

АРХИТЕКТУРНАЯ ЗАПИСКА

Нейроморфная архитектура тепловых машин

Распределённая система управления энергией, температурой, звуком и физическим покоем среды

КЛЮЧЕВАЯ ИНВЕРСИЯ

Машина, которая раньше нарушала покой среды, должна стать главным активным хранителем её физического покоя.

1. Исходная постановка

Современный холодильник, кондиционер, чиллер или тепловой насос управляется прежде всего как изолированное устройство: автоматика удерживает температуру и давление, тогда как пиковая мощность, вибрация, низкочастотный шум, износ и воздействие на человека считаются побочными эффектами.

Предлагается вынести вычислительный интеллект непосредственно в тепловую машину. Каждая установка получает локальный нейроморфный СМ-контур, который непрерывно воспринимает электрические, тепловые, механические и акустические сигналы, изучает индивидуальную норму конкретного агрегата и принимает локальные решения без постоянного обращения к центру.

2. Новый объект управления

Тепловая машина фактически управляет не одним параметром, а совокупностью физических потоков: теплом, электричеством, движением рабочего тела, воздухом, звуком, вибрацией и временем накопления энергии. Поэтому целевой функцией должна стать не одна температура, а интегральное состояние среды:

- сохранность продукта или тепловой комфорт человека;
- стоимость и график потребления электрической мощности;
- акустический и вибрационный покой;
- ресурс компрессора, вентиляторов и теплообменников;
- надёжность, безопасность и доказуемый результат обслуживания.

3. Почему нейроморфная архитектура

Обычного микроконтроллера достаточно для термостата. Нейроморфный процессор оправдан там, где необходимо круглосуточно и с малым энергопотреблением анализировать слабые временные сигналы: ток компрессора, вибрационный спектр, звук, давление, скорость восстановления температуры и редкие признаки аномалий.

Система работает по событийной логике: большую часть времени она молчит, но мгновенно реагирует на изменение физического почерка машины. Это позволяет заранее распознавать утечку хладагента, загрязнение теплообменника, деградацию компрессора, разбалансировку вентилятора, намерзание, резонанс корпуса и ухудшение теплоизоляции.

4. Энергия и температура как единый маневр

Холодильник или тепловой насос обладает тепловой инерцией. Он может заранее накопить холод или тепло, а затем временно сократить электрическую нагрузку. Локальный узел оценивает реальный запас устойчивости именно этой машины и передаёт вверх не статус «включено/выключено», а предложение управляемой гибкости: сколько киловатт, на какой срок и с какой вероятностью соблюдения температурного режима.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЕДИНИЦА

Не холодильник как потребитель, а тепловой агент, способный одновременно хранить продукт, сдвигать нагрузку и защищать среду.

ПРОДОЛЖЕНИЕ

От источника возмущения к хранителю покоя

5. Акустико-вибрационная инверсия

Компрессорные машины являются постоянными источниками структурной вибрации, тонального гула, переходных ударов, дребезга и низкочастотных составляющих. Однако холодильник или тепловой насос уже располагает тем, что требуется для локальной станции физического покоя: массой, питанием, постоянным присутствием, корпусом, связью с полом и воздухом.

Нейроморфный контур должен различать собственный шум, вибрации здания, насосы, лифты, вентиляцию, транспорт, шаги и резонансы мебели. Обработка выполняется локально: устройство может слышать физику дома, не записывая речь и не слушая человека.

6. Исполнительные контуры

- Предотвращение: выбор момента пуска, профиля разгона, частоты компрессора, режима клапанов и вентиляторов так, чтобы не возбуждать опасные моды.
- Активная изоляция: управляемые опоры и демпферы препятствуют передаче вибрации в пол, стены и соседние помещения.
- Противофазное воздействие: корпус или отдельные излучатели подавляют устойчивый низкочастотный шум в целевых зонах покоя.
- Адаптивный корпус: панели и двери получают управляемое демпфирование и перестают быть пассивными резонаторами.
- Координация машин: несколько компрессоров избегают биений и взаимного усиления, а при возможности работают как согласованная система компенсации.

7. Трёхуровневая архитектура

I. Локальный рефлекс	Датчики тока, температуры, давления, звука и вибрации; распознавание событий; безопасные действия за миллисекунды; автономность при потере связи.
II. Организм объекта	Координация холодильников, тепловых насосов, вентиляции, света и других нагрузок; предотвращение биений, одновременных пусков и резонансов.
III. Сеть территории	Агрегация гибкости, прогноз ремонта, обучение общих моделей, участие в управлении мощностью и формирование распределённого теплового накопителя.

8. Данные, безопасность и доказуемость

Наверх должны передаваться преимущественно события и выводы: обнаруженная аномалия, доступный запас мощности, вероятность отказа, остаточный ресурс, новый источник вибрации и подтверждённый эффект ремонта. Машина сохраняет локальный безопасный режим при потере связи и отклоняет команды, противоречащие физическим ограничениям продукта, оборудования или человека.

9. Практический результат

Архитектура создаёт новый класс оборудования - Environmental Stability Machine, машину устойчивости среды. Миллионы тепловых машин становятся распределённой сенсорно-вычислительной инфраструктурой, тепловым накопителем и системой управления физическим покоем зданий и территории.

ИТОГОВЫЙ ПРИНЦИП

Каждая тепловая машина должна управлять не только переносом тепла и потреблением энергии, но и всеми создаваемыми ею физическими возмущениями.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Карта научных, инженерных и архитектурных школ

Люди и направления, формирующие отдельные компоненты предлагаемой архитектуры

ОГОВОРКА ОБ АВТОРСТВЕ

Перечень показывает смежные школы и интеллектуальных предшественников. Он не означает, что указанные специалисты предлагали интегральную систему «тепловая машина + нейроморфный контур + энергетическая гибкость + активный физический покой» в изложенном виде.

А.1 Нейроморфное восприятие и активная акустика

ФИГУРА	ШКОЛА / ОБЪЕКТ	СВЯЗЬ С АРХИТЕКТУРОЙ
Карвер Мид	нейроморфная инженерия	Один из основателей направления: аналоговые VLSI, кремниевые нейроны, сетчатки и улитки, событийная передача импульсов. Даёт базовый принцип: вычисление должно быть встроено в физику сенсора и работать по событиям. [1]
Миша Маховальд	silicon retina / cochlea	Пионер кремниевой сетчатки и ранних нейроморфных сенсорных систем. Особенно близка идея аппаратного восприятия слабых временных сигналов непосредственно у источника. [1]
Квабена Боахен	Brains in Silicon	Развивает вычислительные системы, связывающие нейрофизику и поведение с энергоэффективной кремниевой реализацией. Релевантен для локального «нервного узла» машины. [2]
Стив Фурбер	SpiNNaker	Создал масштабируемую событийную архитектуру для спайковых сетей реального времени. Полезен как модель распределённой координации большого числа локальных агентов. [3]
Майк Дэвис	Intel Loihi	Руководит разработкой Loihi: событийные, энергоэффективные нейроморфные процессоры и программная среда Lava. Ближайший промышленный класс вычислителя для локальной адаптации и распознавания аномалий. [4]
Джакомо Индивери	mixed-signal neuromorphics	Разрабатывает гибридные аналогово-цифровые нейроморфные схемы, способные взаимодействовать со средой в реальном времени. Прямая связь с always-on мониторингом машины. [5]
Тоби Дельбрюк	event-based sensors	Один из лидеров событийных сенсоров. Важна сама логика: передавать не непрерывный поток, а физически значимое изменение - принцип будущего «слуха» тепловой машины. [5]
Стивен Дж. Эллиотт	активный контроль звука	Связывает физический мир и цифровую обработку сигналов; один из ключевых авторов активного контроля звука, персональных и зональных акустических полей. [6]
Филип А. Нельсон	активная акустика	Совместно с Эллиоттом систематизировал фундамент активного подавления звука: вторичные источники, пространственное совпадение поля и многоканальное управление. [6]

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Продолжение карты школ

А.2 Активные конструкции, тепловое управление и климатическая архитектура

ФИГУРА	ШКОЛА / ОБЪЕКТ	СВЯЗЬ С АРХИТЕКТУРОЙ
Крис Фуллер	структурная акустика	Активное управление звуком и вибрацией, адаптивные структуры, распределённые поглотители и «умная кожа». Особенно близок переход от подавления воздуха к управлению вибрирующим корпусом. [7]
Андре Прёмон	активные структуры	Сформировал инженерную школу, где конструкция получает датчики, актуаторы и контроллер, а её динамика становится управляемой. Это прямой предшественник активных опор и адаптивного корпуса. [8]
Сен-Мюу Куо	adaptive noise control	Алгоритмы и DSP-реализации активного шумоподавления, включая локальные бытовые и медицинские зоны тишины. Важен мост от теории к компактному массовому устройству. [9]
Лив Хелсен	оптимальное управление теплом	Школа моделирования, оптимального проектирования и Model Predictive Control тепловых систем зданий; тепло рассматривается как гибкость и системный интегратор. [10]
Филип Йориссен	MPC для зданий	Инструментальная цепочка оптимального управления энергетическими системами зданий, включая тепловые насосы, тепловую инерцию и практическое внедрение. [10]
Ян Дргоня	differentiable control	Дифференцируемые модели, управление и оптимизация динамических систем; полезен для обучения локального контроллера с физическими ограничениями. [11]
Филипп Рам	климатическая архитектура	Проектирует пространство через конвекцию, теплопроводность, радиацию и температурные градиенты. Расширяет архитектуру от формы к управляемой физической среде. [12]
Маттиас Шулер	climate engineering	Интегрировал архитектуру и климатическую инженерию как единый проектный процесс. Близок к идее, что тепло, воздух, энергия и ощущение человека проектируются совместно. [13]

А.3 Что остаётся новым

Новизна предлагаемой архитектурной постановки находится не в каждом отдельном элементе, а в их соединении внутри массовой тепловой машины: нейроморфное событийное восприятие, индивидуальная физическая модель, управление тепловой инерцией и электрической мощностью, активное подавление собственных и внешних возмущений, а также распределённая координация машин на уровне здания и территории.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

При чём тут космос

Почему космическая техника является прямым архитектурным предшественником

Б.1 Космос обнажает настоящую задачу

В космическом аппарате тепло, электрическая мощность, вибрация и надёжность не могут рассматриваться отдельно. Нет внешней среды, которая простит плохой режим: избыточное тепло необходимо собрать, перенести и излучить; холодные приборы требуется удерживать в узком диапазоне; каждый ватт ограничен; любая микровибрация способна испортить научное наблюдение.

Поэтому космическая тепловая машина никогда не является просто холодильником. Это часть контура жизнеобеспечения, энергетического бюджета, точности прибора и устойчивости всего аппарата. Именно эта логика переносится на Землю: холодильник, кондиционер или тепловой насос должен отвечать не только за температуру, но за качество физической среды целиком.

Б.2 Уже существующие космические аналоги

- Тепловое управление аппарата. NASA рассматривает пассивные и активные средства - покрытия, теплоизоляцию, тепловые трубы, насосные контуры, радиаторы и управляемые жалюзи - как единую архитектуру поддержания допустимых температур. [14] [15]
- Распределённый сбор и отвод тепла. На Международной космической станции внутренние и внешние активные контуры собирают тепло от оборудования и обитаемых объёмов, переносят его через теплообменники и отводят радиаторами. [15]
- Холодильник для телескопа. Криокулер MIRI телескопа James Webb фактически является сложным распределённым холодильником/тепловым насосом, части которого разнесены по обсерватории. [16]
- Микровибрации криомашины. Для космических телескопов компрессорный холодильник является источником джиттера; его возмущения измеряются, моделируются и ограничиваются, поскольку они влияют на точность изображения. [17] [18]
- Активная виброизоляция. На шаттлах и станции испытывались и применялись системы активной изоляции научных установок; магнитные и иные подвесы способны подавлять колебания в нескольких степенях свободы. [19]

Б.3 Прямое соответствие

КОСМОС	ЗЕМНОЙ МАССОВЫЙ КОНТУР
Космический аппарат	Дом, магазин, склад, дата-центр
Криокулер / насосный тепловой контур	Холодильник, чиллер, кондиционер, heat pump
Научный прибор и его jitter budget	Человек, продукт и бюджет физического покоя
Ограниченный power budget	Пиковая мощность, тариф и сетевой лимит
Телеметрия и fault protection	Локальная диагностика и безопасная автономность
Активная изоляция полезной нагрузки	Активные опоры, корпус и зоны тишины
Единая система аппарата	Оркестрация тепла, энергии, звука и вибрации

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Космос как ледокол для земной инфраструктуры

Б.4 Что именно следует переносить

Переносить нужно не дорогие космические компоненты как таковые, а дисциплину архитектуры: каждый поток измеряется, каждый источник возмущения имеет бюджет, локальный контур умеет выживать без центра, а тепло, мощность и механическая динамика оптимизируются совместно.

- единый пакет датчиков тока, температуры, давления, звука и вибрации;
- событийный нейроморфный процессор у самого агрегата;
- инверторное управление компрессором и вентиляторами;
- активные или полупассивные опоры и управляемое демпфирование корпуса;
- локальная карта акустико-вибрационной среды без хранения речи;
- объектовый координатор тепловых машин и агрегатор гибкости территории;
- цифровое доказательство результата ремонта и изменения физического состояния.

Б.5 Предлагаемый экспериментальный маршрут

- Этап 1 - один холодильник: снять тепловой, электрический, звуковой и вибрационный почерк; научить узел распознавать собственные режимы и резонансы.
- Этап 2 - активное самоуспокоение: управление частотой компрессора, профилем пуска, опорами и локальным противофазным воздействием.
- Этап 3 - помещение или магазин: согласовать несколько тепловых машин, исключить биения, сформировать зоны покоя и ресурс пик-шейвинга.
- Этап 4 - флот: агрегировать доступную тепловую гибкость, диагностику и акустический режим тысяч объектов.
- Этап 5 - космический контур: использовать НовКосмос как испытательную и методологическую платформу для замкнутых сред, ограниченной мощности и микровибраций.

КОСМИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

Космос здесь не декоративная метафора. Это среда, где уже доказана необходимость совместно управлять теплом, мощностью, вибрацией, телеметрией и отказоустойчивостью.

Источники Выборочная проверочная база

[1] Caltech. «Carver Mead Earns Lifetime Contribution Award for Neuromorphic Engineering», 2024; официальный профиль Carver Mead.

[3] University of Manchester. SpiNNaker; Steve Furber and real-time spiking neural-network architecture.

[5] University of Zurich / ETH Zurich, Institute of Neuroinformatics. Giacomo Indiveri; Tobi Delbruck; neuromorphic processors and event-based sensors.

[7] Virginia Tech, Vibrations and Acoustics Laboratory. Chris Fuller; active control of sound, vibration and adaptive structures.

[9] Northern Illinois University. Sen-Maw Kuo; active-noise-control algorithms and applied systems.

[11] NREL. Ján Drgoňa; differentiable programming for modelling, control and optimization.

[13] Transsolar KlimaEngineering. Matthias Schuler; integrated climate engineering and architecture.

[15] NASA / ISS. Active Thermal Control System overview and thermal management subsystems.

[17] NASA Technical Reports Server. Cryocooler-induced micro-vibration disturbances and NICMOS cryocooler flight results.

[19] NASA Technical Reports Server. Survey of active vibration-isolation systems for microgravity applications; actively controlled magnetic isolation.

[2] Stanford University. Kwabena Boahen / Brains in Silicon Lab: neuromorphic engineering and silicon emulation of neural systems.

[4] Intel Labs. Loihi 2 and Hala Point neuromorphic systems; Mike Davies, Neuromorphic Computing.

[6] University of Southampton, ISVR. Stephen J. Elliott; Active Control of Sound and Vibration; P. A. Nelson and S. J. Elliott, Active Control of Sound.

[8] André Preumont. Vibration Control of Active Structures; Active Structures Laboratory, Université libre de Bruxelles.

[10] KU Leuven / EnergyVille, The SySi Team. Lieve Helsen, Filip Jorissen; modelling, optimal control and design of thermal systems.

[12] Philippe Rahm architectes. Projects based on convection, conduction, radiation and interior thermal gradients.

[14] NASA Small Spacecraft Systems Virtual Institute. Thermal Control, state-of-the-art overview.

[16] NASA Science. James Webb Space Telescope MIRI Cryocooler.

[18] NASA Technical Reports Server. JWST MIRI pulse-tube cryocooler electronics and self-induced vibration control.

ИСТОЧНИК ИСХОДНОЙ КОНЦЕПЦИИ: АА · ПЕРВИЧНАЯ ФИКСАЦИЯ: 18 ИЮНЯ 2026 Г.