

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.577



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-22-30

Обзорная статья / Review article

**Методика охлаждения центрального процессора**

**Е.И. Страшко, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо**

Кубанский государственный технологический университет,  
350072, г. Краснодар, ул.Московская, д. 2, Россия

**Резюме. Цель.** Рассматриваются современные методы охлаждения центрального процессора, связанные с разработкой и применением различных хладагентов и охлаждающих веществ в различных видах персональных компьютеров. **Метод.** Важной научно-инновационной проблемой охлаждения центральных процессоров является разработка наиболее эффективного вида охлаждения для работы серверного оборудования при заметном сокращении расхода энергии. Одним из путей ее решения является сборка и применение таких установок, которые смогут за счет своей работоспособности предотвращать перегрев оборудования и его утилизацию. **Результат.** Представлены основные типы охлаждающих устройств, указаны их преимущества и недостатки, приведены схемы действия данных установок, а также результаты сравнительного анализа их работы. Описаны схемы элемента Пельтье, эффекта Зеебека; эффективность как обычных воздушных кулеров, так и сложных систем жидкостного охлаждения. **Вывод.** Выбор метода охлаждения центрального процессора зависит от потребностей пользователя и спецификаций процессора. Эффективность системы охлаждения зависит от качества компонентов и их совместимости с конкретной системой. Жидкостное охлаждение остается наиболее эффективным и перспективным способом охлаждения центральных процессоров в современных компьютерах.

**Ключевые слова:** охлаждающие устройства, перегрев оборудования, расход энергии

**Для цитирования:** Е.И. Страшко, М.В. Шамаров, Р.А. Жлобо. Методика охлаждения центрального процессора. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1):22-30. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-22-30

**Methods of CPU cooling**

**E.I. Strashko, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo**

Kuban State Technological University,  
2 Moskovskaya St., Krasnodar 350072, Russia,

**Abstract. Objective.** Modern methods of cooling the central processor associated with the development and use of various refrigerants and coolants in various types of personal computers are considered. **Method.** A significant scientific and innovative challenge in CPU cooling today is the development of cooling methods that are most efficient for server hardware while reducing energy consumption noticeably. One way to address this challenge is the assembly and use of installations capable of preventing equipment overheating and its disposal due to their functionality. **Result.** The main types of cooling devices are presented, their advantages and disadvantages are indicated, operation diagrams of these installations are given, as well as the results of a comparative analysis of their operation. The circuits of the Peltier element and the Seebeck effect are described; efficiency of both conventional air coolers and complex liquid cooling systems. **Conclusion.** The choice of CPU cooling method depends on the user's needs and processor specifications. The effectiveness of a cooling system depends on the quality of the components and their compatibility with the specific system. Liquid cooling remains the most effective and promising method for cooling central processors in modern high-performance computers.

**Keywords:** cooling devices, equipment overheating, energy consumption

**For citation:** E.I. Strashko, M.V. Shamarov, R.A. Zhlobo. Methods of CPU cooling. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(1):22-30. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-22-30

**Введение.** Охлаждающие устройства для центрального процессора персонального компьютера – это набор средств для отвода тепла от нагревающихся в процессе работы компьютерных компонентов.

**Постановка задачи.** Целью исследования является анализ решений по выбору и применению различных охлаждающих устройств центральных процессоров во всех видах персональных компьютеров, в том числе серверов.

**Методы исследования.** Высокая публикационная активность в данном направлении вызвана поиском наиболее эффективных, ресурсосберегающих способов охлаждения центральных процессоров. Критический анализ многочисленных литературных источников выявил наиболее важные проблемы различных устройств для понижения и удержания лучшей температуры для работы электронных вычислительных машин, помог найти пути развития для получения лучшего способа поглощения тепла.

**Обсуждение результатов.** В решении проблем с перегревом или низкой эффективностью работы процессоров важная роль принадлежит системам охлаждения, в число которых входят хладагенты технологии благодаря следующим преимуществам: уменьшение нагрева центрального процессора; бесшумность работы; компактность устройств, надежность и долговечность работы; минимальные затраты на техническое обслуживание; более эффективная работа процессора за счет поддержки комфортных для его работы температур. Сложность внедрения специального охлаждения вызвана следующими причинами: высокая стоимость техники, у аналогов стоимость меньше; необходимость использования хладагентов или сухой воды;

1) Устройство охлаждения кулером. Кулер, или «вентилятор» (от английского слова «cool»), представляет собой устройство, предназначенное для охлаждения чего-либо. Основной задачей любого кулера является снижение и поддержание температуры охлаждаемого объекта на заданном уровне. В зависимости от типа устройства, которое нужно охладить, будь то транзистор, микросхема, процессор или даже жесткий диск, применяются различные типы кулеров. Воздушный кулер оснащен вентилятором и радиатором, установленным сверху процессора. Они более экономичны по сравнению с жидкостными кулерами и легче в установке. Однако, в отличие от них, они часто бывают шумными из-за высокой скорости вращения. Кроме того, они могут занимать значительное пространство на материнской плате, что может ограничить возможность установки других компонентов.[1]

2) Жидкостное охлаждение (СЖО). В старых компьютерных устройствах использовались вентиляторы, но постепенно мощность процессоров выросла настолько, что обычные вентиляторы часто не справляются с задачей охлаждения. Система жидкостного охлаждения использует жидкость в качестве теплоносителя для эффективного отвода тепла от процессора наружу. Благодаря лучшей теплопроводности жидкости, такие системы более эффективно справляются с охлаждением. Принцип работы жидкостных охладителей отличается от обычных воздушных кулеров. В их механизме их действия можно легко разобрать.

Рассмотрим краткое описание принципа функционирования системы жидкостного охлаждения для процессора:

1. Насос обеспечивает постоянное движение жидкости в системе.
2. Жидкость по трубкам подается к нагретым компонентам компьютера, где установлены водяные блоки, и происходит эффективное отвод тепла.
3. Затем нагретая жидкость направляется в радиатор.
4. С помощью вентиляторов радиатора тепло обменивается с окружающей средой, обеспечивая эффективное охлаждение компонентов [2].

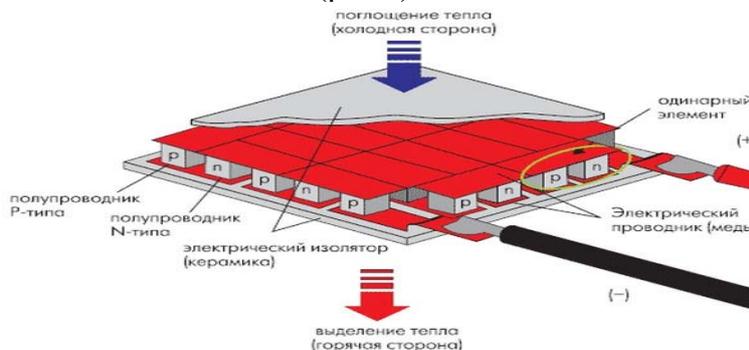
3) Рассмотрение устройства термопасты (рис.1). Важным фактором является рассмотрение термопасты, которая играет роль в регулировании тепла. Термопаста соединяет процессор с радиатором, создавая единое целое. Кроме того, она обладает высокой теплопроводностью, позволяя теплу быстро переходить от процессора к радиатору и обеспечивая эффективное охлаждение. Однако, при высыхании термопасты, передача тепла от процессо-

ра к радиатору замедляется, что приводит к постоянному перегреву. Этот перегрев сопровождается нестабильной работой компьютера и частыми перезагрузками. Если термопасту не заменить своевременно, компьютер может даже перестать запускаться из-за постоянных перегревов [3].



**Рис.1. Схема работы термопасты**  
**Fig.1. Thermal paste operation diagram**

4) Эффект Пельтье. Основой для всех термоэлектрических модулей лежит принцип разницы в энергетических уровнях электронов. Один из проводящих элементов представляет собой область с высокой проводимостью, а другой - с низкой. Когда через них пропускается ток, электронам требуется накопить энергию, чтобы перемещаться из низкоэнергетической области в высокоэнергетическую. В результате область, где происходит поглощение энергии электронами, начинает охлаждаться (рис.2).



**Рис. 2. Схема работы эффекта Пельтье**  
**Fig. 2. Scheme of the Peltier effect**

Изменяя полярность подключения элемента, можно переключить эффект с охлаждения на нагревание. Этот эффект наблюдается у всех элементов, но проявляется сильнее при использовании полупроводников. Термоэлектрический модуль (ТЭМ) состоит из множества термопар. Сама термопара представляет собой пару разнородных полупроводников, соединенных медной пластиной. Эти полупроводники изготавливаются из солей металлов, таких как теллур, висмут, селен или сурьма [4]. Термопары соединены в последовательную цепь и закрыты керамическими пластинами с обеих сторон. Поскольку количество термопар может различаться, мощность элемента Пельтье также может значительно варьировать. Постоянный ток приводит к нагреванию одной части элемента (например, верхней), в то время как другая (нижняя) охлаждается. Переключение полярности приводит к обратному эффекту, где нагреваемая и охлаждаемая стороны меняются местами. Интересной особенностью работы такого элемента является то, что при принудительном охлаждении нагреваемой стороны разница в температуре с окружающим воздухом может стать гораздо больше, достигая десятков градусов. Однако у такого элемента есть и недостаток - его низкий коэффициент полезного действия (КПД) [5].

5) Эффект Зеебека. Также известный как термоэлектрический эффект, описывает появление разницы в потенциале при соединении двух разнотипных материалов после нагрева определенного участка. Этот эффект был назван в честь ученого, который впервые обнаружил его в 1822 году. Ученый провел эксперимент, нагревая контакты двух различных металлических сплавов, в данном случае висмута и сурьмы. Изменения были зафиксированы с помощью гальванометра. Путем удержания участка контакта между металлами ученый заметил изменение положения стрелки. На первых порах разница была незначительной, но

последующие эксперименты привели к желаемым результатам [6]. Термоэлектрический эффект обнаружен благодаря возникновению движущейся электрической силы в замкнутом контуре, состоящем из различных материалов. В последствии выяснилось, что разница в температуре вызывает появление термоэдс, что приводит к появлению электрического тока в контуре.

В настоящее время эффект Зеебека полностью исследован и нашел широкое применение во многих областях человеческой деятельности. Однако его наибольшее применение наблюдается в производстве термопар [7]. Главным образом эффект Зеебека основан на том, что в замкнутом контуре из двух разных материалов возникает разница в потенциале, когда их контакты имеют разные температуры. Другими словами, эффект Зеебека зависит от состава проводников и их температур (рис.3).



**Рис. 3. Схема работы эффекта Зеебека**

**Fig. 3. Scheme of the Seebeck effect**

При наличии температурного градиента вдоль проводника скорость движения электронов на нагретом конце становится выше, чем на ненагретом. Согласно физическим законам, электроны из нагретой стороны будут двигаться к холодной стороне, создавая отрицательный заряд. На холодной стороне будет накопление положительных зарядов. Эти заряды будут накапливаться до тех пор, пока потенциальная разница не достигнет уровня, при котором электроны начнут двигаться в обратном направлении, и система придет в равновесие [8]. Эффект Зеебека характеризуется следующими свойствами:

1. Между контактами возникает разница в потенциале, что связано с различием в энергии Ферми в различных проводящих материалах. При замыкании цепи происходит выравнивание потенциалов электронов, и разница в потенциале возникает между контактами, создавая электрическое поле в тонком приграничном слое.

2. При замыкании цепи в проводниках появляется напряжение, которое направляется от более высокого потенциала к менее высокому. Изменение температуры также влияет на величину этого напряжения. При равных температурах уровень электрополя равен нулю.

3. В проводниках с магнитными свойствами возникает магнетное увеличение, и эффект Зеебека вызывает появление электронов, двигающихся вместе с магнетонами [9].

б) Рассмотрение возможности охлаждения процессоров с использованием сухой воды NOVEC 120 и аналогичных охлаждающих жидкостей проводится в рамках специальной системы охлаждения, известной как жидкостное охлаждение. Жидкостное охлаждение становится все более популярным методом для охлаждения высокопроизводительных компьютерных систем, включая игровые и серверные компьютеры, где требуется эффективное и надежное охлаждение [10]. NOVEC 120 - это товарный знак одной из жидкостей, разработанных компанией 3M, которая может использоваться в системах жидкостного охлаждения. Основные преимущества использования таких охлаждающих жидкостей, включая NOVEC 120, для процессоров включают в себя следующее:

1. Отличная теплопроводность: Эти жидкости обладают высокой теплопроводностью, что позволяет эффективно отводить тепло от процессора.

2. Бесшумность: В отличие от вентиляторов, которые могут быть шумными, жидкостное охлаждение работает более бесшумно, что особенно важно для пользователей, ценящих тихую работу компьютера.

3. Высокая эффективность: Охлаждение жидкостью обычно более эффективно, чем воздушное охлаждение, особенно при охлаждении процессоров с высокой производительностью и разгоном.

4. Компактные трубки и радиаторы: Системы жидкостного охлаждения могут быть компактными и плоскими, что позволяет установить их в корпусе компьютера без существенных проблем [11]. Жидкостное охлаждение требует более сложной установки, чем воздушное охлаждение, и может быть более дорогостоящим. Кроме того, важно правильно спроектировать систему жидкостного охлаждения и следить за ее обслуживанием, чтобы избежать проблем, таких как утечки. Некоторые компании предлагают готовые системы жидкостного охлаждения для процессоров, что может быть более удобным вариантом для пользователей, не имеющих опыта в сборке подобных устройств [12].

7) Рассмотрение охлаждения ядерных реакторов для анализа возможности использовать подобный формат для серверного оборудования или домашнего компьютера. Отвод тепла от ядерных реакторов является важным этапом в выработке энергии в результате ядерных реакций. В ядерной инженерии существует ряд эмпирических или полуэмпирических соотношений, используемых для количественной оценки процесса отвода тепла из активной зоны ядерного реактора, чтобы реактор работал в прогнозируемом интервале температур, который зависит от материалов, используемых в конструкции реактора [13]. Эффективность отвода тепла из активной зоны реактора зависит от многих факторов, включая используемые охлаждающие агенты и тип реактора.

Распространенные жидкие охлаждающие жидкости для ядерных реакторов включают: деионизированную воду (с борной кислотой в качестве химической прокладки при раннем выгорании), тяжелую воду, более легкие щелочные металлы (такие как натрий и литий), свинец или эвтектические сплавы на основе свинца, такие как свинец-висмут, и NaK, эвтектический сплав натрия и калия. Реакторы с газовым охлаждением работают с такими охлаждающими веществами, как диоксид углерода, гелий или азот, но некоторые очень мало мощные исследовательские реакторы даже были охлаждены воздухом с помощью Chicago Pile 1, использующего естественную конвекцию окружающего воздуха для устранения незначительной выходной тепловой мощности [14]. Продолжаются исследования по использованию сверхкритических жидкостей в качестве охлаждающих жидкостей для реакторов, но до настоящего времени ни сверхкритический водный реактор, ни реактор, охлаждаемый сверхкритическим диоксидом углерода, ни какой-либо другой реактор со сверхкритическим жидкостным охлаждением никогда не был построен [15].

Исходя из этой информации можно сделать вывод, почему такой принцип не подходит для ПК или серверного оборудования:

**Масштаб.** Ядерные реакторы имеют огромные размеры и высокие мощности. Они генерируют огромное количество тепла, которое должно быть эффективно отводимо. Домашние компьютеры, даже с мощными процессорами и видеокартами, генерируют намного меньше тепла по сравнению с ядерными реакторами, и им не требуется такой экстремальной системы охлаждения. [16]

**Сложность.** Системы охлаждения для ядерных реакторов являются крайне сложными и дорогостоящими. Они включают в себя специализированные компоненты, такие как парогенераторы, турбины, контур охлаждения и так далее. В домашних компьютерах используются намного более простые системы охлаждения, такие как вентиляторы и радиаторы.

**Безопасность.** Охлаждение ядерных реакторов также связано с вопросами безопасности и радиационным контролем. Это несравнимо с охлаждением домашних компьютеров, которое не подразумевает такие сложные меры безопасности.

**Эффективность.** Принципы охлаждения ядерных реакторов оптимизированы для высокой эффективности и долгосрочной стабильной работы. Они могут обеспечить охлаждение на долгие периоды времени при высоких температурах. Домашние компьютеры требуют более простых и доступных систем охлаждения, которые не предназначены для работы в

таких экстремальных условиях [17]. Следует вывод, что принцип охлаждения ядерных реакторов не подходит для охлаждения домашних компьютеров из-за различий в масштабе, сложности, безопасности и эффективности этих систем охлаждения.

8) Охлаждение ЦП жидким гелием. Охлаждение процессоров с использованием жидкого гелия - это нестандартный и экспериментальный метод, который используется для достижения экстремально низких температур в целях увеличения производительности. Этот метод не является обычной или рекомендованной практикой для обычных пользователей, и его применение требует специализированного оборудования и знаний. Принцип работы охлаждения процессора с помощью жидкого гелия заключается в использовании физических свойств жидкого гелия. Гелий - это инертный газ, который при низких температурах становится жидким. Он имеет очень низкую температуру кипения, около  $-269$  градусов по Цельсию ( $-452$  по Фаренгейту), что делает его одним из самых холодных известных веществ [18]. Процедура охлаждения процессора с использованием жидкого гелия обычно включает в себя следующие шаги:

Подготовка жидкого гелия: жидкий гелий должен храниться в специальном сосуде, изолированном от окружающей среды, чтобы избежать его испарения. Гелий может быть поставлен в контейнер с системой подачи, чтобы поддерживать стабильное давление и температуру.

Нанесение жидкого гелия: жидкий гелий наносится на поверхность процессора или других компонентов, которые требуют охлаждения. При контакте с жидким гелием процессор быстро охлаждается, так как гелий испаряется при своей низкой температуре кипения.

Испарение и охлаждение: при испарении жидкого гелия происходит поглощение тепла с поверхности процессора, что приводит к его охлаждению. Процессор может быстро достичь экстремально низких температур, близких к абсолютному нулю ( $-273,15^{\circ}\text{C}$  или  $-459,67^{\circ}\text{F}$ ).

Управление системой: охлаждение процессора с помощью жидкого гелия требует специальной системы управления, которая регулирует подачу жидкого гелия и поддерживает стабильные температуры во избежание конденсации или других проблем (рис.4) [19].

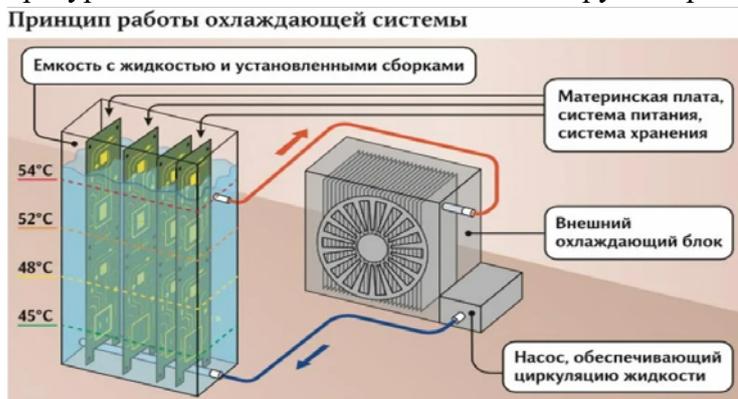


Рис. 4. Общая схема охлаждения процессора  
Fig. 4. General processor cooling scheme

Этот метод охлаждения чрезвычайно эффективен и позволяет достичь очень низких температур, что может быть полезно в некоторых экстремальных сценариях, например, при разгоне процессора для установления рекордов производительности. Однако он требует специализированного оборудования, аккуратности и осторожности, так как неправильное использование может привести к повреждению компонентов. Важно помнить, что обычным пользователям, занимающимся повседневными задачами, не требуется использовать жидкий гелий для охлаждения своих процессоров. Обычные системы охлаждения в виде вентиляторов и радиаторов обеспечивают достаточное охлаждение для стабильной работы компьютера [20].

**Вывод.** Основываясь на анализе различных методов охлаждения и сравнительных испытаниях с использованием различных типов охлаждающих устройств, можно сделать несколько ключевых выводов.

Во-первых, эффективное охлаждение процессора является неотъемлемой частью обеспечения стабильной и надежной работы компьютера. Высокие температуры могут привести к перегреву, что в свою очередь может вызвать снижение производительности и даже повреждение процессора.

Во-вторых, существует множество различных методов охлаждения, включая воздушное охлаждение и жидкостное охлаждение. Выбор метода зависит от потребностей пользователя и спецификаций процессора.

В-третьих, исследование подтверждает, что качество охлаждающих устройств влияет на эффективность охлаждения. Высококачественные кулеры и системы охлаждения обеспечивают более стабильную и надежную работу процессора, даже при высоких нагрузках. В конечном итоге, самым эффективным способом охлаждения центрального процессора (ЦП) остается жидкостное охлаждение. Это обосновано высокой теплопроводностью жидкости и способностью эффективно отводить тепло от ЦП.

Особенно это важно для современных процессоров с высокой производительностью и геймерских систем, которые генерируют значительное количество тепла при интенсивной работе. Преимущества жидкостного охлаждения включают в себя высокую эффективность в сравнении с воздушным охлаждением, бесшумность, компактные радиаторы и возможность поддержания низких температур ЦП даже при максимальной нагрузке [21]. Это особенно важно для увеличения срока службы процессора и предотвращения перегрева, который может негативно сказаться на его производительности и стабильности. Однако жидкостное охлаждение требует более сложной установки и обслуживания, а также может быть более дорогим вариантом в сравнении с воздушным охлаждением. Необходимо также учесть, что выбор системы охлаждения должен соответствовать конкретным потребностям и бюджету пользователя.

Важно подчеркнуть, что эффективность системы охлаждения ЦП также зависит от качества компонентов и их совместимости с конкретной системой. Всегда рекомендуется проводить исследование и консультироваться с профессионалами, чтобы выбрать наилучший вариант охлаждения ЦП для конкретной ситуации. В конечном итоге, жидкостное охлаждение остается наиболее эффективным и перспективным способом охлаждения центральных процессоров в современных высокопроизводительных компьютерах.

#### **Библиографический список:**

1. Киц В.П., Новиков А.А., Пахомова С.А. Эффективность жидкостного охлаждения центрального процессора персонального компьютера // Инженерный вестник. 2015. № 1. С. 2.
2. Амеликин С.А., Карпеш С.В., Клементьев А.Д., Петров А.А. Разработка системы автоматического управления погружным жидкостным охлаждением высокопроизводительных вычислительных комплексов // Программные системы: теория и приложения. 2016. Т. 7. № 1 (28). С. 209-219.
3. Колпаков А. Возвращаемся к термопасте.// Силовая электроника. 2015. Т. 3. № 54. С. 90-95.
4. Мамедов М.М., Аннаовезова Э.Б., Мамедов Б.М. Интерпретация эффектов Зеебека и Пельтье в рамках универсальной неравновесной термодинамики.// Актуальные проблемы современной науки. 2016. № 6 (91). С. 150-154.
5. Беляев Ю.И., Гринюк А.В., Иванков В.И. Исследование термических свойств материалов на основе комплексного учета эффектов Пельтье и Зеебека // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. 2011. Т. 13. № 1. С. 131-132.
6. Павлов А.Н., Раевский И.П., Сахненко В.П., Куропаткина С.А., Раевская С.И. Влияние межкристаллитных потенциальных барьеров на формирование термоэлектродвижущей силы и эффекта Пельтье в поликристаллических сегнетоэлектриках-полупроводниках.//Физика твердого тела. 2006. Т. 48. № 10. С. 1812-1816.
7. Бикбулатов А.И., Ишембетов Р.Х., Кутербеков К.А. Электронный эффект Пельтье в AG0.03CU1.97SE , AG0.04CU1.96SE //Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании. Тезисы докладов VIII Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых. 2015. С. 56.

8. Охрем В.Г., Охрем Е.А. Термоэлектрический холодильник на основе объемного эффекта Пельтье //Термоэлектричество. 2003. № 1. С. 34-36.
9. Михалев С.И. Применение элементов Пельтье при реализации эффекта Зеебека, для выработки дополнительной электрической энергии // Современныe технологии в науке и образовании - СТНО-2019. Сборник трудов II международного научно-технического форума: в 10 т.. Под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2019. С. 111-114.
10. Семенов А.Н. Разработка математической модели жидкостного охлаждения для автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры Асоника// Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ. Материалы конференции. Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». 2014. С. 95-96.
11. Тригорльий С.В., Скрипкин А.А. Моделирование охлаждения процессоров и управление тепловыми режимами их эксплуатации //Вестник Саратовского государственного технического университета 2022. № 4 (95). С. 14-26.
12. Пельтье Икрянников Н.Д., Достовалов Н.Н. Разработка камеры Вильсона с охлаждением на элементах. // Сборник: интеллектуальный потенциал Сибири. Сборник научных трудов 29-ой региональной научной студенческой конференции, посвященной году науки и технологий в России. в 5-ти частях. под редакцией д.о. Соколовой. Новосибирск, 2021. с. 273-277.
13. Шеин С.Е., Струцев Е.Д., Нечаев Г.П., Чичиндаев А.В. Сравнительный анализ систем охлаждения на основе криогенных теплоносителей // Сборник: Наука. технологии. инновации. Сборник научных трудов: в 9 частях. Под редакцией А.В. Гадюкина. 2018. С. 80-83.
14. Пискун Г.А., Алексеев В.Ф., Беликов А.Н., Рыбаков Д.Г. Влияние ориентации каналов в кулерах воздушного охлаждения на эффективность отведения тепла от процессоров.//Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2023. Т. 21. № 5. С. 33-41.
15. Смирнов В.П. Термоядерная энергетика - Крупнейший международный инновационный проект //Российский химический журнал 2008. Т. 52. № 6. С. 79-94.
16. Нестеров Г.Д., Демидовский А.С. Оптимизация параметров элементов компьютерной системы //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 117. С. 164-174.
17. Романовский В.Р. Механизмы возникновения токовой неустойчивости в высокотемпературных сверхпроводниках, охлаждаемых жидким хладагентом // Журнал технической физики. 2009. Т. 79. № 12. С. 44-51.
18. Agarov N.N., Batin V.I., Emelianov N.E., Hisameev I.G., Krakovsky B.D., Mitrofanova Y.A., Nikiforov D.N., Popov O.M., Trubnikov G.V., Udut V.N., Ziskin G.F. Cryogenics for the future accelerator complex nica at jinj //Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2014. Т. 11. № 4 (188). С. 760-767.
19. Шеин С.Е., Струцев Е.Д., Нечаев Г.П., Чичиндаев А.В. Сравнительный анализ систем охлаждения на основе криогенных теплоносителей //Наука. технологии. инновации. Сборник научных трудов: в 9 частях. Под редакцией А.В. Гадюкина. 2018. С. 80-83.
20. Пустовит А.Н., Ионов А.М. Криосистема для охлаждения образцов вторично-ионного масс-спектрометра со статическим анализатором// Приборы и техника эксперимента. 2014. № 1. С. 133.
21. Винокуров Е.В. Устройство центрального процессора персонального компьютера// Научные высказывания. 2022. № 1 (9). С. 20-22.

#### References

1. Kitz V.P., Novikov A.A., Pakhomova S.A. Effectiveness of Liquid Cooling for a Personal Computer Central Processor. *Engineering Bulletin*. 2015;1:2. (In Russ)
2. Amelkin S.A., Karpesh S.V., Klementyev A.D., Petrov A.A. Development of an Automatic Control System for Immersion Liquid Cooling of High-Performance Computing Complexes. *Software Systems: Theory and Applications*. 2016; 7(1) (28): 209-219. (In Russ)
3. Kolpakov A. Revisiting Thermal Paste. *Power Electronics*. 2015; 3(54): 90-95. (In Russ)
4. Mamedov M.M., Annaovezova E.B., Mamedov B.M. Interpretation of Seebeck and Peltier Effects within the Framework of Universal Non-equilibrium Thermodynamics. *Current Problems in Modern Science*. 2016; 6 (91): 150-154. (In Russ)
5. Belyaev Y.I., Grinyuk A.V., Ivankov V.I. Investigation of Thermal Properties of Materials Based on a Comprehensive Account of the Peltier and Seebeck Effects. *Bulletin of the International Academy of Systems Research, Informatics, Ecology, Economics*. 2011; 13(1):131-132. (In Russ)
6. Pavlov A.N., Raevskiy I.P., Sakhnenko V.P., Kuropatkina S.A., Raevskaya S.I. Influence of Intergranular Potential Barriers on the Formation of Thermoelectromotive Force and the Peltier Effect in Polycrystalline Ferroelectric-Semiconductor Materials. *Solid State Physics*. 2006; 48(10):1812-1816. (In Russ)
7. Bikbulatov A.I., Ishembetov R.K., Kuterbekov K.A. Electronic Peltier Effect in AG0.03CU1.97SE, AG0.04CU1.96SE Fundamental Mathematics and Its Applications in Natural Sciences. Abstracts of the VIII International School-Conference for Students, Postgraduates, and Young Scientists. 2015;56. (In Russ)

8. Okhrem V.G., Okhrem E.A. Thermoelectric Refrigerator Based on the Bulk Peltier Effect. *Thermoelectricity*. 2003;1: 34-36.
9. Mikhailiev S.I. Application of Peltier Elements in Realizing the Seebeck Effect for Generating Additional Electrical Energy. Modern Technologies in Science and Education STNO-2019. Proceedings of the II International Scientific and Technical Forum in 10 volumes. Edited O.V. Milovzorov. 2019;111-114. (In Russ)
10. Semenenko A.N. Development of a Mathematical Model for Liquid Cooling in an Automated System for Ensuring the Reliability and Quality of Asynchronous Apparatus // Scientific and Technical Conference for Students, Postgraduates, and Young Specialists of the National Research University "Higher School of Economics." Conference Materials. Moscow Institute of Electronics and Mathematics of the National Research University "Higher School of Economics." 2014; 95-96. (In Russ)
11. Trigorly S.V., Skripkin A.A. Modeling Processor Cooling and Managing Their Thermal Modes of Operation // Bulletin of Saratov State Technical University. 2022. No. 4 (95). P. 14-26. (In Russ)
12. Peltier I., Ikryanikov N.D., Dostovalov N.N. Development of a Wilson Chamber with Element Cooling. // Collection: Intellectual Potential of Siberia. Collection of Scientific Papers of the 29th Regional Scientific Student Conference Dedicated to the Year of Science and Technology in Russia. In 5 parts. Edited by D.O. Sokolova. Novosibirsk, 2021; 273-277. (In Russ)
13. Shein S.E., Strutsev E.D., Nechaev G.P., Chichindaev A.V. Comparative Analysis of Cooling Systems Based on Cryogenic Coolants. *Collection: Science. Technology. Innovation. Collection of Scientific Papers in 9 parts*. Edited by A.V. Gadyukin. 2018; 80-83. (In Russ)
14. Piskun G.A., Alexeev V.F., Belikov A.N., Rybakov D.G. Influence of the Orientation of Channels in Air Cooling Heatsinks on the Efficiency of Heat Dissipation from Processors. *Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*. 2023; 21(5):33-41.
15. Smirnov V.P. Thermonuclear Energy - The Largest International Innovation Project. *Russian Chemical Journal*. 2008; 52(6.):79-94. (In Russ)
16. Nesterov G.D., Demidovskiy A.S. Optimization of Computer System Parameters. *Multidisciplinary Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2016; 117:164-174. (In Russ)
17. Romanovsky V.R. Mechanisms of Current Instability in High-Temperature Superconductors Cooled with Liquid Coolant. *Journal of Technical Physics*. 2009; 79 (12):44-51. (In Russ)
18. Agapov N.N., Batin V.I., Emelianov N.E., Hisameev I.G., Krakovsky B.D., Mitrofanova Y.A., Nikiforov D.N., Popov O.M., Trubnikov G.V., Udut V.N., Ziskin G.F. Cryogenics for the Future Accelerator Complex NICA at JINR. *Letters in the Journal of Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei*. 2014; 11. ( 4) (188):760-767. (In Russ)
19. Shein S.E., Strutsev E.D., Nechaev G.P., Chichindaev A.V. Comparative Analysis of Cooling Systems Based on Cryogenic Coolants. *Science. Technology. Innovation. Collection of Scientific Papers in 9 parts*. Edited by A.V. Gadyukin. 2018; 80-83. (In Russ)
20. Pustovit A.N., Ionov A.M. Cryogenic Cooling System for a Secondary Ion Mass Spectrometer with a Static Analyzer. *Instruments and Experimental Techniques*. 2014;1:133. (In Russ)
21. Vinokurov E.V. Central Processor Device for a Personal Computer. *Scientific Statements*. 2022;1(9): 20-22. (In Russ)

**Сведения об авторах:**

Страшко Егор Игоревич, студент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; [tukann.tukann@mail.ru](mailto:tukann.tukann@mail.ru)

Шамаров Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; [schmax@mail.ru](mailto:schmax@mail.ru)

Жлобо Руслан Андреевич, старший преподаватель кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения; [rzhlobo@bk.ru](mailto:rzhlobo@bk.ru)

**Information about authors**

Egor I. Strashko, Student, Department of Technological Equipment and Life Support Systems; [tukann.tukann@mail.ru](mailto:tukann.tukann@mail.ru)

Maxim V. Shamarov, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Technological Equipment and Life Support Systems; [schmax@mail.ru](mailto:schmax@mail.ru)

Ruslan A. Zhlobo, Senior Lecturer, Department of Technological Equipment and Life Support Systems; [rzhlobo@bk.ru](mailto:rzhlobo@bk.ru)

**Конфликт интересов/Conflict of interest.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.**

**Поступила в редакцию/Received 12.12.2023.**

**Одобрена после рецензирования/ Reved 29.12.2023.**

**Принята в печать/Accepted for publication 29.12.2023.**