

**DOI:10.26104/NNTIK.2023.39.82.004**

*Омаров Р.А., Турсунбаев Ж.Ж., Кунелбаев М.М.,  
Токтоналиев Б.С., Карасартов У.Э.*

**БОРБОРДУК АЗИЯНЫН ҮЧ БАШКА ШААРЫНДАГЫ  
ЖЫЛУУЛУК НАСОСУ МЕНЕН ЖЫЛУУЛУКТУ КАМСЫЗ  
КЫЛУУ СИСТЕМАСЫНЫН ПОЦЕНЦИАЛЫ**

*Омаров Р.А., Турсунбаев Ж.Ж., Кунелбаев М.М.,  
Токтоналиев Б.С., Карасартов У.Э.*

**ПОТЕНЦИАЛ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ  
В ТРЕХ РАЗНЫХ ГОРОДАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ**

*R. Omarov, Zh. Tursunbaev, M. Kunelbaev,  
B. Toktonaliev, U. Karasartov*

**THE POTENTIAL OF A SOLAR HEAT SUPPLY  
SYSTEM WITH A HEAT PUMP IN THREE DIFFERENT  
CITIES OF CENTRAL ASIA**

УДК: 631.3:621: 621.1

Бул макалада жалпак күн коллекторлору, жылуулук булагын сактоочу резервуар жана Борбордук Азиянын үч башка шаарында жайгашкан чакан имараттын жайларын жылытуу үчүн жылуулук насосу менен жабдылган күн жылытуу системасынын потенциалы изилденет. Жылуулук насосунун жүрүм-туруму жалпак күн коллекторлорунан алынган жана сактоочу резервуарда сакталган жылуулукка жараша талданган. Иште системанын термодинамикалык параметрлери жана жалпак күн коллекторунун жылуулук насосу менен биргелешкен аракетинин энергетикалык анализи да эсептелген. Системанын эффективдүүлүгүнүн ар кандай шарттарындагы шаарлардын ар бири үчүн жылуулук энергиясына болгон муктаждыкты жабуу коэффициентин аныктоого мүмкүндүк берген жыйынтыктар салыштырылды. Эсептелген маалыматтар менен күн жылытуу системасынын жылуулук жана электр эффективдүүлүгү тиешелүүлүгүнө жараша 0,6 жана 0,15ке чейин белгиленген. Сактоочу жылуулук алмаштыргычтын эффективдүүлүгү 0,9, Ташкент шаарын жылытууга болгон керектөө – 70%, Алматы үчүн – 62%, Бишкек үчүн – 47% деп эсептелет. Бул баалуулуктар жалпак плита күн коллектору жана жылуулук насосу менен жылытуу системаларын колдоо үчүн жакшы мүмкүнчүлүктөрдү көрсөтүп турат.

**Негизги сөздөр:** күн коллектору, күн жылытуу системалары, термодинамикалык параметрлер, жылуулук насосу, жылуулук эффективдүүлүгү, энергия анализи, сактоочу резервуар.

В данной статье исследуется потенциал системы солнечного теплоснабжения, оснащенной плоскими солнечными коллекторами, баком-аккумулятором для хранения источника тепла и тепловым насосом для обогрева помещений небольшого здания, расположенного в трех разных городах Средней Азии. Было проанализировано поведение теплового насоса в зависимости от тепла, получаемого от плоских солнечных коллекторов и хранящегося в баке-аккумуляторе. В работе также были рассчитаны термодинамические параметры системы и энергетический анализ совместного взаимодействия

плоского солнечного коллектора с тепловым насосом. Для каждого из городов в различных условиях эффективности систем сравнивались результаты, которые позволили определить коэффициент покрытия потребности в тепловой энергии. При расчетных данных тепловая и электрическая эффективность системы солнечного теплоснабжения установлены соответственно на 0,6 и 0,15. Эффективность теплообменника накопителя считается равной 0,9, потребность для отопления города Ташкента составляет 70%, для Алматы – 62%, а для Бишкека – 47%. Данные значения показывают хороший потенциал для поддержки систем отопления с помощью плоского солнечного коллектора и теплового насоса.

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, системы солнечного теплоснабжения, термодинамические параметры, тепловой насос, тепловая эффективность, анализ энергии, резервуар для хранения.

This article explores the potential of a solar heat supply system equipped with flat solar collectors, a storage tank for storing a heat source and a heat pump for heating the premises of a small building located in three different cities of Central Asia. The behavior of the heat pump was analyzed depending on the heat received from flat solar collectors and stored in a storage tank. The thermodynamic parameters of the system and the energy analysis of the joint interaction of a flat solar collector with a heat pump were also calculated in the work. For each of the cities in different conditions of system efficiency, a comparison of the results was carried out, which made it possible to determine the coefficient of covering the need for thermal energy. Based on the calculated data, the thermal and electrical efficiency of the solar heat supply system is set at 0.6 and 0.15, respectively. The efficiency of the storage heat exchanger is considered to be equal to 0.9, the heating demand of the city of Tashkent is 70%, for Алматы - 62%, and for Bishkek - 47%. These values show a good potential for supporting heating systems with a flat solar collector and a heat pump.

**Key words:** solar collector, solar heat supply systems, thermodynamic parameters, heat pump, thermal efficiency, energy analysis, storage tank.

**Введение.** В европейской директиве 2020 года поставленные цели касаются сокращения выбросов парниковых газов на 20% по сравнению с уровнем 1990 года, покрытия потребностей в возобновляемых источниках энергии на 30% и повышения энергоэффективности на 20% [1]. В странах европейского союза меры по повышению энергоэффективности в частности, что касается зданий, жилой сектор, на долю которого приходится 27% и 17% мирового потребления энергии и выбросов CO<sub>2</sub>, привлек внимание ученых, которые работают над повышением энергоэффективности, тепловых насосов как системах отопления [2]. Тепловой насос – это электрическая тепловая система, которая играет фундаментальную роль в повышении энергетической эффективности и сокращения выбросов [3,4]. Для достижения максимальной производительности способными работать с несколькими источниками тепла посвящены исследования гибридно-му тепловому насосу [5,6]. С помощью систем аккумуляции тепла в условиях холодного климата задача связанная с теплонасосными системами, заключается в обеспечении их проверенных характеристик [7].

В Италии существует европейский проект под названием HEGOS, который изучает тепловой насос с несколькими источниками тепла [8].

В статье [9] исследователи уделяют внимание проектированию сезонных хранилищ тепловой энергии и других компонентов, таких как высокотемпературные тепловые насосы, которые необходимы для достижения эффективной работы установки. В работе [10] разработаны и исследованы воздушные тепловые насосы, которые имеют самые высокие эксплуатационные расходы с момента температуры как источника тепла, и подвергается значительным сезонным колебаниям. В статье [11] исследовано по применению солнечной системы отопления с помощью наземных тепловых насосов для типичного офисного здания в Китае. В работе [12] исследована и анализирована использование водяных тепловых насосов, которые используют солнечные коллекторы для нагрева жидкости внутри резервуара. В статье [13] разработаны геотермальные тепловые насосы с солнечными коллекторами, которые встроены в систему отопления. В работах [14, 15] разработаны гибридные системы, которые способны производить электрическую и тепловую энергию. В статье [16] исследованы гибридные системы обогрева помещений, состоящие из фотоэлектрических / Т-панелей и тепловых насосов. В работе [17] разработано и исследовано гибридные системы обогрева помещений в обеспечении энергией отопления зимой и горячей воды для бытовых нужд в другое время года, а также в выработке электроэнергии.

В данной работе рассматривается возможность использования теплового насоса с водяным источником в системе отопления, поддерживаемой системой

солнечного теплоснабжения, оснащенной баком-аккумулятором для хранения тепла, был проанализирован для здания. Плоский солнечный коллектор используется для подачи тепловой энергии для системы солнечного теплоснабжения и для обогрева помещений в трех различных среднеазиатских странах (Ташкент, Алматы и Бишкек). Следовательно, новизна этой работы связана с особым состоянием теплового насоса в системе солнечного теплоснабжения, который работает с баком-аккумулятором для хранения тепла, поддерживающим тепловой насос в отоплении здания.

**Методика исследования.** В известных тепловых насосах охлаждение компрессора осуществляется вентиляторами, что приводит к дополнительному расходу электроэнергии на их привод. Также не используется тепло, выделяемое нагретым компрессором.

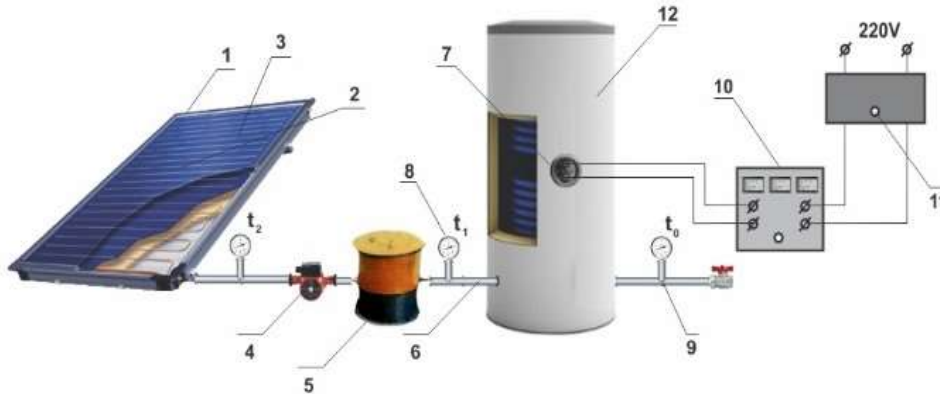
В предлагаемом техническом решении компрессор охлаждается при помощи испарителя. Для этого теплообменники испарителя и конденсатора изготавливаются в виде полого цилиндра, компрессор помещается во внутренней полости испарителя, а теплообменник конденсатора устанавливается соосно над испарителем. Процесс теплообмена между компрессором и внутренней стенкой теплообменника осуществляется по следующей схеме. Воздушный поток, циркулирующий в промежутке между компрессором и испарителем, движется вверх вдоль нагретой поверхности компрессора, снимая с него тепло. Затем, часть потока, соприкасаясь с внутренней холодной поверхностью теплообменника испарителя, опускается вниз, отдавая ему свое тепло. Ввиду того, что нагретая и холодная поверхности располагаются достаточно близко, также образуется теплообмен излучением между поверхностями.

Методикой данного исследования состоит в том, что избыточное тепло компрессора должно поглощаться собственным испарителем теплового насоса. При этом, будет достигаться тройной эффект. Первое, избыточное тепло тела компрессора, которое по сути является паразитным, будет вливаться в общий производимый тепловой поток. Второе, стабилизируется температура тела компрессора. Третье, исключается вентилятор, предназначенный для охлаждения тела компрессора и энергозатраты на его привод. Для реализации идеи авторами предлагается новое конструктивное решение теплового насоса, где теплообменники испарителя и конденсатора изготавливаются в форме полых цилиндров; компрессор помещается внутри полого цилиндра испарителя; теплообменник конденсатора размещается над испарителем, соосно с ним. Это приводит к образованию теплового потока между телом компрессора и внутренней полостью испарителя, избыточное тепло, выделяемое телом компрессора, вливается через конденсатор в общий

тепловой поток, увеличивая его. Научной новизной данной работы являются: закономерность температурного режима компрессора; зависимости температурного режима компрессора от взаимного расположения относительно испарителя; закономерности температурных режимов элементов, входящих в

общий тепловой контур теплового насоса, а также разработка новой конструкции контроллера управления теплового насоса.

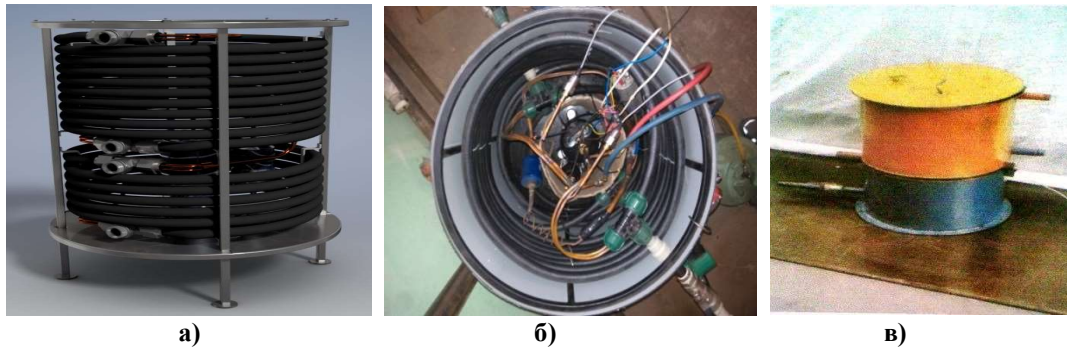
На рисунке 1 показана двухконтурная солнечная установка с термосифонной циркуляцией, предложенная в [15].



**Рис. 1.** Принципиальная схема двухконтурной солнечной системы с термосифонной циркуляцией:

- 1 – теплоизолированный корпус; 2 – светопрозрачная крышка; 3 – резервуар-поглотитель; 4 – циркуляционный насос;
- 5 – тепловой насос; 6 – трубопровод; 7 – корпус; 8, 9 – термометры для измерения температуры на входе и выходе из резервуара-поглотителя и окружающей среды; 10 – комплект электроизмерительных приборов К 501;
- 11 – автотрансформатор; 12 – бак-аккумулятор; 13 – контроллер.

Новизной данного исследования является создание солнечной установки с термосифонной циркуляцией, представляющей собой застекленное окно с пониженным содержанием теплоносителя, изготовленное из алюминия. Солнечная установка имеет дозирующий бак, который соединен с плоским солнечным коллектором с помощью металлопластиковой трубы. Имеется также резервуар для хранения воды из оцинкованного железа, утепленный стекловатой толщиной 15 см, а также крышка для защиты от атмосферных воздействий. На рисунке 2 представлена конструкция теплового насоса.



**Рис. 2.** Тепловой насос.

Потребность здания в тепловой энергии рассчитывается по следующей зависимости:

$$\dot{Q}_b = \dot{Q}_{wall} + \dot{Q}_{roof} + \dot{Q}_{base} + \dot{Q}_{wind} + \dot{Q}_{vent} \quad (1)$$

Включая потери тепла через стену:

$$\dot{Q}_{wall} = U_{wall} A_{wall} (T_{room} - T_{ext,amb}) \quad (2)$$

Потери тепла через крышу:

$$\dot{Q}_{roof} = U_{roof} A_{roof} (T_{room} - T_{ext,amb}) \quad (3)$$

Потери тепла через основание здания:

$$\dot{Q}_{base} = U_{base} A_{base} (T_{room} - T_{ext,ground}) \quad (4)$$

Потери тепла через окна:

$$\dot{Q}_{wind} = U_{window} A_{window} (T_{room} - T_{ext,amb}) \quad (5)$$

и потери при вентиляции:

$$\dot{Q}_{vent} = 0.17 * V (T_{room} - T_{ext,amb}) \quad (6)$$

В приведенных выше уравнениях:  $T_{room}$  – температура внутри помещения, установленная как 20 °С,  $T_{ext,amb}$  – температура внешней среды, полученная с

метеостанции (среднесуточная температура),  $T_{ext,ground}$  – температура грунта на глубине 0,5 м, полученная с метеостанции (среднесуточная температура),  $U_{wall}$ ,  $U_{roof}$ ,  $U_{base}$  и  $U_{window}$  – общий коэффициент теплопередачи стены, крыши, основания и окна соответственно.

$A_{wall}$ ,  $A_{roof}$ ,  $A_{base}$  and  $A_{window}$  – области теплопередачи стены, крыши, основания и окон соответственно,  $V$  – объем воздуха внутри здания.

Коэффициент полезного действия теплового насоса рассчитывается для соотношения:

$$COP = \eta_{comp} \frac{T_{load} + 273.15}{T_{load} - T_{source}} \quad (7)$$

где  $T_{load}$  – температура загружаемой жидкости,  $T_{source}$  – температура исходной жидкости (воды в баке). Тепловой поток, поглощаемый тепловым насосом, рассчитывается как:

$$\dot{Q}_{HP} = \dot{Q}_b \left(1 - \left(\frac{1}{COP}\right)\right) \quad (8)$$

Прирост тепла в расчеты не включается. Тепловая энергия, получаемая от плоского солнечного коллектора, рассчитывается как:

$$\dot{Q}_{collector} = n_{collector} q_{sol} A_{collector} \eta_{t,collector} \quad (9)$$

где  $n_{collector}$  – количество установленных фотоэлектрических панелей,  $q_{sol}$  – значение потока излучения, рассчитанное как:

$$q_{sol} = \frac{I}{n_{trh}} \quad (10)$$

где  $I$  – среднесуточное ежедневное прямое солнечное излучение,  $n_{trh}$  – количество часов ежедневного облучения,  $A_{collector}$  – площадь одного плоского солнечного коллектора,  $\eta_{t,collector}$  – тепловая эффективность системы охлаждения плоского солнечного коллектора.

Тепловой баланс резервуара для хранения определяется

$$\rho_{water} C_{p,water} V_{tank} \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_{collector} \eta_{HE} - \dot{Q}_{HP} - \dot{Q}_{loss} \quad (11)$$

Приведенные в таблице 1 значения прямого солнечного облучения и часов облучения приняты во внимание для городов Almaty, Tashkent и Bishkek.

Таблица 1

Среднемесячное ежедневное прямое солнечное излучение и ежедневное количество часов излучения в Алматы, Ташкенте и Бишкеке

Месяцы	Алматы		Ташкент		Бишкек	
	Прямое солнечное излучение [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ежедневное количество часов излучения	Прямое солнечное излучение [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ежедневное количество часов излучения	Прямое солнечное излучение [kWh/m <sup>2</sup> ]	Ежедневное количество часов излучения
Январь	2.23	2.00	2.45	2.23	2.24	2.00
Февраль	2.45	2.57	2.74	4.67	2.45	2.60
Март	3.76	3.56	3.87	5.56	3.80	3.65
Апрель	4.56	4.89	4.98	6.78	4.67	5.07
Май	5.56	5.88	6.23	7.78	5.67	5.98
Июнь	5.78	6.45	6.57	8.89	5.89	6.65
Июль	6.45	7.89	7.56	9.56	6.78	7.99
Август	5.67	8.34	5.78	9.98	5.78	8.56
Сентябрь	4.67	6.67	4.78	7.54	4.78	6.56
Октябрь	2.78	4.78	3.78	6.88	3.00	4.56
Ноябрь	2.76	4.88	3.33	4.88	2.77	4.56
Декабрь	1.10	1.55	1.55	3.45	1.05	1.50

Общая потребность здания в тепловой энергии рассчитывается как:

$$Q_{b,total} = \int_0^{\tau_{heating}} \dot{Q}_b d\tau \quad (12)$$

в то время как покрываемая потребность в отоплении рассчитывается для периода нагрева, л.с., когда тепловой насос использует накопительный бак для поддержки системы:

$$Q_{b,covered} = \int_0^{\tau_{heating,HP}} \dot{Q}_b d\tau \quad (13)$$

Эффективность системы отопления – это отношение покрытой потребности здания в отоплении к общей потребности здания в отоплении, рассчитанной за один год:

$$\eta_{heating} = \frac{Q_{b,covered}}{Q_{b,total}} \quad (14)$$

**Результаты и обсуждение.** Предлагаемая система хорошо работает для города Ташкент, покрывая 56% общих потребностей в отоплении, для города Алматы покрывается 52% потребностей в отоплении, в то время как для города Бишкек только 50% потребностей в отоплении может быть покрыто непосредственно из системы отопления. Стоит отметить, что система работает при высоком значении COP: для Ташкента оно составляет 5,75, для Алматы – 4,90, а для Бишкека – 4,87.

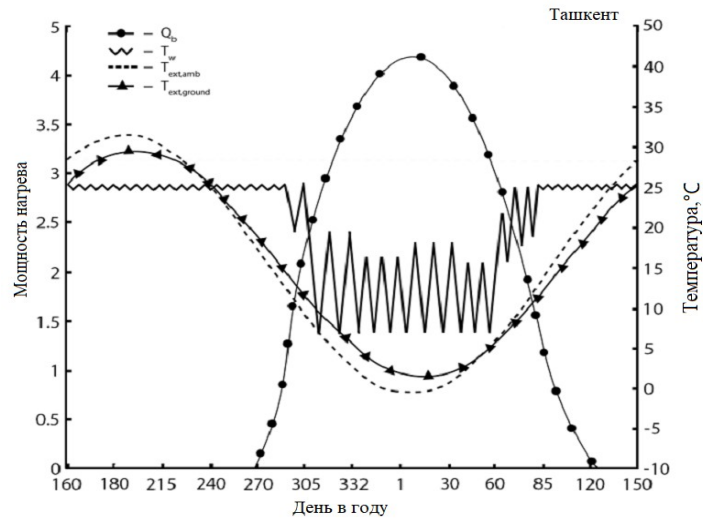


Рис. 3. Ежедневные потребления тепловой энергии здания в городе Ташкент.

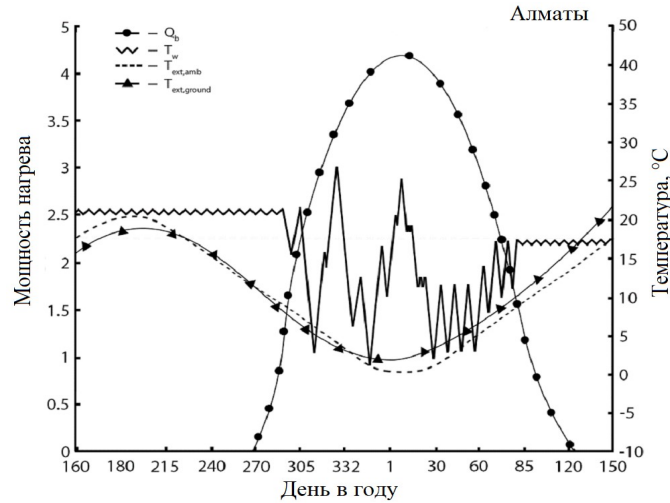


Рис. 4. Ежедневные потребления тепловой энергии здания в городе Алматы.

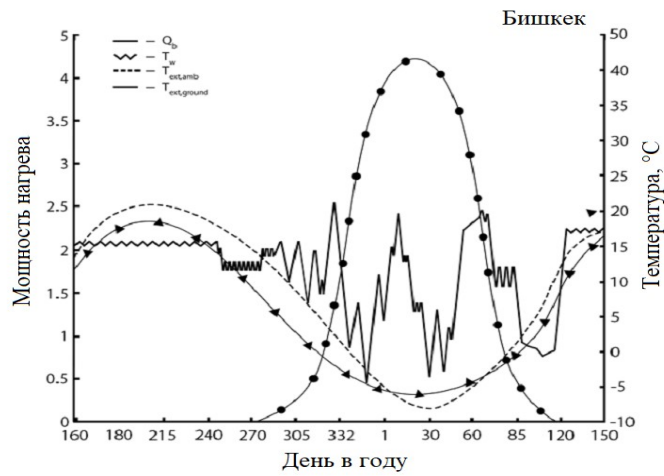


Рис. 5. Ежедневные потребления тепловой энергии здания в городе Бишкек.

Повышенная тепловая и электрическая эффективность системы солнечного теплоснабжения, а также более высокая эффективность теплообменника накопителя приводят к более высокой тепловой эффективности предлагаемой системы. Для Ташкента потребность в отоплении покрыта на 45%, для Алматы – на 60%, а для Бишкека – на 60%. Эти значения показывают относительно хороший потенциал для систем отопления на основе тепловых насосов. Поскольку используется относительно небольшой объем резервуара, повышение температуры воды с 7°C до 15°C занимает короткое время. Таким образом, система хранения может восстановить нагревательную способность за короткий период и поддерживать тепловой насос.

**Выводы.** В данном исследовании разработана установка, на которую влияют климатические условия, и работает в доступности солнечной радиации, которая меняется в зависимости от географического положения. При проведении экспериментальных работ, в случае г. Ташкента, где доступность солнечной радиации высока, а температура наружного воздуха высока, установка имеет довольно хорошую производительность, покрывающую до 65% потребности в отоплении; в Алматы и в Бишкеке, где уровни солнечной радиации ниже, Система солнечного теплоснабжения обеспечивает покрытие отопления в здании. Экспериментальные исследования подтвердили гипотезу – достигнуто саморегулируемое охлаждение, снижение температурного режим обмоток электродвигателя компрессора, рост теплопроизводительности за счет улучшения режима работы компрессора и поглощения тепла компрессора. Установлено оптимальное решение, когда компрессор располагается со смещением от центра и приближается к испарителю.

#### Литература:

1. Europa 2020 [www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu). (accessed online 22-04-2018).
2. Sayegh M.A., Jadwiszczak P., Axcell B.P., Niemierka E., Brys K., Jouhara H. Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating. *Energy Build* 2018; 166:122e44.
3. Bianco V., Scarpa F., Tagliafico L.A. Estimation of primary energy savings by using heat pumps for heating purposes in residential sector. *Appl Therm Eng* 2017; 114:938e47.
4. Dongellini M., Naldi C., Morini G. Sizing effects on the energy performance of reversible air-source heat pumps for office buildings. *Appl Therm Eng* 2017; 114:1073e81.
5. Chargui R., Sammouda H. Modeling of a residential house coupled with a dual source heat pump using TRNSYS software, 2014. *Energy Convers Manag* 2014; 81:384e99.
6. Grossi I., Dongellini M., Piazzi A., Morini G. Dynamic modeling and energy performance analysis of an innovative dual-source heat pump system. *Appl Therm Eng* 2018; 142:745e59.
7. Han Z., Qu L., Ma X., Song X., Ma C. Simulation of a multi-source hybrid heat pump system with seasonal thermal storage in cold regions. *Appl Therm Eng* 2017; 116:292e302.
8. 2017 HEGOS e CNA Innovazione, CIDEA, CIRI EC, TEKNEHUB, EN&TECH, <http://www.hegos.cnainnovazione.net/il-progetto/> (In Italian).
9. Bauer D., Marx R., Drück H. Solar district heating systems for small district with medium scale seasonal thermal energy stores. *Energy Procedia* 2016;91: 537e45.
10. Staffell I., Brett D.J.L., Brandon N., Hawkes A. A review of domestic heat pumps. *Energy Environ Sci* 2012; 5:9291e306.
11. Wang Z., Huang D., Wang P., Shen Q., Zhang Q., Sun Y. An analysis of solar heating system Assisted by ground-source heat pumps in office building. *Procedia Eng* 2015; 121:1406e12.
12. Tzivanidis C., Bellos E., Mitsopoulos G., Antonopoulos K.A., Delis A. Energetic and financial evaluation of a solar assisted heat pump heating system with other usual heating systems in Athens. *Appl Therm Eng* 2016; 106:87e97.
13. Emmi G., Zarrella A., De Carli M., Galgaro A. An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates. *Energy Convers Manag* 2015;106: 660e75.
14. Ge T.S., Wang R.Z., Xu Z.Y., Pan Q.W., Du S., Chen X.M., Ma T., Wu X.N., Sun X.L., Chen J.F. Solar heating and cooling: present and future development. *Renew Energy* 2018; 126:1126e40.
15. Chen H., Zhang L., Jie P., Xiong Y., Xu P., Zhai H. Performance study of heat-pipe solar photovoltaic/thermal heat pump system. *Appl Energy* 2017;190: 960e80.
16. Kamel R.S., Fung A.S., Dash P.R.H. Solar systems and their integration with heat pumps: a review. *Energy Build* 2015; 87:395e412.
17. Zhou J., Zhao X., Ma X., Du Z., Fan Y., Cheng Y., Zhang X. Clear-days operational performance of a hybrid experimental space heating system employing the novel mini-channel solar thermal & PV/T panels and a heat pump. *Sol Energy* 2017; 155:464e77.
18. Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж. Анализ термодинамических процессов происходящих в энергоустановках // Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2011. №6. С. 16-17. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26534681>
19. Турсунбаев Ж.Ж. Определение площади миделя параболического концентратора для солнечной энергетической установки // Вестник Кыргызстана. 2022. №2-2. С. 148-156. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50397455>