

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ГРУНТОВЫХ АККУМУЛЯТОРАХ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА

Яхшибоев Ш.К., Узакова Ю.Г., Суюнов Б.

*Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан*

**Аннотация:** В данной статье представлены результаты моделирования процессов теплообмена в нестационарном режиме при охлаждении подземного природного грунтового аккумулятора холодом естественным холодом наружного воздуха. Разработана экспериментальная установка для исследования температурного поля естественно холодной грунтовой батареи и получены кривые температуры охлажденного грунта и температуры поверхности аккумуляторной трубы. Значения коэффициента теплопередачи для грунтовой батареи диаметром  $d=50$  мм получены для натурального объекта диаметром  $d=300$  мм при охлаждении воздухом в физической модели.

**Ключевые слова:** грунтовой массив, термодары, естественный аккумулятор холода грунта, критерий подобия, коэффициент теплоотдачи, естественный холод.

## TABIY SOVUQNI YER USTIDA SAQLASH AKKUMULYATORLARIDA ISSIQLIK O'TKAZISH JARAYONLARINI O'RGANISH

Yaxshiboyev Sh.K., Uzakova Y.G., Suyunov B

*Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, O'zbekiston*

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada yer osti tabiiy sovuqlik tuproq akkumulyatori tashqi havo tabiiy sovuqligi bilan sovutilganda, nostatsionar rejimda issiqlik almashinuv jarayonlarini modellashtirish natijalari keltirilgan. Tabiiy sovuqlik tuproq akkumulyatori harorat maydonini o'rganish uchun eksperimental qurilma ishlab chiqilgan, sovutilgan tuproq harorati va akkumulyator quvuri sirtining harorati o'zgarishi egri chiziqlar olingan. Diametri  $d=50$  mm bo'lgan tuproq akkumulyator uchun issiqlik uzatish koeffitsiyentining qiymatlari, fizik modelda havo bilan sovutilganda diametri  $d=300$  mm bo'lgan to'liq o'lchovli obyekt uchun olingan.

**Kalit so'zlar:** tuproq massivi, termojufilar, tabiiy sovuqlik tuproq akkumulyatori, o'xshashlik mezoni, issiqlik berish koeffitsiyenti, tabiiy sovuqlik.

## STUDY OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN GROUND STORAGE ACCUMULATORS OF NATURAL COLD

Yakhshiboev Sh.K., Uzakova Y.G., Suyunov B.

*Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, Uzbekistan*

**Abstract:** This article presents the results of modeling the processes of unsteady heat transfer in ground accumulators of natural cold when the ground is cooled by cold outside air. An experimental setup for studying the temperature field of a natural cold ground accumulator has been developed, and curves for changing the temperature of the cooled soil and the surface of the accumulator pipe have been obtained. The values of the heat transfer coefficient for a ground accumulator with a diameter of  $d=50$  mm were obtained when air-cooled on a physical model and for a full-scale object with a diameter of  $d=300$  mm.

**Keywords:** soil array, thermocouples, natural cold ground accumulator, similarity criterion, heat transfer coefficient, natural cold.



В мире проводятся научные исследования по усовершенствованию холодильных установок и повышению энергоэффективности систем тепло-хладоснабжения зданий и сооружений, разработке способов снижения энергоёмкости с применением возобновляемых источников энергии. Традиционное парокомпрессионное холодильное оборудование, используемое в системах холодоснабжения, является дорогостоящим, энергоёмким и требует больших эксплуатационных затрат[1-10]. Анализ работ парокомпрессионных холодильных установок при выработке искусственного холода в системах холодоснабжения показывает, что для получения 2,5-3,5 кВт холодильной мощности затрачивается 1 кВт электрической энергии[2]. В связи с этим разработка и внедрение энергоэффективных систем холодоснабжения с использованием источников естественного холода является актуальной научно-технической проблемой. В нашей Республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов, разработке энергоэффективных систем охлаждения на основе использования возобновляемых источников энергии и внедрению энергосберегающих технологий на плодоовощехранилищах. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы отмечены задачи «.....повышения энергоэффективности зданий и сооружений, широкое внедрение возобновляемых источников энергии в отраслях экономики, сокращению объема выброса вредных газов в атмосферу.....»[11]. Поэтому выполнение вышеуказанных задач в системах холодоснабжения, в частности, по повышению энергоэффективности систем холодоснабжения плодоовощехранилищ с использованием естественного холода считается одной из востребованных задач в рассматриваемой отрасли экономики. В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований процессов теплообмена в грунтовых аккумуляторах естественного холода(ГАЕХ).

Приведены описания экспериментальной установки ГАЕХ, методика экспериментального исследования температурного режима и теплообмена в физической модели и результаты исследований по теплообмену и температурному режиму ГАЕХ в различных физических условиях. Разработан экспериментальный стенд (рис.1), измерительная схема которого приведена на рис.1. Стенд состоит из грунтового (песчаного) аккумулятора 1, находящегося в пенопластовой термостатированной ёмкости 2. Экспериментальная установка для моделирования процесса теплообмена в грунтовом массиве, вмещающем в себя канал грунтового аккумулятора, рассчитана с соблюдением теории подобия и размерностей. Она состоит из термоизолированного короба с песком, моделирующего грунтовой массив, внутри которого расположена стальная труба  $d=20\text{мм}$  грунтового аккумулятора холода, с размещёнными вокруг неё термодатчиками, пакетных переключателей на 20 цепей, измерительного моста и водосчётчика[11-15].



Рис.1. Общий вид экспериментальной установки.

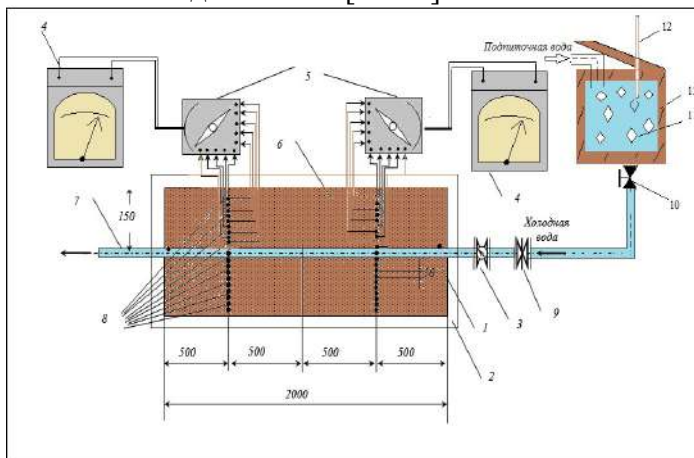


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования изменения температурного поля грунта вблизи поверхности ГАЕХ.

1– грунтовый аккумулятор; 2- термостатированная ёмкость 3 – счётчик воды; 4- Потенциометр КСП-4; 5– переключатель на 10 цепей; 6– слой материала, моделирующий грунтовый массив; 7– стальная труба  $d=20\text{мм}$ ; 8– термопары (на схеме показаны термопары, размещённые в первом и последнем сечениях температурного поля), 9- регулирующий вентиль, 10-вентиль для регулирования расхода воды, 11-куски льда, 12-контрольный термометр, 13-ёмкость для холодной воды.

Целью исследования является экспериментально определить закономерности изменения температурного поля в процессе аккумуляции холода в ГАЕХ с учетом нестационарного теплообмена. Проведено экспериментальное исследование с применением метода теории подобия и моделирования теплообменных процессов. Определены значения критерия  $Nu$  и коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  для грунтового аккумулятора холода с диаметром трубы  $d=300\text{мм}$  и физической модели, которые представлены в таблице 1.

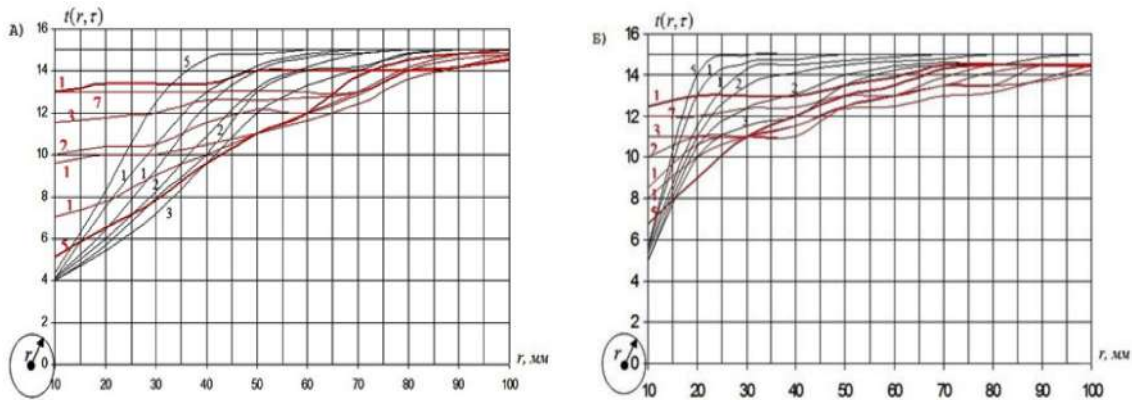
Таблица 1

**Результаты моделирования и расчета теплообмена в ГАЕХ.**

Грунтовый аккумулятор, $d=300\text{мм}$ (воздух)			Глава 1 Физическая модель $d=50\text{мм}$ (воздух)			Физическая модель $d=20\text{мм}$ (вода)		
$W_1$ , м/с.	$Nu_1$	$\alpha_1$ , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$	$W_2$ , м/с.	$Nu_2$	$\alpha_2$ , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$	$W_3$ , м/с.	$Nu_3$	$\alpha_3$ , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$
2	103,88	8,04	0,32	103,25	47,908	0,64	103,25	2845,57
4	180,87	14,01	0,64	180,90	83,93	1,29	180,90	4985,60
6	250,18	19,38	0,97	250,73	116,338	1,94	250,73	6910,11
8	314,92	24,41	1,29	314,96	146,14	2,58	314,96	8680,29
10	376,47	29,17	1,61	376,99	174,92	3,22	376,05	10363,93

Анализ таблицы 1. показывает, что подобие процессов теплоотдачи для натурального образца (движение воздуха по подземному воздуховоду  $d=300\text{мм}$ .) и физической модели (движение воды по трубе  $d=20\text{мм}$ , расположенной в песке) выполняется в следующем диапазоне скоростей: для воды 0,64 до 3,22 м/с. Таким образом, для моделирования процесса теплообмена, происходящего при движении воздуха с температурой  $t=0^\circ\text{C}$  по подземному воздуховоду  $d=300\text{мм}$  в натуре со скоростями 2,4,6,8,10 м/с, необходимо обеспечить в физической модели движение воды с  $t=0^\circ\text{C} \div +4^\circ\text{C}$  в трубе  $d=20\text{мм}$ , со скоростями 0,64; 1,29; 1,94; 2,58; 3,22 м/с соответственно. Подобные процессы теплообмена для воздуха в физической модели при  $t=0^\circ\text{C}$  необходимо обеспечить в трубе диаметром  $d=50\text{мм}$  со скоростью 0,32 до 1,61 м/с. Эксперименты были проведены в физической модели для воды и воздуха отдельно и результаты представлены в табл 1. Температура охлаждающей воды устанавливалась равной  $+4^\circ\text{C}$ , скорость движения жидкости фиксировалась в диапазоне, указанном в таблице 1.

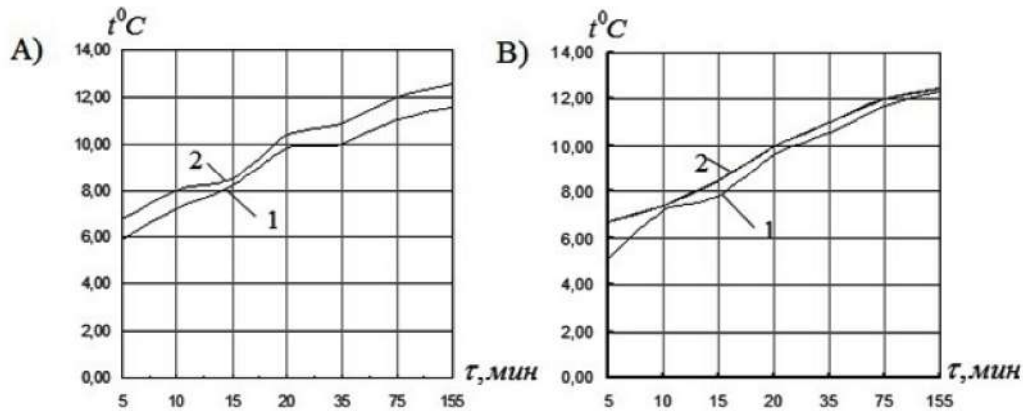
В результате серии последовательных экспериментов, были получены графики распределения температуры  $t(x, \tau)$  в грунте, вблизи трубы  $d=20\text{мм}$  для различной продолжительности работы установки в 1 и 2 режимах, а также кривые изменения температуры поверхности трубы в зависимости от времени  $t(0, \tau)$  (рис.3,4,5 и 6)[15-21].



**Рис.3. Изменение температурного поля в песке вблизи трубы  $d=20\text{мм}$ . Числа у кривых обозначают интервалы времени  $\tau$  между замерах в минутах.**

А – в первом сечении, Б – во втором сечении.

- Работа установки в первом режиме.
- Работа установки во втором режиме.

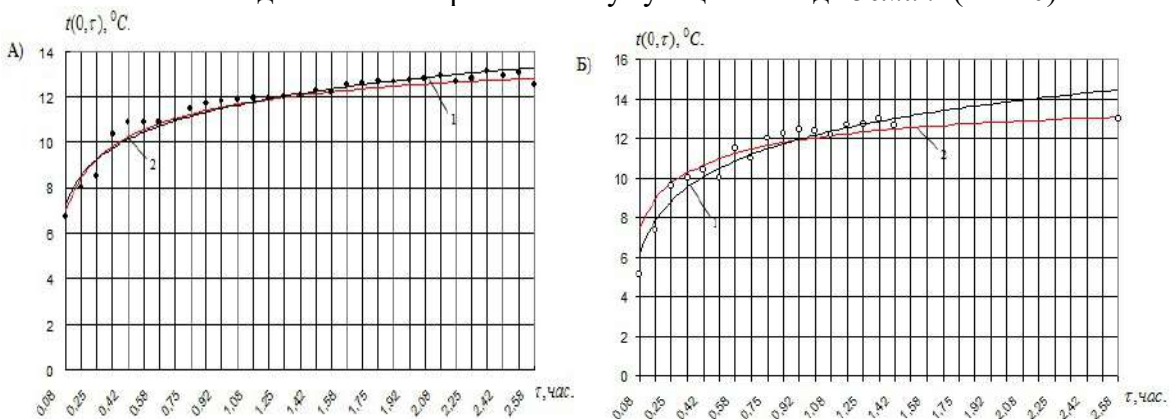


**Рис.4. Изменение температуры поверхности трубы за счёт кондуктивного теплообмена, по данным эксперимента.**

1,2-температуры поверхности в первом и втором сечениях.

А-длительность режима аккумуляции холода 5мин. ( $Fo=3$ ).

Б-длительность режима аккумуляции холода 30мин. ( $Fo=10$ ).



**Рис.5. График изменения температуры поверхности трубы.**

А) -  $Fo=3$ , Б) –  $Fo=10$ . 1 – по данным эксперимента. 2 – по данным расчета.

Кривые изменения температуры охлаждённого грунта за счёт кондуктивного теплообмена, построенные для натурального объекта по данным эксперимента, проведённого на физической модели, в режимах охлаждения и хранения запасённого холода представлены на

рис.10 и 11. На рис.12 показаны кривые изменения температуры поверхности трубы  $d=300\text{мм}$ , за счёт кондуктивного теплообмена.

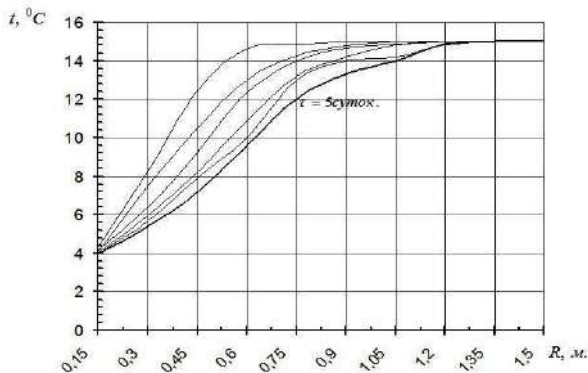


Рис.6. Температура грунта вблизи трубы  $d=300\text{мм}$  (охлаждение).

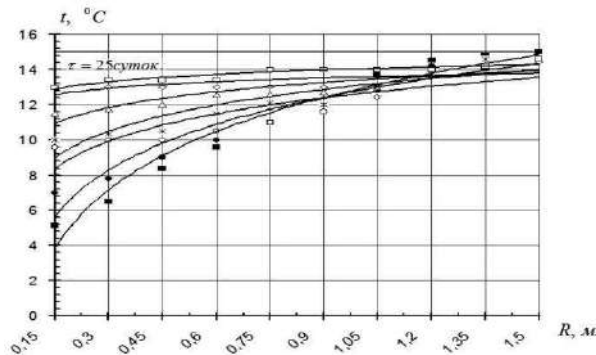


Рис.7. Изменение температуры грунта вблизи трубы  $d=300\text{мм}$  (режим хранения запасённого холода).

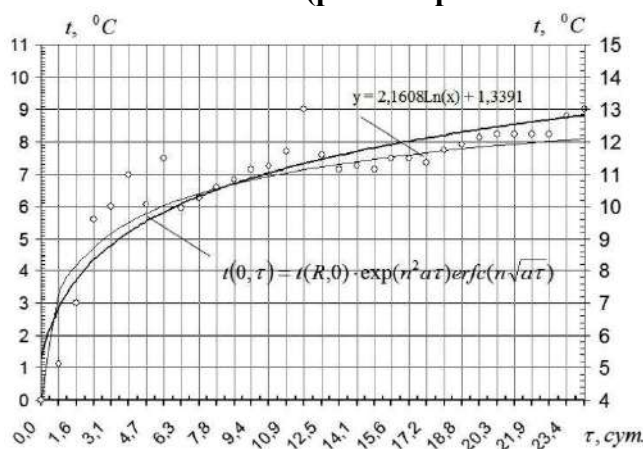


Рис.8. Изменение температуры поверхности стенки трубы  $d=300\text{мм}$  за счёт кондуктивного теплообмена.

Анализ полученных результатов исследований, показывает, что расхождение экспериментальных и расчетных данных составляет 7-10 %. Таким образом, предложенные аналитические зависимости можно рекомендовать для инженерных расчетов ГАЕХ[5].

По результатам исследований установлено, что процессы теплообмена между естественными грунтовыми аккумуляторами холода и наружным воздухом зависят от геометрических размеров аккумулятора, коэффициента теплопередачи, расхода наружного воздуха и продолжительности аккумулятора.

На основе моделирования и экспериментального исследования процесса нестационарного теплообмена на физической модели ГАЕХ определены коэффициент теплоотдачи, который составил в пределах  $8,0 \div 29,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Получены кривые изменения температуры охлажденного грунта, за счет кондуктивного теплообмена, настроенные для натурального объекта, по данным эксперимента, проведенного на физической модели ГАЕХ для различной продолжительности периода хранения аккумулятированного холода. Определена продолжительность режима аккумулятирования естественного холода в грунтовом аккумуляторе естественного холода диаметром теплообменной трубы  $d=300 \text{ мм}$ , расположенного в песчаном грунте на натурном объекте.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Uzakov G N2010 Efficiency of joint operation of greenhouses and solar greenhouses Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika) 46(4) PP. 319–320.



2. 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)
3. 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)
4. Kharchenko V.V., Sychov A.O., Uzakov G.N. Innovative instruments for extraction of low-grade heat from surface watercourses for heating systems with heat pump. *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, 2019, PP. 59–68. (2)
5. Sychov, A., Kharchenko, V., Vasant, P., Uzakov, G. Application of Various Computer Tools for the Optimization of the Heat Pump Heating Systems with Extraction of Low-Grade Heat from Surface Watercourses. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, 866, PP. 310–319 (2)
6. 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)
7. Uzakov, G.N., Vardiyashvili, A.B. Intensity influence of solar radiation on shrinkage of goods in fruit and vegetable stores. *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*, 2011, 47(1), стр. 27–30. (2)
8. Цой Д.А. Анализ эффективности холодильных систем с радиационным охлаждением в зависимости от климатических условий// Автореферат дис.на соискание ученой степени к.т.н., Москва, 2020.-26 с.
9. Зейгарник Ю. А., Попель О. С., Низовский В.Л., Низовский Л.В. Сезонного аккумулярование природного холода// Ползуновский вестник № 4 2012. С.-190-195.
10. Указ Президента Республики Узбекистан от 28января 2022 года №УП-60 “О стратегии развития Нового Узбекистана” но 2022-2026 годы.
11. Uzakov G.N., Yakhshiboyev Sh.K., Ruzikulov G.Yu., Khusunov Sh. Kh. Modeling and Research of heat Transfer Process in Soil Accumulators of Natural Cold// *International Journal Of Advanced Research in Science, Engineering and Technology* Vol.7, Issue-7, July 2020 pp.
12. Узakov Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Научные основы аккумулярования естественного холода в подземных плодовоовощехранилищах/ Монография. – Карши: “Интеллект” 2021. 124 с.
13. Uzakov G.N., Yakhshiboyev Sh.K., Vardiyashvili A.A., Mansurov A.A., Mamedova D.N. Mathematical modeling of changes in the air temperature under the ventilation channel in underground fertilizer storage// *Scientific-technical journal*, 2020. –vol. 24, issue-1, article 6. pp 89-93.
14. Узakov Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Вардияшвили А.А. Математическое моделирование процессов теплообмена при аккумуляровании естественного холода в грунтовом массиве//Научно-технический журнал ФерПИ.-Фергана, 2021.- Том 25.№ 5. С. 65-69.
15. Узakov Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Рузикулов Г.Ю. Исследование тепловлажностного режима энергосберегающей солнечно-теплонасосной сушильно-холодильной камеры// *Проблемы энерго-и ресурсосбережения.-Ташкент*, 2021.- № 2. С. 121-130.
16. Узakov Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Математическая модель теплового баланса подземного плодовоовощехранилища с грунтовым аккумулятором естественного холода// *Проблемы энерго-и ресурсосбережения. -Ташкент*, 2021.- № 3. С. 153-163.
17. Узakov Г.Н., Яхшибоев Ш.К. Энергосбережение в системах холодоснабжения подземных плодовоовощехранилищ с использованием грунтового аккумулятора естественного холода// *Проблемы энерго-и ресурсосбережения. -Ташкент*, 2021.- № 4. С. 208-220.
18. Узakov Г.Н., Яхшибоев Ш.К., Мамедова Д.Н., Чориева С.Ю., Хусунов Ш.Х. Грунтовые теплообменники с активными системами аккумуляции холода// *Сборник XIV*



- Международной научно-практической конференции «Наука –Технология-Ресурсобережение», посвященной дню Российской науки. г Киров 2021.- С.161-165.
19. Яхшибоев Ш.К., Хидиров М.М., Эргашев Ш.Х., Камолов Б.И., Шамуротова С.М. Аккумуляция естественного холода с использованием пассивных систем для хранения сельскохозяйственной продукции// Молодежь. Наука. Инновации. Сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых. г. Ярославль, 10-11 марта 2021- С.174-178.
  20. Davlonov Kh.A., Dusyarov A.S., Yakhshibaev Sh.K., Pardaev Z.E., Toshbayev A.R. The use of heat pumps for heat supply of buildings and agricultural structures// «Новітні технології в агроінженерії проблеми та перспективи впровадження»I-Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції.г Полтава 2021.- С. 89-92.
  21. Яхшибоев Ш.К., Хидиров М.М., Эргашев Ш.Х., Камолов Б.И., Шамуротова С.М. Аккумуляция естественного холода с использованием пассивных систем для хранения сельскохозяйственной продукции// Молодежь. Наука. Инновации. Сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых. г. Ярославль, 10-11 марта 2021- С.174-178.

