aralashirish funksiyasidan foydalanadi:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= F_1 \beta_1 + (1 - F_1) \beta_2 \\ \gamma &= F_1 \gamma_1 + (1 - F_1) \gamma_2 \\ \sigma_k &= F_1 \sigma_{k1} + (1 - F_1) \sigma_{k2} \\ \sigma_\omega &= F_1 \sigma_{\omega 1} + (1 - F_1) \sigma_{\omega 2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Modelga tegishli barcha o'zgarimas kattaliklar 4-jadvalga kiritilgan. F_1 aralashirish funksiyasi oqim maydoni markaziy nuqtasidan eng yaqin devor sirtigacha bo'lgan y masofaga va $CD_{k\omega}$ tezkor diffuziya kattaligining qiymatiga qarab quyidagicha ifodalanadi:

$$F_1 = \tanh \left[\min \left\{ \max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega \gamma}, \frac{500 v}{d^2 \omega} \right), \frac{4 \rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} \gamma^2} \right\} \right]^4 \quad (4)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left(2 \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right) \quad (5)$$

F_1 aralashirish funksiyasi qattiq devordan harakatdagi oqimga tomon yo'nalganda birga, devorga tomon yaqinlashganda esa nolga intiladi. Uni matematik ifodada quyidagicha yozish mumkin:

$$F_1 = \begin{cases} \rightarrow 0, & \text{devorga yetib, o'zini } k - \omega \text{ model kabi tutadi} \\ \rightarrow 1, & \text{devordan uzoqda, o'zini } k - \varepsilon \text{ model kabi tutadi} \end{cases} \quad (6)$$





Modeldagi uyurmaviy harakatlanuvchi oqim qovushqoqligi, Reynoldsning siljish kuchlanishi turbulent kinetik energiyaga proporsional ravishda bog‘liq degan farazga asoslanib, quyidagicha aniqlanadi:

$$v_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)} \quad (7)$$

Ushbu faraz uyurma hosil qilish muddatining tarqalish davridan oshib ketishiga yo‘l qo‘ymaslik orqali turbulent qovushqoqlikni cheklaydi. F_2 va Ω parametrlari aralashish funksiyasini va uyurmaviy oqimning mutlaq qiymati kattaligini ifodalaydi va quyidagicha aniqlanadi:

$$F_2 = \tanh \left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega \gamma}, \frac{500 v}{d^2 \omega} \right) \right]^2 \quad (8)$$

$$\Omega = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (9)$$

Bu yerda

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (10)$$

F_2 aralashtirish funksiyasi erkin oqim qatlamlari uchun va chegaraviy qatlamlarga yo‘nalgan oqimlar uchun nolga teng. U ω hosilani hisobga olgan holda quyidagicha ifodalanadi:

$$P_\omega = \gamma \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (11)$$

Bu yerda

$$\tau_{ij} = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \quad (12)$$

1-jadval. SKU k- ω modelining konstantalari.

a_1	$\sigma_{\omega 1}$	$\sigma_{\omega 2}$	β^*	β_1	β_2	σ_{k1}	σ_{k2}	γ_1	γ_2
0.31	0.5	0.856	0.09	0.075	0.0828	0.85	1.0	5/9	0.44

Natijalarni qayta ishlash.

Aniqlangan va Navye-Stoks tenglamalariga bo‘ysunuvchi oqimlarni turbulent oqimlar uchun mavjud analitik usullar bilan yechishning imkoni yo‘q. Biroq, bu tenglamalardan foydalanib kerakli aniqlikdagi iterativ usulda hisoblash uchun sonli usullardan foydalanish mumkin. Hisobiy suyuqliklar dinamikasi hisoblarida ishlatish uchun uchta keng tarqalgan diskretlashtirish yondashuvlari mavjud bo‘lib, ular quyidagilar: cheklangan hajm usuli (CHHU) (taxminan 80 % ulush bilan), chekli elementlar usuli (CHEU) (taxminan 15 % ulush bilan) va chekli farq usuli (CHFU) (taxminan 2 % ulush bilan). Mavjud hisobiy suyuqliklar dinamikasi hisoblarining qolgan 3% qismi chegara elementi usuli, spektral usul, panjara Bolsmann usuli va Vorticiti usuli kabi turli yondashuvlarga tayanadi [9].

CHFU taxminiy qiymati qisman differensial tenglamalarni hisoblashda Teylor seriyasining kengayishiga asoslanadi va bu usulning aniqligi to‘plangan to‘r panjarasi o‘lchamiga va uning qiyshilik, cho‘zilish hamda tomonlar nisbatlari kabi panjara xususiyatlariga bog‘liq. Darhaqiqat, to‘rdagi kesishish nuqtalari sonini oshirish prognozlashning aniqligi ortishiga olib keladi; ammo, algebraik tenglamalarda matritsaning noaniqligi tufayli hisoblash jarayonida qiyinchiliklar yuzaga keladi. Boshqa tomondan, CHHU da qo‘llanilgan differensial tenglamalar oqim sohasining bir-biriga mos kelmaydigan kichik hajmlari bo‘yicha diskret algebraik tenglamalarga aylantiriladi. Keyinchalik, bir-biriga bog‘liq o‘zgaruvchilarning qiymatlarini hisoblash uchun har bir nazorat hajmiga tegishli algebraik tenglamalar yechiladi. CHHU bilan solishtirganda, odatda hisobiy suyuqliklar dinamikasi muammolariga nisbatan CHEU ni qo‘llash maqsadga muvofiq bo‘ladi. Biroq, CHEU an’anaviy usul hisoblansa, CHHU hisobiy suyuqliklar dinamikasida nisbatan yangiroq qo‘llaniladigan usul hisoblanadi, chunki suyuqlik oqimlarida kuzatiladigan murakkab geometrik muammolari uchun differensial tenglamalarni yechishning eng yaxshi alternativ usuli sifatida taklif qilingan. CHHU suyuqlik oqimi va issiqlik uzatishning sonli modellashtirilishi uchun juda mos keladigan turli xususiyatlar orasida, massa va impuls qonunlariga CHHUda qat’iy amal qilinadi, chunki har qanday oqim ma’lum bir nazorat hajmiga kiradi [10].

Chegara shartlari



Sonli hisoblash usullarida qo'llaniladigan chegara shartlari quyida keltirilgan:

-Dirixlet chegara shartlari: chegara qiymatlari ko'rsatilgan.

-Neyman chegara shartlari: chegaraga perpendikulyar o'zgaruvchan gradiyent ko'rsatilgan.

-Robin chegara shartlari: chegara o'zgaruvchining qiymati va uning hosilasi kombinatsiyasi talab qilinadi.

Ushbu modellashtirish jarayonida talab qildinadigan chegara shartlarining tafsilotlari quyida keltirilgan:

1. Kirish chegarasida turbulentslikning kinetik energiya va issiqlik tashuvchi suyuqlikning miqdori hamda issiqlik fizikaviy xususiyatlariga asoslangan o'ziga xos tarqalish tezligi kabi turbulentslik oqim xususiyatlari bilan bir qatorda bir xil harorat va qat'iy tezlik qiymatlari qo'llaniladi. Biroq, bosim nol gradiyent chegara sharti sifatida tanlanadi.

2. Chiqish chegarasida oqim to'liq rivojlangan deb hisoblanadi. Shuning uchun, tezlik va harorat nol gradiyent sifatida tanlanadi, shuningdek, barcha turbulentslik xususiyatlari (o'ziga xos tarqalish tezligi va turbulent kinetik energiya) bosim nol chegara sharti bilan belgilangan qiymatlarda qo'llaniladi.

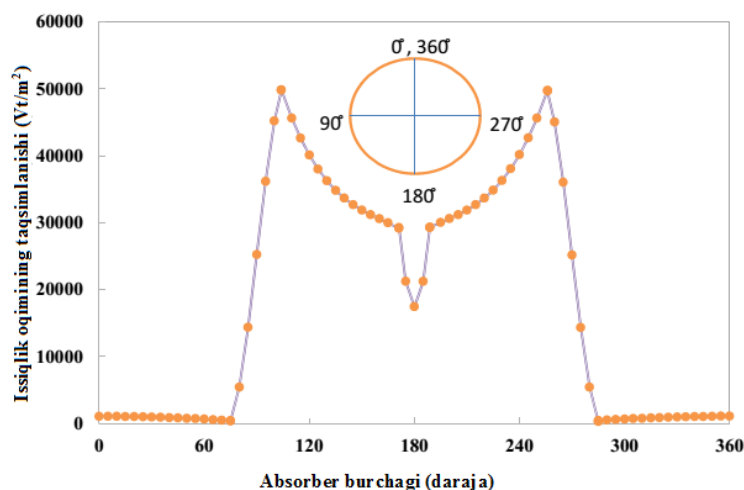
3. Qattiq devorlarda tezlik uchun sirpanmaslik sharti va turbulent kinetik energiya uchun Oga teng bo'lgan o'zgarma qiymat qo'llaniladi, Menter tomonidan tavsiya etilganidek, turbulentslikning o'ziga xos tarqalish tezligi uchun juda katta o'zgarma qiymat talab qilinadi. Nur qaytargich va nur yutuvchi qattiq devor orasidagi masofaga asoslangan quyidagi ifodaga ko'ra issiqlik tashuvchining zichligi va dinamik yopishqoqligi, o'ziga xos turbulentslik tarqalish tezligi quyidagicha ifodalanadi [11]:

$$\omega = \frac{60 \cdot \mu}{0,075 \cdot \rho \cdot y^{+2}} \quad (13)$$

4. Absorber trubasining tashqi devoridagi chegara holati 3.1-rasmda aniq ko'rsatilgandek bir xil bo'lmagan issiqlik oqimidir. Ushbu profilga Kaloudis va boshqalar tomonidan taklif qilingan egri chiziqli tenglamalar yordamida erishiladi. Monte-Karlo Rey kuzatuv usulining natijasidir. Bu tenglamalar 2-jadvalda keltirilgan [10-15].

2-jadval: Mahalliy konsentratsiya koeffitsiyentlarining nisbati [8]

Qism	Ø diapazon (daraja.)	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀
1	0-75	0.0	-1.071170E-4	-8.100954E-4	1.112046
2	75-104	-2.544403E-3	6.878607E-1	-5.974390E1	1.685403E3
3	104-171.2	-6.602394E-5	3.196692E-2	-5.280388	3.275329E2
4	171.2-188.8	0.0	1.524597E-1	-5.488588E1	4.957224E3
5	188.8-256	5.961826E-5	-3.504845E-2	6.979938	-4.403785E2
6	256-285	2.493475E-3	-2.019052	5.427366E2	-4.840387E4
7	285-360	0.0	-7.511141E-5	2.688045E-2	-9.606886



1-rasm: Absorber trubasining tashqi yuzasi bo'ylab issiqlik oqimining taqsimlanishi.





Joriy tadqiqotda raqamli kodlash dasturi (OpenFOAM) dan foydalanilganligi sababli, chegara shartlarini belgilashda aralash kodlashga (codedMixed) asoslanildi. Bunda chegara shartlari Neyman chegara holatini ifodalaydi va issiqlik o'tkazuvchanligiga qarab harorat gradiyenti mustaqil o'zgaruvchi sifatida ifodalanishi mumkin:

$$q = -k_s \cdot \frac{dT}{dz} \text{ yoki } \frac{dT}{dz} = -\left(\frac{G_b}{k_s}\right) \cdot LCR \quad (14)$$

bu yerda G_b , k_s va LCR parametrlari mos ravishda quyosh nurlanish radiatsiyasi, absorber qattiq materialining issiqlik o'tkazuvchanligi va mahalliy konsentratsiya koeffitsiyentlarining nisbati. Mahalliy konsentratsiya koeffitsiyentlarining nisbati absorber trubkasi atrofidagi issiqlik oqimining taqsimlanishini ifodalaydi.

Xulosa. Amalga oshirilayotgan tadqiqot ishlarimizda asosiy e'tibor quyosh nurlanish oqimini parabolotsilindrik konsentrator absorberining sirtiga yo'naltirilishi va harorat gradiyentini aniqlashga qaratilgan. Taqdim etilgan natijalar Monte-Karlo usuliga asosan modellashirish natijalari hisoblanadi.

ADABIYOTLAR

1. Toshmamatov B.M., Shomuratova S.M., Mamedova D.N., Samatova S.H.Y., Chorjeva S. 2022 Improving the energy efficiency of a solar air heater with a heat exchanger – Accumulator. 1045(1), 012081.
2. G N Uzakov, S M Shomuratova and B M Toshmamatov 2021 Study of a solar air heater with a heat exchanger – accumulator *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 (2021) 052013. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052013.
3. T A Faiziev and B M Toshmamatov 2021 Mathematical model of heat accumulation in the substrate and ground of a heliogreenhouse *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 032006. doi:10.1088/1755-1315/723/3/032006.
4. Aliyarova L A, Uzakov G N, Toshmamatov B M 2021 The efficiency of using a combined solar plant for the heat and humidity treatment of air *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 052002. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052002.
5. Blanco M.J., and Miller S. Introduction to Concentrating Solar Thermal (CST) Technologies. *Advances in Concentrating Solar Thermal Research and Technology*. Elsevier Inc, (2017).
6. Abed, N. & Afgan, I. Enhancement Techniques of Parabolic Trough Collectors: A Review of Past and Recent Technologies. *Adv. Civ. Eng. Tech.* (2019), 33, 313–318.
7. Philibert C, Frankl P. International Energy Agency. Technology roadmap: concentrating solar power. Paris (France): IEA/OECD; (2010).
8. Tennekes, Hendrik, and John L. Lumley. "A first course in turbulence". (1994). Cambridge: The MIT Press.
9. Mathieu, Jean, and Julian Scott. "An introduction to turbulent flow". (2000). Cambridge: Cambridge University Press.
10. Pope, Stephen B. "Turbulent flows". (2019). Cambridge: Cambridge University Press.
11. Schiestel, Roland. "Modeling and Simulation of Turbulent Flows". (2010). <https://nbnresolving.org/urn:nbn:de:101:1-201412222763>.
12. Menter, F.R. —Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA journal*, 32(8). (1994). pp.1598–1605.
13. Petrova, R. "Finite Volume Method – Powerful Means of Engineering Design". (2012). Edited by Radostina Petrova. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia.
14. Moukalled, F., L. Mangani, and M. Darwish. "The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM® and Matlab". (2016). Cham: Springer.
15. Kaloudis, E, E Papanicolaou, and V Belessiotis. "Numerical Simulations of a Parabolic Trough Solar Collector with Nanofluid Using a Two-Phase Model." *Renewable Energy*. 97 (2016): 218-229.



QUVVATI 200 W BO'LGAN QUYOSH (PV) MODULINI "MATLAB SIMULINK" DASTURIDA MODELLASHTIRISH

t.f.n. dots. Fayziyev M.M., Ibragimov I.I., Radjabov M.K.

Annotatsiya. Bu maqolada quvvati 200 W bo'lgan quyosh (PV) modulining salt ish kuchlanishi, qisqa tutashuv toki, maksimal quvvat nuqtasi, maksimal quvvat nuqtasidagi tok va kuchlanish, quyosh moduli harorati va nurlanish oqimi kabi parametrlarini MATLAB Simulink dasturi yordamida aniqlangan va tadqiq qilingan. Matlab (Simulink) dasturida quyosh modulining imitatsion modeli ishlab chiqilib, parametrlarni ikki xil usulda aniqlash tadqiq qilindi va ikkala xolat solishtirildi.

Kalit so'zlar: quyosh moduli, salt ish kuchlanishi, qisqa tutashuv toki, maksimal quvvat nuqtasi, maksimal quvvat nuqtasidagi tok va kuchlanish qiymatlari, harorat, nurlanish oqimi.

Annotation. In this article, using the Matlab Simulink software, such parameters of a solar (photovoltaic) module with a power of 200 watts as the operating voltage Salt, short circuit current, maximum power point, current and voltage at the maximum power point, temperature of the solar module and radiation flux were determined and investigated. In the Matlab (Simulink) program, a simulation model of the solar module was developed, the possibility of determining the parameters in two different ways was investigated, and two cases were compared.

Keywords: solar module, Salt operating voltage, short-circuit current, maximum power point, current and voltage values at the maximum power point, temperature, radiation current.

MATLAB ochiq arxitekturaga ega, ya'ni mavjud funksiyalarni o'zgartirish va yaratilgan xususiy funksiyalarni o'zgartirish va yaratilgan xususiy funksiyalarni qo'shish mumkin. MATLAB tarkibiga kiruvchi Simulink dasturi real tizim va qurilmalarni funksional bloklardan tuzilgan modellar ko'rinishida kiritib imitatsiya qilish imkoni beradi. Simulink juda katta va foydalanuvchilar tomonidan yanada kengaytirilishi mumkin bo'lgan bloklarning kutubxonasiga ega. Bloklarning parametrlari sodda vositalar yordamida kiritiladi va o'zgartiriladi.

MATLAB tizimining SimPowerSystems kutubxonasi konkret qurilmalarni modellashtirish uchun mo'ljallangan Simulink paketining qo'shimcha kutubxonalaridan biri bo'lib hisoblanadi. SimPowerSystems elektrotexnik qurilmalarni imitatsion modellashtirish uchun bloklar to'plamiga ega. Kutubxonaning tarkibiga passiv va aktiv elektrotexnik elementlar, energiya manbalari, elektrodvigatellar, transformatorlar, elektr uzatish liniyalari va boshqa qurilmalarning modellari kiradi. Unda kuch elektronikasi qurilmalarini va ularni boshqarish sistemalarini modellashtirish uchun mo'ljallangan bloklarni o'z ichiga oluvchi bo'lim ham mavjud. Simulink va SimPowerSystemsning maxsus imkoniyatlaridan foydalanib quyidagi ishlarni bajarish mumkin:

- qurilmalarning ishlashini imitatsiya qilish;
- sistemaning rejimlarini hisoblash;
- zanjir uchastkasining impedansini (to'la qarshiligini) hisoblash;
- chastotaviy xarakteristikalarini olish;
- turg'unlikni tahlil qilish;
- tok va kuchlanishlarni garmonik tahlil qilish.

Bundan tashqari murakkab elektrotexnik tizimlarni modellashtirishda imitatsion va tarkibiy modellashtirish usullaridan birgalikda foydalanish mumkin. SimPowerSystems bloklaridan foydalanib tuzilgan modelda Simulink paketining boshqa kutubxonalarining bloklaridan hamda MATLAB funksiyalaridan ham foydalanish mumkin, natijada elektrotexnik tizimlarni modellashtirishda foydalanuvchi cheklanmagan imkoniyatlarga ega bo'ladi.

SimPowerSystems kutubxonasi juda keng hisoblanishiga qaramasdan kerakli blok kutubxonada topilmasa, bunday blokni foydalanuvchining o'zi ham yaratishi mumkin. Bunda kutubxonada mavjud bloklarga asoslanib Simulinkning ost tizimlar yaratish imkoniyatlaridan yoki





Simulink asosiy kutubxonasi bloklari va boshqariluvchi tok va kuchlanish manbalaridan foydalaniladi [3].

Shunday qilib, hozirgi vaqtda Simulink tarkibidagi SimPowerSystems elektrotexnik qurilmalar va tizimlarni modellashtirish uchun eng yaxshi vositalardan biri bo'lib hisoblanadi.

Bizga ma'lumki, koinotning atmosfera qatlamidan yuqori qismiga tushayotgan quyosh radiatsiyasining energiyasi $1,395 \text{ kW/m}^2$ ni tashkil qiladi va bu miqdor **quyosh doimiysi** deb ataladi. Yer yuzasiga yetib kelguncha qarshiliklarga uchraydi, yil fasli va hisoblanayotgan hudud kengligiga nisbatan uning miqdori o'zgarib turadi. Quyosh nurlarining o'rtacha intensivligi: Yevropada - $2 \text{ kW} \cdot \text{soat/m}^2$; Tropik va Osiyo mamlakatlarida - $6 \text{ kW} \cdot \text{soat/m}^2$.

O'zbekiston Respublikasi hududida bir yillik ko'rsatgich quyidagicha [1]:

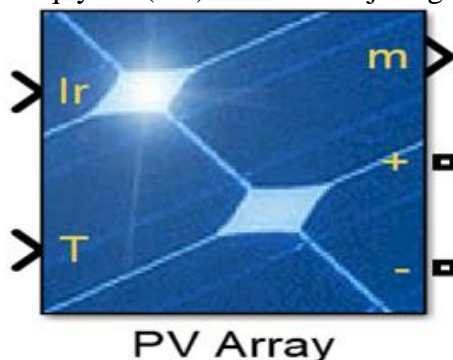
- 300 kun quyoshli kun hisoblanadi;

2980 ÷ 3130 soat haroratning o'rtacha miqdori $+42^\circ\text{C}$, kunning uzunligi 14-16 soatni tashkil qiladi;

- cho'l hududlarda harorat $+70^\circ\text{C}$ gacha ko'tariladi;

- har bir m^2 maydonda 1 yilda 1900-2000 kW gacha quyosh radiatsiyasi hosil bo'lishi mumkin.

Quyosh energiyasini hisoblashda asosan, quyosh nurining 1 m^2 maydonga berayotgan energiya miqdori hisobga olinadi. 200 W quyosh (PV) modulini loyihalashda birinchi navbatda PV bloki kerak. Ushbu blokni Simulink kutubxonasidan *Simscape/PowerSystems/SpecializedTechnology/Renewable/Solar* bloklar to'plamiga murojaat qilanadi. Ushbu kutubxona manzilida quyosh (PV) moduli mavjudligi aniqlanadi.



1-rasm. Matlab Simulink dasturida quyosh (PV) moduli bloki.

Quyosh moduli chapgi tomonida ikkita kirishdan iborat bo'lib, quyidagi parametrlarni qabul qiladi:

I_r - (*Irradiances*) nurlanish oqimi W/m^2 ;

T - (*Temperature*) harorat $^\circ\text{C}$.

Quyosh moduli (PV Array) o'ng tarafida chiqish parametrlari manfiy va musbat qutblarni boshqa komponent blokiga ulash kontaktlari mavjud (1-rasm). O'ng taraf yuqori qismida o'lchov (measurement) porti, bu port orqali quyosh modulining asosiy parametrlarini (kuchlanishi, toki, harorati, nurlanish oqimi va h.z.) aniqlanadi.

Ushbu oynada quyosh modulining asosiy ma'lumotlarini aks ettiribgina qolmasdan, boshlang'ich ma'lumotlarni kiritish mumkin. Ular quyidagicha:

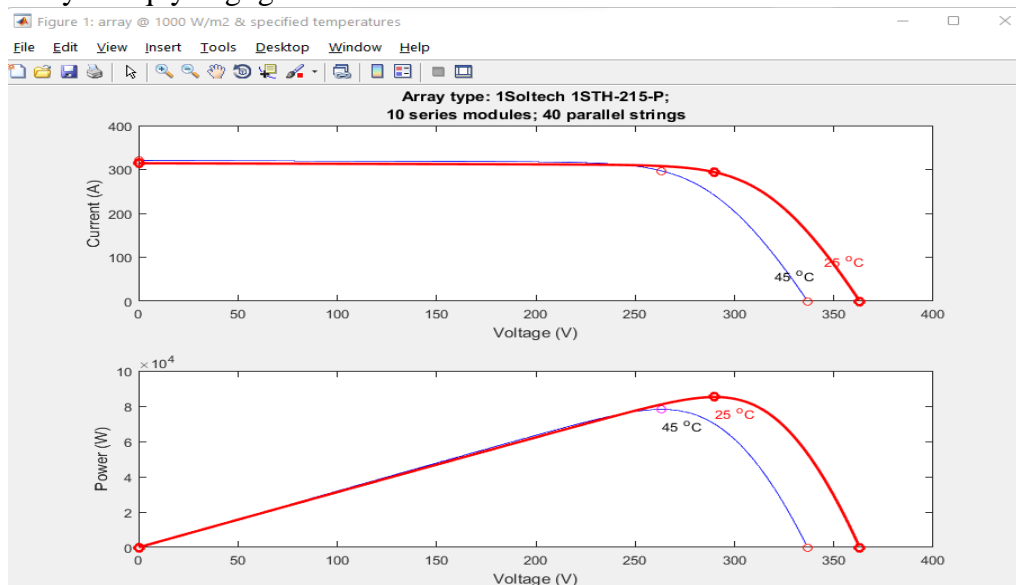
- Module, turli ishlab chiqaruvchilar tomonidan iste'molda mavjud bo'lgan quyosh modullarining 10 mingga yaqin standart modellari bor. Agar biror tashkilot tomonidan ishlab chiqarilgan quyosh modulining aniq model tipi mavjud bo'lsa, ishlab chiqarilgan model seriya raqamini kiritish bilan quyosh modulining quvvati, kuchlanishi, toki va ushbu modelga tegishli boshqa parametrlar avtomatik taqdim etiladi.

- *Model parameters*, tanlangan quyosh moduli asosiy parametrlari, ya'ni:

- Yorug'lik oqimi;
- To'yinganlik toki;
- Samaradorligi;
- Shunt qarshiligi;



- Ketma-ket qarshiligi;
 - *Display I-V and P-V characteristics of...*, turli harorat va nurlanishlarda quyosh modulining tok-kuchlanish va quvvat-kuchlanish tavsiflarini hosil qilish imkonini beradi. Buning uchun *Plot* tugmasini kifofo va quyidagi grafiklar olinadi:



2-rasm. Quyosh panelining volt-ampere va volt-watt tavsiflarini haroratga bog'liqligi.

Grafikda har xil kuchlanish va haroratda maksimal tok va quvvat aniqlanadi.

Tadqiqotda quvvati 200 W bo'lgan quyosh moduli loyihalashni ko'rib chiqamiz. Buning uchun modul tipiga biror quyosh moduli seriyasini emas balki "foydalanuvchi tomonidan belgilangan" (*user-defined*) tipini tanlanadi va shu model bo'yicha 1-jadvaldagi ma'lumotlar kiritiladi:

1-jadval.

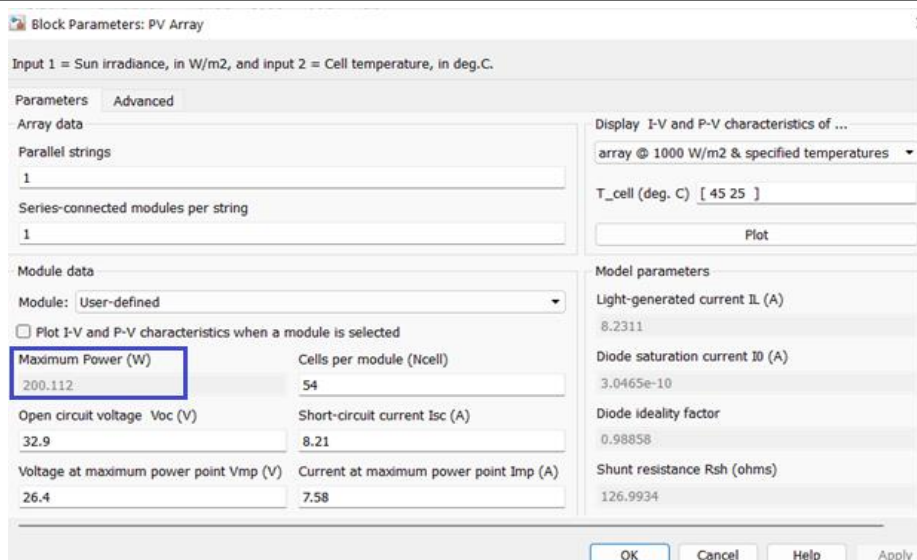
Quvvati 200 W bo'lgan quyosh modulining asosiy parametrlari

Quvvati 200 W bo'lgan quyosh moduli qiymatlari:

Quyosh moduli parametrlari	Nominal qiymatlari
Nominal quvvati (Rated Power [P_{mp}])	200 W
Maksimal quvvatdagi kuchlanish (Voltage at Maximum Power [V_{mp}])	26,4 V
Maksimal quvvatdagi tok (Current at Maximum Power [I_{mp}])	7,58 A
Salt ish kuchlanishi (Open Circuit Voltage [V_{oc}])	32,9 V
Qisqa tutashu toki (Short Circuit Current [I_{sc}])	8,21 A
Ketma-ket ulangan quyosh fotoelementlarining umumiy soni (Total Number of cells in Series (N_s))	54
Parallel ulangan quyosh fotoelementlarining soni (Total Number of cells in Parallel (N_p))	1

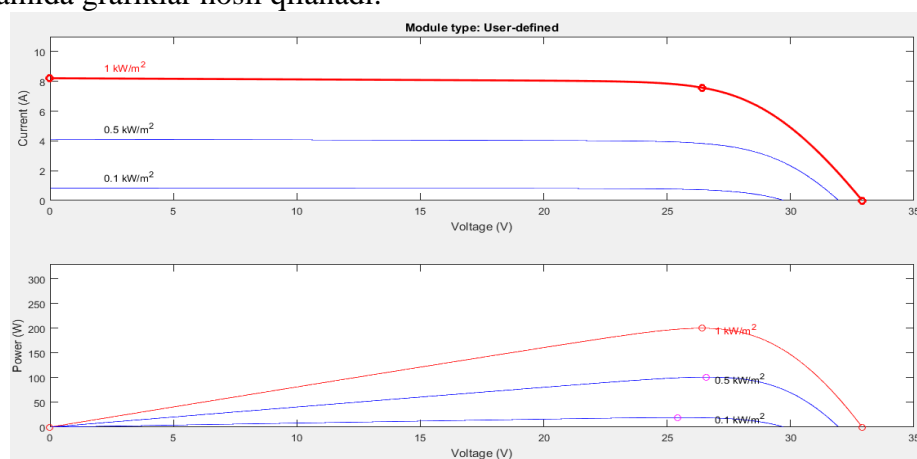
200 W quvvatli quyosh modulining parametrlarini PV Array blokining tegishli bo'limlarga kiritiladi. Qiymatlar kiritgandan so'ng, qo'llash tugmasini bosish bilan quyosh modulining quvvati avtomatik ravishda 200 Wga o'zgarganligi ko'rishimiz mumkin. Bu ma'lumotlarni to'g'ri kiritilganligini bildiradi (3-rasm).





3-rasm. Quyosh modulning boshlang‘ich parametrlarini PV Array blokiga kiritilganlik holati.

Quvvati 200 W bo‘lgan quyosh modulning volt-ampere va volt-watt tavsiflari grafiklarini tadqiq qilishda, dastlab bitta modulning 25°C haroratdagi belgilangan nurlanish oqimi (*one module @ 25 deg.C & specified irradiances*) bo‘yicha grafiklar tahlil qilinadi. Bu parametrlardan foydalanib 1000 W/m², 500 W/m² va 100 W/m² kabi standart nurlanish oqimlarida volt-ampere va volt-watt tavsiflar aniqlanadi. Ushbu haroratda uchta nurlanishni ko‘rish uchun *plot* tugmasi yordamida grafiklar hosil qilanadi:



4-rasm. Quyosh modulning turlicha nurlanish oqimlaridagi volt-ampere va volt-watt tavsif grafiklari.

Quyosh modulning volt-ampere va volt-watt tavsiflari grafiklari avtomatik ravishda olindi. Tadqiq etilayotgan quyosh modulning turli haroratlarda va turli nurlanish oqimlarida tavsiflarini tadqiq etish mumkin (4-rasm).

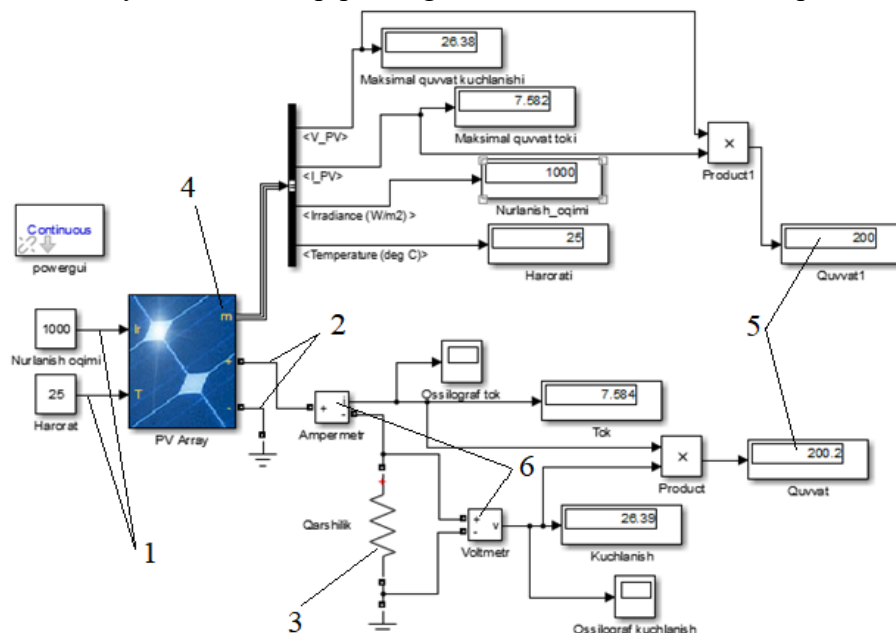
O‘zgaras nurlanish oqimi va haroratda quyosh modulini imitatsiya qilishni ko‘rib chiqaladi. Buning uchun Simulink kutubxonaga murojaat qilib, o‘zgaras bloklar ishi maydonga keltiriladi. Ikkala blok quyosh modulning kirish qismiga ulanadi. Ma’lumki quyosh fotoelementlari quyosh nurlari fotoelementlarga tik tushganda, fotoelementning harorati 25°C bo‘lgan va nurlanish oqimi 1000 W/m² bo‘lgan eng yuqori samaradorlikka erishadi. Tadqiqot ishida quyosh moduli maksimal 200 W quvvat berishi uchun birinchi o‘zgaras blokini nurlanish oqimiga sozlab, uning qiymatini 1000 W/m² deb kiritamiz. Ikkinchi o‘zgaras blokka fotoelement uchun eng ideal harorat 25°C harorat kiritiladi. Quyosh modulning quvvati, kuchlanishi va toklari aniqlash uchun chiqishlariga qarshilik (Series RLC Branch) ulashni talab etadi.

Maksimal quvvat nuqtasidagi qarshilik quyidagicha aniqlanadi:



$$R = \frac{V_{mp}}{I_{mp}} = \frac{26,4}{7,58} = 3,48\Omega \quad \text{yoki} \quad R = \frac{V_{mp}^2}{P_{mp}} = \frac{26,4^2}{200} = 3,48\Omega$$

Qarshilik qiymatini Series RLC Branch blokining tegishli qismiga kiritiladi (5-rasm). Qarshilikni birinchi uchi quyosh moduli musbat qutbiga ulab, ikkinchi uchini yerga ulanadi. Quyosh modulining manfiy qutbi yerga ulanadi. Quyosh moduli tok va kuchlanish kattaliklarini aniqlash maqsadida qarshilikka voltmetr va ampermetrlarni parallel va ketma-ket ulanadi. Qo‘shimcha qurilmalar yordamida tadqiqotining imitatsion sxemasi hosil qilanadi.



5-rasm. 200 W quvvatdagi quyosh modulining imitatsion modeli.

1-O‘zgaras kirish parametrlari (nurlanish oqimi va harorat); 2-Quyosh moduli qutblari; 3-Qarshilik (Series RLC Branch); 4-quyosh modulining asosiy tavsiflarini uzatuvchi chiqqich; 5-Maksimal quvvat qiymatlari (2 usulda); 6-O‘lchov qurilmalari (ampermetr va voltmetr).

Quyosh moduli maksimal quvvat, kuchlanish, maksimal quvvat tok, nurlanish oqimi va harorat kabi parametrlarini avtomatik ravishda aniqlanadi (5-rasm, 4). Quyosh modulining maksimal quvvatini 2 usulda aniqlab, solishtirib ko‘rish mumkin (5-rasm, 5).

Ushbu tadqiqot davomida quyosh energiyasining asosiy elementi hisoblangan fotoelektrik modullar (PV) parametrlari tegishli hisoblar yordamida aniqlangan va Matlab Simulinkda modellashtirilgan. Quyosh fotoelementining parametrlarini Matlab (Simulink)da modellashtirish natijalari va hisoblangan ma‘lumotlar bilan taqqoslaganda natijalarning bir-biriga juda yaqin chiqqanligini va xatoliklar juda kichik qiymatda bo‘lganligini aniqlashimiz mumkin.

Matlab Simulinkni afzalligi shundaki, dasturda foydalanish oson va qulay, modellashtirish natijalari haqiqiy qiymatlar bilan deyarli mos. Bu dastur muhandislik faoliyatini samaradorligini oshirishga keng imkoniyatlar yaratib bera oladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Христин А.Н. Перспективы развития производства по использованию солнечной энергии. Материалы Международного семинара «Возобновляемая энергия в Центральной Азии как фактор укрепления продовольственной безопасности и улучшения социально-экономических условий в отдалённых населенных пунктах» г. Ташкент, 11-12 ноября, 2008.
2. Чёрных И.В. Моделирование электрических устройств в Matlab, SimPowerSystems и симулинк, 2008 -изд. Питер-288 с.
3. Dadajonov T. MATLAB asoslari, Darslik -598 bet, Farg‘ona -Texnika nashriyoti, 2008 y.
4. Черных И., Simulink: среда создания инженерных приложений. Диалог-МИФИ. 2003.





QUYOSH HAJMIY HAVO QIZDIRISH KOLLEKTORLI QURITGICHDA MEVALARNI QURITISH JARAYONIDA ISSIQLIK-MASSA ALMASHINUVI JARAYONLARINI TADQIQ QILISH

Nematov I.L., Fayziyev T.A., Ergashev Sh.H., Xayriddinov B.E.

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti

e-mail: strong.shakhriev@mail.ru

Maqolada aholining yil davomida quritilgan meva mahsulotlariga bo'lgan talabini qondirish uchun zamonaviy quritish texnologiyalarini ishlab chiqish, yangi konstruksiyasini yaratish va unda mevalarni sifatli quritiladigan mahsulotlarni, xususan, olma qirqimlarini, o'rik, olxo'ri va anjir mahsulotlarini eksperimental va nazariy tizim asosida taqqoslab, tadqiq etish samaradorligini oshirish masalalari yoritilgan.

Tayanch so'zlar: Kollektorli quritgich, issiqlik massa, quritish texnologiyasi, quritiladigan mahsulot issiqlik-fizikaviy.

In the article, in order to meet the population's demand for dried fruit products throughout the year, the development of modern drying technologies, the creation of a new structure, and the comparison of high-quality dried fruits, in particular, apple trimmings, apricots, plums, and figs, based on an experimental and theoretical system, issues of research efficiency improvement are covered.

Key words: Collector dryer, heat mass, drying technology, heat-physical product to be dried.

Quyosh hajmiy havo qizdirish kollektori quritgichda mevalarni quritish jarayonida issiqlik massa almashinuvini tadqiq etish, quyosh nur energiyasidan foydalanib qishloq xo'jalik mahsulotlari (olma, o'rik, olxo'ri, gilos, uzum va boshqalar)ni samarali quritish qurilmalari loyihalarini ishlab chiqish, amaliyotda qo'llash uchun qurilmadagi havoning harorat namlik rejimlarini, issiqlik tashuvchini tezligini optimallashtirilgan tizimni yaratish va shu asosda mahsulotlarni quritish jarayonidagi gidrodinamik va issiqlik massa almashinuvini analitik metod bilan tadqiq etish dolzarb muammolardandir.

Olib borilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlar jarayonida mevalarni quritish tizimida asosiy parametrlarni aniqlash lozim bo'ladi. Amaliy jihatdan mahsulotlarni issiqlik fizikaviy xarakteristikasini aniqlashning turli metodlari ma'lumdir [1-7].

Turli xil materiallarni issiqlik fizikaviy xarakteristikani tadqiq etish uchun bir qator olimlar tomonidan turli tipdagi materiallarni tuzilishi va klassifikatsiya modellari asosidagi metodlar ishlab chiqilgan: jumladan A.F.Chudnovskiy, L.V.Likov, A.S.Ginzburg, G.N.Dulnev, O.Krisher, V.F.Fropov, G.Machtinov, D.J.Muratov, G.G.Umarov va boshqalar.

A.V.Likov klassifikatsiyasi bo'yicha tadqiqotlar kapillar g'ovak materiallarini issiqlik fizikaviy xarakteristikasini asosiy ikkita yo'nalishda olib borgan.

Birinchi yo'nalish (odatidagi) materialga issiqlik uzatishni chegaraviy masalani yechishda issiqlik fizikaviy xarakteristikasi eksperimental metoddan foydalanib aniqlangan.

Ikkinchi yo'nalish turli xil materiallarga issiqlik berish jarayoni nazariy tavsiflar asosida issiqlik fizikaviy xarakteristikalari analitik metoddan foydalanilgan.

Mahsulotlarni issiqlik-fizikaviy xarakteristikasini aniqlashda samaradorlik ko'rsatkichlarni nazariy va eksperimentlar asosida ikki yo'nalishda bir vaqtda qo'llash sifatli natijalar berishi o'rganildi.

Quyosh hajmiy havo qizdirish kollektor kamerali quritgichda turli xil mevalarni issiqlik fizikaviy xarakteristikasini aniqlashda eksperimental va nazariy tadqiqotlarni o'tkazish, olingan natijalarni kompleks tahlil qilish bilan quritish samaradorligiga erishiladi [8-9]

Buning uchun mevalarni issiqlik – fizikaviy xarakteristikasini aniqlashda metodini tanlash quyidagi umumiy faktorlarga bog'liq bo'ladi.



Mahsulotlarni quritish jarayonidagi issiqlik fizikaviy va issiqlik – massa almashinish xarakteristikasini aniqlashda tajriba chegarali (boshlang‘ich va chegaraviy tizim) belgilash shartlari ishonchli bo‘lishi va bu jarayonda qo‘llaniladigan metod va aniq mos keladigan metodika asosida texnologik jarayonni tanlash lozim bo‘ladi.

Bir xil mahsulot bilan bir marta yoki ikki uch marta issiqlik – fizikaviy xarakteristika kompleks tajriba metodlaridan foydalanish maqsadga muvofiq bo‘ladi. Bu holda bir xil bo‘lmagan quritiladigan mahsulot qirqimlarini zamonaviy texnologik qurilmalar bilan o‘lchanib, natijalar xatoliklari aniqlanishi va qirqim mahsulotlarni o‘lchashlarini optimallashtirish va quritiladigan turli xil mahsulot qirqimlarini issiqlik fizikaviy xarakteristikasi ikkita yoki uchta o‘lchov asbobida o‘lchanib xatoliklarni kamaytirishga erishiladi.

Mevalar katta namlikka ega yumshoq ko‘rinishda bo‘ladi, bu mahsulotlarni issiqlik-fizikaviy xarakteristikasini aniqlash uchun eksperimental va nazariy tadqiqotlardan olingan natijalarni cheklanmagan etalon metodidan foydalanib taqqoslash metodi asosida o‘rganilgan. Bu metodning nazariy asosida A.V.Likov tomonidan ishlab chiqilgan va tekshiriladigan mahsulot bo‘laklari yoyilgan stelajda bir – biriga zich joylashtirilgan bo‘lib, mahsulot tarkibidagi harorat maydoni uchun tadbiiq qilinadigan tenglamalar sistemadan foydalaniladi [10].

Masalani qo‘yilishi. Olmaning disk qirqim shaklda kesib materiallarni quritish jarayonlari bilan bog‘liq bo‘lgan masalani ko‘rib chiqamiz. Buning uchun $T(x, t)$ va $V(x, t)$ lar bilan materiallarni issiqlik va namlik miqdorini belgilaymiz.

Natijada A.V.Likov [1] nazariyasiga asosan ushbu chegaraviy masalaga ega bo‘lamiz:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = a_{11} \frac{dT^2}{dx^2} + a_{12} \frac{dV}{dt} \\ \frac{dV}{dt} = a_{21} \frac{dT^2}{dx^2} + a_{22} \frac{d^2V}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

$$V(x_1 0) = V(x \rightarrow \infty, t) = V_0, \quad T(x_1 0) = T(x \rightarrow \infty, t) = T_0, \quad (2)$$

$$V(0, t) = V_c, \quad T(0, t) = T_c \quad (3)$$

Bu yerda V_0, V_c, T_0, T_c – o‘zgarmas funksiyalardir;

$a_{ij} = (i, j = 1, 2)$ shart ham o‘zgarmas o‘zgarmas miqdordir.

Keltirilgan chegaraviy masalani aniq yechimini qurish bilan shug‘ullanamiz

Aniq yechim taqribiy yechimni aniqligini baholash, modelni parametrlarini indentifikatsiyalash, qaralayotgan masalani sifat tomonidan tekshirish va hokozolarda ishlatiladi.

Oddiy differensial tenglamalar sistemasiga keltirish, (1) sistemaga

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

$$\begin{cases} a_{11} T_{\xi\xi} + \frac{\xi}{2} T_{\xi} - \frac{\xi}{2} a_{12} = 0 \\ a_{21} T_{\xi\xi} + a_{22} \frac{\xi}{2} U_{\xi\xi} + \frac{\xi}{2} V_{\xi} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Bundan quyidagicha

$$T_{\xi} = V_1, \quad V_{\xi} = V_2 \quad (6)$$

belgilashlar kiritib, ushbu sistemani hosil qilamiz:

$$\begin{cases} a_{11} \frac{dV_1}{d\xi} + \frac{\xi}{2} V_1 - \frac{\xi}{2} a_{12} V_2 = 0 \\ a_{21} \frac{dV_1}{d\xi} + a_{22} \frac{dV_2}{d\xi} + \frac{\xi}{2} V_2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

(7) ni birinchisidan $\frac{dV_1}{d\xi}$ ni ikkinchi tenglamasiga qo‘yamiz:

$$\frac{dV_2}{d\xi} = \frac{a_{21}}{a_{22}} \left(-\frac{\xi}{2a_{11}} + \frac{a_{12}}{2a_{22}} \xi V_2 \right) - \frac{\xi}{2a_{22}} V_2$$





yoki

$$\begin{cases} \frac{dV_1}{d\xi} = b_{11}\xi V_1 + b_{12}\xi V_2 \\ \frac{dV_2}{d\xi} = b_{21}\xi V_1 + b_{22}\xi V_2 \end{cases} \quad (8)$$

bu yerda

$$b_{11} = \frac{1}{2a_{11}}, \quad b_{21} = \frac{a_{21}}{2a_{11}a_{22}}, \quad b_{12} = \frac{a_{12}}{2a_{11}}, \quad b_{22} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_{21}a_{12}}{a_{11}a_{22}} + \frac{1}{a_{22}} \right)$$

(5) tenglamalar uchun mos chegaraviy shartlarni (2), (3) dan (4) ni e'tiborga olib keltirib chiqaramiz:

$$VI_{\xi=0} = V_c, \quad TI_{\xi=0} = T_c,$$

$$VI_{\xi=0} = V_0, \quad TI_{\xi=0} = T_0,$$

Yechim qurish. Avval (8) sistemani yechimini matritsali usul yordamida keltiramiz. Buning uchun quyidagicha

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & -b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

belgilashlar kiritib, sistemani matritsali tenglama ko'rinishida yozamiz:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{\xi}{2} BV = \frac{1}{2} B\xi V$$

bu tenglamani yechimi

$$V = \exp\left(-\frac{1}{4} B\xi^2\right) C$$

bo'ladi; bu yerda $C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$ – integrallash o'zgarmas vektoridir. $\exp(A\xi)$ ni matritsali eksponentsial funksiya deyiladi va aniqlanadi:

$$\exp(A\xi) = E + \frac{A\xi}{1i} + \frac{(A\xi)^2}{2i} + \dots + \frac{(A\xi)^n}{ni} + \dots$$

(8) sistemani boshqa qulayroq usul bilan yechsa ham bo'ladi. Buning uchun (8) ni birinchi va ikkinchi tenglamalariga mos ravishda p va q larni ko'paytirib, qo'shib yuboramiz:

$$\frac{d}{d\xi} (pv_1 + qv_2) = \left(\frac{b_{11}p - b_{21}q}{p} pv_1 + \frac{b_{22}q - b_{12}p}{q} qv_2 \right) \quad (9)$$

keyin $Z = pv_1 + qv_2$ deb belgilab, p va q larni ushbu shartlardan

$$\frac{b_{11}p - b_{21}q}{p} = \frac{b_{22}q - b_{12}p}{q} = \lambda \quad (10)$$

Topsak, bu holda (9) ajralgan tenglamaga keladi:

$$\frac{dZ}{d\xi} = -\xi \lambda Z \quad (11)$$

(10) dan λ ga nisbatan kvadrat tenglama kelib chiqadi:

$$\lambda^2 - (b_{11} + b_{22})\lambda - b_{12}b_{21} + b_{11}b_{22} = 0$$

(2) da λ_1 va λ_2 ildizlarni musbat ekanligi ko'rsatilgan. λ_1 va λ_2 larga mos keluvchi p va q larning qiymatlari

$$p_1 = 1, \quad q_1 = \frac{(b_{11} - \lambda_1)}{b_{21}}, \quad q_2 = 1, \quad p_2 = \frac{(b_{22} - \lambda_2)}{b_{12}} \text{ bo'ladi.}$$

$$Z_1(\xi) = C_1 \exp\left(-\frac{\lambda_1}{2} \xi^2\right) \quad (12)$$

Funksiya (11) tenglamani λ_1 ga to'g'ri keladigan yechimidir. Endi V_1 va V_2 larni Z_1 va Z_2 lar orqali ifodalaymiz.

$$\begin{cases} p_1 V_1 + q_1 V_2 = Z_1(\xi) \\ p_1 V_1 + q_1 V_2 = Z_1(\xi) \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} V_1 = \frac{(Z_1 - q_1 Z_2)}{\Delta} \\ V_2 = \frac{(Z_2 - p_2 Z_1)}{\Delta} \end{matrix}, \quad \Delta = 1 - q_1 p_2 \Delta \quad (13)$$

(6) dan (13) ni hisobga olib, ushbu tenglamani yozamiz:



$$\begin{cases} T(\xi) = -\frac{1}{\Delta} \int_{\xi}^{\infty} (Z_1 - q_1 Z_2) d\xi + a_1 \\ V(\xi) = -\frac{1}{\Delta} \int_{\xi}^{\infty} (Z_2 - q_2 Z_2) d\xi + a_2 \end{cases} \quad (14)$$

(14) dagi a_1 va a_2 larni (10) shartlardan topamiz:

$$\begin{cases} T(\xi) = T_0 - \frac{1}{\Delta} \int_{\xi}^{\infty} (Z_1 - q_1 Z_2) d\xi \\ V(\xi) = V_0 - \frac{1}{\Delta} \int_{\xi}^{\infty} (Z_2 - p_2 Z_2) d\xi \end{cases} \quad (15)$$

(12) formuladagi C_1 larni topish uchun (15) dagi integralni quyidagicha

$$\int_{\xi}^{\infty} = \int_0^{\infty} - \int_0^{\xi}$$

yoziq, hamda

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-S^2) dS; \quad \int_0^x \exp(-S^2) dS = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (16)$$

ekanligidan foydalanamiz. Haqiqatdan ham

$$T(\xi) = T_0 - \frac{1}{\Delta} \left(\int_0^{\infty} (c_1 e^{-\lambda_1 \xi^2} - q_1 c_2 e^{-\lambda_2 \xi^2}) d\xi - \int_0^{\xi} (c_1 e^{-\lambda_1 \xi^2} - q_1 c_2 e^{-\lambda_2 \xi^2}) d\xi \right) \quad (17)$$

Bu yerda $\sqrt{\frac{\lambda_i}{2}} \xi = S$ almashtirishlarni bajaramiz. Natijada (17) ni ushbu ko‘rinishda yozamiz.

$$\begin{cases} T(\xi) = T_0 - \frac{1}{\Delta} \left[\sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} (1 - \exp(\sqrt{\frac{\lambda_1}{2}} \xi) c_1 - \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_2}} q_1 c_1) \right] \\ V(\xi) = T_0 - \frac{1}{\Delta} \left[\sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} (1 - \exp(\sqrt{\frac{\lambda_1}{2}} \xi) c_2 - \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_2}} (1 - \exp(\sqrt{\frac{\lambda_2}{2}} \xi)) p_2 c_1) \right] \end{cases} \quad (18)$$

(18) dagi c_1 va c_2 larni chegaraviy shartlar topamiz:

$$\begin{cases} T_c = T_0 - \frac{1}{\Delta} \left[\sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} c_1 - \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_2}} c_2 q_1 \right] \\ V_c = T_0 - \frac{1}{\Delta} \left[\sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} c_2 - \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_2}} c_2 p_1 \right] \end{cases},$$

$$\begin{cases} -\frac{1}{\Delta} \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} c_1 = \frac{T_c - T_0 + q_1 (V_c - V_0)}{1 - q_1 p_2} \\ -\frac{1}{\Delta} \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} c_2 = \frac{V_c - V_0 + p_2 (T_c - T_0)}{1 - q_1 p_2} \end{cases} \quad (19)$$

endi (19) ni (18) ga qo‘yamiz:

$$\begin{cases} T(\xi) = T_0 + \frac{1}{1 - q_1 p_2} \left[\left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_1}{2}} \xi) > (V_c - V_0) q_1 + T_c - T_0 \right) - q_1 \left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_2}{2}} \xi) > (V_c - V_0) + p_2 (T_c - T_0) \right) \right] \\ V(\xi) = V_0 + \frac{1}{1 - q_1 p_2} \left[\left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_1}{2}} \xi) > V_c - V_0 + p_2 (T_c - T_0) \right) - p_2 \left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_2}{2}} \xi) > (T_c - T_0 + q_1 (V_c - V_0)) \right) \right] \end{cases} \quad (20)$$

(20) dan (4) ni hisobga olib, (1) - (3) chegaraviy masalani aniq yechimini ushbu ko‘rinishda yozib olamiz:

$$\begin{cases} T(x, t) = T_0 + \frac{1}{1 - q_1 p_2} \left[\left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_1 x}{2 \sqrt{t}}} \xi) > (V_c - V_0) q_1 + T_c - T_0 \right) - q_1 \left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_2 x}{2 \sqrt{t}}} \xi) > (V_c - V_0) + p_2 (T_c - T_0) \right) \right] \\ V(x, t) = V_0 + \frac{1}{1 - q_1 p_2} \left[\left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_1 x}{2 \sqrt{t}}} \xi) > V_c - V_0 + p_2 (T_c - T_0) \right) - p_2 \left(1 - erf(\sqrt{\frac{\lambda_2 x}{2 \sqrt{t}}} \xi) > (T_c - T_0 + q_1 (V_c - V_0)) \right) \right] \end{cases} \quad (21)$$

endi (1) teglamalar sistemasini (2) hamda quyidagi shartlardagi

$$\frac{dT}{dx} \Big|_{x=0} = Q_1 t^{-\frac{1}{2}} \frac{dV}{dx} \Big|_{x=0} = Q_2 t^{-\frac{1}{2}} \quad (22)$$





aniq yechimini ko‘rish bilan shug‘ullanamiz. Bu holda shartlarga quyidagi

$$\left. \frac{dT}{d\xi} \right|_{\xi=0} = Q_1, \left. \frac{dV}{d\xi} \right|_{\xi=0} = Q_2 \quad (23)$$

ega bo‘lamiz. (23) dan (12) dagi c_1 va c_2 o‘zgarishlarini (13) munosabatlarda $\xi=0$ deb aniqlaymiz:

$$V_1|_{\xi=0} = \left. \frac{dT}{d\xi} \right|_{\xi=0} = \frac{1}{\Delta} (c_1 - q_1 c_2) = Q_1$$

$$V_2|_{\xi=0} = \left. \frac{dV}{d\xi} \right|_{\xi=0} = \frac{1}{\Delta} (c_1 - q_2 c_2) = Q_2$$

bunda

$$\frac{c_1}{\Delta} = \frac{Q_1 + q_1 Q_2}{1 - q_1 p_2}, \frac{c_2}{\Delta} = \frac{Q_1 + p_2 Q_2}{1 - q_1 p_2} \quad (24)$$

(24) ni (18) ga qo‘yib, (4) e‘tiborga olib, (1), (2) va (23) chegaraviy masalani aniq yechimini quyidagi ko‘rinishda quramiz:

$$\begin{cases} T(x, t) = T_0 + \frac{1}{1 - q_1 p_2} \left[\sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} (Q_1 + q_1 Q_2) \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{\lambda_1 x}{2\sqrt{t}}} \right) - q_1 \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} (Q_2 + p_2 Q_1) \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{\lambda_2 x}{2\sqrt{t}}} \right) \right] \\ V(x, t) = V_0 + \frac{1}{1 - q_1 p_2} \left[\sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_1}} (Q_2 + p_2 Q_2) \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{\lambda_2 x}{2\sqrt{t}}} \right) - p_2 \sqrt{\frac{\pi}{2\lambda_2}} (Q_1 + p_2 Q_2) \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{\lambda_1 x}{2\sqrt{t}}} \right) \right] \end{cases}$$

yuqoridagi kabi (1) tenglamalar sistemasini (2) hamda ushbu

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = Q_1 t^{-\frac{1}{2}}, \left. V \right|_{x=0} = V_2$$

yoki

$$T|_{x=0} = T_c, \left. \frac{dV}{dx} \right|_{x=0} = Q_2 t^{\frac{1}{2}}$$

Bu tenglamalar sistemasini yechish orqali quritiladigan olma disk qirqimlari mahsulotlarini quritish uchun sarflanadigan quyosh energiyasini miqdoriga asosan temperatura o‘zgarishini qanoatlantiradigan rejimni aniqlash mumkin [11-16].

Xulosa. O‘tkazilgan loyiha-konstruktorlik, eksperimental va nazariy tadqiqot ishlariga asoslanib mevalarni quritishga mo‘ljallangan quyosh hajmi havo qizdirish kollektor – kamerali quritgichda mevalarni xususan olma qirqimlarini radiatsion-konvektiv metod bilan quritish mumkin o‘rik, olxo‘ri, gilos va anjir mevalarini quritish jarayonini nazariy tadqiqotlar olib borildi.

ADABIYOTLAR

1. Xayriddinov, B. E., Xolmirzaev, N. S., Xalimov, G. G., Risbaev, A. S., & Ergashev, Sh. X. (2018). Muqobil energiya manbalaridan foydalanish. Monografiya. T.“ADAD PLYUS, 417.
2. Hayriddinov, B. E., N. S. Holmirzayev, and Sh H. Ergashev. “Combination of the solar greenhouse-livestock farms with the subsoil accumulator of heat”. “Symbol of science”. International scientific magazine. Omega science international center of i,(ovation) 16 (2017).
3. Ким В.Д., Хайридиноу В.Э., Холлиев 5.4 “Естественнo – конвективная сушка плодов в солнечных сушильных установках” Практика и теория т.: Фан 1999-266 с.
4. Ergashev, Sh. H. and Nurmatova, D. J. (2022) Mathematical Modeling of the Temperature Regime of the “Livestock-Heliogreenhouse Complex” with Water Tank and Underground Heat Accumulator. Middle European Scientific Bulletin, 29 (1). pp. 172-182. ISSN 2694-9970.
5. Эргашев, Ш. Х. (2022, March). Исследование температурных полей в субстратном слое подпочвенного аккумулятора тепла с переменными теплофизическими коэффициентами при заданных температурных режимах воздуха в гелиотеплиц-животноводческих помещениях. In International Virtual Conference on Language and Literature Proceeding (Vol. 1, No. 1).



6. A A Khusenov et al 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1070 012032.
7. Phadke P.C., Walke P.V., Rriplani V.M. A review on indirect solar dryers // ARPNJ Eng Appl Sci 2015 vol. 10. № 8. P. 3360-3371.
8. Лакомов И.В., Помогаев Й.М. Принципы энерго-сберегающей технологии сушки // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. Vol. 48. № 1-с. 70-76.
9. Эргашев Шахриёр Хамудиллаевич, Файзиев Тулкун Амирович математическое моделирование стационарного температурного режима систем отопления «Животноводческо-гелиотепличного комплекса» // Universum: технические науки. 2022. №10-5 (103).
10. Яхшибоев Ш. К. и др. Аккумуляция естественного холода с использованием пассивных систем для хранения сельскохозяйственной продукции // Молодежь. Наука. Инновации. – 2021. – С. 174-178.
11. Волков М.А. Тепло-и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов М.: “Легкая и пищевая промышленность” 1982. 262 с.
12. Файзиев Т. А. и др. Использование естественного холода для хранения сельскохозяйственной продукции : дис. – БарГУ, 2021.
13. Toshmamatov B.M., Shomuratova S.M., Mamedova D.N., Samatova S.H.Y., Chorjeva S. 2022 Improving the energy efficiency of a solar air heater with a heat exchanger – Accumulator. 1045(1), 012081.
14. Aliyarova L A, Uzakov G N, Toshmamatov B M 2021 The efficiency of using a combined solar plant for the heat and humidity treatment of air *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 052002. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052002.
15. G N Uzakov, S M Shomuratova and B M Toshmamatov 2021 Study of a solar air heater with a heat exchanger – accumulator *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 (2021) 052013. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052013.
16. T A Faiziev and B M Toshmamatov 2021 Mathematical model of heat accumulation in the substrate and ground of a heliogreenhouse *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 032006. doi:10.1088/1755-1315/723/3/032006.
17. Яхшибоев Ш. К. и др. Аккумуляция естественного холода с использованием пассивных систем для хранения сельскохозяйственной продукции // Молодежь. Наука. Инновации. – 2021. – С. 174-178.
18. Файзиев Т. А. и др. Использование естественного холода для хранения сельскохозяйственной продукции : дис. – БарГУ, 2021.
19. Файзиев Т.А., Эргашев Ш.Х., Рўзикулов. Ғ.Ю., Рўзикулов. Ғ.Ю. чорвачилик комплексларини лойихалаш ва уларнинг иссиқлик ҳамда намлик режимлари ҳисоби // Инновацион технологиялар. 2021. №2 (42).
URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/chorvachilik-komplekslarini-loyi-alash-va-ularning-issilik-amda-namlik-rezhimlari-isobi> (дата обращения: 21.01.2023).





**БИОЭНЕРГЕТИКА. БИОМАССА ЭНЕРГИЯСИ/ БИОЭНЕРГЕТИКА.
ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ/ BIOENERGY. BIOMASS ENERGY**
**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Маматкулова Сайёра Гулямовна

Каршинский инженерно-экономический институт.

Тел: (90) 050 08 80, urisheva80@mail.ru

***Аннотация.** Переход на альтернативные источники энергии обусловлен иссякаемостью ископаемых видов топлива и проблемами, связанными с изменением климата и потребностями теплоснабжения. Внедрение систем теплоснабжения на основе биоэнергии особенно актуально для сельской местности, где ключевую роль играют биологические факторы производства биоэнергии из различных видов биомассы. Научно-технический прогресс в освоении биоэнергетического потенциала движется в сторону получения биотоплива второго и третьего поколений. В данной статье представляется современное состояние и перспективы использования биоэнергетических установок в системах теплоснабжения.*

***Ключевые слова:** теплоснабжение, биоэнергия, биоэнергетические установки, тепло, биогаз, ферментация.*

***Annotation.** The transition to alternative energy sources is marked by the finiteness of fossil fuels and problems related to climate change and heat supply needs. The introduction of bioenergy-based heat supply systems is especially relevant for rural areas, where biological factors of bioenergy production from various types of biomass play a key role. Scientific and technological progress in the development of bioenergy potential is moving towards the production of biofuels of the second and third generations. This article presents the current state and prospects for the use of bioenergy installations in heat supply systems.*

***Keywords:** heat supply, bioenergy, bioenergy plants, heat, biogas, fermentation.*

Глобальное изменение климата является одной из самых серьезных проблем нашего времени, и было предпринято несколько попыток контролировать и сокращать глобальные выбросы парниковых газов (ПГ) [1,2]. Для достижения этой цели необходимо обеспечить устойчивое и углеродно-нейтральное энерго- и теплоснабжение. В этом направлении некоторые государства продвигают различные меры и правила по повышению энергоэффективности, сокращению энергопотребления и дальнейшему развитию возобновляемых источников энергии. Эти усилия также направлены на сокращение зависимости от ископаемых видов топлива и выбросов ПГ. В целях обеспечения ускоренного развития возобновляемых источников энергии с привлечением прямых иностранных инвестиций в электроэнергетическую отрасль, а также сокращения использования природного газа при производстве электрической энергии приняты ряд постановлений Президента Республики Узбекистан.

Биогаз из энергетических культур или других биогенных субстратов является особенно универсальным источником возобновляемой энергии. Это связано с тем, что он способен обеспечить базовую мощность нагрузки, но также может быть использован для покрытия пиковых нагрузок, с использованием хранения биогаза [3]. Кроме того, биогаз может быть использован для когенерации электрической и тепловой энергии в комбинированных теплоэлектростанциях (ТЭЦ), потенциально снижая расход топлива на 20-30% по сравнению с традиционной выработкой тепловой и электрической энергии на



отдельных установках [4,5]. Короче говоря, выбросы ПГ могут быть сокращены за счет сокращения общего спроса на первичную энергию.

Тепло является самой важной вторичной энергией в мире. Хотя комбинированное производство тепла и электроэнергии является высокоэффективным, необходимо иметь достаточный уровень спроса на тепло вблизи объекта установки. В отличие от электроэнергии, которую можно подавать в сеть, тепло следует использовать в непосредственной близости от генерирующей установки, чтобы уменьшить потери тепла при транспортировке и поддерживать эффективное теплоснабжение. Одной из возможностей является использование тепла в децентрализованных тепловых сетях, особенно в сельской местности. Биоэнергетические деревни предлагают передовые решения вопроса о том, как сочетать концепцию комбинированного производства тепла и электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии. Однако планирование сети и мощности для такой децентрализованной системы отопления на основе биомассы представляет собой серьезную проблему для ответственных лиц, принимающих решения.

Ресурсоэффективная биоэнергетическая деревня была реализована в немецкой деревне Юн-Де в 2004 году [3]. Биоэнергетические деревни используют биомассу местных фермерских хозяйств в качестве возобновляемого источника энергии. Жидкий навоз от животноводства, энергетические культуры и другое сырье выступают в качестве топлива для биогазовой установки, где метан производится в процессе анаэробного брожения. Остаток от этого процесса, известный как дигестат, может быть использован в качестве удобрения в соответствии с национальными требованиями немецкой директивы по удобрениям. Заправка биогазовой установки жидким навозом и использование дигестата в качестве удобрения для пахотных земель также способствует снижению выбросов парниковых газов, поскольку это может уменьшить выбросы метана, связанные с необработанным навозом [6], выбросы парниковых газов от производства удобрений [7] и утечку азота через более высокую точность удобрения [8].

Биогаз, полученный в результате ферментации, примерно на 50% состоит из метана и служит топливом для когенерационного двигателя внутреннего сгорания, который производит как электричество, так и тепло [9]. Выработанная электроэнергия затем подается в сеть, а тепло от выработки электроэнергии может использоваться как для регулирования температуры процесса ферментации, так и для обогрева местных домохозяйств, которые подключены через тепловую сеть [10]. В качестве резервной системы также может быть установлена установка центрального отопления для покрытия пиковых нагрузок в зимний период. Эта концепция сочетает высокую энергоэффективность с использованием возобновляемых источников энергии и, таким образом, биоэнергетические деревни оказывают положительное влияние как на выбросы парниковых газов, так и на энергетический баланс, которые считаются двумя наиболее важными критериями при оценке концепций устойчивого развития биоэнергетики [10].

Исследователи [11] проанализировали различные децентрализованные биоэнергетические системы, которые способствуют смягчению последствий изменения климата, поддерживают местное развитие и могут создавать местные рабочие места. Они пришли к выводу, что маломасштабные биоэнергетические проекты позволяют обеспечить экологически, экономически и социально устойчивое энерго-, теплоснабжение, если они реализуются прибыльным способом. Поэтому при планировании биоэнергетической деревни важно учитывать как экономические, так и экологические аспекты.

Проектирование прибыльного биоэнергетического теплоснабжения с использованием биомассы в качестве основного источника энергии требует эффективного распределения тепла от комбинированной теплоэлектростанции (ТЭЦ) и долгосрочного планирования общей установки системы и мощности [12]. При рассмотрении общей системы производства энергии важнейшими вопросами являются количество установленных электростанций, их мощность и расположение этих объектов. Необходимо также учитывать конкретные параметры проблемы, такие как наличие или распределение биомассы. При планировании





распределительной системы возникают такие вопросы, как выбор потребителей тепла, подключенных к сети, и как спроектировать ход отопительной сети, учитывая при этом, наряду с другими факторами, потери тепла, рентабельность и требования закона о возобновляемых источниках энергии [12]. Одновременное рассмотрение и оптимизация этих аспектов необходимы для проектирования эффективного и децентрализованного теплоснабжения.

Хранение биогаза и установка избыточной мощности позволит обеспечить производство электроэнергии на основе спроса, что приведёт к увеличению прибыли. Исследователи [13] проанализировали рентабельность этой избыточной мощности и рассчитали оптимальные объемы хранения биогаза и мощности для данной установки в зависимости от цен. Для анализа экономических эффектов подключения комбинированной теплоэлектростанции к существующей биогазовой системе используется модель линейного программирования с минимизацией затрат. В этом контексте они исследовали связь комбинированного производства тепловой и электрической энергии, а также торговли сертификатами на электроэнергию и ценами, чтобы оценить экономические последствия будущих изменений в данной системе.

Авторы работы [14] применили MILP к реальной ситуации в центре города для оптимизации операционной стратегии системы отопления. Эта распределенная городская когенерационная система включала в себя как комплект микротурбин, так и централизованный двигатель внутреннего сгорания. Модель определяет оптимальную стратегию эксплуатации и настройки системы, минимизируя ежегодные затраты на владение, обслуживание и эксплуатацию системы. Кроме того, поставка субстратов для биоэнергетических систем также может быть смоделирована с использованием MILP.

В работе исследователей [15] оптимизированы поставки биомассы для различных типов перерабатывающих предприятий с максимизацией целевой функции общей прибыли. Их MILP учитывали как количество, расположение и мощность заводов, так и логистику транспортировки биомассы, промежуточных и конечных продуктов между различными местоположениями. Управление логистикой и эффективная настройка цепи поставок играют важную роль, когда рассматриваются условия для прибыльного и устойчивого производства биоэнергии.

Исследователями [16] представлен обзор различных проблем и задач в области разработки и эксплуатации цепочек поставок биомассы, которые могут обеспечить стабильное и конкурентоспособное распределение биомассы для биоэнергетических установок.

Авторы исследования [17], представляют MILP, который предлагает возможность для углубленного анализа концепций биоэнергетических деревень. Он оптимизирует NPV для заданного набора внешних параметров и, следовательно, позволяет проводить экономическую оценку различных сценариев. Эти сценарии могут отражать различные параметры, включая готовность домашних хозяйств участвовать в проекте, наличие субстратов и спрос на тепло. Такая возможная адаптация весьма важна для применения данной модели, поскольку все деревни будут совершенно разными и поэтому требуют реализации своей специфической плановой ситуации. Гибкость модели также позволяет учитывать и другие аспекты. Различные географические условия, субстратные и строительные затраты или транспортные расстояния могут быть реализованы путем адаптации соответствующих NPV, в то время как другие социальные или политические вопросы могут быть рассмотрены путем включения дополнительных ограничений. Результаты оптимизации могут быть дополнительно использованы для расчета безубыточных цен на тепло или оценки зависимости от государственных субсидий или пособий. Эти решения также представляют собой экономические "контрольные показатели" и первые показатели осуществимости для поддержки переговоров и принятия решений на этапе планирования такого сложного проекта. Также можно оценить "эволюцию" сети, относительно дополнительных потребителей тепла, которые хотят присоединиться к



теплосети в будущем. Невозможно оптимизировать теплосеть в условиях такой неопределенности, т. е. не зная дополнительных, будущих потребителей тепла. Однако модель может оценить потенциальное расширение сети, используя существующую сеть в качестве входного параметра. Такая адаптивность сети может быть оценена уже на этапе планирования биоэнергетической деревни. Оптимальное решение (на основе всех известных параметров) может быть использовано в качестве входного параметра для сценарного анализа, включающего различных дополнительных (будущих) тепловых потребителей, и поэтому может исследовать устойчивость оптимального решения.

Исследователи [18] отмечают что сжигание отходов и централизованное теплоснабжение имеют синергетический эффект и утверждают, что эффективность конверсии как существующих, так и будущих установок для сжигания отходов была бы значительно выше, если бы тепловая мощность установок могла быть использована.

В работе исследователей [19] используется модель BioHEAT - технико-экономическая имитационная модель, которая объединяет биоэнергетику и тепло, включая взаимозависимости между секторами конечного потребления тепла, электроэнергии и транспорта. Используя BioHeat, этот документ исследует интерактивное и совокупное воздействие отдельных инструментов политики, направленных на увеличение производства возобновляемой энергии через цепочки поставок биоэнергии. В сценариях изучается влияние преобразования существующих энергоблоков с ископаемого топлива на топливо из биомассы, обязательное использование передового биотоплива на транспорте и продление поддержки возобновляемого тепла до 2030 года.

В исследовательской работе [20] сектор теплоснабжения разделен на несколько подсекторов с различными свойствами с точки зрения профилей спроса и инфраструктуры. Для каждого подсектора определены репрезентативные концепции биоэнергетики, ископаемых и других возобновляемых (гибридных) технологий теплотехники, а технологическая конкуренция была оптимизирована в системе в рамках немецкого плана защиты климата в двух сценариях. Создан согласованный сценарий, и определены подробные данные о сырье для биомассы, что привело к набору пяти типов биомассы, которые могут быть переработаны в 20 продуктов биомассы. Дополнительно к трем ископаемым продуктам их можно применять для 47 различных технологических концепций. В рамках модели эти технологические концепции конкурировали в 19 различных подсекторах для определения оптимального распределения биомассы в секторе теплоснабжения. Для подхода математической оптимизации выбран для моделирования сектора теплоснабжения. Подход модели основан на VENOPT (модель BioENergyOPTimisation), которая была применена в секторе транспорта и энергетики. Пространственная граница - это Германия в целом. Целевой функцией является минимизация общих системных затрат по всем технологиям i , всем подсекторам s и полному временному интервалу $t = 2015 \dots 2050$. Общие системные затраты представляют собой сумму предельных издержек, характерных для технологии mc , умноженных на количество произведенного тепла π , и инвестиционных затрат ic , дисконтированных с помощью метода аннуитета (ставка дисконтирования q), умноженное на количество установленных систем отопления n_{cap} . В модели каждая (гибридная) концепция теплотехники разделена на разные модули j , которым назначены разные времена жизни t^j и индивидуальные инвестиционные затраты. Были найдены наиболее экономически эффективные варианты на следующие десятилетия до 2040 года в секторе частных домохозяйств в форме гибридной установки для сжигания гранул на ТЭЦ (торрефицированные) в сочетании с тепловым насосом и фотоэлектрической системой [21].

В данное время повышенное внимание уделяется исследованиям в области теплоснабжения на основе биоэнергетики, так как в настоящее время тепло признается жизненно важным элементом энергетической системы и ее перехода. Биоэнергетические системы сопряжены с высокими удельными капитальными затратами и требуют привлечения внешних источников финансирования, для которых подобные проекты связаны





с высоким уровнем риска, влияющим на инвестиционную привлекательность. Целевая программа должна предусматривать и включать экономические инструменты снижения рисков при реализации биоэнергетических проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. UNFCCC. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (1997).
2. P.A. Ostergaard. Comparing electricity, heat and biogas storages' impacts on renewable energy integration. *Energy*, 37 (2012), pp. 255-262.
3. A.N. Andersen, H. Lund. New CHP partnerships offering balancing of fluctuating renewable electricity productions. *J. Clean. Prod.*, 15 (2007), pp. 288-293.
4. S.G.Mamatkulova, G.N. Uzakov, Assessment of the Gross Potential of Local Waste Based on Geoinformation Systems for Bioenergy Production. *The Journal of CIEES* 1 (1), 2021.
5. S.G.Mamatkulova, G.N. Uzakov, Modeling and calculation of the thermal balance of a pyrolysis plant for the production of alternative fuels from biomass. *2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1070 012040.
6. A. Meyer-Aurich, A. Schattauer, H.J. Hellebrand, H. Klaus, M.Plöchl, W. Berg. Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. *Renew. Energy*, 37 (2012), pp. 277-284.
7. P. Upham, B. Smith. Using the rapid impact assessment matrix to synthesize biofuel and bioenergy impact assessment results: the example of medium scale bioenergy heat options. *J. Clean. Prod.*, 65 (2013), pp. 261-269.
8. C.T. Lukehurst, P. Frost, T. Al Seadi. Utilisation of Digestate from Biogas Plants as Biofertiliser. IEA Bioenergy (2010).
9. FNR. Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung (engl.: Compendium Biogas). (fifth ed.), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow-Prüzen (2010).
10. T. Buchholz, V.A. Luzadis, T.A. Volk. Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey. *J. Clean. Prod.*, 17 (2009), pp. 86-98.
11. R.B. Mangoyana, T.F. Smith. Decentralised bioenergy systems: a review of opportunities and threats. *Energy Policy*, 39 (2011), pp. 1286-1295.
12. H. Uhlemair, I. Karschin, J. Geldermann. Optimizing the production and distribution system of bioenergy villages. *Int. J. Prod. Econ.*, 147 (2014), pp. 62-72.
13. S. Amiri, D. Henning, B.G. Karlsson. Simulation and introduction of a CHP plant in a Swedish biogas system. *Renew. Energy*, 49 (2013), pp. 242-249.
14. M. Casisi, P. Pinamonti, M. Reini. Optimal lay-out and operation of combined heat & power (CHP) distributed generation systems. *Energy*, 34 (2009), pp. 2175-2183.
15. J. Kim, M.J. Realff, J.H. Lee, C. Whittaker, L. Furtner. Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. *Biomass Bioenergy*, 35 (2011), pp. 853-871.
16. S. Gold, S. Seuring. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. *J. Clean. Prod.*, 19 (2011), pp. 32-42.
17. I. Karschin, J. Geldermann. Journal of Cleaner Production № 104, 1 October 2015, Pages 305-314.
18. U. Persson, M. Münster. Current and future prospects for heat recovery from waste in European district heating systems: a literature and data review. *Energy*, 110 (2016), pp. 116-128.
19. E. Durusut, F. Tahir, S. Foster, D. Dineen, M. Clancy. BioHEAT: a policy decision support tool in Ireland's bioenergy and heat sectors. *Appl. Energy*, 213 (2018), pp. 306-321.
20. M. Jordan, V. Lenz, M. Millinger. Future competitive bioenergy technologies in the German heat sector: Findings from an economic optimization approach. Energy, Volume 189, 15 December 2019, Article 116194.
21. С.Г. Маматкулова. Применение искусственного интеллекта в биоэнергетических системах. 2022/11/18, International Journal of Contemporary Scientific and Technical Research, 204-207.



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Б. Сафаров^{1*}, Г.Н. Узаков², Р.А. Мамедов¹, Х.А. Давлонов², С.Э. Бекназаров²

¹Бухарский инженерно-технологический институт, Узбекистан, 200100, Бухара, ул. К. Муртазаева, 15. Тел.: +998(90) 299-41-24

²Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан, 180100, Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел.: +998(90) 876-05-45

*e-mail: a-safarov91@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований оценки ресурсов ветроэнергетического потенциала Кашкадарьинской области и выявлению местностей с высоким потенциалом энергии ветра. При оценки ресурсов валового (теоретического) и технического ветроэнергетического потенциала региона использовалась двухпараметрическая функция распределения вероятностей Вейбулла. Данные о средней скорости ветра были получены из географической информационной системы NASA POWER. Определены показатели экономической эффективности строительства ветроэлектростанции мощностью 500 МВт в регионах с высоким потенциалом использования энергии ветра. Результаты, полученные на основе данного научного исследования, могут быть использованы местными и иностранными инвесторами, докторантами, занимающимися научными исследованиями, и инженерами данной сферы.

Ключевые слова: скорость ветра, геоинформационная система, функция распределения вероятностей Вейбулла, параметры формы и масштаба, удельная мощность, удельная энергия, валовой (теоретический) и технический потенциал, технико-экономический анализ.

Abstract. The article presents the results of research on assessing the resources of the wind energy potential of the Kashkadarya region and identifying areas with high wind energy potential. When assessing the resources of the gross (theoretical) and technical wind energy potential of the region, a two-parameter Weibull probability distribution function was used. The average wind speed data was obtained from the NASA POWER geographic information system. The indicators of economic efficiency of the construction of a wind power plant with a capacity of 500 MW in regions with a high potential for the use of wind energy have been determined. The results obtained on the basis of this scientific research can be used by local and foreign investors, doctoral students engaged in scientific research, and engineers in this field.

Key words: wind speed, geographic information system (GIS), Weibull probability distribution function, shape and scale parameters, specific power, specific energy, gross (theoretical) and technical potential, techno-economic analysis.

Введение.

Увеличение использования возобновляемых источников энергии в мировой энергетической системе играет важную роль в стабилизации вопросов, связанных с энергетической безопасностью, экологией и охраной окружающей среды, экономией топливно-энергетических ресурсов. Использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая, биомасса, геотермальная и гидроэнергия, быстро развивается. Благодаря низкой стоимости электроэнергии, вырабатываемой из возобновляемых источников энергии, и тому, что она практически безвредна для окружающей среды, такие проекты реализуются все чаще, с большими инвестициями в них, перспективными разработками и исследованиями.





На сегодняшний день использование энергии ветра является одним из наиболее перспективных проектов среди возобновляемых источников энергии. Циркуляция воздушных масс вокруг атмосферы Земли оценивается специалистами по-разному. Годовой теоретический запас энергии ветра в 100 раз превышает все запасы энергии на Земле и составляет $330 \cdot 10^{12}$ кВт·ч. Однако, только 10-12% этой энергии может быть использовано [1]. Сегодня более 100 стран мира используют энергию ветра для обеспечения населения и промышленных предприятий надежным и экологически чистым источником энергии. На рис. 1 представлены показатели установленной мощности ветровых электростанций мира по годам [2]. Китай является мировым лидером в области ветроэнергетики. В 2021 году на долю выработки электроэнергии из потоков ветра на Китай пришлось 50,9% электроэнергии, выработанной ветроэлектростанциями во всем мире [3].

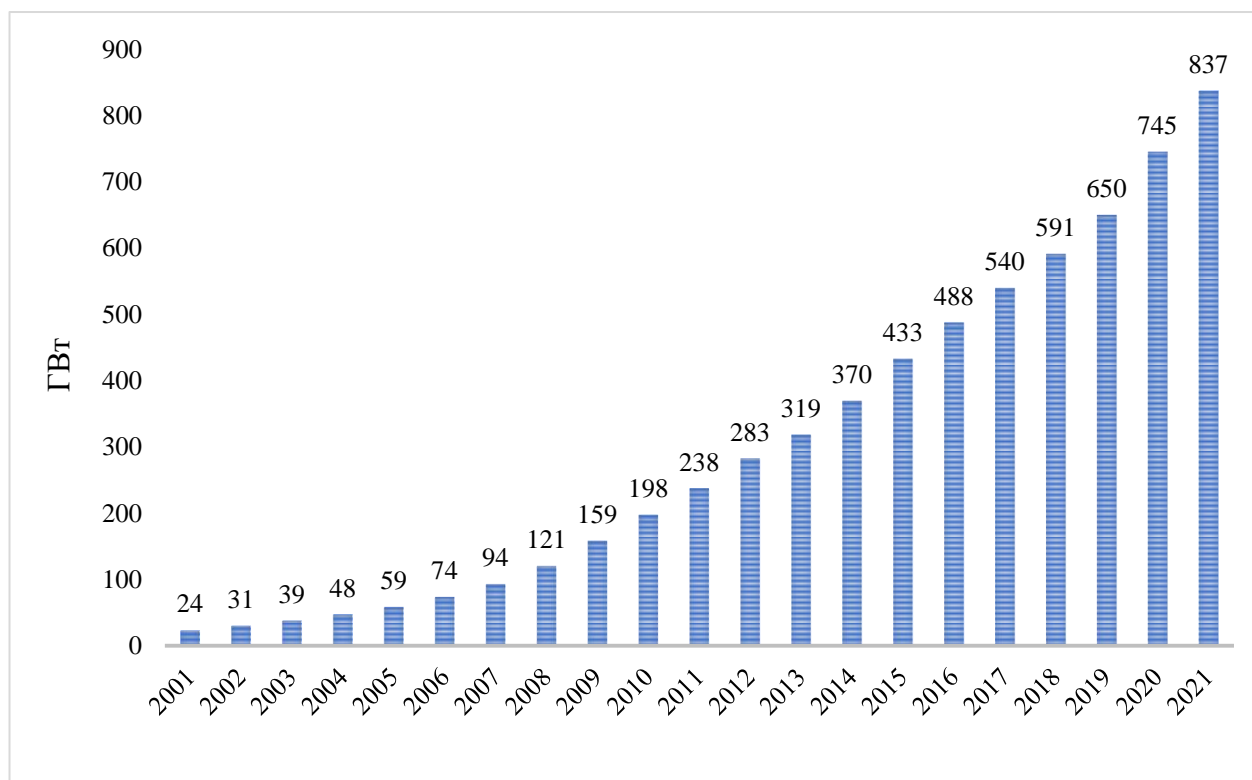


Рис.1. Установленная мощность ветровых электростанций в мире по годам.

В Узбекистане проводятся научно-исследовательские работы по оценке ресурсов ветроэнергетического потенциала и их использованию. До недавнего времени ресурсы валового (теоретический) ветроэнергетического потенциала нашей республики были оценены в 2,2 млн. т.у.т.

Однако потенциал ветроэнергетики в локальных, отдельных районах (Навои, Устюрт, Бухара, Бекобад, Мубарек) не был полностью учтен. Кроме того, этот показатель рассчитывался с помощью актинометрических станций, расположенных вдали друг от друга на высоте 5-8 метров (фактически его следует определять на высоте 25-100 метров). В 2015 году в сотрудничестве с немецкими компаниями «Intec-Copa, GEONET» и АО «Узбекэнерго» проведены исследования по оценке ресурсов ветроэнергетического потенциала на территории Узбекистана и созданию карты ветроэнергетики (Рис. 2) [4]. Данное исследование было направлено на определение ресурсов ветроэнергетического потенциала в шести регионах нашей республики и оценку возможностей их использования.

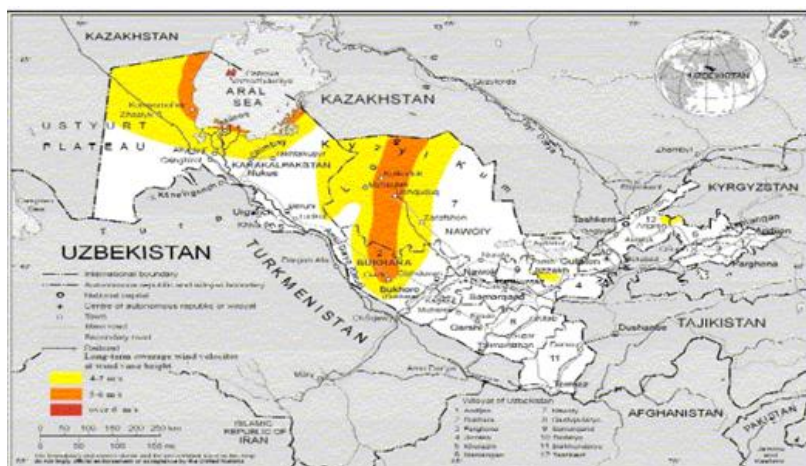


Рис.2. Карта ресурсов ветроэнергетического потенциала Узбекистана.

Немецкие специалисты разработали атлас ветров нашего региона при помощи 3d моделирования. В качестве перспективных регионов для установки ветротурбин большой мощности определены Навоийская, Бухарская, Ташкентская, Кашкадарьинская, Самаркандская и Каракалпакстанская области. По результатам проведенных исследований общий ветроэнергетический потенциал нашей республики на высоте 80 м был оценен в 520 ГВт.

В Республике Узбекистан У.А. Таджиев и др., своё научное исследование посвятили вопросам появления потоков ветра их характеристики, географические параметры региона и влияние синоптических процессов, происходящих в атмосфере, на ветровой поток на территории нашей республики. Кроме того, были определены и проанализированы значения средней скорости ветра и относительных мощностей всех районов нашей республики на высоте 10-80 м [5].

Р.А. Захидов и др., используя данные о скорости ветра, полученные с 88 метеостанций, расположенных в регионах нашей республики, оценили показатели годового производства электроэнергии, вырабатываемой горизонтальными ветроэнергетическими установками мощностью 10, 30, 60, 100, 250, 500 кВт [6]. Специалисты и ученые оценили ресурсы потенциала энергии ветра на разных высотах Навоинской и Каракалпакских областей, расположенные в низменных районах Узбекистана. Данные о скорости ветра были собраны и проанализированы с метеостанций МС Тамди и МС Жаслик, расположенных в этих районах. Техничко-экономические показатели ветроэнергетических установок большой, средней и малой мощности основаны на условиях воздействия приземных слоев атмосферы Навоийской и Каракалпакской областей [7].

13 июня 2018 г. был запущен новый веб-портал данных NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources с большим потенциалом для облегчения доступа к параметрам солнечной радиации и метеорологическим данным во всем мире. Новый портал данных POWER позволяет получать доступ, загружать и использовать данные во многих форматах. Ежедневные данные о скорости ветра получают со спутника MERRA-2, а анализы выполняются на $1/2^\circ$ широты и $1/2^\circ$ долготы на высоте 2, 10 и 50 м над местной поверхностью. База данных NASA содержит самые разнообразные метеорологические данные для любой точки Земли [8]. В последние годы успешно применяются Global Wind Atlas — это веб-приложение, которое помогает политикам и инвесторам определять районы с сильным ветром и выполнять первоначальные расчеты для получения энергии ветра практически из любой точки мира. Программа предоставляет свободный доступ к данным об удельной мощности и энергии ветра, повторяемости направления потока ветра (роза ветров) и скорости ветра путем моделирования свойств энергии ветра на разных высотах. Разработан Датским техническим университетом Дании в сотрудничестве со Всемирным





банком и финансируется Программой помощи в управлении энергетическим сектором (ESMAP) [9].

Известными учеными мира проведены исследования для оценки потенциала ветроэнергетических ресурсов. Ч.Н. Аун Тан в научных исследованиях использовал современные технологии геоинформационных систем для оценки ресурсного потенциала возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой и гидроэнергетики) в регионе Мьянмы. В исследовании оценивался потенциал эффективного использования возобновляемых источников энергии для сельскохозяйственных потребителей энергии в регионе Майанма [10]. А.Б. Рыхлов использовал технологии геоинформационных систем и методы статистического анализа для оценки потенциала ветроэнергетических ресурсов на разных высотах юго-восточных регионов России. В данном исследовании была разработана новая методика климатической оценки характеристик скорости ветра на разных высотах, которая обеспечила точную оценку ветроэнергетического потенциала и анализ возможностей использования источников энергии ветра [11].

В исследовании Д. Ментиса проанализировано потенциальное использование энергии ветра для предотвращения текущего дефицита электроэнергии на африканском континенте. В исследовании оценивается валовой (теоретический) и технический потенциал ветроэнергетики в континентальных районах Африки на основе современных технологий. База данных NASA POWER и статистический анализ данных о скорости ветра использовались для картографирования размещения современных ветроустановок в регионах Африканского континента, для изучения годовой электроэнергии, вырабатываемой ветроустановками [12]. В исследовании Б. Кылыча использовались данные о средней скорости ветра в период с 2009 по 2016 год, полученные с четырех метеорологических станций в регионе, для анализа ветроэнергетического потенциала турецкой провинции Бурдур. Данные метеостанций в провинции Бурдур изучались с использованием методологии искусственной нейронной сети и оценочных прогнозов скорости ветра к концу 2030 г [13]. В исследовании А. Аллоуи использовались различные методы распределения для оценки потенциала ресурсов энергии ветра в городах Аль-Хосейма, Тетуан, Ассила, Эссуира, Эль-Аюн и Дахла, расположенных в шести прибрежных районах Королевства Марокко. Анализ показал, что использование двухпараметрической функции распределения Вейбулла при оценке потенциала ветроэнергетических ресурсов является более точным, чем другие виды функций распределения [14]. С.А. В исследовании под руководством Ахмеда был проведен статистический анализ удельной плотности энергии ветра в регионе Панджвен (Пакистан) в период с января 2001 г. по декабрь 2003 г. на основе среднемесячных скоростей ветра. Годовая, месячная максимальная, средняя, минимальная скорости ветра и удельные плотности энергии ветра региона рассчитывались с использованием функций распределения Вейбулла и Релея [15]. В исследовании под руководством К. Озая потенциал ветровой энергии региона Алкати в Измире оценивался с использованием двухпараметрической функции распределения Вейбула. При статическом анализе ветроэнергетического потенциала статически анализировались данные, полученные с метеорологических станций, расположенных в районе Алкати на трех различных высотах 30, 50 и 70 м, с интервалом 10 минут в течение пяти с половиной лет. В результате проведенного исследования были рассчитаны распределение скорости ветра, повторяемость направления ветра (средняя скорость ветра), средняя скорость ветра, параметры формы и масштаба (k, c) по параметрам Вейбулла для региона [16].

На основе анализа научных исследований, определение ветроэнергетического ресурсного потенциала заданного региона с использованием двухпараметрической функции распределения вероятностей Вейбула основан на том, что она более надежна, чем другие виды функций распределения. Кроме того, необходимо определить территорию установки ветровой электростанции в регионе с высокой возможностью энергии ветра.

**Методы и материалы.**

При оценке характеристик скорости ветра используют плотность распределения Вейбулла (равную плотности вероятности, т. е. дифференциал распределения, равный отношению скорости скорости в диапазоне v и $v + dv$ к интервалу dv) должны быть определены функции интеграла распределения (скорость ветра выше v) функции интеграла распределения распределения). Эти математические выражения определяются следующим образом [17,18]:

$$f(\bar{v}) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k} \quad 0 \leq \bar{v} \leq \infty \quad (1)$$

$$F(\bar{v}) = \int_0^{\infty} f(\bar{v}) d\bar{v} = 1 - e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k} \quad 1 \leq k \leq 10 \quad (2)$$

где k - параметр формы (в зависимости от расположения региона); c - параметр, определяющий масштаб распределения функции (параметр, зависящий от средней скорости ветра, м/с).

Для анализа данных о скорости ветра нам необходимо определить параметры такие как, параметр формы и масштаба распределения вероятностей Вейбулла. Параметры формы и масштаба определяются следующими выражениями [19,20]:

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1,086} \quad (3)$$

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (4)$$

где σ - стандартное отклонение м/с, Γ - гамма-функция (выбирается из таблицы) [21].

Стандартное отклонение используется для характеристики рассеивания наблюдаемых значений выборки вокруг ее среднего значения. Выражение стандартного отклонения определяется следующим соотношением [22]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(v_1 - \bar{v})^2 + (v_2 - \bar{v})^2 + \dots + (v_i - \bar{v})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2} \quad (5)$$

По параметрам, определенным из функции распределения вероятностей Вейбулла, мы можем определить удельные значения мощности и энергии, полученные от ветрового потока данного региона. Эти параметры определяются следующими математическими выражениями [23,24]:

$$P_B = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (6)$$

$$E_B = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \cdot T \quad (7)$$

где P_B - удельная мощность, определяемая по функции распределения вероятностей Вейбулла, Вт/м²; E_B - удельная энергия, определяемая по функции распределения вероятностей Вейбулла, кВт·ч/м²; T - продолжительность времени, часов; ρ - плотность воздушного потока (на высоте 10 м плотность воздушного потока составляет 1,25 кг/м³).

Изменение плотности воздушного потока по высоте определяется следующим упрощенным выражением [25]:

$$\rho_{H2} = \rho_{H1} - (1,194 \cdot 10^{-4} \cdot H) \quad (8)$$

где ρ_{H1} - плотность воздушного потока при нормальных условиях, кг/м³; H - высота, на которой измеряется скорость ветра, м.





Значения скорости ветра зависят от высоты, и с увеличением высоты пропорционально увеличивается скорость ветра. Следующая формула выражает зависимость скорости ветра от высоты [26,27]:

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^\alpha \quad (9)$$

где v_2 - скорость ветра, измеренная на определенной высоте, м/с; v_1 - скорость ветра, измеренная на начальной высоте, м/с; H_1 - начальная высота, м; H_2 - выбранная высота, м; α - показатель сдвига ветра.

Индекс сдвига ветра определяется по следующей формуле [28]:

$$\alpha = [0,096 \log_{10}(Z_0) + 0,016 (\log_{10}(Z_0))^2 + 0,24] \quad (10)$$

Z_0 - длина шероховатости поверхности на разных поверхностях земли. На пастбищных и степных участках данный параметр составляет $Z_0 = 0,01$ м [29].

На определенной высоте также меняются значения параметров формы и масштаба. Определение этих параметров производится следующими выражениями [30]:

$$k_{H2} = \frac{k_{H1}}{1 - 0,0881 \ln\left(\frac{H_2}{H_1}\right)} \quad (11)$$

$$c_{H2} = c_{H1} \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^n \quad (12)$$

$$n = [0,37 - 0,0881 \ln(c_{H1})] \quad (13)$$

где k_{H1} - параметр формы, определяемый на высоте 10 м; c_{H1} - параметр масштаба, определяемый на высоте 10 м, м/с; H_1 - начальная высота (10 м); H_2 - выбранная высота, м; n - коэффициент, определяющий параметр масштаба на выбранной высоте.

Удельные значения мощности и энергии ветрового потока на разных высотах определяются значениями параметров формы и масштаба, заданными в функциях распределения вероятностей Вейбулла. Эти зависимости выражаются в следующих выражениях [31]:

$$P_{В.Н2} = \frac{1}{2} \rho_{H2} c_{H2}^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k_{H2}}\right) \quad (14)$$

$$E_{В.Н2} = \frac{1}{2} \rho_{H2} c_{H2}^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k_{H2}}\right) \cdot T \quad (15)$$

где $P_{В.Н2}$ - удельная мощность, определяемая по функции распределения вероятностей Вейбулла на выбранной высоте, Вт/м²; $E_{В.Н2}$ - удельная функция энергия, определяемая по функции распределения вероятностей Вейбулла на выбранной высоте, кВт·ч/м²; ρ_{H2} - плотность воздушного потока на выбранной высоте, кг/м³.

При оценке валового (теоретического) потенциала региона используем следующую формулу [32]:

$$E_{Вал.} = E_{В.Н2} \cdot \frac{S}{20} = \frac{1}{40} \cdot \rho T S \sum_{i=1}^n V_i^3 t_i \quad (16)$$

где $E_{В.Н2}$ - удельная энергия ветра (распределение Вейбулла), кВт·ч/м²; T - время работы выбранной турбины в год, часов; S - площадь местности, км²; V_i - среднегодовая скорость ветра, м/с; t_i - вероятность нахождения скорости на определенном интервале, час.

Определим оценку технического потенциала ветроэнергетических ресурсов следующим выражением [33]:

$$E_T = \frac{N \cdot k \cdot S}{100 \cdot D^2} \quad (17)$$

где N - номинальная мощность ветродвигателя, кВт; k - коэффициент использования установленной мощности ветроустановок; D - диаметр ветродвигателя, м.



Точно оценив потенциал ветроэнергетических ресурсов, можно определить, какие типы ветроэнергетических установок имеют наибольший потенциал для использования в данном регионе.

Анализ экономической целесообразности. В мире в настоящее время при оценке экономической эффективности ветроэнергетических установок широкое применение получил метод «чистой приведенной стоимости». Данный показатель представляет разность между затратами и будущей прибылью, приведенные к текущему моменту времени.

Показатель чистый дисконтированный доход (NPV) представляет величину денежных средств, которую вкладчик ожидает получить от проекта после того, как денежная прибыль окупит его первоначальный вклад и периодические денежные затраты, связанные с осуществлением проекта. Он определяется следующим выражением [34]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{P_t - A_t}{(1+E)^t} - I_0 \quad (18)$$

где P_t – общая прибыль за год, млн.сум; A_t – расходы за год, млн. сум; E – ставка дисконтирования (постоянная ставка дисконтирования при обычных неизменных условиях составляет 15%); I_0 – первоначальные инвестиции млн.сум; t – продолжительность проекта, час.

Метод внутренней нормы доходности (IRR) – норма прибыли, дисконтированной стоимости притока денежных средств равной ставке дисконтированного оттока денежных средств, или же или приведенная стоимость чистой выручки от проекта к приведенной стоимости инвестиций, а чистая приведенная стоимость – это ставка дисконтирования равная нулю. Для определения внутренней нормы доходности используется следующее выражение [35]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{P_t - A_t}{(1+E)^t} - I_0 = 0 \quad (19)$$

Индекс прибыли (PI) представляет собой отношение валовой дисконтированной прибыли к общим дисконтированным капитальным затратам, т. е. во сколько раз полученный результат превысил первоначальные инвестиции. Эта зависимость определяется следующим выражением [36]:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{P_t - A_t}{(1+E)^t} / I_0 \quad (21)$$

Срок окупаемости (PP)– это количество лет, в течение которых капитальные затраты на проект полностью окупаются за счет прибыли. Время динамического и статического охвата отличаются. Статический срок окупаемости относится к периоду окупаемости первоначальных капитальных затрат инвестора и определяется следующим образом [37]:

$$T_{ст} = \frac{I_0}{P_t - A_t} \quad (22)$$

Динамический срок окупаемости (DPP) – это время, когда инвестор полностью окупает понесенные затраты и получает стандартный доход. Это значение определяется следующим выражением [38]:

$$T_d = \sum_{t=1}^n \frac{P_t - A_t}{(1+E_n)^t} \geq I_0 \quad (23)$$

Таким образом, метод расчета срока окупаемости инвестиций описывает полный срок окупаемости при текущей (реальной) стоимости вложенных инвестиций и в этом отношении предпочтительнее срока окупаемости инвестиций.

Результаты и обсуждение.

В таблице 1 приведены сведения о географическом положении и площади районов, расположенных в Кашкадарьинской области.





Таблица 1

Сведения о географическом положении и площади районов

№	Районы Кашкадарьинской области	Площадь поверхность	Широта	Долгота
1.	Чиракчинский район	2800 км ²	39°1'59"N	66°34'36"E
2.	Дехканабадский район	4000 км ²	38°20'23.3"N	66°33'44.3"E
3.	Гузарский район	2620 км ²	38°35'0"N	66°5'0"E
4.	Касбинский район	650 км ²	38°57'33"N	65°25'41"E
5.	Китабский район	1750 км ²	39°7'12.0"N	66°52'58.8"E
6.	Касанский район	1880 км ²	39°2'13"N	65°34'23"E
7.	Миришкорский район	3100 км ²	38°54'7"N	65°0'3"E
8.	Мубарекский район	3070 км ²	39°15'30"N	65°11'27"E
9.	Нишанский район	2100 км ²	38°33'27"N	65°34'15"E
10.	Камашинский район	2660 км ²	38°47'35"N	66°28'29"E
11.	Каршинский район	900 км ²	38°51'55"N	65°42'48"E
12.	Шахрисабзский район	1700 км ²	39°3'0"N	66°50'0"E
13.	Яккабагский район	1300 км ²	38°48'0"N	66°52'0"E

На рис. 3 представлена среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м в районах Кашкадарьинской области. Эта информация взята из NASA POWER. Установлено, что средняя скорость ветра в разных точках района и на высоте 10 м находится в пределах 2,9-3,9 м/с. Средняя скорость ветра составила 3,73 м/с в Касби, Китабе, Касане, 3,98 м/с в Миришкоре и 3,99 м/с в Мубареке.

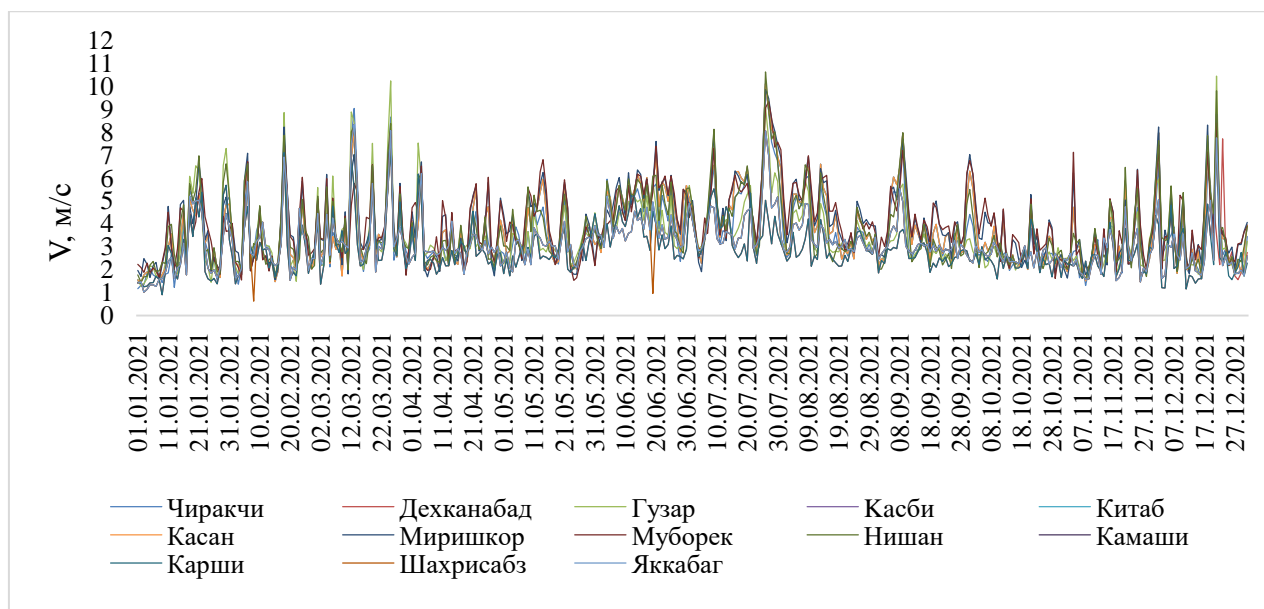


Рис.3. Данные о средней скорости ветра на высоте 10 м в Кашкадарьинской области.

На рис. 4 показан алгоритм оценки ветроэнергетического потенциала с использованием функции распределения вероятностей Вейбулла. На основе этого алгоритма можно достоверно определить среднюю скорость потока ветра на различных высотах, относительную мощность потока ветра, энергию, ресурсы валового (теоретический) и технического потенциала.

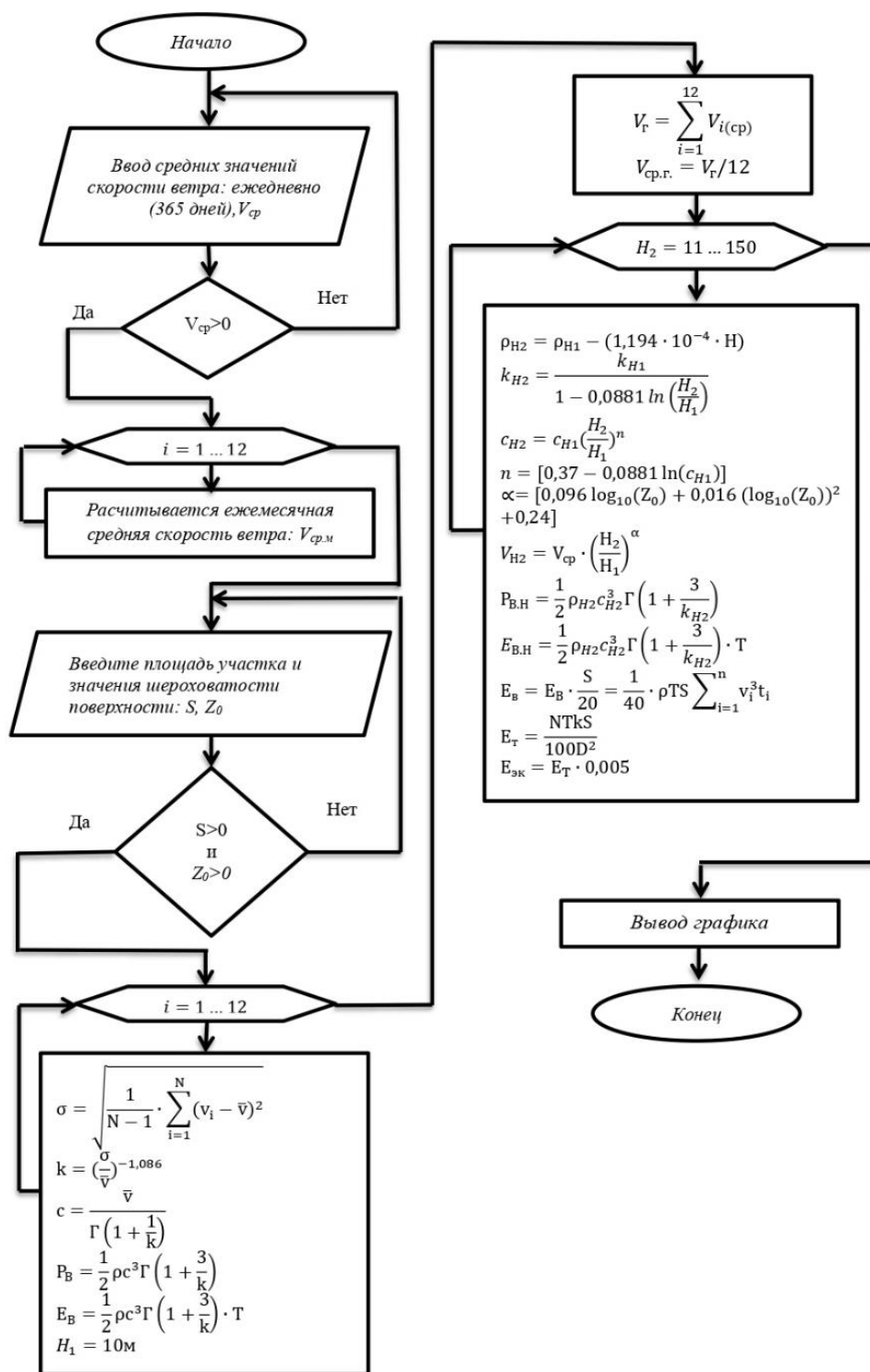


Рис.4. Алгоритм оценки ресурсов ветроэнергетического потенциала на различных высотах с использованием функции распределения вероятностей Вейбулла.

В таблице 2 представлены результаты статистической обработки данных о среднегодовой скорости ветра на высоте 10 м по районам Кашкадарьинской области. Для статистической обработки данных использовалась функция распределения вероятностей Вейбулла. При этом можно определить стандартное отклонение (5), два параметра распределения Вейбулла формы (3) и масштаба (4), удельной мощности (6), удельной энергии (7). Было установлено, что при средней скорости ветра в районе 3,5 м/с, удельная мощность и годовая удельная энергия составили 39,68 Вт/м² и 4531,49 кВт·ч/м² соответственно.





Таблица 2

Результаты статистической обработки данных о среднегодовой скорости ветра

Районы	Средняя скорость ветра	Стандартно е отклонение	Параметры распределения Вейбулла			
			k, (-)	c, (м/с)	Удельная мощность (Вт/м ²)	Удельная энергия (кВт·ч/м ²)
Чиракчи	3,465	1,22	3,49	3,85	40,13	352,63
Дехканабад	2,902	0,92	4,06	3,2	21,37	187,56
Гузар	3,460	1,22	3,70	3,83	39,88	350,61
Касби	3,725	1,34	3,18	4,15	49,29	433,13
Китаб	3,725	1,34	3,18	4,15	49,29	433,13
Касан	3,725	1,34	3,18	4,15	49,29	433,13
Миришкор	3,988	1,41	3,24	4,44	58,39	512,90
Мубарек	3,991	1,33	3,45	4,43	56,33	494,74
Нишан	3,718	1,38	3,15	4,14	49,86	438,53
Камаша	3,143	0,92	4,78	3,45	26,84	235,82
Карши	2,889	0,91	4,06	3,18	21,26	186,56
Шахрисабз	3,126	0,94	4,59	3,44	26,72	234,39
Яккабаг	3,143	0,94	4,61	3,45	27,19	238,36
Средние значения	3,523	1,17	3,74	3,84	39,68	Σ 4531,49

На рис. 5 показаны средние скорости ветра по районам на разных высотах. Выражения (9) и (10) использовались для расчета значений. Согласно исследованию, рост скорости ветра зависит от , увеличения высоты и географического положения региона. Было установлено, что на высоте 10 м скорость потока ветра составила 3,99 м/с, а на высоте 100 м на высоте 10 м скорость потока ветра составила 5,5 м/с. Это в свою очередь приводит к увеличению скорости потока ветра на 40-50%.

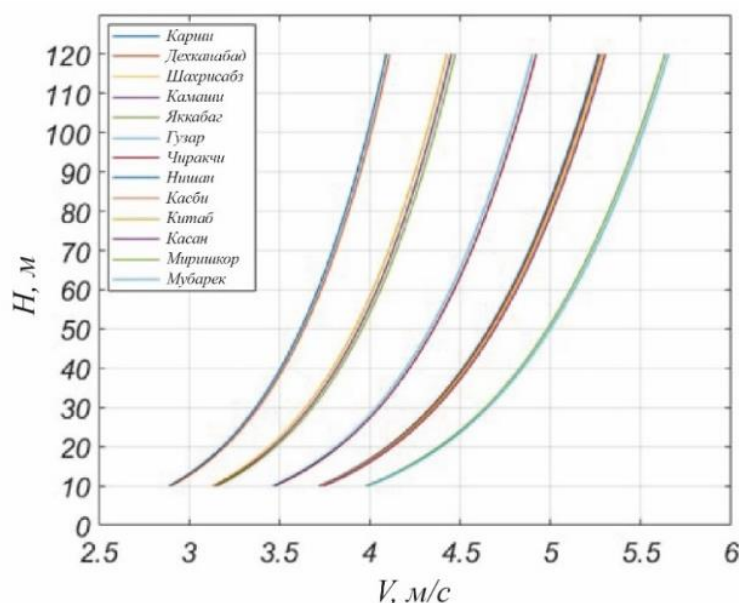


Рис.5. Средняя скорость ветра на различных высотах Кашкадарьинского района.

На рис. 6 представлены показатели плотности (дифференциала) и интегральных функций распределения Вейбулла, полученные при оценке характеристик ветрового потока Миришкорского района, района с высокой степенью использования энергии ветра. При статистической обработке этих результатов использовались математические выражения (1) и (2).

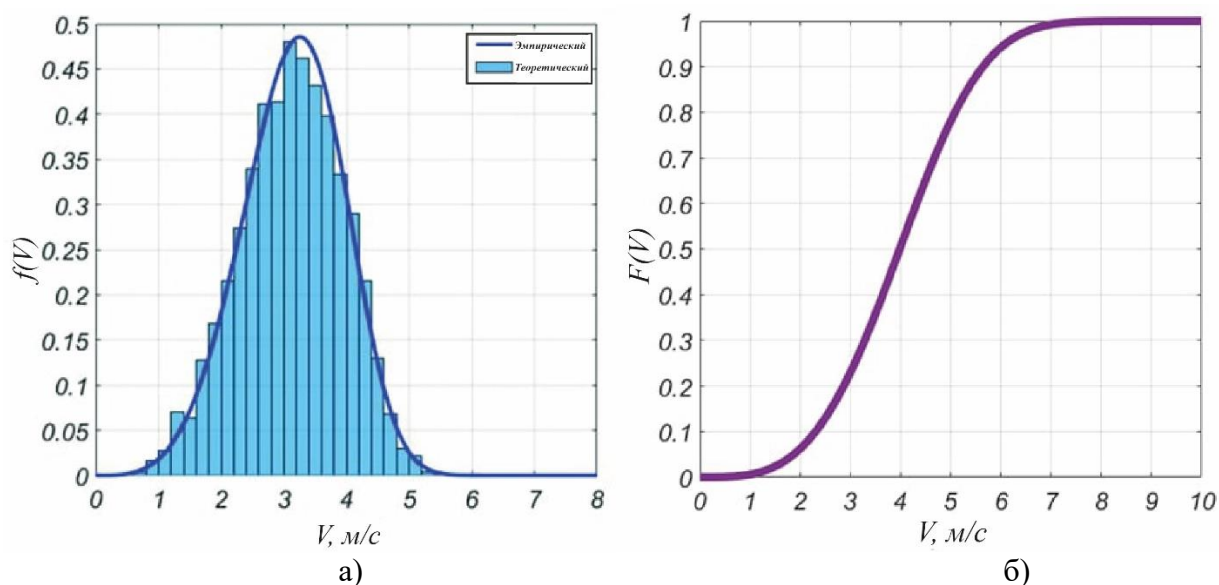


Рис.6. Показатели плотности (дифференциала) (а) и интегральных (б) функций распределения Вейбулла.

В таблице 3 приведены теоретические значения удельной мощности и энергии ветрового потока на различных высотах Кашкадарьинской области. Для определения этих показателей использовались математические выражения (14) и (15). В ходе исследования было установлено, что Миришкорский и Мубарекский районы имеют самые высокие показатели удельной мощности и энергии потока ветра.

Таблица 3

Теоретические значения удельной мощности и энергии ветрового потока на различных высотах

Районы	Удельная мощность (Вт/м ²)			Удельная энергия (кВт·ч/м ²)		
	50 m	100 m	120 m	50 m	100 m	120 m
Чиракчи	108,94	178,90	204,86	954,33	1567,14	1794,57
Дехканабад	67,04	115,11	132,99	587,28	1038,80	1165,01
Гузар	106,53	176,98	202,71	933,20	1550,38	1775,75
Касби	132,43	214,47	244,70	1160,09	1818,75	2143,54
Китаб	132,43	214,47	244,70	1160,09	1818,75	2143,54
Касан	132,43	214,47	244,70	1160,09	1818,75	2143,54
Миришкор	157,58	252,06	286,65	1380,39	2208,03	2511,05
Мубарек	156,73	250,80	285,25	1372,99	2197,05	2498,81
Нишан	131,98	213,80	243,94	1156,17	1872,85	2136,95
Камаши	82,27	137,82	158,65	720,65	1207,30	1389,79
Карши	67,05	113,97	131,70	587,32	998,36	1153,68
Шахрисабз	81,51	136,65	157,33	714,07	1197,05	1378,23
Яккабаг	82,61	138,36	159,26	723,68	1212,01	1395,10
Средние значения	110,73	181,37	207,49	∑ 12610,35	∑ 20505,22	∑ 23629,56

На рис. 7 представлены результаты валового (а) и технического (б) потенциала ветроэнергетических ресурсов Кашкадарьинской области. Математические выражения (16) и (17) использовались при теоретическом расчете этих результатов. Установлено, что валовой (теоретический) потенциал Миришкарского и Мубарекского районов, обладающих наибольшим потенциалом в регионе, на высоте 100 м составляет соответственно 342 и 337 млрд. кВт·ч, а технический потенциал 6,84 и 6,74 млрд. кВт·ч.



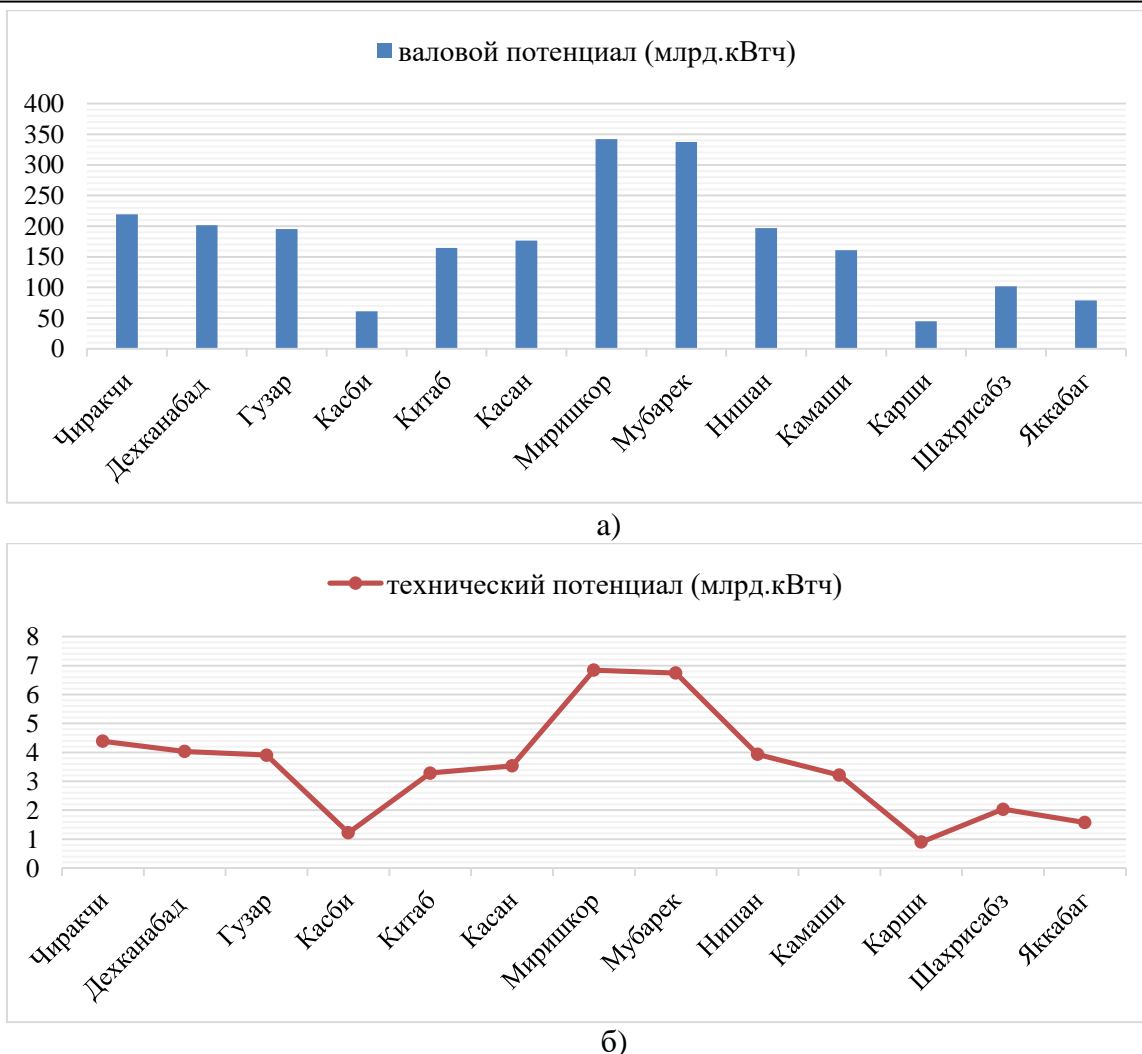


Рис.7. Результаты валового (а) и технического (б) потенциала ветроэнергетических ресурсов Кашкадарьинской области.

На рис. 8 представлена карта ветров, оценивающая потенциал ветроэнергетических ресурсов Кашкадарьинской области. Эти данные были получены из Глобальной информационной системы “Global Wind Atlas”. Согласно результатам исследования и карте ветроэнергетических ресурсов области, Миришкорский и Мубарекский районы, которые близки с границей Бухарской области, обладают высоким ветроэнергетическим потенциалом. Суммарный валовой (теоретический) потенциал области на высоте 100 м составляет 2296,145 млрд. кВт·ч, а ее технический потенциал составляет 45,92 млрд. кВт·ч.

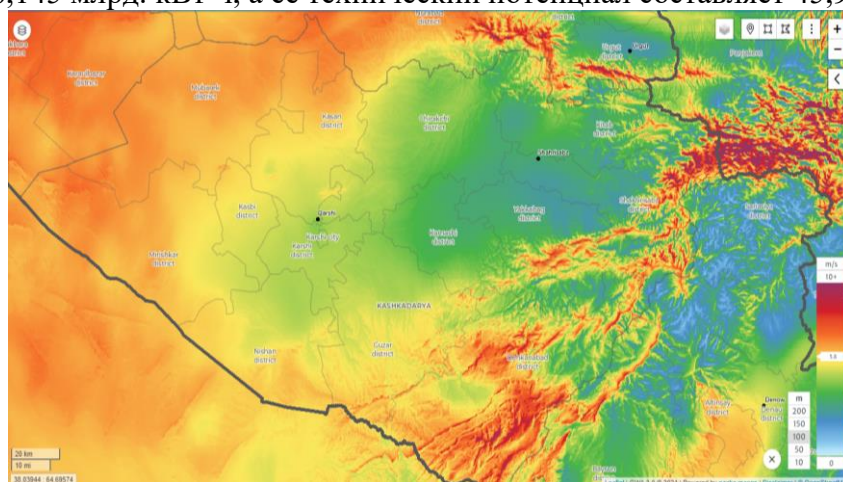


Рис.8. Карта оценки потенциала ветроэнергетических ресурсов Кашкадарьинской области.



На рис. 9 приведена кривая мощности ветроэнергетической установки марки WD61 мощностью 500 кВт. Ветроэнергетическая установка диаметр ветротурбины которой составляет 61 м, устанавливается на высоте не более 100 метров и способна работать в диапазоне скорости ветра от 5 м/с до 25 м/с. В настоящее время средняя цена данных ветроэнергетических установок составляет около 650 тысяч долларов [39].

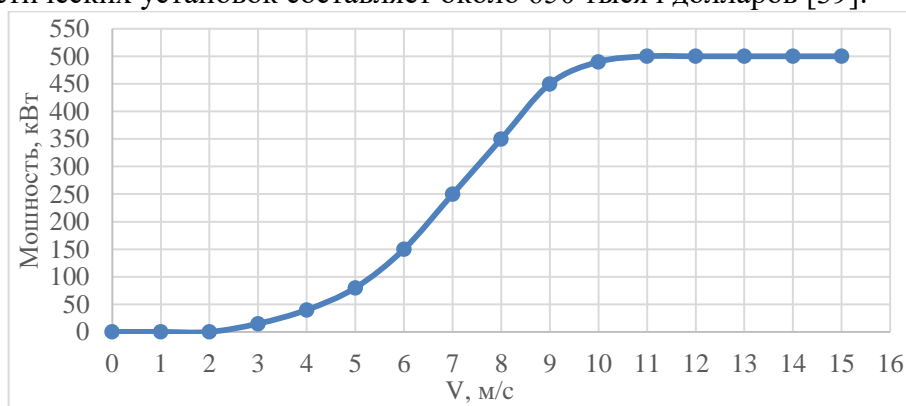


Рис.9. Кривая мощности ветроэнергетической установки марки WD61 мощностью 500 кВт.

На рис. 10 показан годовой объём электроэнергии, который способна выработать ветроэнергетическая установка марки WD61 мощностью 500 кВт, при установке на высоте 100 м в Миришкорском районе. По результатам моделирования было установлено, что данная ветроустановка способна выработать около 1,617 млрд. кВт·ч электроэнергии в год.

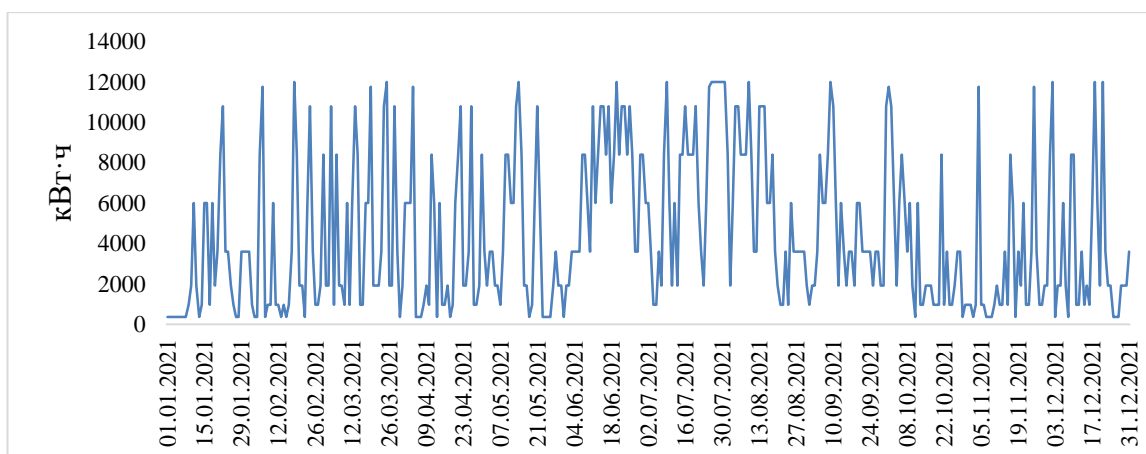


Рис.10. Годовой показатель выработки электроэнергии ветроэнергетической установки марки WD61 мощностью 500 кВт.

Исходя из технико-экономических возможностей Миришкорского района, было установлено что при установке ветроэлектростанции мощностью 500 кВт можно выработать около 1,617 млрд. кВт·ч электроэнергии в год. Срок службы ветроэнергетических установок составляет 20 лет, а ежегодные эксплуатационные расходы составляют примерно 1,5-2 % от их себестоимости [40].

В настоящее время для производства 1 кВт·ч электроэнергии на тепловой электростанции сжигается примерно 300- 350 грамм условного топлива. Для выработки 1,617 млрд. кВт·ч электроэнергии на тепловых электростанциях необходимо сжигание 480 тыс. тонн условного топлива или 417,4 млн кубометров природного газа. Это в свою очередь приводит к выбросам в окружающую среду около 298 тысяч тонн углекислого газа CO₂.

В настоящее время цена 1 м³ газа поставляемого на тепловые электростанции в Узбекистане по состоянию на 2022 год составляет 1000 сум (0,09\$). С учетом вышеуказанных данных в таблице 4 приведены результаты прибыли в будущем при





установке ветроэлектростанции мощностью 500 МВт в Миришкорском районе, оцененные с использованием методики «Чистое дисконтирование».

Таблица 4

Результаты оценки методом «Чистое дисконтирование»

Чистый дисконтированный доход (NPV)	1,8 трлн. сум
Внутренняя норма доходности (IRR)	35 %
Индекс прибыльности (PI)	2,4
Статический срок окупаемости (PP)	1,84
Динамический срок окупаемости (DPP)	2,33

По результатам проведенных исследований установлено, что Миришкорский район Кашкадарьинской области имеет наибольшую возможность использования энергии ветра. Строительство ветроэлектростанции мощностью 500 МВт в данном районе, может привести к выработке 1,617 млрд. кВт·ч электроэнергии в год. Таким образом, полученные научно-обоснованные результаты исследований является важной для инвесторов и частных компаний, занимающейся проектированием и строительством ветровых электростанций в условиях Кашкадарьинской области Узбекистана.

Заключение.

При оценке ветроэнергетического потенциала Кашкадарьинской области использовались данные NASA POWER, географическая информационная система (GIS) о скорости ветра на высоте 10 м в 2021 году. Согласно оценкам средняя скорость ветра на высоте 10 м составила 2,9-3,9 м/с.

При статистической обработке данных скорости ветра, полученных на высоте 10 м, использовалась двухпараметрическая функция распределения вероятностей Вейбулла. При определении двух параметров формы “k” и масштаба “c” функции распределения Вейбулла был использован эмпирический метод, обладающий высокой надежностью.

Установлено, что на высоте 10 метров средняя удельная мощность ветра составляет 20-40 Вт/м², средняя удельная энергия 200-500 кВт·ч, а на высоте 100 метров при средней скорости ветра 4-5,8 м/с, средняя удельная мощность ветрового потока составила 113-253 Вт/м², а средняя удельная энергия – 998,36-2208,03 кВт·ч.

Статистический анализ данных скорости ветра за 2021 год позволил оценить годовой валовой технический потенциал региона. Валовой ветроэнергетический потенциал на высоте 100 м. Составил 2296,15 млрд. кВт·ч, а технический потенциал составил 45,92 млрд. кВт·ч.

Теоретические расчеты показывают, что ветроэлектростанция мощностью 500 МВт, которую можно установить в Миришкорском районе, будет производить 1,617 млрд. кВт·ч электроэнергии в год и экономить 480 тыс. тонн условного топлива. При оценке экономических показателей использования энергии ветра в регионе применялась методика «Чистое дисконтирование». Установлено, что чистая приведенная стоимость составляет 1,8 трлн.сум, а динамический срок окупаемости 2,33 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юнусов, Т.Ю. Производство энергии-современность и будущее [Текст]: монография / Т.Ю. Юнусов. –Т.: «Fan va texnologiya», 2012. -204 с.
2. Jaganmohan, M. Installed wind power capacity worldwide 2001-2021/ М. Jaganmohan // - (<https://www.statista.com/statistics/268363/installed-wind-power-capacity-worldwide>).
3. Global Wind Report 2021 // - (<https://gwec.net/global-wind-report-2021/>).
4. Zakhidov, R.A., Kremkov, M.V. The wind power potential of Uzbekistan [Текст] / R.A. Zakhidov, M.V. Kremkov // Applied Solar Energy, vol. 51, 2015, pp. 336–337.
5. Таджиев, У.А., Киселева, Е.И., Таджиев, М.У., Захидов Р.А. Особенности формирования ветровых потоков над территорией Узбекистана и возможности их использования для



- выработки электроэнергии Часть I [Текст] / У.А. Таджиев, Е.И. Киселева, М.У. Таджиев, Р.А. Захидов // Гелеотехника, 2015, № 1. С. 24-32.
6. Захидов, Р.А., Киселева, Е.И., Орлова, Н.И., Таджиев, У.А. О прогнозной стоимости электроэнергии, вырабатываемой горизонтально-осевыми ветроэлектростанциями в некоторых районах Узбекистана [Текст] / Р.А. Захидов, Е.И. Киселева, Н.И. Орлова, У.А. Таджиев // Гелеотехника, 2001, № 1. С. 36-42.
 7. Таджиев, У.А., Киселева, Е.И., Таджиев, М.У., Захидов Р.А. Прогнозные технико-экономические показатели ветроэлектрических установок, преобразующих энергию ветра приземных слоёв атмосферы равнинных территорий Узбекистана [Текст] / У.А. Таджиев, Е.И. Киселева, М.У. Таджиев, Р.А. Захидов // Гелеотехника. 2012. № 4. С. 60-68.
 8. POWER Data Access Viewer // - (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).
 9. Global wind atlas // - (<https://globalwindatlas.info/area/Uzbekistan/Kashkadarya>).
 10. Аун Тан, Ч.Н. Исследование эффективности комплексного использования возобновляемых источников энергии в региональной энергетике Мьянмы [Текст] / диссертация кан. физ.-мат. наук. 05.14.08. -Москва., 2014. -132 с.
 11. Рыхлов А.Б. Климатологическая оценка ветроэнергетического потенциала на различных высотах: на примере Юго-Востока Европейской территории России [Текст] / диссертация кан. тех. наук. 25.00.30. - Саратов., 2012. -255 с.
 12. Mentis D, Hermann S, Howells M, Welsch M, Hussain Sh. Assessing the technical wind energy potential in Africa a GIS-based approach [Текст] / D. Mentis, S. Hermann, M. Howells, M. Welsch, Sh. Hussain // Renewable Energy, vol. 83. 2015. pp. 110-125.
 13. Kilich B. Determination of wind dissipation maps and wind energy potential in Burdur province of Turkey using geographic information system (GIS) / B. Kilich // Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 36, 2019. 100555.
 14. Allouhi A, Zamzoum O, Islam M.R, Kousksou T, Jamil A, Derouich A. Evaluation of wind energy potential in Morocco's coastal regions [Текст] / A. Allouhi, O. Zamzoum, M.R. Islam, T. Kousksou, A. Jamil, A. Derouich // Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 72. 2017. pp.311-324.
 15. Ahmed S.A, Mahammed H.O. A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Ralyeigh models of "Penjwen Region" Sulaimani/Iraq [Текст] / S.A. Ahmed, H.O. Mahammed // JJMIE, vol. 6. N. 2. 2012. pp. 135-140.
 16. Ozay C, Celiktas M.S. Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alacati region [Текст] / C. Ozay, M.S Celiktas // Energy Conversion and Management, 2016 v.121. pp. 49-54.
 17. Yazidia M, Redouane A, Benzirar M, Zazoui M. Analysis of Wind Data and Assessment of Wind Energy Potential in Lamhiriz Village, Morocco [Текст] / M. Yazidia, A. Redouane, M. Benzirar, M. Zazoui // Renewable Energy Sources, 2019. Vol. 55, No. 6, pp. 429-437.
 18. Hatata A.Y, Mousa M.G, Elmahdy R.M. Analysis of wind data and assessing wind energy potentiality for selected locations in Egypt [Текст] / A.Y. Hatata, M.G. Mousa, R.M. Elmahdy // International Journal of Scientific Engineering Research. 2015. Vol. 6. Issue 3. pp. 604-609.
 19. Azad A.K, Rasul M.G, Islam R, Shishir I.R. Analysis of Wind Energy Prospect for Power Generation by Three Weibull Distribution Methods [Текст] / A.K. Azad, M.G. Rasul, R. Islam, I.R. Shishir // Energy Procedia. 2015. Vol. 75. pp. 722-727.
 20. Hamed H, Vahid M. Techno-economic analysis of wind energy potential in Kazakhstan. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A [Текст] / H. Hamed, M. Vahid // Journal of Power and Energy. 2021, 235(6):095765092110015
 21. Gamma function table. - (<https://getcalc.com/statistics-gamma-function-table.htm>).
 22. Elistratov V, Ramadan A. Energy potential assessment of solar and wind resources in Syria [Текст] / V. Elistratov, A. Ramadan // Journal of Applied Engineering Science. 2018. Vol.16. pp. 208-216.





23. Serban A, Simona L.P, Paraschiv S. Assessment of wind energy potential based on Weibull and Rayleigh distribution models [Текст] / A. Serban, L.P. Simona, S. Paraschiv // Energy Reports. 2020. Vol. 6, pp. 250-267.
24. Mousaad A, Whipple J. Wind Forces on Ground-Mounted Photovoltaic Solar Systems: A Comparative Study [Текст] / A. Mousaad, J. Whipple // Applied Solar Energy. 2021. Vol. 57, pp. 444–471.
25. Rasham M. Analysis of Wind Speed Data and Annual Energy Potential at Three locations in Iraq [Текст] / M. Rasham // International Journal of Computer Applications. 2016. Vol.137, pp. 11-16.
26. Soulouknga M, Doka S, Revanna N, Djongyang N, Kofane T. Analysis of wind speed data and wind energy potential in Faya-Largeau, Chad, using Weibull distribution [Текст] / M. Soulouknga, S. Doka, N. Revanna, N. Djongyang, T. Kofane // Renewable energy. 2018. Vol.121. pp.1-8.
27. Muhammad A, Ahmad J, Ali S, Imran M. A techno-economic analysis for power generation through wind energy: A case study of Pakistan [Текст] / A. Muhammad, J. Ahmad, S. Ali, M. Imran // Energy Reports. 2021, Vol. 7. pp. 1424-1443.
28. Zohbi, G.A. Wind characteristics and wind energy potential analysis in five sites in Lebanon. Int. J [Текст] / G. Al Zohbi, P. Hendrick, P. Bouillard // Hydrog. Energy. 2015. Vol.40. pp. 15311–15319.
29. Sadullayev, N. Statistical Analysis of Wind Energy Potential in Uzbekistan’s Bukhara Region Using Weibull Distribution [Текст] / N. Sadullayev, A. Safarov, Sh. Nematov, R. Mamedov // Applied Solar Energy. 2019. Volume 55, Issue 2, pp 126-132.
30. Amir, T. Assessment of wind energy potential in the southeastern province of Iran [Текст] / T. Amir, B. Arian, T. Hanifa, V. Maryam, O.H. Abdullah // Energy Sources, Part A: Recovery, Util, Environ. Eff. 2019. Vol.42, pp. 329-343.
31. Fetisova, Y.A. Determining the Parameters of Weibull Function to Estimate the Wind Power Potential in Conditions of Limited Source Meteorological Data [Текст] / Y.A. Fetisova, B.V. Ermolenko, G.V. Ermolenko, S.V. Kiseleva // Thermal Engineering. 2017, Vol. 64, No. 4, pp. 251–257.
32. Безруких, П.П. Ветроэнергетика [Текст]: учеб. для вузов / П.П. Безруких, С.В. Грипков. - М.: “Интерэнерго-Издат”, “Теплоэнергетика”, 2014. -304 с.
33. Безруких, П.П. Научно-техническое и методологическое обоснование ресурсов и направлений использования возобновляемых источников энергии [Текст] / диссертация док. тех. наук. –Москва., 2003. -268 с.
34. Adeyeye, K. A Techno-Economic Model for Wind Energy Costs Analysis for Low Wind Speed Areas [Текст] / K. Adeyeye, N. Ijumba, J. Colton // Processes. 2021, V.9, pp. 1463-1470.
35. Oliveira, W. Investment analysis for wind energy projects [Текст] / W. Oliveira, A. Fernandes // Revista Brasileira de Energia. 2013. Vol. 19, N 239. pp. 239-285.
36. Шермухамедов, У. Экономическая оценка использования ветровых энергетических установок / У. Шермухамедов, М. Холбоев // Прогрессивные технологии и процессы сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. -Курск, 2020. 179-184 с.
37. Khambalkar, V. Wind energy cost and feasibility of a 2 MW wind power project [Текст] / V. Khambalkar, S.R. Gadge, S.B. Dahatonde, M.U. Kale // International Energy Journal. 2007. Vol. 8. pp. 285-290.
38. Султанов, И.А. Применение дисконтированного срока окупаемости / - (<http://projectimo.ru/ocenka-ehffektivnosti/diskontirovannyj-srok-okupaemosti.html>).
39. DW61-500kW wind turbine. - (https://ewtdirectwind.com/wp-content/uploads/2018/04/EWT_Flyer-DW61-500kW_HR.pdf).
40. Operational and Maintenance Costs for Wind Turbines / - (<http://www.windmeasurementinternational.com/wind-turbines/om-turbines.php>).



**ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОР ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР/
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ/ ENERGY
SAVING TECHNOLOGIES AND INSTALLATIONS**

**SOLAR ENERGY APPLICATION IN MUNICIPAL SOLID WASTE: EXPERIENCE,
RESULTS AND EFFICIENCY**

Toshmamatov B.M.

KarEEI

bobur160189@mail.ru

Abstract. *The article proposes a solar installation for the thermal processing of municipal solid waste and presents a technique for the technical and economic analysis of solid waste processing systems based on solar energy. An analysis of the heat balance of the developed solar installation was compiled and carried out, and the energy requirement for the thermal processing of municipal solid waste was determined. A calculation has been made showing the energy efficiency of a solar installation for the processing of municipal solid waste using solar energy.*

Analysis shows that the test data for the control system shows that the time of heating the MSW mass to a temperature of 55-60 °C is - 15 hours.

Experimental results show, the output of landfill gas in the optimal mode is 12-15 m³/day.

It has been determined, the landfill gas productivity is 150-200 m³/t, the working volume of the SI is 1 m³, the temperature of the MSW mass in the reactor corresponds to the thermophiles mode: 55-60 °C.

Preliminary calculations and tests show that the developed installation will provide a stable temperature regime for solid waste fermentation and save heat energy consumption by 30-40%.

Keywords: *municipal solid waste, solar energy, solar installation, alternative fuels, heat balance, waste management.*

Our country is pursuing a consistent policy in the field of environmental protection, rational use of natural resources, as well as improving the sanitary and ecological state of the regions.

As part of the reform of the waste management system in the country, consistent work is being carried out to improve the quality of sanitary services, to introduce effective mechanisms for the collection and removal of household waste

Fortunately, almost everything that belongs to municipal solid waste does not pose a danger to our health and consists mainly of packaging and food waste. But this category of garbage is harmless if properly stored and processed. In turn, the rotting or burning of solid waste entails poisoning the soil, groundwater, and atmosphere [1-2].

Municipal solid waste (MSW) - organic and inorganic waste generated as a result of the vital activity of individuals and legal entities, as well as waste generated as a result of natural processes on their territory and landscaping (food and vegetable waste, textiles, packaging) of materials, glass, rubber, paper, plastic, wood waste, household items that have lost their useful properties, as well as waste generated when using solid fuel stoves and heating boilers.

Municipal solid waste is an integral product of human activity and requires regular and timely disposal. Their accumulation can lead to serious problems that will affect not only the ecology of the region but also our health [4].

Any solid waste consists of three components:

Organic and inorganic substances and physical water. Water determines such an important property of solid waste as moisture. An organic substance (combustible mass) is an unconventional





renewable energy source, therefore, its study is of particular interest. The elementary composition of MSW is given in table Fig.1.

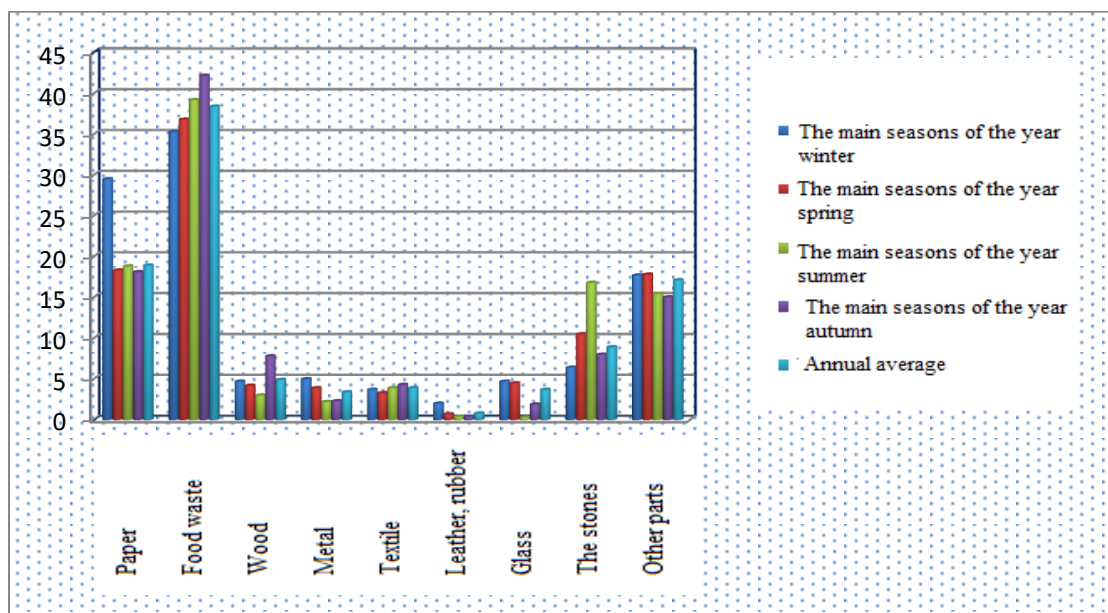


Fig. 1. Average morphological composition of MSW in cities Republic of Uzbekistan (in percentage by weight).

This diagram shows the average composition of solid waste in the Republic of Uzbekistan. The diagram shows that in large cities of the Republic of Uzbekistan, most of all food waste is generated - 40%, paper - 29% and but least of all wood waste - 7%, Least of all, metal waste is generated from 0 to 5%. The diagram also shows that in cities practically no metal and glass are formed, but more organic waste is generated and other parts are 19%.

At the same time, the main trend in the field of waste processing in Western Europe, the USA, Canada, and some Asian countries is the automated fractional sorting of solid waste using mechanized methods of dividing the total stream into separate components, which provides a deep degree of processing of the original waste [2].

More than a dozen technologies for processing solid household waste using various methods have been implemented worldwide. The most common are thermal methods, like combustion, pyrolysis, and gasification.

The main way of liquidation and processing of municipal solid waste in the Republic of Uzbekistan today their burial at landfills remains.

Over the past 5-7 years in our Republics on large technologies of fractional sorting of waste based on manual methods of selection with the subsequent burial of residues ("tails") that are not valuable in the form of secondary material resources have become widespread in urban solid waste landfills.

In the Republic of Uzbekistan, the content of the constituent parts of MSW is not constant and changes according to the seasons, in particular, in summer and autumn, the percentage of food waste in them increases, which is associated with the more frequent use of vegetables and fruits by the population during these periods [4].

Currently, in large cities of the Republic of Uzbekistan, the volume of municipal solid waste is increasing, and the entire volume of generated municipal solid waste is removed and stored without sorting and processing at city dumps. In hot climates, municipal landfills in the city of the Republic of Uzbekistan of municipal solid waste can lead to the formation of various hazardous compounds on them, such as methane, hydrogen sulfide, etc. (NO, NO₂, NH₄, HCl, C, SO₂, H₂S, CO, CoF₃, AgF, ClF₅, CH₄, CH₃, PhMe, C₂H₁₀) (Fig.2). The growth of municipal solid waste has a huge negative impact on the environmental sustainability and health of the population [5-6].



Fig. 2. City landfills in the city of Karshi

This is the oldest solid waste disposal method in the world. Disposal is carried out in the near-surface geological environment [2-6].

Knowing the high sanitary-epidemiological and chemical danger of unorganized collection, storage and storage of municipal solid waste, when choosing a site intended for a landfill, it is necessary to carefully study a number of issues:

- terrain features;
- type (relief) of the area;
- features of the geological composition of the earth's layers of the place, intended for a solid waste landfill;
- features of the surrounding natural landscape;
- the prevailing wind rose.

After a thorough analysis of these factors, carried out by competent professional specialists and an environmental examination carried out by independent professional experts, a site is selected for a solid waste landfill. The main landfills in the Republic of Uzbekistan are indicated.

In landfills, waste is subjected to a daily biochemical decomposition process. As a result, anaerobic conditions are intensively formed, causing bioconversion of organic matter. This produces biogas called landfill gas [2-10].

The waste management infrastructure is being improved, new waste collection points are being built and equipped following the approved programs, and the transport palaces of waste collection and removal organizations are being modernized.

In particular, in 2017-2018, large-scale work was carried out to improve the infrastructure of the solid waste management system, 13 state unitary sewerage enterprises and their 172 branches in districts and cities, as well as 9 municipal treatment facilities. clusters of complex implementation were created. The measures taken made it possible to cover almost half of the population with sanitation services [1-9].

Disposal in the near-surface geological environment remains one of the main ways of utilizing municipal solid waste throughout the world. Under these conditions, solid domestic waste undergoes intensive anaerobic decomposition with the formation of landfill gas.

Recently, there has been an increasing worldwide interest in the development of new designs of energy-saving installations for thermal processing of solid waste under conditions of anaerobic digestion, to obtain alternative fuel (landfill gases) and organic fertilizers or composting in the process of methane fermentation of industrial solid waste, which favorably differs from other methods.

Disposal in the near-surface geological environment remains one of the main ways of utilizing solid waste throughout the world. Under these conditions, solid domestic waste undergoes intensive anaerobic decomposition with the formation of landfill gas.





The following methods of utilization and processing of solid waste have found industrial application in world practice: burial at special landfills; heat treatment (incineration, pyrolysis); biothermal: aerobic composting (producing fertilizer or biofuel) and anaerobic fermentation (producing biogas); sorting (with the extraction of certain valuable components for secondary use, the most suitable technology, ecologically and economically).

The technology of processing municipal solid waste at solid waste landfills, where 90-95% of the total solid waste flow of the housing stock is received, is based on the spontaneous decomposition of the organic part of the waste in the landfill body.

Thus, landfill disposal is environmentally hazardous and economically unprofitable in terms of environmental payments, land costs, and the need to finance its reclamation.

The method of utilization of municipal solid waste using pyrolysis technology consists in their irreversible chemical change under the influence of elevated temperature without access or with limited access to oxygen with the release of combustible pyrolysis gas (pyrolysis gas). According to the degree of temperature impact on the combustible mass of waste, pyrolysis as a process is conditionally divided into low-temperature (up to 650 °C) and high-temperature (650-900°C). In the case of supplying a limited amount of air and water vapor to the reactor, the gasification process takes place [11-13].

The work uses the methods of the theory of heat and mass transfer and body balances of heat power and solar installations. The created solar installation for thermal digestion of solid waste to obtain landfill gas and biofertilizers has been investigated. Balance methods of numerical and experimental studies of solid waste fermentation were used to analyze the results.

As a result of the anaerobic decomposition of the organic fraction of municipal solid waste, 40-70% of the total amount of methane that enters the atmosphere annually is formed as a result of anthropogenic activity, more than 20% of which falls on solid waste disposal facilities. It is estimated that about 150-200 m³ of landfill gas is generated from one ton of municipal solid waste [1].

In Uzbekistan, the disposal of municipal solid waste to obtain alternative fuel is also a relevant and promising direction.

The solar installation developed by us for the processing of municipal solid waste using solar energy (Fig. 1) can be used in the landfill of solid waste in small settlements, to prevent environmental pollution, disturb the ecological balance, obtain alternative fuel (landfill gas), and organic fertilizers.

At the same time, the presence of some problems with the collection and removal of municipal solid waste in the regions hinders the formation of an effective waste management system and the further development of the industry.

The sun is a giant source of "clean" energy, not polluting the environment. Efficient use of solar energy can significantly reduce the consumption of natural resources. Climatic and weather conditions in the south of Uzbekistan create wide opportunities for the efficient use of solar energy in the Kashkacdarya region. Using solar energy, it is possible to solve the problems of thermal processing of municipal solid waste [1-8].

The results of measuring the local climate meteorological parameters in the conditions of the city of Karshi in Kashkacdarya region are shown in the following pictures.

Direct radiation is of primary importance in the radiation balance. Scattered radiation is solar radiation that has undergone scattering in the atmosphere. The diagram shows the data of direct, scattered solar radiation (W/m²) and average monthly outdoor temperatures (°C) for Karshi ($\varphi = 39^{\circ}$) and Kashkacdarya region ($\varphi = 38 \dots 40^{\circ}$) (Fig.4-8).

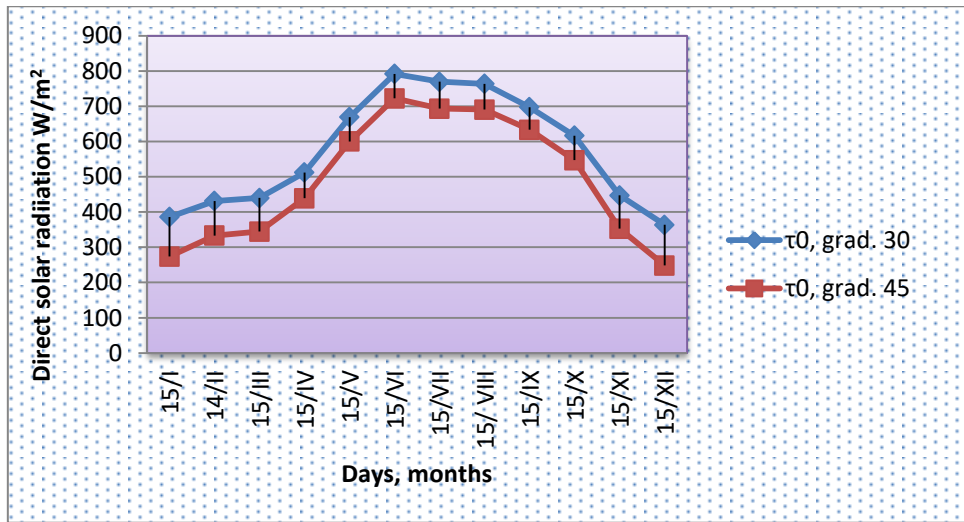


Fig.4. Direct solar radiation, W/m^2 .

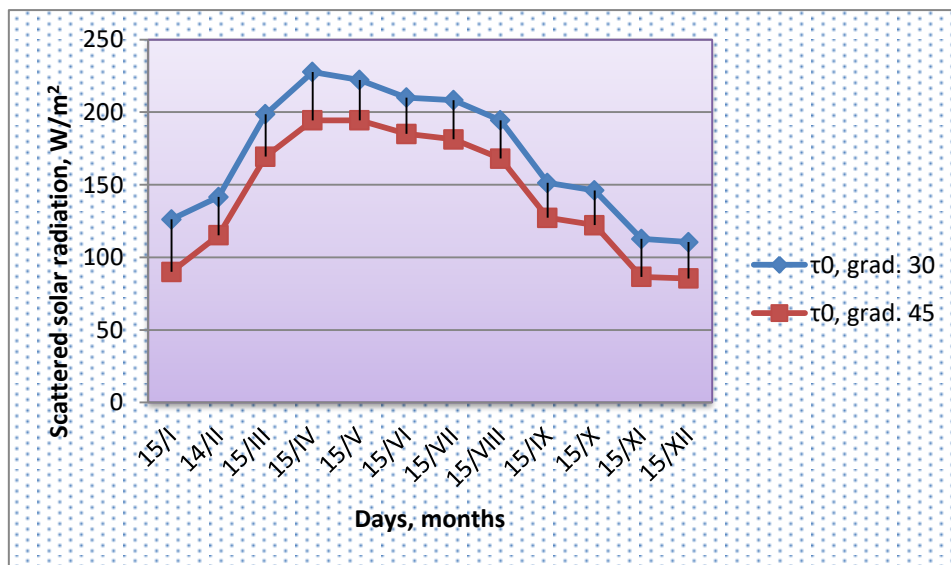


Fig.5. Scattered solar radiation, W/m^2 .

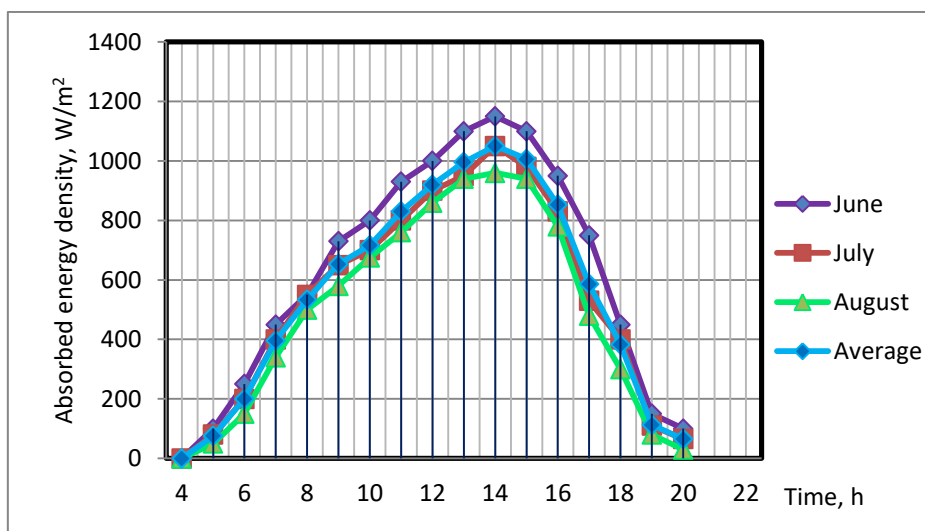
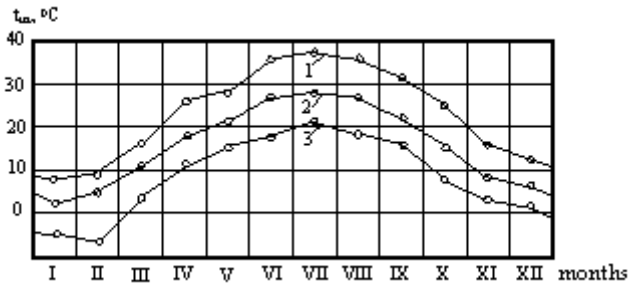


Fig.6. The density of the absorbed flux of solar energy for a surface installed at an angle of 39° to the horizon on clear days of summer months in the city of Karshi, Republic of Uzbekistan.





1 - average maximum; 2 - medium; 3 - average minimum.

Fig.7. Average monthly outdoor temperatures.

TEMPERATURE GRAPH

°C

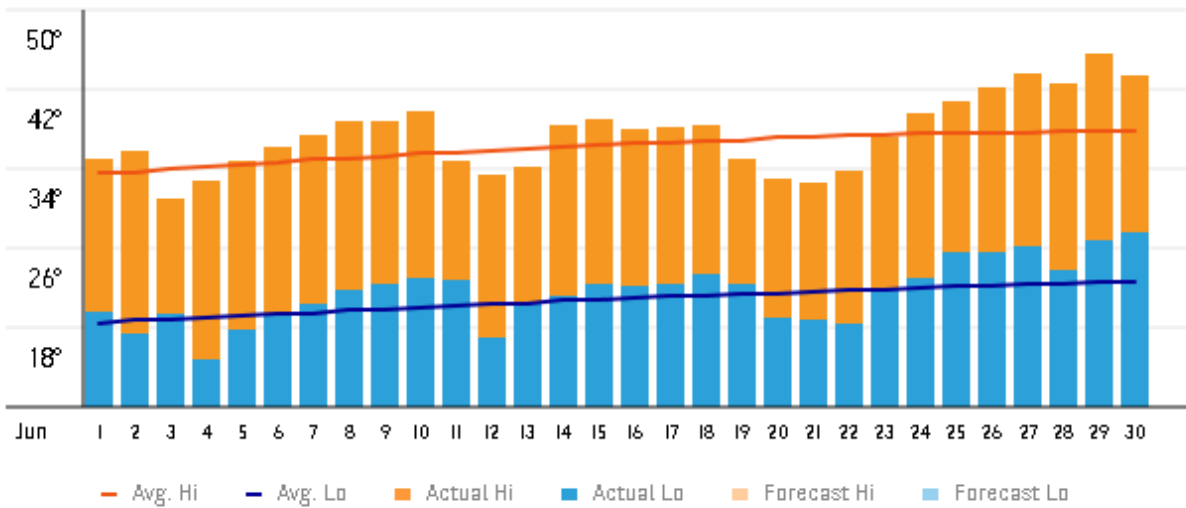


Fig.8. Graph of change of ambient temperature in Karshi city in June 2022.

TEMPERATURE GRAPH

°C

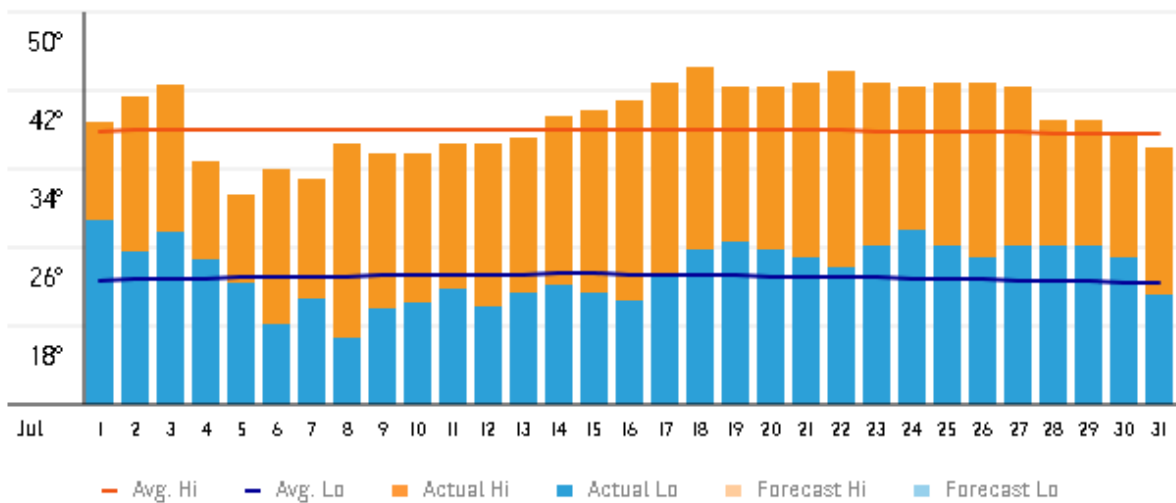


Fig.8. Graph of change of ambient temperature in Karshi city in July 2022.



An experimental solar installation is designed to produce alternative fuel and biohumus from the municipal solid waste by anaerobic digestion. The solar installation provides processing of municipal solid waste and reducing environmental pollution and increasing the degree of environmental safety.

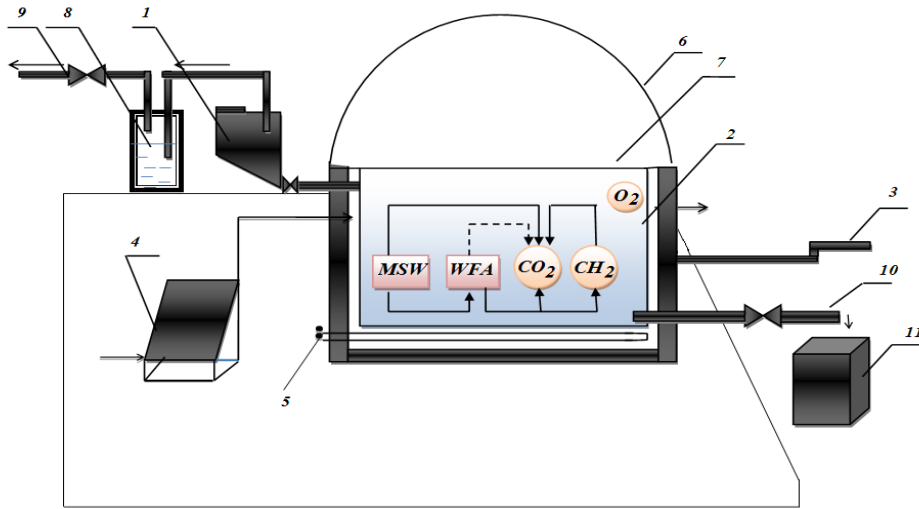


Fig.9. Solar installation for the thermal processing of municipal solid waste.



Fig.10. Experimental solar installation for the thermal processing of municipal solid waste.

1-receiving hopper, 2-landfill reactor, 3-mechanical mixer, 4-solar air heater, 5-electric heater, 6 polycarbonat coating, 7-absorber, 8-water filter, 9-valve, 10- exhaust pipe, 11-exhaust hopper.

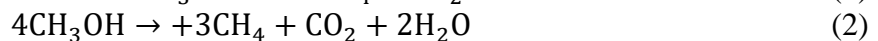
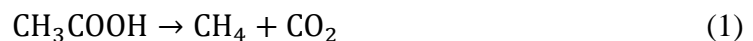




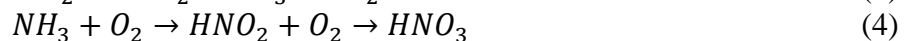
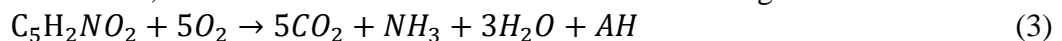
The experimental solar installation for the thermal processing of municipal solid waste (ESITPMSW) is made of a half-cylinder with a base in the form of a rectangular parallelepiped. The working volume of the reactor is 1 m³ (Fig.9 and 10).

The proposed installation works as follows. In the daytime mode, municipal solid waste is loaded through the receiving hopper 1 into the fermentation chamber of landfill reactor 2 without prior sorting. Every 2-3 hours, the mixing of the loaded municipal solid waste in the landfill reactor occurs using a mechanical stirrer 3, driven manually. Loaded solid waste in the reactor is heated by a solar air heater (SAH) 4 to a temperature of 50-55 °C. The electric heater 5 is a backup heater and supports the creation of a stable temperature regime of anaerobic fermentation of municipal solid waste in the reactor during cloudy days and at night. This installation is characterized in that the reactor from above is covered with a translucent polycarbonate coating 6, which also provides, as a passive solar installation, the required temperature regime. Thus, the sun's rays passing through the polycarbonate glass 6 flow into the installation and heat the metal sheet, i.e. the absorber 7 and due to thermal conductivity, heat is transferred to the internal volume of the reactor. In addition, through the active system of the solar air heater, air heated to a temperature of 50-60 °C through the air channel heats the side and lower parts of the surface of the landfill reactor.

The reactions that occur in loaded solid waste under aerobic conditions can be schematically represented as follows:



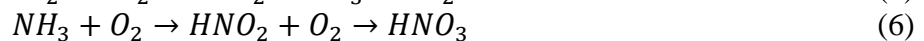
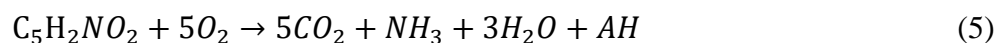
With further oxidation, the transformation of the cellular substance begins:



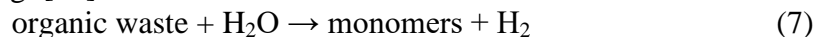
In the reactor, the process of aerobic oxidation most often ends with the formation and accumulation of high concentrations of fatty acids, which limits the process of aerobic decomposition.

Anaerobic biodegradation requires the presence of microorganisms of different species that make up the mixed population. A group of hydrolytic or acidogenic bacteria provides the initial hydrolysis of the substrate to low molecular weight organic acids and other compounds, including methane [13-29].

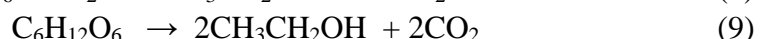
It is also known that methanogenic bacteria synthesize methane as a result of the restoration of the methyl group of acetic acid and methyl alcohol:



In anaerobic digestion, the enzymes are exoenzymes (cellulosome, protease, etc.) from a number of bacteria, protozoa, and fungi [10].



During acidogenesis, soluble monomers are converted into small organic compounds, such as short chain (volatile) acids (propionic, formic, lactic, butyric, succinic acids – see Reaction 8), ketones (glycerol, acetone), and alcohols (ethanol, methanol – see Reaction 9).

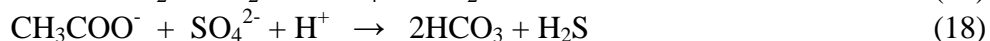
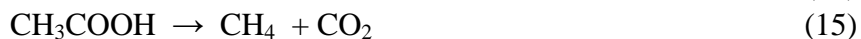
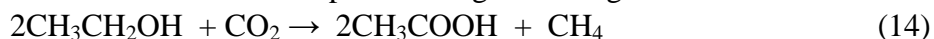


The acidogenesis intermediates are attacked by acetogenic bacteria; the products from acetogenesis include acetic acid, CO₂, and H₂. The reactions 10-13 shows the reactions that occur during acetogenesis:





The last phase of anaerobic digestion is the methanogenesis phase. Several reactions take place using the intermediate products from the other phases, with the main product being methane. Reactions 8-13 show the common reactions that take place during methanogenesis:



As a result of ensuring the required temperature regime of municipal solid waste, the process of anaerobic fermentation, like the above chemical processes, takes place.

Within 15-20 days, the process of fermentation and the release of landfill gas takes place, then the landfill gas is finally sucked into the water filter 8 through a receiving hopper 1 for cleaning gases from impurities. Here, the gas is cleaned of dust particles and unnecessary impurities (for example, sulfur and water mixture). Having passed the water filter 8, the landfill gas, through the open valve 9, is directed through the pipeline to consumers. The fermentation process ends within 15-20 days and the spent mass of municipal solid waste is removed from the landfill reactor through the exhaust pipe 10 to the exhaust hopper 11, then the spent mass of municipal solid waste is transferred to the storage facility from where it is partially used as fertilizer or transferred to the solid household landfill waste.

To estimate the energy consumption for the processing process, the heat balance of solar installation for the thermal processing of municipal solid waste was calculated in the following order.

In July 2022, the maximum level of solar radiation was recorded for the entire experimental research period. These results of computational and experimental studies are presented in Table 1.

Table 1. Results of an experimental study of SAH in the mode of heating air and waste oil (July 2022).

The local time	Inlet air temperature, $t_{\text{out1}}, ^\circ\text{C}$	Air flow, $G_{\text{air}}, \text{m}^3/\text{s}$	Outlet air temperature, $t_{\text{in2}}, ^\circ\text{C}$	Waste oil temperature, $t_{\text{hwo}}, ^\circ\text{C}$	The intensity of the total solar radiation flux on the SAH area, Q_r, W
5:00	18	0,04	20	21	200
6:00	20	0,04	25	26	250
7:00	23	0,04	30	34	450
8:00	25	0,04	36	39	550
9:00	27	0,04	38	44	730
10:00	30	0,04	44	46	800
11:00	34	0,04	52	53	930
12:00	36	0,04	58	65	100
13:00	40	0,04	60	73	1100
14:00	44	0,04	65	78	1150
15:00	42	0,04	62	75	1100
16:00	38	0,04	60	70	950
17:00	32	0,04	51	65	750
18:00	27	0,04	45	55	450
19:00	22	0,04	40	48	150
20:00	20	0,04	28	37	100
21:00	18	0,04	24	27	20
22:00	16	0,04	22	22	15





Experiments with different compositions of solid waste were carried out in the experimental installation in order to obtain landfill gas. The experimental results are shown in Fig.11,12 and

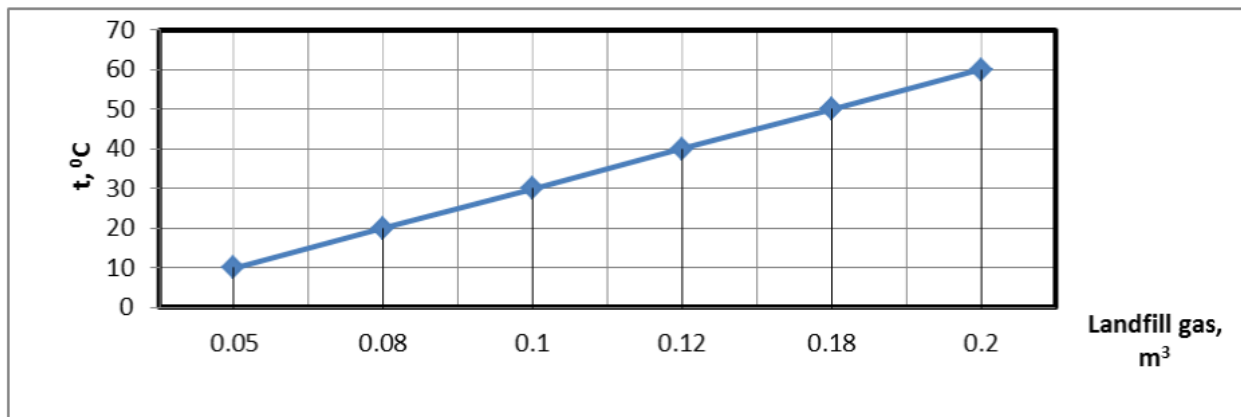


Fig.11. Changing the internal temperature in the solar system and the waste gas outlets.

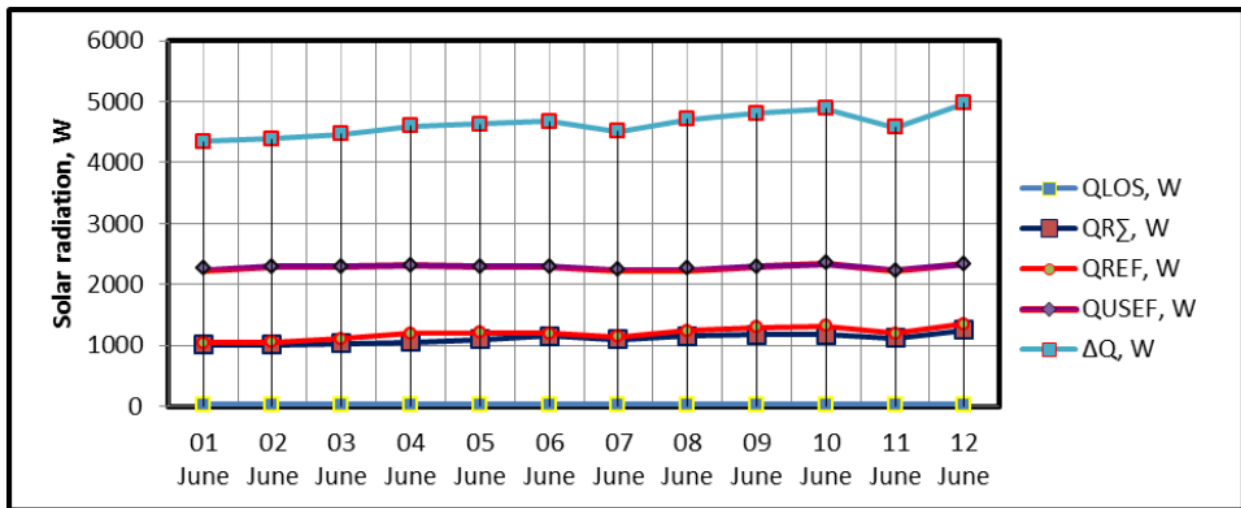


Fig.12. The results of calculating the heat balance of the ESITPMSW.

Experimental results Landfill gas outlet.

№	MSW weight, kg	Average temperature solar heating, °C	Landfill gas, m ³	Biohumus, kg
1	300	55	65	130
2	300	53	62	120
3	300	50	60	125
4	300	52	62	128
5	300	54	64	132

Analysis of the test data for the control system shows that the time of heating the MSW mass to a temperature of 55-60 °C is - 15 hours. The output of landfill gas in the optimal mode is 12-15 m³/day.

The landfill gas productivity is 150-200 m³/t, the working volume of the SI is 1 m³, the temperature of the MSW mass in the reactor corresponds to the thermophiles mode: 55-60 °C.

Preliminary calculations and tests show that the developed installation will provide a stable temperature regime for solid waste fermentation and save heat energy consumption by 30-40%.



In densely populated points (places) with a large number of municipal solid waste generated and the absence of landfills, there is a high possibility of processing solid waste. Demand for this kind of renewable fuel resource will grow over time and there will be an opportunity to save traditional fuel and energy resources.

The developed solar installation for the processing of municipal solid waste can provide, without energy consumption, the production of landfill gas for its own technological needs.

The use of landfill gas in technological production at the expense of solar energy makes it possible to ensure its summer and autumn production with the greatest efficiency, which is especially important in areas cut off from large energy centers due to river spills, impassability (in mountain villages distant from the center), etc.

The output of landfill gas when using solar energy to heat the mass of solid waste in the reactor in summer and autumn will increase.

Modernization of the installation using solar energy will reduce the weight of specific capital costs and increase the profitability of solar installations.

REFERENCES

1. Muradov, I., Toshmamatov, B.M., Kurbanova, N.M., Baratova, S.R., Temirova, L. (2019). *Development of A Scheme For The Thermal Processing of Solid Household*. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 9, September 2019, India, 10784-10787 pp.
2. Uzakov, G.N., Toshmamatov, B.M., Shomuratova, S.M., Temirova, L.Z. (2019). *Calculation of energy efficiency of the solar installation for the processing of municipal solid waste*. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 12, December 2019.
3. Toshmamatov, B. M, Uzakov, G. N, Kodirov, I. N & Khatamov, I. A. (2020). *Calculation of the heat balance of the solar installation for the thermal processing of municipal solid waste*. International Journal of Applied Engineering Research and Development (IJAERD) ISSN (P): 2250–1584; ISSN (E): 2278–9383 Vol. 10, Issue 1, Jun 2020, 21–30.
4. Gunich, S.V., Yanchukovskaya, Y.V., Dneprovskaya, N.I. (2015). *Analiz sovremennix metodov pererabotki tverdux bitovux otxodov.* / Izvestiya vuzov. Prikladnaya ximiya i biotexnologiy, 2015, № 2 (13). Str. 110-115.
5. Uzakov, G.N., Davlonov, H.A., Holikov, K.N. (2018). *Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters*. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika), 2018, 54(6), стр. 481–484.
6. Uzakov, G.N. (2010). *Efficiency of joint operation of greenhouses and solar greenhouses*. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika) 46(4). PP. 319–320.
7. Uzakov G.N., Khamraev S.I., Khuzhakulov S.M. Rural house heat supply system based on solar energy // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030 (2021) 012167 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012167
8. Khamraev S. I, Ibragimov U. Kh Kamolov B.I. Removal of hydrodynamic lesions of a heated floor with a solar collector // APEC-V-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1070(2022) 012018 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1070/1/012018.
9. Khuzhakulov S.M., Khamraev S.I., Mamedova D.N., Kamolov B.I. Study the characteristics of heat energy in the autonomic solar system // PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology (2020). PJAEE 17(6),. ISSN 1567-214x pp 3240 – 3252 (Scopus,Q3).
10. Toshmamatov, B., Davlonov, Kh., Rakhmatov, O., Toshboev, A. (2021). *Recycling of municipal solid waste using solar energy*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1030 (2021) 012165. doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012165.
11. Aliyarova, L.A., Uzakov, G.N., Toshmamatov, B.M. (2021). The efficiency of using a combined solar plant for the heat and humidity treatment of air. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 (2021) 052002. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052002.





12. Uzakov, G.N., Shomuratova, S.M. and Toshmamatov, B.M. (2021). Study of a solar air heater with a heat exchanger – accumulator. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 723 (2021) 052013. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052013.
13. Xu, X., Hu, X., Ding, Z., Chen, Y., Gao, B., 2017. Waste-art-paper biochar as an effective sorbent for recovery of aqueous Pb(II) into value-added PbO nanoparticles. *Chem. Eng. J.* 308, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.122>.
14. Xue, S., Zhang, X., Ngo, H.H., Guo, W., Wen, H., Li, C., Zhang, Y., Ma, C., 2019. Food waste based biochars for ammonia nitrogen removal from aqueous solutions. *Bioresour. Technol.* 292, 121927 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121927>.
15. Yi, Y., Huang, Z., Lu, B., Xian, J., Tsang, E.P., Cheng, W., Fang, J., Fang, Z., 2020. Magnetic biochar for environmental remediation: a review. *Bioresour. Technol.* 298, 122468 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122468>.
16. Yukalang, N., Clarke, B., Ross, K., 2018. Solid waste management solutions for a rapidly urbanizing area in Thailand: recommendations based on stakeholder Input. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15 (7), 1302. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071302>.
17. Zhang, H., Schuchardt, F., Li, G., Yang, J., Yang, Q., 2013. Emission of volatile sulfur compounds during composting of municipal solid waste (MSW). *Waste Manage* 33 (4), 957–963. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.11.008>.
18. Zhang, S.F., Zhang, L.L., Luo, K., Sun, Z.X., Mei, X.X., 2014. Separation properties of aluminium-plastic laminates in post-consumer Tetra Pak with mixed organic solvent. *Waste Manage. Res* 32 (4), 317–322. <https://doi.org/10.1177/0734242X14525823>.
19. Zhang, Z., Zhang, H., Li, Y., Lu, C., Zhu, S., He, C., Ai, F., Zhang, Q., 2020b. Investigation of the interaction between lighting and mixing applied during the photofermentation biohydrogen production process from agricultural waste. *Bioresour. Technol.* 312, 123570. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123570>.
20. Zhou, J., Liu, Y., Han, Y., Jing, F., Chen, J., 2019a. Bone-derived biochar and magnetic biochar for effective removal of fluoride in groundwater: effects of synthesis method and coexisting chromium. *Water Environ. Res.* 91 (7), 588–597.
21. <https://doi.org/10.1002/wer.1068>.
22. Zhou, M.-H., Shen, S.-L., Xu, Y.-S., Zhou, A.-N., 2019b. New policy and implementation of municipal solid waste classification in Shanghai, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16 (17). <https://doi.org/10.3390/ijerph16173099>.
23. Zhou, X., Zeng, Z., Zeng, G., Lai, C., Xiao, R., Liu, S., Huang, D., Qin, L., Liu, X., Li, B., Yi, H., Fu, Y., Li, L., Wang, Z., 2020a. Persulfate activation by swine bone char-derived hierarchical porous carbon: multiple mechanism system for organic pollutant degradation in aqueous media. *Chem. Eng. J.* 383 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123091>.
24. Zhou, X., Zeng, Z., Zeng, G., Lai, C., Xiao, R., Liu, S., Huang, D., Qin, L., Liu, X., Li, B., Yi, H., Fu, Y., Li, L., Zhang, M., Wang, Z., 2020 b. Insight into the mechanism of persulfate activated by bone char: unraveling the role of functional structure of biochar. *Chem. Eng. J.* 401 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126127>.
25. Gao, Z., Geng, Y., Wu, R., Chen, W., Wu, F., Tian, X., 2019. Analysis of energy-related CO₂ emissions in China's pharmaceutical industry and its driving forces. *J. Clean. Prod.* 223, 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.092/>
26. Huang, W., Gao, B., Lin, J., Cui, S., Zhong, Q., Huang, C., 2020. Driving forces of nitrogen input into city-level food systems: comparing a food-source with a food-sink prefecture-level city in China. *Resour. Conserv. Recycl.* 160, 104850 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104850>.
27. Spierling, S., Knüpfper, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., Albrecht, S., Herrmann, C., Endres, H.J., 2018. Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments. *J. Clean. Prod.* 185, 476–491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.014>.



28. C., Dong, H., Cao, Y., Geng, Y., Li, H., Zhang, C., Xiao, S., 2021a. Environmental damage cost assessment from municipal solid waste treatment based on LIME3 model. *Waste Manag.* 125, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.051>.
29. Uzakov G. N., Elmurodov N. S., Davlonov X. A. Experimental study of the temperature regime of the solar pond in the climatic conditions of the south of Uzbekistan //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – T. 1070. – №. 1. – C. 012026.
30. Liu, D., Xiao, B., 2018. Can China achieve its carbon emission peaking? A scenario analysis based on STIRPAT and system dynamics model. *Ecol. Indic.* 93, 647–657. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.049>.
31. Liu, M., Ogunmoroti, A., Liu, Wei, Li, M., Bi, M., Liu, Wenqiu, Cui, Z., 2022. Assessment and projection of environmental impacts of food waste treatment in China from life cycle perspectives. *Sci. Total Environ.* 807, 150751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150751>.
32. Liu, Y., Chen, S., Chen, A.Y., Lou, Z., 2021b. Variations of GHG emission patterns from waste disposal processes in megacity Shanghai from 2005 to 2015. *J. Clean. Prod.* 295, 126338 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126338>.
33. Zainol, N., Sidek, N.S.M. and Ya'acob, A. (2021) *Production of high strength bioliquid from municipal solid waste (MSW) using mixed culture*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1045(2021)012024. doi:10.1088/1757-899X/1045/1/012024.
34. Kolibaba, O.B., Dolinin, D.A., and Guse, E.V. (2021). *Modified Ceramics Based on the Pyrolysis Residue of Municipal Solid Waste*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1079 (2021) 032052. doi:10.1088/1757-899X/1079/3/032052.
35. Ramzan, N., Ashraf, A., Naveed, S., Malik, A. (2011). *Simulation of hybrid biomass asification using Aspen plus: A comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste* // Biomass and Bioenergy. 2011. № 35. P. 3962–3969.
36. Sultanguzin, A.V., Gyl'maliev, I.A., Sergeev, A.M. (2017). *Biomass Pyrolysis and Gasification Comprehensive Modeling for Effective Power Generation at Combined Cycle Power Plant* // Eurasian Chemico- Technological Journal. 2017. № 19(3). P. 245–253.
37. Toshmamatov B.M., Shomuratova S.M., Mamedova D.N., Samatova S.H.Y., Chorieva S. 2022 Improving the energy efficiency of a solar air heater with a heat exchanger – Accumulator. 1045(1), 012081.
38. Kodirov I.N., Toshmamatov B.M., Aliyarova L.A., Shomuratova S.M., Chorieva S. 2022 Experimental study of heliothermal processing of municipal solid waste based on solar energy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 1070(1), 012033.
39. G N Uzakov, S M Shomuratova and B M Toshmamatov 2021 Study of a solar air heater with a heat exchanger – accumulator *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 723 (2021) 052013. doi:10.1088/1755-1315/723/5/052013.
40. T A Faiziev and B M Toshmamatov 2021 Mathematical model of heat accumulation in the substrate and ground of a heliogreenhouse *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 723 032006. doi:10.1088/1755-1315/723/3/032006.





ҚАЙТА ТИКЛАНАДИГАН ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИГА АСОСЛАНГАН ЛОКАЛ ЭНЕРГИЯ ТИЗИМЛАРИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ АНИҚЛАШ

Уришев Б.У., т.ф.д., проф., Умиров А.П., к. ўқит.,
Қуватов У.Ж., к. ўқит., Жомуродова М.К. магистрант
bob_urishev@mail.ru, u.quvvatov@gmail.com
Қариши мухандислик иқтисодиёт институти

Аннотация. Мақолада жаҳон энергетикасида тез ривожланаётган локал энергетик тизимлар тўғрисида маълумотлар келтирилган, ушбу тизимлар таркибидаги қайта тикланувчи энергия манбаларига асосланган энергетик қурилмаларнинг самарадорлигини аниқлаш бўйича ҳисоблар натижалари келтирилган.

Калим сўзлар: локал энергия тизимлари, қайта тикланувчи энергия манбалари, энергияни аккумуляциялаш, шамол энергетик қурилмаси, фотозлектрик қурилмалар, гидроэнергетик қурилмалар.

Abstract. The article provides information on local energy systems that are rapidly developing in the world energy industry, as well as the results of calculations to determine the efficiency of local energy systems operating on the basis of renewable energy sources.

Keywords: local energy systems, renewable energy sources, energy storage, wind power plants, photovoltaic plants, hydropower plants.

Ҳозирги кунда замонавий энергетика тўртта асосий йўналиш бўйича ривожланмоқда. Бу йўналишлар қуйидагилардан иборат: энергетик балансни диверсификациялаш, чиқиндиларни зарарсизлантириш, локал энерготизимлардан фойдаланиш ва рақамлаштириш. Диверсификациялаш ва зарарсизлантириш бўйича ишлар анчадан бери давом этаётган бўлсада, локал энерготизимлардан фойдаланиш ва рақамлаштириш кейинги йилларда энергетикага жадал кириб бормоқда. Энергетик жараёнларни диверсификациялаш ва зарарсизлантириш асосан табиий омилларга боғлиқ бўлса, локализация ва рақамлаштиришда асосий ролни инсон омили эгаллайди ва бунда мақсад энергияни ишлаб чиқаришни уни истеъмол қилиш жараёнига максимал даражада мослаш, бунинг натижасида энергия самарадорлигини оширишга эришишдир.

Кейинги йилларда жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида марказлашган электроэнергетик тизимлар билан бир қаторда локал энергия (энергетик) тизимлари (ЛЭТ) ҳам кенг ривожланмоқда. ЛЭТ – маълум бир чегара, худуд, минтақадаги истеъмолчиларга ушбу худуд доирасида энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш функцияларини бажарган ҳолда энергия билан таъминлаш учун хизмат қилади [1].

Замонавий ЛЭТ юқори технологияларга эга бўлган, доимо ривожланишдаги юксак сунъий кибернетик тизимдан иборат бўлиб, улар қуйидаги қуйидаги талаблар асосида фаолият кўрсатадилар [1,2]:

- ЛЭТларда энергия ишлаб чиқариш ва уни истеъмол қилишнинг мутлақ қийматлари мутаносиб бўлиши керак, бошқача қилиб айтганда уларнинг баланси (мувозанати) доимо сақланиши керак;

- ЛЭТлар фаолиятини бошқариш юқори даражада автоматлаштирилган ва компьютерлаштирилган, яъни юксак “интеллектуал” даражага эга бўлган тизимга эга бўлиши керак;

- ЛЭТларда энергия манбаларининг ноанъанавий ва муқобил турларидан фойдаланиш имкони бўлиши керак;

- ЛЭТлар барча турдаги истеъмолчиларни етарли даражада режа қилинган ҳар қандай энергия истеъмоли шароитларида электр энергияси билан таъминлаши керак;



- ЛЭТ баъзи электростанциялар ишдан тўхтаган ҳолларда ҳам тўхтовсиз энергия таъминотини ташкил қилиш имконига эга бўлиши, яъни ортиқча энергияни аккумуляциялаш ҳисобидан заҳира қувватларга эга бўлиши керак;

- ЛЭТларда электр энергиясининг параметрлари (қуввати, кучланиш, ток кучи ва частотаси) талаб даражасида таъминланиши керак.

Локал энерготизимлар (ЛЭТ) нинг марказий энерготизимларга нисбатан қандай афзалликлари бор? Ҳозирги кунда мавжуд марказий энерготизимларда энергияни ишлаб чиқариш ва уни истеъмолчиларга етказиш жуда яхши йўлга қўйилган бўлсада, бу тизим куйидаги камчиликларга эга.

- истеъмолчиларнинг бир қисми энергия ишлаб чиқарувчилардан узоқ масофада жойлашганлиги учун энергия исрофининг юқорилиги;

- ишлаб чиқаришнинг асосан органик ёқилғига мосланганлиги;

- энергия ишлаб чиқариш қуввати энергия истеъмолининг максимал қувватига мўлжалланганлиги учун уни энергия истеъмолининг кам қувватларига мослаш катта муаммо ва харажатларни талаб қилади;

- истеъмол қилинаётган энергия қувватининг ва тарифининг ўзгарувчанлигини оптимал равишда ростлаш тизимининг мукамал эмаслиги.

Юқорида кўрсатилган камчиликлар жуда муҳим ва катта камчиликлар ҳисобланади, шу сабабли марказий энерготизимларда энергия самарадорлиги масаласида жиддий муаммолар мавжуд. Шу сабабли ушбу камчиликлардан деярли холи бўлган ЛЭТларга босқичма-босқич ўтиш масаласи кўпгина мамлакатлар олдида турган асосий вазифалардан бири ҳисобланади [3].

Бугунги кунда жаҳонда smart grids, microgrid, decentralized energy systems номлари билан кўпдан-кўп ЛЭТлар мавжуд бўлиб, улар энергетик қурилмалар (станциялар) ишлаб чиқарган энергияни (шу жумладан тикланувчан энергия манбалар асосидаги) оқилона тақсимлаш ва истеъмолни бошқариш, мониторинг қилиш жараёнларининг интеграциялаштирган кластерларидан иборатдир [1]. Кўп ҳолларда ЛЭТ марказий энерготизим билан ортиқча энергияни сотиш ёки сотиш олиш мақсадида юқори кучланишли электр линиялар билан боғланган ҳолда бўлади.

ЛЭТларнинг жуда муҳим афзалликларидан бири энергияни истеъмол қилишни махсус IT технология асосида бошқаришдир. Бу ҳолда энергия истеъмолини оптималлаштириш ҳисобига юқори энергия тежамкорлигига эришиш мумкин. ЛЭТларда энергия ишлаб чиқариш усуллариининг деярли барчасидан фойдаланиш мумкин, қайта тикланувчи энергия манбаларидан, дизел, газ электр станцияларидан ва бошқа ёқилғи турларида ишлайдиган энергетик қурилмалар ҳам бўлиши мумкин.

ЛЭТ таркибида қатнашадиган энергетик қурилмалар қувватини аниқлаш бўйича ҳали бир тўхтама келинган йўқ, соф технологиялар бўйича консалтинг жамоаси Navigant Research (АҚШ) ШЭҚлар учун 500 кВт, ФЭҚлар учун 1 МВт, газ турбина станциялар учун 250 кВт, газпоршенли ва дизел электр станциялар учун 6 МВт қувватни максимум сифатида кўрсатади [4]. EU-DEEP номли Европа лойиҳасида органик ёқилғида ишлайдиган станциялар учун 10 МВт, ГЭСлар учун 500 кВт, ШЭҚ учун 6 МВт, ФЭҚ учун 5 МВт деб белгиланган [4].

Россияда баъзи экспертлар тақсимланган генерация (ЛЭТ)нинг максимал қуввати 25 МВт дан ошмаслиги керак деган фикрни билдиришади [4].

ЛЭТнинг самарадорлик кўрсаткичлари кўп жиҳатдан ундаги энергетик қурилмалар қувватларини ва бошқа параметрларини тўғри танлашга боғлиқ, чунки бу омилларга энергия таъминоти ишончлилиги ва самарадорлиги тўғридан тўғри боғлиқ бўлади.

Энергетик қурилмаларнинг иқтисодий самарадорлиги асосан иккита омилга – электр энергияни сотиш нархи *Энарх* (таннарх+энергияни тақсимлаш ва сотиш харажатлари+қўйиладиган фоиз) ва қурилмани яратиш харажатлари *K* (капитал қурилиш харажатлари) га боғлиқ.





Бу ҳолда $\mathcal{E}_{нарх}$ ва K қийматларининг кўриб чиқиладиган барча вариантларини белгиланган чегаралар доирасида ўз ичига олган функциянинг шартли минимумини топиш зарур бўлади.

Бунинг учун Лагранж функциясининг биздаги шароитларга мос келадиган шаклини қабул қиламиз

$$L = \mathcal{E}_{нархi}(K_i) + \lambda \cdot (K_i) \quad (1)$$

бунда $i = 1, 2, \dots, n$ – вариантлар сони, λ – Лагранж кўпайтмаси.

Ушбу функциянинг минимумини қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин.

$$\frac{\partial}{\partial K_i} (\mathcal{E}_{нархi} + \lambda K_i) = 0 \quad (2)$$

Бунда, демак $\mathcal{E}_{нархi} + \lambda \cdot K_i$ йиғиндиси қандайдир минимал қийматга эга эканлигини кўрсатади, яъни, энергетик қурилмалар қувватларининг бир қатор қийматлари ичида шундай вариант мавжудки, у баъзи чегаралар доирасида минимал қийматга эга бўлади, яъни:

$$X_{min} = \mathcal{E}_{нархi} + \lambda K_i \rightarrow \min \quad (3)$$

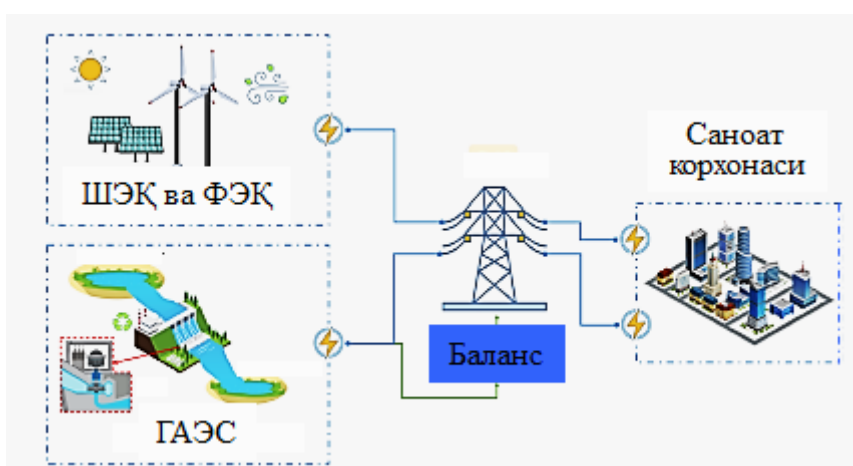
Ушбу минимал кўрсаткични ташкил этувчи параметрлар $\mathcal{E}_{нархi}$ (ЛЭТдаги барча қурилмалар ишлаб чиқарган электр энергияси нархи, демак $\Sigma \mathcal{E}_{нархi}$) K_i қийматларини энергетик қурилмаларда танлашда кенг қўлланиладиган қуйидаги солиштирма кўрсаткичлар асосида аниқланади.

$$\Sigma \mathcal{E}_{нархi} = \alpha_1 \cdot \mathcal{E}_{кур1} + \alpha_2 \cdot \mathcal{E}_{кур2} + \alpha_3 \cdot \mathcal{E}_{кур3} + \dots + \alpha_n \cdot \mathcal{E}_{кур,n} \quad (4)$$

Бунда α_i – 1 кВт·соат электр энергияси нархи, $\mathcal{E}_{курi}$ – ЛЭТ энергетик қурилмалари ёрдамида белгиланган вақт давомида ишлаб чиқарилган электр энергияси миқдори. Бунда (3) да берилган минималлаштириш мезонининг асосий чеклов ёки шартларидан бири сифатида қурилмалар ишлаб чиқарган электр энергияси йиғиндиси $\Sigma \mathcal{E}_{кур}$ талаб қилинаётган истеъмол электр энергияси миқдоридан кам бўлмаслиги керак, яъни қуйидаги чекловга амал қилиниши керак

$$\Sigma \mathcal{E}_{кур} \geq \mathcal{E}_{ис} \quad (5)$$

Масалан таркибида шамол энергетик қурилмаси (ШЭҚ), фотоэлектрик қурилма (ФЭҚ) лар бўлиб, уларнинг истеъмолдан ортиқча энергиясини гидроаккумуляция электр станция (ГАЭС) таркибидаги насос қурилмаси (НҚ) ёрдамида аккумуляциялайдиган ва ушбу тўпланган энергия ҳисобидан гидроэнергетик қурилма (ГЭҚ)да электр энергиясини ишлаб чиқарадиган ЛЭТ схемаси 1 – расмда келтирилган.



1 – расм. Локал энергия тизими схемаси.

Схемадан кўриниб турибдики, ЛЭТ таркибидаги ГАЭС энергия балансини сақлаш учун, яъни ортиқча энергияни аккумуляциялаш ва ундан энергия етишмовчилиги пайтида фойдаланиш мақсадида хизмат қилади.



Мазкур ЛЭТ ишлаб чиқарган электр энергияси нархи куйидаги формула билан ҳисобланади.

$$\mathcal{E}_{нархи} = \alpha_{ШЭҚ} \cdot \mathcal{E}_{ШЭҚ} + \alpha_{ФЭҚ} \cdot \mathcal{E}_{ФЭҚ} + \alpha_{ГЭҚ} \cdot \mathcal{E}_{ГЭҚ} - \alpha_{(ШЭҚ+ФЭҚ)/2} \cdot \mathcal{E}_{НК} \quad (6)$$

ФЭҚ ва ШЭҚ ишлаб чиқарган энергиянинг истеъмолдан ортиқчаси НКга берилгани учун электр энергия тарифини ўртача $\alpha_{(ШЭҚ+ФЭҚ)/2}$ га тенг этиб қабул қилинади.

Капитал харажатлар миқдори куйидагича аниқланади

$$K_i = \beta \cdot N_{кур} \quad (7)$$

Бунда β – 1 кВт қувватли қурилма қурилишига сарф бўладиган маблағ миқдори.

$N_{кур}$ – энергетик қурилманинг максимал қуввати.

Демак K_i нинг қийматини куйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин

$$K_i = \beta_{ШЭҚ} \cdot N_{ШЭҚi} + \beta_{ФЭҚ} \cdot N_{ФЭҚi} + \beta_{ГЭҚ} \cdot N_{ГЭҚi}$$

$\mathcal{E}_{нарх}$ ва K қийматларини ҳисоблашда α ва β қийматлари Халқаро қайта тикланувчан энергия манбалари агентлигининг 2022 йилда чиқарилган йилномаси маълумотлари асосида олинди [5].

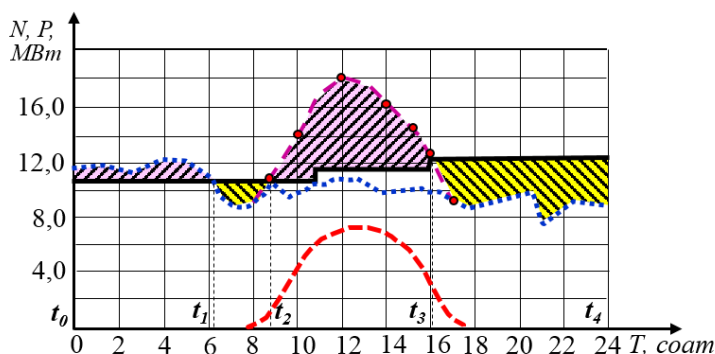
Демак ушбу манбага асосан $\alpha_{ШЭҚ} = 0,033$ \$/кВт·соат, $\alpha_{ФЭҚ} = 0,048$ \$/кВт·соат, $\alpha_{ГЭҚ} = 0,048$ \$/кВт·соат,







Худди шунингдек, $\beta_{ШЭҚ} = 1325$ \$/кВт, $\beta_{ФЭҚ} = 857$ \$/кВт, $\beta_{ГЭҚ} = 2135$ \$/кВт.

Шундай қилиб $\mathcal{E}_{нархи} + \lambda \cdot K_i$ йиғиндисини белгиланган ҳисобий вақт учун аниқланадиган қурилма харажатлари суммаси деб аташ мумкин. Бунда Лагранж кўпайтмаси λ нинг ҳақиқий маъноси сарф қилинган капитал харажатларни қоплаш учун тўловлар коэффициенти ёки банк фоизини англатади. Бу суммани аниқлашда қурилма қуввати ва ишлаб чиқарилган энергия миқдори аниқловчи омиллар сифатида катнашади. Уларнинг қийматлари ЛЭТдаги қурилмаларнинг баланс энергияси тенгламалари асосида ЛЭТнинг энергия юкламаси графигини таҳлил қилиш асосида аниқланади.

Мисол сифатида кун давомида энергия истеъмоли деярли ўзгармайдиган, йирик энергия ҳажмдор саноат корхонасига хизмат қиладиган максимал қуввати 18 МВт бўлган ва ЛЭТ нинг энергия юкламаси графиги 2 – расмда келтирилган.

Ушбу энергия юкламаси графиги бўйича кўриб чиқилган ҳар ойда 3 тадан бир йилда 36 та вариант ичида ЛЭТда кунлик истеъмол миқдори $\mathcal{E}_{ИС} = 266,6$ кВт·соат бўлган соаноат корхонасини энергия билан таъминлаш учун энергетик қурилмалар томонидан ишлаб чиқилган энергия миқдорининг харажатлар минимуми (3) бўйича ҳисобланганда бир кунда $X_{min} = 3555,72$ минг долларни ташкил этди.



-  аккумуляцияланадиган, яъни насос қурилмасига бериладиган энергия миқдори;
-  аккумуляцияланган захирадан ГЭҚда энергия ишлаб чиқариш учун олинадиган энергия миқдори;
-  саноат корхонасининг ўртача кунлик энергия юкламаси;
-  ФЭҚнинг кунлик энергия ишлаб чиқариш графиги;
-  ШЭҚнинг кунлик энергия ишлаб чиқариш графиги;
-  ФЭҚ ва ШЭҚнинг биргаликда энергия ишлаб чиқариш графиги

2 – расм. Таркибида ШЭҚ, ФЭҚ ва ГЭҚ бўлган ЛЭТнинг иш режими графиги.





Ушбу оптимал вариантга мос келадиган ЛЭТнинг энергетик кўрсаткичлари қуйидагича:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{ШЭҚ} &= 229,5 \text{ МВт}\cdot\text{соат}; & \mathcal{E}_{ФЭҚ} &= 54,1 \text{ МВт}\cdot\text{соат} \\ \mathcal{E}_{ГЭҚ} &= 25,6 \text{ МВт}\cdot\text{соат}; & \mathcal{E}_{НҚ} &= 42,6 \text{ МВт}\cdot\text{соат} \end{aligned}$$

Энергетик қурилмаларнинг максимал қувватлари қуйидаги қийматларни ташкил қилди.

$$N_{ШЭҚ} = 9,9 \text{ МВт}, \quad N_{ФЭҚ} = 7,2 \text{ МВт}, \quad N_{ГЭҚ} = 4,8 \text{ МВт}, \quad N_{НС} = 6,5 \text{ МВт}$$

Инвестиция, яъни қурилмаларни қуришга ажратилган маблағнинг фоиз ставкаларини барча вариантлар учун бир хил, яъни $\lambda = 0,12$ қабул қилинди.

ЛЭТнинг энергетик қурилмалари ишлаб чиқарган электр энергияси нархини (6) бўйича ҳисоблаймиз.

$$\mathcal{E}_{\text{нарх}}^{\text{КТЭМ}} = 0,033 \cdot 229,5 + 0,48 \cdot 54,1 + 0,048 \cdot 25,6 - 0,04 \cdot 42,6 = 9700 \text{ доллар.}$$

Саноат корхонаси учун зарур бўлган электр энергияси иссиқлик электр станциялардан олинса, унда электр энергияси нархи қуйидагича бўлади

$$\mathcal{E}_{\text{нарх}}^{\text{ИЭС}} = 0,12 \cdot 266,6 = 31992 \text{ доллар.}$$

Бундан кўришиб турибдики, юқорида келтирилган конфигурацияга эга бўлган ЛЭТнинг иссиқлик электр станциялари ишлаб чиққан электр энергияси билан таъминлаш тизимига нисбатан салмоқли иқтисодий самарадорликга эга бўлади, масалан:

- ЛЭТда ишлаб чиқарилган электр энергияси анъанавий ИЭСлар электр энергиясига нисбатан арзонлиги туфайли катта иқтисодий самарадорликка эришиш мумкин. Масалан, ИЭСнинг 1 кВт·соат электр энергияси нархи буғ-газ қурилмаларда 7,78...9,66 цент, газ қурилмаларда 11,03...21,94 центни ташкил қилиши ҳалқаро чоп этилган манбаларда келтирилган [6]. Агар ИЭСда ишлаб чиқарилган электр энергияси 1 кВт·соатининг нархини ўртача 12 цент қабул қилсак ЛЭТнинг насос станция истеъмоли учун зарур бўлган энергия юқламаси тўловларига юқорида келтирилган ҳисоблар натижаларига кўра бир кунда 31992 доллар сарф бўлади. Демак таклиф этилган ЛЭТни қўллаш натижасида эришиладиган иқтисодий самара 22292 долларни ташкил этади.

- таклиф қилинган ЛЭТда ортиқча энергияни гидравлик аккумуляциялаш тизими ҳозирги пайтда жаҳонда кенг қўлланилаётган литий – ион аккумуляторларга нисбатан анча арзонлиги билан ажралиб туради. Масалан, 2019 йилда литий – ион аккумуляторлари ёрдамида 4 соат давомида энергияни сақлаш нархи 275...285 \$/МВт·соат га тенг бўлди, гидравлик аккумуляциялаш (16 соат давомида) нархи эса 177...186 \$/МВт·соат ни ташкил этди [7]. Агар ушбу нархларнинг ўртача қийматларини, яъни 280 \$/МВт·соат ва 180 \$/МВт·соат ни қабул қилсак унда ҳар бир МВт·соат аккумуляцияланадиган электр энергия учун 100 доллар фойда кўриш мумкин (литий – ион аккумуляторларга нисбатан). Юқорида келтирилган мисол сифатида кўриш мумкинки, аккумуляцияланиши керак бўлган 42,6 МВт·соат электр энергияси учун ГАЭС қўлланилганда бир кунда 4260 минг доллар иқтисод қилиш имкони бўлади;

- таклиф қилинган ЛЭТда ортиқча энергияни аккумуляциялаш тизими жорий этилган, бунинг натижасида ШЭҚ ва ФЭҚ ларнинг энергиясидан тўлиқ фойдаланиш, ишлаб чиқарилган энергияни истеъмол энергиясига самарали мослаш имкони туғилади.

Юқорида келтирилган таққослаш натижалари локал энерготизимларда қайта тикланувчан энергия манбаларидан ва ортиқча энергияни гидравлик аккумуляциялаш усулидан фойдаланиш катта иқтисодий самара бериши мумкинлигини кўрсатмоқда.

Хулосалар.

1. Йирик, энергия ҳажмдор саноат корхонасини ишончли равишда электр энергияси билан таъминлаш учун хизмат қиладиган локал энергия тизими схемаси ва унинг самарадорлигини аниқлаш тартиби таклиф этилди.

2. Таркибидаги шамол энергетик қурилмаси, фотоэлектрик қурилмаларнинг истеъмолдан ортиқча энергиясини гидроаккумуляция электр станциясида тўплаш ва ундан фойдаланиш имконияти жорий этилган, максимал қуввати 18 МВт ва кунлик энергия истеъмоли 266,6 кВт·соат локал энергия тизимининг самарадорлигини аниқлаш бўйича



бажарилган ҳисоблар натижалари фақат электр энергияси тарифлари фарқи бўйича олинган самара бир кунда 22292 долларни ташкил этиши аниқланди.

3. Таклиф қилинган ЛЭТда ортиқча энергияни гидравлик аккумуляциялаш тизими ҳозирги пайтда трендда бўлган литий – ион аккумуляторларга нисбатан ҳар бир кВт·соат электр энергиясини аккумуляциялаш харажатлари фарқи ҳисобига бир кунда 4260 доллар фойда келтириши аниқланди.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Urishev B 2019 Decentralized Energy Systems, Based on Renewable Energy Sources. *Applied Solar Energy*, vol. 55, no. 3, pp. 207–212. DOI: 10.3103/S0003701X19030101
2. Peter Alstone, Dimitry Gershenson, Daniel M. Kammen. 2015 Decentralized energy systems for clean electricity access. *Nature climate change*, vol. 5, <https://rael.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/04/Alstone-Gershenson-Kammen-NatureClimateChange-2015-EnergyAccess.pdf>
3. Dawit Guta, Jose Jara, Narayan Adhikari, Chen Qiu, Varun Gaur, and Alisher Mirzabaev. Decentralized Energy in Water-Energy-Food Security Nexus in Developing Countries: Case Studies on Successes and Failures. ZEF- Discussion Papers on Development Policy No. 203, Center for Development Research, Bonn, August 2015, pp. 46.
4. Ю. А. Морева, М. М. Суровцов, Е. А. Панова. Развитие распределённой генерации в мире и в России. [СОК №5 | 2020](https://www.c-o-k.ru/articles/razvitiie-raspredeleynoy-generacii-v-mire-i-v-rossii) (стр. 42-53) <https://www.c-o-k.ru/articles/razvitiie-raspredeleynoy-generacii-v-mire-i-v-rossii>
5. Renewable power generation costs in 2021, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/RENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8
6. Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Julch, Huyen-tran Nguyen, Thomas Schlegl. Levelized cost of electricity renewable energy technologies. Fraunhofer institute for solar energy systems. Available: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf.
7. David G. Victor. 2019 Pumped Energy Storage: Vital to California’s Renewable Energy Future Release <https://www.energy.senate.gov/services/files/F5F5EDF0-E298-4843BAA5CC8605586484>

