

“Материалы для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов: от 40-х XX
века до наших дней”

Автор:
Смирнова Ника Сергеевна,
10 «В класс»

Оглавление

Введение	3
Основная часть.....	4
Материалы для охлаждающих систем и тепловых аккумуляторов в 1940-1970-е годы	4
Материалы для охлаждающих систем и тепловых аккумуляторов в 1970-2010-е годы	5
Современные материалы и будущие тенденции	6
Заключение.....	8
Список литературы.....	9

Введение

В современном мире системы охлаждения и тепловые аккумуляторы стали неотъемлемой частью инфраструктуры, обеспечивающей эффективную работу энергетики, промышленности, транспорта и бытовых устройств. Их роль особенно возросла в условиях стремительного роста энергопотребления, ужесточения экологических требований и необходимости повышения энергоэффективности большинства существующих процессов.

Ключевым элементом любой системы охлаждения или аккумуляирования тепла выступают материалы, из которых изготовлены основные функциональные компоненты — теплообменники, теплоаккумулирующие элементы, изоляция и рабочие среды. Именно выбор и развитие материалов определяют долговечность, эффективность, безопасность и экологичность эксплуатации подобных систем [1].

Исторически, начиная с 40-х годов XX века, развитие материалов для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов шло параллельно с технологическим прогрессом и изменением потребностей общества. В этот период основу промышленных и бытовых охладителей составляли доступные материалы — древесина, сталь, медь, вода и неорганические соли. В 50–70-х годах в тепловых аккумуляторах основными материалами были керамика, вода, парафины и неорганические соли. В последние десятилетия наблюдается значительный интерес к инновационным материалам с фазовым переходом, способным аккумулировать и отдавать тепло при относительно постоянной температуре. Эти материалы находят применение в аккумуляторах для электромобилей, солнечных коллекторах и системах кондиционирования, обеспечивая высокую энергоэффективность, экологичность и стабильность работы [2].

Цель данной работы — проследить эволюцию материалов для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов с 40-х годов XX века до наших дней, выявить ключевые этапы развития и современные тенденции в выборе материалов для повышения эффективности, безопасности и экологичности. Такой анализ позволит понять исторические предпосылки смены поколений материалов и определить перспективные направления дальнейших исследований и разработок.

Основная часть

Материалы для охлаждающих систем и тепловых аккумуляторов в 1940-1970-е годы

В период с 1940-х годов началось активное развитие материалов для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов, что было обусловлено быстрым ростом промышленности, транспорта и энергетики в послевоенное время. В первые годы после Второй мировой войны в системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания на транспорте преобладало воздушное охлаждение [3]. Этот тип охлаждения широко применялся на популярных автомобилях того времени, таких как Volkswagen Kafer, Fiat 500, Citroën 2CV, а также на советских «Запорожцах», грузовиках и тракторах. Воздушное охлаждение отличалось простотой конструкции и надежностью, однако имело ограничения по эффективности при высоких нагрузках и температурах (Рис. 1).

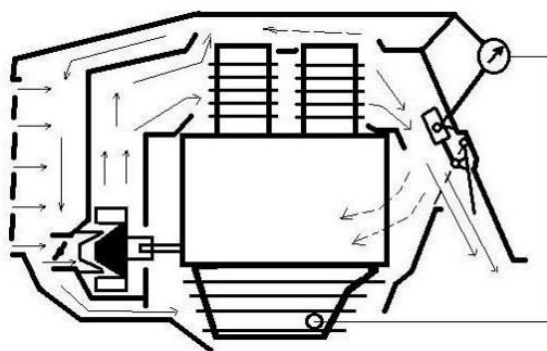


Рис. 1. Воздушная система охлаждения

К середине 1950-х годов начался постепенный переход к жидкостным системам охлаждения, что было связано с необходимостью повышения эффективности отвода тепла и соответствия новым экологическим требованиям. Ранние жидкостные системы охлаждения представляли собой сравнительно простые конструкции, в которых использовалась вода в качестве теплоносителя (Рис. 2). Примером могут служить примитивные системы "бункерного охлаждения", где вода из открытого сосуда медленно испарялась, отводя тепло от двигателя. Однако такие системы были ограничены по производительности и надежности.

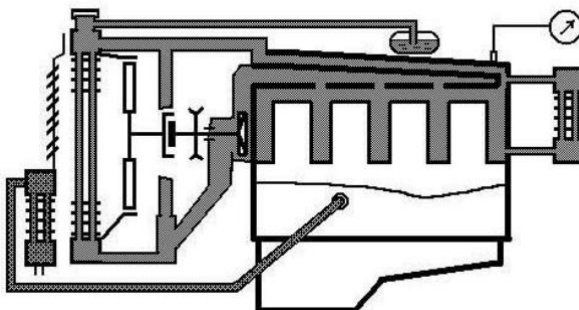


Рис. 2. Жидкостная система охлаждения

С развитием техники и материалов в 1940–1960-х годах жидкостные системы охлаждения стали более сложными и эффективными. В них появились охлаждающие рубашки, насосы, термостаты и радиаторы, изготовленные преимущественно из алюминия и меди —

материалов с высокой теплопроводностью и коррозионной стойкостью. Уже в 1941 году для советского внедорожника ГАЗ-64 была разработана усовершенствованная система охлаждения с радиатором, аналогичным применяемым на грузовиках, что свидетельствовало о росте технологической зрелости систем охлаждения в тот период.

Помимо транспортных систем, вода в качестве теплоносителя получила широкое применение в промышленности и энергетике. В частности, на таких объектах, как комбинат «Маяк», вода использовалась для охлаждения ядерных реакторов, где бесперебойное водяное охлаждение было критически важным для предотвращения перегрева и обеспечения безопасности работы [4].

Параллельно с развитием систем охлаждения совершенствовались и тепловые аккумуляторы. В 1940–1950-х годах их конструкция базировалась на простых и доступных материалах. В качестве твёрдых теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) широко применялась керамика — шамот и огнеупорный кирпич, которые обеспечивали высокую термостойкость и долговечность, особенно в стационарных накопителях тепла. Для жидкостных и паровых аккумуляторов в то время использовались вода и пар, что обеспечивало простоту эксплуатации и доступность, но ограничивало рабочие температуры.

В 1960–1970-х годах в тепловых аккумуляторах начали использовать неорганические соли, такие как кристаллогидраты, обладающие способностью аккумулировать тепло за счёт фазового перехода при температурах до 120 °С. Эти материалы позволяли значительно повысить энергоёмкость аккумуляторов, однако требовали больших объёмов для накопления значительных количеств тепла.

Материалы для охлаждающих систем и тепловых аккумуляторов в 1970-2010-е годы

В период с 1970-х по 2010 годы материалы для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов претерпели значительные изменения, отражая развитие технологий и ужесточение экологических требований. В двигателях внутреннего сгорания продолжался переход от воздушного охлаждения к жидкостному, что обеспечивало более эффективное и равномерное отведение тепла. В жидкостных системах охлаждения применялись замкнутые контуры с циркуляцией охлаждающей жидкости — чаще всего воды с добавками этиленгликоля, обладающего низкой температурой замерзания и высокой теплоёмкостью [5]. Основными материалами для изготовления радиаторов и теплообменников оставались алюминий и медь, благодаря их высокой теплопроводности и коррозионной стойкости. Важным элементом системы были насосы, термостаты и расширительные бачки, обеспечивающие оптимальный режим циркуляции и поддержание рабочей температуры двигателя в пределах 85–90 °С. Такие системы получили широкое распространение в легковых автомобилях, грузовиках и сельскохозяйственной технике, а также в стационарных двигателях и морских судах.

Одновременно с этим совершенствовались материалы и конструкции тепловых аккумуляторов. В 1970–1990-х годах для повышения энергоёмкости и долговечности начали использоваться новые теплоаккумулирующие материалы (ТАМ) с фазовым переходом — парафины, полиэтиленгликоли и кристаллогидраты. Эти вещества, помещенные в контейнеры ТАМ, позволяли аккумулировать и отдавать значительные

количества тепла при относительно постоянной температуре плавления (Рис. 3), что повышало эффективность аккумуляторов в системах отопления, кондиционирования и солнечной энергетики. Для улучшения теплопроводности стали создавать композитные материалы с добавками металлических или углеродных наполнителей. Важной задачей оставалась долговечность и стабильность свойств при многократных циклах нагрева и охлаждения, что стимулировало развитие новых химических составов и методов стабилизации материалов.

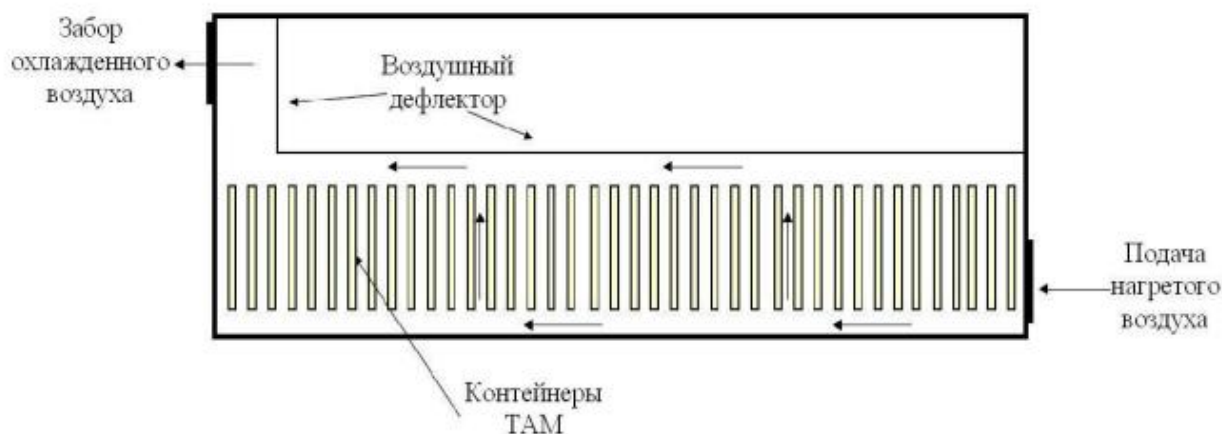


Рис. 3 Контейнеры ТАМ с парафином в системе вентиляции

В 2000-х годах наблюдался рост интереса к экологически безопасным и энергоэффективным материалам. В системах охлаждения стали активнее применять полимерные композиты и коррозионностойкие сплавы, что позволило снизить вес и повысить долговечность оборудования. Также развивались технологии теплоизоляции, уменьшающие тепловые потери и повышающие общую эффективность тепловых аккумуляторов. Важным направлением стало внедрение интеллектуальных систем управления температурой и циркуляцией теплоносителя, что обеспечивало адаптивность работы систем к изменяющимся условиям эксплуатации [6].

Современные материалы и будущие тенденции

Современные материалы и технологии для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов стремительно развиваются под влиянием растущих требований к энергоэффективности, экологичности и компактности устройств. В последние годы ключевым трендом стало активное внедрение твердотельных и жидкостных систем охлаждения, а также инновационных теплоаккумулирующих материалов, способных работать в широком диапазоне температур и обеспечивать высокую стабильность при многократных циклах эксплуатации.

Одним из перспективных направлений является развитие твердотельного охлаждения, включающего пассивное дневное радиационное охлаждение (PDRC) (Рис. 4) [7], калорическое и термоэлектрическое охлаждение. Согласно исследованию рынка 2025–2045 годов, такие технологии обещают заменить традиционные компрессионные системы благодаря высокой эффективности, устойчивости и возможности интеграции с умными материалами и электроникой. Это особенно актуально для охлаждения мощных

микрочипов, инфраструктуры связи 5G и специализированной одежды для экстремальных температур до 50 °С. Крупные компании, такие как Bosch, Daikin, LG Electronics и Panasonic, а также инновационные стартапы активно развивают эти направления, что свидетельствует о значительном потенциале твердотельных решений в ближайшие десятилетия [8].

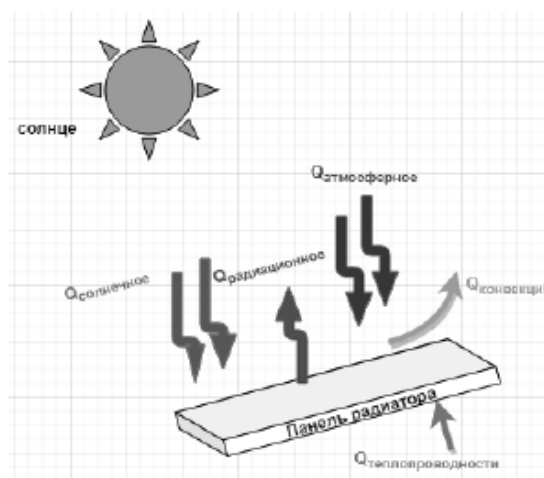


Рис. 4 Схема радиатора дневного пассивного радиационного охлаждения

Современные теплообменники и компоненты систем охлаждения изготавливаются из коррозионностойких материалов и композитов. Так, компания Danfoss представила паяный теплообменник H48T-CH с технологией Micro Plate, рассчитанный на работу при температурах от –196 °С до +200 °С и давлении до 140 бар, что расширяет возможности применения в чиллерах, тепловых насосах и системах рекуперации тепла [9]. Важным направлением также является снижение углеродного следа продукции — например, компания SWEP выпускает паяные пластинчатые теплообменники из стали с пониженным содержанием углерода, сохраняя при этом высокие технические характеристики.

Таким образом, современные материалы и технологии для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов ориентированы на повышение энергоэффективности, экологичности и интеграцию с интеллектуальными системами управления. Развитие твердотельных и жидкостных решений, а также инновационных теплоаккумулирующих материалов создаёт основу для новых поколений высокотехнологичных устройств в энергетике, промышленности и IT-инфраструктуре.

Заключение

В ходе исследования эволюции материалов для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов с 1940-х годов до наших дней было выявлено, что развитие этой области тесно связано с технологическим прогрессом, изменением требований к энергоэффективности, безопасности и экологичности. В первые десятилетия после Второй мировой войны в основе систем охлаждения и тепловых аккумуляторов лежали простые и доступные материалы — древесина, сталь, медь, вода и керамика, которые обеспечивали базовую функциональность и надёжность. Постепенно, с развитием промышленности и транспорта, а также с ростом требований к эксплуатационным характеристикам, происходил переход к более специализированным и технологичным материалам.

В период с 1970-х по 2010 годы наблюдалось активное внедрение новых теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом, органических и неорганических соединений, а также совершенствование конструкций систем охлаждения с использованием алюминия, меди и коррозионностойких сплавов. Это позволило повысить энергоёмкость, долговечность и эффективность систем, а также снизить их экологическую нагрузку.

Современный этап развития характеризуется внедрением инновационных материалов и технологий — твердотельных систем охлаждения, композитов, наноматериалов и интеллектуальных систем управления, что открывает новые возможности для повышения эффективности и адаптивности систем в различных отраслях.

Таким образом, анализ исторического развития и современных тенденций показывает, что материалы для систем охлаждения и тепловых аккумуляторов продолжают эволюционировать, отвечая вызовам времени и способствуя созданию более эффективных, надёжных и экологичных решений. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой новых композитных и наноматериалов, а также с интеграцией систем управления, что позволит значительно расширить функциональные возможности и области применения данных технологий.

Список литературы

(дата обращения: 19 июня 2025 года)

- [1] - https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2121
- статья об аккумуляторах теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения;
- [2] - <https://www.spsl.nsc.ru/FullText/%D0%9A%D0%BD%D0%B8%D0%B3%D0%B8/11-20191101.pdf> -
статья о научно-технических аспектах разработки химических источников тока (раздел 1, стр. 5);
- [3] -
https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1742413/mod_resource/content/1/%D0%A3%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B%20%D0%BE%D1%85%D0%BB%D0%B0%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F.pdf - статья об устройстве системы охлаждения;
- [4] - <https://cyberleninka.ru/article/n/katastrofa-na-kombinate-mayak-itogi-i-posledstviya> - статья о комбинате "Маяк";
- [5] - <https://habr.com/ru/articles/689874/> - жидкостные ракетные двигатели;
- [6] - https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf - изменение климата, 2014 год (страницы 47-48);
- [7] - <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskiy-obzor-passivnyh-radiatsionnyh-sistem-ohlazhdeniya>
- аналитический обзор пассивных радиационных систем охлаждения;
- [8] - <https://www.researchandmarkets.com/reports/5863672/solid-state-cooling-materials-systems-pdrc>
- статья о твердотельных материалах и системах охлаждения (PDRC);
- [9] - <https://telecomblogger.ru/600926> - Главные новинки и тренды на рынке систем охлаждения ЦОД за май 2025 года.