

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2022)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/WRIX7218>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

**\*А. В. Коломийцева**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
Республика Казахстан, г. Алматы

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЩЕСТВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

*Аккумуляция тепловой энергии - это технология, позволяющая накапливать тепловую энергию путем нагревания или охлаждения носителя, для того, чтобы накопленную энергию можно было использовать позднее для обогрева и охлаждения различных объектов. Эффективным методом хранения тепловой энергии является использование материалов с фазовым переходом. Вещества с фазовым переходом являются изотермическими по своей природе и, таким образом, обеспечивают накопление энергии более высокой плотности, и обладают способностью работать в различных температурных диапазонах. Аккумуляция тепловой энергии с использованием материалов с фазовым переходом широко используется в системах, работающих с солнечными коллекторами, фотогальваническими панелями, тепловыми насосами, системами кондиционирования, системами рекуперации тепла.*

*В данной статье описаны теоретические преимущества процесса использования аккумуляторов тепловой энергии. Рассмотрены вещества с фазовым переходом, которые являются основным компонентом системы, позволяющим эффективно использовать энергетические ресурсы. В статье содержится информация о основных типах веществ с фазовым переходом, их преимуществах и недостатках, а также сферах применения. Кроме того, в статье проводится сравнительный анализ веществ на основе их теплофизических характеристик. Также, приведены основные характеристики, которые необходимо учитывать при выборе вещества для создания теплового аккумулятора.*

*Ключевые слова: аккумулятор, фазовый переход, тепловая энергия, хранение энергии, скрытая теплота.*

## **Введение**

Ежегодный рост потребления энергии во всем мире, вызываемый ростом населения, улучшением качества жизни, высоким уровнем индустриализации, по современным прогнозам, может привести к увеличению спроса энергии на 47 % уже к 2040 году [1]. Данный спрос на энергию может быть удовлетворен двумя различными источниками, а именно: ископаемым топливом, запасы которого в природе ограничены, и возобновляемой энергией. Ископаемые виды топлива имеют ограничения с точки зрения доступности и негативного воздействия на окружающую среду. С другой стороны, возобновляемые источники, такие как солнечная энергия, биоэнергия, энергия ветра, геотермальная энергия и т. д., являются возобновляемыми по своей природе, свободно доступными. Но использование возобновляемых источников энергии также имеет определенные ограничения, особенно солнечная энергия, которая доступна только в дневное время и носит непостоянный характер. Следовательно, солнечная энергия требует наличие эффективного варианта хранения в дневное время, чтобы использовать ее при отсутствии солнечного излучения. Из-за отсутствия солнечной радиации в ночное время и непостоянства природы степень использования солнечной энергии во многом зависит от способа накопления энергии. Энергия в разных формах может храниться по-разному. Наиболее популярным вариантом хранения энергии являются батареи. Механическая энергия может храниться с использованием гидроаккумулирующих насосов, маховиков и аккумуляторов энергии на сжатом воздухе. Тепловая энергия может храниться в различных формах, таких как явное тепло, скрытое тепло и термохимическое или их комбинация. Аккумулирование явной тепловой энергии является своего рода ТЭС, которое связано с изменением температуры материала во время процессов зарядки и разрядки. Аккумулирование скрытой теплоты, в свою очередь, связано с переходом фазы из твердой в жидкую, из жидкой в газообразную или наоборот.

## **Материалы и методы**

Использование веществ с фазовым переходом для аккумулялирования тепловой энергии является наиболее эффективным методом хранения тепла [2]. Аккумуляторы с веществами с фазовым переходом (ВФП) считаются одной из наиболее перспективных технологий для уменьшения энергетических нагрузок в периоды высокого потребления. Потребности в энергии в жилом, промышленном, коммерческом и коммунальном секторах варьируются в зависимости от сезона и/или дня. Сезонное накопление тепла помогает избежать нехватки энергии и снижает высокие затраты на энергию за счет накопления тепловой энергии, когда солнечное излучение или другие источники энергии в изобилии или являются

недорогими. Таким образом, использование аккумуляторов с ВФП в данных сферах позволяют использовать энергию более эффективно, путем снижения тепловых потерь. Внедрение данных аккумуляторов, в такие процессы как нагрев воды, охлаждение, отопление и кондиционирование помещений, вызывает большой исследовательский интерес во всем мире. Однако проектирование экономичной системы хранения тепла с фазовым переходом включает в себя два сложных аспекта: один заключается в выборе подходящего аккумулирующего материала, а другой заключается в увеличении теплопередачи между аккумулирующим материалом и теплоносителем, поскольку производительность системы ограничена плохой теплопроводностью материала, аккумулирующего скрытую теплоту. В данной работе рассмотрен аспект выбора вещества с фазовым переходом для аккумуляции тепла.

### **Результаты и обсуждение**

Во время скрытого накопления тепла накопление энергии основано на поглощении или выделении тепла при фазовом переходе вещества. Тепло запасается в основном в процессе фазового перехода и непосредственно связано со скрытой теплотой вещества. Использование системы накопления тепловой энергии с использованием ВФП является эффективным способом хранения тепловой энергии и имеет ряд преимуществ в виде высокой плотности хранения энергии и изотермического характера процесса. Материалы для накопления тепла широко классифицируются на основе их физического изменения при процессе поглощения или выделения тепла. В зависимости от фазового перехода ВФП можно разделить на четыре типа: твердо-твердое, твердо-жидкое, твердо-газовое и жидко-газовое [3]. Из этих четырех типов твердо-жидкие ВФП являются наиболее подходящими для хранения тепловой энергии. На рисунке 1 представлены классификации твердо-жидких ВФП, которые подразделяются на органические, неорганические и эвтектические материалы [4]. ВФП подразделяют на разные группы в зависимости от природы материала (парафины, жирные кислоты, гидраты солей и т. д.).



Рисунок 1 – Классификация твердо-жидких ВФП

Характеристика видов ВФП:

*Органические ВФП.* Органические ВФП могут многократно плавиться и затвердевать без разделения фаз. Кристаллизуются с небольшим переохлаждением или без него. Обычно не вызывают коррозии.

*Неорганические ВФП.* Неорганические ВФП в основном используются в высокотемпературных солнечных батареях, при этом наиболее распространенной проблемой является их техническое обслуживание. Так как, при низких температурах они замерзают; при высоких температурах они сложны в эксплуатации. Энтальпия плавления не ухудшается во время циклических процессов.

*Металлические ВФП.* В эту категорию входят легкоплавкие металлы и их сплавы. Они редко используются в устройствах для хранения тепла из-за их низкой энтальпии плавления на единицу веса, даже если они имеют высокую энтальпию плавления на единицу объема и высокую теплопроводность. Обладают следующими особенностями: низкая теплота плавления на единицу веса; высокая теплота плавления на единицу объема; высокая теплопроводность; низкая удельная теплоемкость; относительно низкое давление паров

*Эвтектические материалы.* Представляют собой комбинацию двух или более легкоплавких материалов с одинаковыми температурами плавления и замерзания; эвтектики почти всегда плавятся и замерзают без расслоения,

имеют высокие показатели теплопроводности и плотности. Весовой процент каждого материала можно изменять, чтобы получить необходимую температуру плавления полученной эвтектической смеси. По этой причине они являются перспективным видом ВФП, однако менее распространены, чем другие виды. Несмотря на то, что они обладают низкой скрытой и удельной теплоемкостью

Парафиновый воск квалифицируется как ВФП, потому что его можно использовать в широком диапазоне температур, и он имеет достаточно высокую теплоту плавления. Парафиновый воск также может подвергаться замораживанию без явления переохлаждения. Следовательно, технический парафиновый воск является наиболее экономически выгодным и широко используемым ВФП [5].

Жирные кислоты представляют собой органические соединения, имеющие более высокую теплоту плавления по сравнению с парафиновым воском. Жирные кислоты обладают способностью плавиться и замерзать практически без переохлаждения. Одним из факторов, ограничивающим применение жирных кислот, является их стоимость, которая может быть в 2,0–2,5 раза выше стоимости парафина. Гидраты солей обычно представляют собой неорганическое соединение, с высокой плотностью объемного накопления скрытой теплоты. Металлы, в свою очередь, конкурентоспособны из-за их высокой теплопроводности и высокой теплоты плавления на единицу объема [6].

Однако у аккумуляторов теплоты на основе ВФП есть несколько недостатков. Например: они должны иметь длительный срок службы для того, чтобы окупить затраты на их производство; если требуется какой-либо ремонт, провести его без повреждения системы невозможно; а эффект переохлаждения снижает эффективность ВФП, что приводит к недостаточной рекуперации тепла. Так как ВФП могут состоять из нескольких компонентов, может произойти расслоение фаз, что уменьшает надежность устройства. Органические ВФП в устройствах существенно влияют на уровень пожарной безопасности системы. Для решения данной проблемы предлагается использовать антипирены для повышения пожарной безопасности при использовании органических ВФП. Преимущества и недостатки видов ВФП перечислены в таблице 1 [7].

Таблица 1 – Преимущества и недостатки видов ВФП

Тип ВФП	Достоинства	Недостатки
Органические ВФП	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Доступны для использования в широком диапазоне температур</li> <li>2. Отсутствует явление переохлаждения</li> <li>3. Совместимы с другими веществами</li> <li>4. Отсутствует разделение фаз</li> <li>5. Химически стабильны</li> <li>6. Безопасны в использовании</li> <li>7. Нерактивны</li> <li>8. Возможна переработка</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкая теплопроводность</li> <li>2. Легко воспламеняются</li> <li>3. Высокая стоимость, за исключением технического парафина</li> </ol>
Неорганические ВФП	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большой показатель объемной скрытой теплоты</li> <li>2. Более дешёвая стоимость</li> <li>3. Более высокая теплопроводность</li> <li>4. Низкая показатель изменения объема</li> <li>5. Негорючие</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подвержены переохлаждению</li> <li>2. Подвержены коррозии</li> </ol>
Эвтектические материалы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая температура плавления</li> <li>2. Высокая объемная плотность хранения теплоты</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточное количество данных о необходимых теплофизических свойствах</li> </ol>

### Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что основными характеристиками, необходимыми для ВФП, используемого в аккумуляторах тепловой энергии, являются:

Теплофизические свойства: температура плавления должна соответствовать рабочей температуре аккумулятора; высокий показатель скрытой теплоты плавления, отнесенный к единице объема; высокая удельная теплоемкость; высокие показатели теплопроводности твердой и жидкой фаз; малое объемное изменение во время фазового процесса; фазовый переход должен быть воспроизводим

Зарождение и рост кристаллов: высокие значения для скорости зародышеобразования, которые препятствуют переохлаждению жидкой фазы

во время затвердевания и гарантировать; наличие одинаковых температур плавления и затвердевания вещества; высокая скорость роста кристаллов.

Химические свойства: наличие полного обратимого цикла замораживания/плавления; отсутствие коррозионного воздействия на структурные материалы аккумулятора; нетоксичность, невоспламеняемость и невзрывоопасность.

Экономические и экологические характеристики: доступность; невысокая стоимость; простой процесс переработки; удовлетворительные экологические показатели на основе оценки жизненного цикла устройства

Однако, ни один материал не может обладать всеми свойствами, необходимыми для идеального теплового аккумулятора. Исходя из высокого потенциала аккумуляторов теплоты с ВФП, необходимо исследование данных веществ и минимизация обозначенных недостатков, с целью достижения поставленных задач. Так как, они находят применение в бытовом охлаждении; в обогреве и охлаждении зданий, в системах отопления на основе солнечной энергии, в процессах рекуперации отработанного тепла, абсорбционного охлаждения и производства электроэнергии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Sarbu, I., Sebarchievici, C.** A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage // *Sustainability*. – 2018. – № 10. – P. 191.

2 **Oro, E., Gracia, A. D., Castell, A., Farid, M. M., Cabeza, L. F.** (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications // *Applied Energy*. – 2012. – № 99. – P. 513–533.

3 **Raj, C. R., Suresh, S. R., Bhavsar, R. R., Singh, V. K.** Recent developments in thermo-physical property enhancement and applications of solid solid phase change materials // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2019. – № 139. – P. 3023–3049.

4 **Okogeri, O., Stathopoulos, V. N.** What about greener phase change materials? A review on biobased phase change materials for thermal energy storage applications. – 2021.

5 **Liu, M. S., Saman, W. Y., Bruno, F.** Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phase change thermal storage systems // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2012. – № 16. – P. 2118–2132.

6 **Pandey, A. K., Hossain, M. S., Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Jeyraj, A., Selvaraj, L., Sari, A. S.** Novel approaches and recent developments on potential applications of phase change materials in solar energy // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – № 82. – P. 281–323.

7 **Mofijur, M., Mahlia, T. M., Silitonga, A. S., Ong, H., Silakhori, M., Hasan, M. H., Putra, N., Rahman, S. M.** Phase Change Materials (PCM) for Solar Energy Usages and Storage: An Overview // *Energies*. – 2019.

8 **Мозговой, А. Г., Шпильрайн, Э. Э., Дибиров, М. А., Бочков, М. М., Левина, Л. Н., Кенисарин, М. М.** Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ [Текст]. – М. : ИВТАН, 1990. – № 2. – С. 105.

9 **Алексеев, В. А., Малозёмов, В. В.** Проектирование тепловых аккумуляторов [Текст]. – М. : МАИ, 2008. – 86 с

10 **Захарова, В. Ю., Файзуллин, Р. О., Бараненко, А. В., Кузнецов, П. А.** Методика расчета аккумуляторов холода с веществами с фазовым переходом [Текст] // *Вестник международной академии холода*. – 2021. – № 3. – С. 13–20.

## REFERENCES

1 **Sarbu, I., Sebarchievici, C.** A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage // *Sustainability*. – 2018. – № 10. – P. 191.

2 **Oro, E., Gracia, A. D., Castell, A., Farid, M. M., Cabeza, L. F.** (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications // *Applied Energy*. – 2012. – № 99. – P. 513–533.

3 **Raj, C. R., Suresh, S. R., Bhavsar, R. R., Singh, V. K.** Recent developments in thermo-physical property enhancement and applications of solid solid phase change materials // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2019. – № 139. – P. 3023-3049.

4 **Okogeri, O., Stathopoulos, V. N.** What about greener phase change materials? A review on biobased phase change materials for thermal energy storage applications. – 2021.

5 **Liu, M. S., Saman, W. Y., Bruno, F.** Review on storage materials and thermal performance enhancement techniques for high temperature phase change thermal storage systems // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2012. – № 16. – P. 2118–2132.

6 **Pandey, A. K., Hossain, M. S., Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Jeyraj, A., Selvaraj, L., Sari, A. S.** Novel approaches and recent developments on potential applications of phase change materials in solar energy // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – № 82. – P. 281–323.

7 **Mofijur, M., Mahlia, T. M., Silitonga, A. S., Ong, H., Silakhori, M., Hasan, M. H., Putra, N., Rahman, S. M.** Phase Change Materials (PCM) for Solar Energy Usages and Storage: An Overview // *Energies*. – 2019.

8 **Mozgovoij, A. G., SHpil'rajn, E. E., Dibirov, M. A., Bochkov, M. M., Levina, L. N., Kenisarin, M. M.** Теплофизические свойства теплоаккумуляторов

materialov. Kristallogidraty: Obzory po teplofizicheskim svoystvam veshchestv [Thermophysical properties of heat storage materials. Crystal Hydrates: Reviews on the Thermophysical Properties of Substances] – М.: IVTAN, 1990. – № 2. – P. 105.

9 **Alekseev, V. A., Malozyomov, V. V.** Proektirovanie teplovykh akkumulyatorov [Design of thermal accumulators]. – М. : MAI, 2008. – 86 p.

10 **Zaharova, V. YU., Fajzullin, R. O., Baranenko, A. V., Kuznecov, P. A.** Metodika rascheta akkumulyatorov holoda s veshchestvami s fazovym perekhodom [Method for calculating cold accumulators with substances with a phase transition] // Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda. – 2021. – №.3. – P. 13–20.

Материал поступил в редакцию 28.02.22.

*\*А. В. Коломийцева*

Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал 28.02.22 баспаға түсті.

## **ЖЫЛУ ЭНЕРГИЯСЫН ЖИНАҚТАУ ҮШІН ФАЗАЛЫҚ АУЫСУЫ БАР ЗАТТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ**

*Жылу энергиясын сақтау дегеніміз-жинақталған энергияны кейінірек әртүрлі нысандарды жылыту және салқындату үшін пайдалану үшін тасымалдаушыны жылыту немесе салқындату арқылы жылу энергиясын сақтауға мүмкіндік беретін технология. Жылу энергиясын сақтаудың тиімді әдісі-фазалық ауысу материалдарын пайдалану. Фазалық ауысуы бар заттар табиғатта изотермиялық болып табылады және осылайша жоғары тығыздықтағы энергияны сақтауды қамтамасыз етеді және әртүрлі температура диапазонында жұмыс істей алады. Фазалық ауысу материалдарын қолдана отырып, жылу энергиясын сақтау күн коллекторларымен, фотогальваникалық панельдермен, жылу сорғыларымен, ауаны салқындату жүйелерімен, жылуды қалпына келтіру жүйелерімен жұмыс істейтін жүйелерде кеңінен қолданылады.*

*Бұл мақалада жылу аккумуляторларын пайдалану процесінің теориялық артықшылықтары сипатталған. Энергетикалық ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін жүйенің негізгі компоненті болып табылатын фазалық ауысымы бар заттар қарастырылады. Мақалада фазалық ауысуы бар заттардың негізгі түрлері, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ қолдану салалары туралы ақпарат бар. Сонымен*

*қатар, мақалада заттардың термофизикалық сипаттамаларына негізделген салыстырмалы талдау жасалады. Сондай-ақ, жылу аккумуляторын жасау үшін затты таңдау кезінде ескеру қажет Негізгі сипаттамалар келтірілген.*

*Кілтімі сөздер: батарея, фазалық ауысу, жылу энергиясы, энергияны сақтау, жасырын жылу.*

*\*V. Kolomiitseva*

Al-Farabi Kazakh National University,  
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 28.02.22.

## **USE OF SUBSTANCES WITH PHASE TRANSITION FOR THE ACCUMULATION OF THERMAL ENERGY**

*Thermal energy storage is a technology that allows to accumulate thermal energy by heating or cooling the carrier, so that the accumulated energy can be used later for heating and cooling various objects. An effective method of storing thermal energy is the use of materials with a phase transition. Substances with a phase transition are isothermal in nature and, thus, provide energy storage of higher density, and have the ability to work in different temperature ranges. Thermal energy storage using phase transition materials is widely used in systems working with solar collectors, photovoltaic panels, heat pumps, air conditioning systems, heat recovery systems.*

*This article describes the theoretical advantages of the process of using thermal energy accumulators. Substances with a phase transition, which are the main component of the system that allows efficient use of energy resources, are considered. The article contains information about the main types of substances with phase transition, their advantages and disadvantages, as well as fields of application. In addition, the article provides a comparative analysis of substances based on their thermophysical characteristics. Also, the main characteristics that must be taken into account when choosing a substance to create a thermal accumulator are given.*

*Keywords: battery, phase transition, thermal energy, energy storage, latent heat.*

Теруге 28.02.2022 ж. жіберілді. Басуға 18.03.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,77 Мб RAM

Шартты баспа табағы 13,12. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3883

Сдано в набор 28.02.2022 г. Подписано в печать 18.03.2022 г.

Электронное издание

3,77 Мб RAM

Усл. печ. л. 13,12. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3883

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)