Издаётся с 1924 года

РАДИО®

"Радиолюбитель"—"Радиофронт"—"Радио"

9•2026

МАССОВЫЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:
АНО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «РАДИО»
Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.
Регистрационный ПИ № ФС77-82030
Главный редактор В. К. ЧУДНОВ
Редакционная коллегия:
А. В. ГОЛЫШКО, А. Н. КОРОТОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,
И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,
С. Л. МИШЕНКОВ

Обложка: В. М. МУСИЯКА
Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА
Корректор: Т. А. ГЛИБИНА
Адрес редакции: 129090, Москва, Протопоповский пер., 25, к. Б
Тел.: (495) 607-31-18.
E-mail: **ref@radio.ru**
Приём статей — e-mail: **mail@radio.ru**
Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: **advert@radio.ru**
Распространение — (495) 607-31-18; e-mail: **sale@radio.ru**
Подписка и продажа — (495) 607-87-39
Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:
получатель — АНО "Редакция журнала "Радио", ИНН 7708187140,
р/сч. 40703810538090108833
Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва
корр. счёт 30101810400000000225 БИК 044525225
Подписано к печати 24.08.2026 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.
Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.
В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:
Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;
КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.
За содержание рекламного объявления ответственность несёт рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия использования опубликованных материалов, но принимает меры по исключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в известность автора. При этом редакция получает исключительное право на распространение принятого произведения, включая его публикации в журнале «Радио», на интернет-страницах журнала или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом месте без предварительного письменного согласия редакции.

В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

© Радио®, 1924—2026. Воспроизведение материалов журнала «Радио», их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения редакции.
Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»
142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.
Зак. 02112-26 .

Dr.WEB

Компьютерная сеть редакции журнала «Радио» находится под защитой Dr.Web — антивирусных продуктов российского разработчика средств информационной безопасности — компании «Доктор Веб».

www.drweb.com

Бесплатный номер службы поддержки в России:

8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»

RINeT

БЛИЖЕ К ЛЮДЯМ

Телефон:
+7(495)981-4571
E-mail:
info@rinet.ru
Сайт:
www.rinet.ru

ЦОД в космосе

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"Через 20 лет вы будете больше разочарованы теми вещами, которые вы не делали, чем теми, которые вы сделали".

Марк Твен

Мировой бум искусственного интеллекта (ИИ) потребовал колоссальных вычислительных мощностей и вызвал беспрецедентную волну строительства центров обработки данных (ЦОД) по всему миру. Надо сказать, что последние — это весьма прожорливые системы, которые фактически уже конкурируют с городами за электроэнергию. Особенно это заметно в США, где развивается много проектов по тематике ИИ. Звучат даже предложения строить новые атомные электростанции специально для них. Что касается прогнозов, то отчёт McKinsey Technology Trends Outlook 2025 показывает, что спрос на мощности ЦОД растёт с прогнозируемой скоростью 19...22 % в год и к 2030 г. может более чем утроиться, достигнув 219 ГВт. Из отчёта консалтинговой фирмы Bain & Company следует, что к 2030 г. дополнительная потребность в потребляемых мощностях для ИИ достигнет 200 ГВт, причём половина нагрузки придётся на долю США. Соответственно растёт и стоимость развития дальнейшего ИИ. Можно даже сказать, что будущая власть ИИ — это тотальная цифровизация плюс электрификация всей страны.

По прогнозам, к 2030 г. ЦОДы будут потреблять до 8 % всей мировой электроэнергии. Они "выпивают" озёра воды для охлаждения, занимают гектары земли и требуют строительства новых электростанций. Причём значительная часть их мощностей распродаётся или резервируется для существующих клиентов ещё на этапе создания, поэтому рынок живёт в режиме постоянного дефицита.

А ещё говорят, что ИИ вызвал нехватку специалистов, на первый взгляд, совершенно никак не связанных ни с нейросетями в частности, ни с миром информационных технологий в целом. Как пишет портал Wired, возник дефицит электриков, сантехников, а также специалистов по системам отопления и кондиционирования. Многие специалисты заняты на стройке, но их всё равно не хватает.

С чем, помимо привлечения электроэнергетических ресурсов, бьётся индустрия ЦОДов? С утилизацией сгенерированного тепла. В результате ЦОДы строят на далёком севере, а рачительные хозяева разбивают поблизости тепличные хозяйства, дабы тепло зря не пропадало. Энергоэффективность станет не желаемым, а обязательным условием развития будущих ЦОДов. Однако, что бы человечество ни делало, его ресурсы по генерации электричества не бесконечны. Индустрия встретила физические ограничения. Нара-

щивать мощности на Земле становится одновременно экологически и экономически невыгодно. Так что же делать?

Когда наземные ЦОДы становятся проблемой планетарного масштаба, решение, которое недавно казалось фантастикой, становится реальным бизнес-планом. Вычисления нужно вынести туда, где холод естественный, энергия доступна постоянно, и она бесплатна, а инфраструктура не конкурирует с городами. В общем, в космос.

Идея космического дата-центра прагматична. На орбите за бортом — вакуум и экстремально низкие температуры в тени. Не скрытое облаками и атмосферой солнце даёт стабильный поток энергии круглые сутки. Поэтому над космическим направлением работают многие технологические гиганты из разных стран.

Кстати, ещё в 2022 г. Европейская комиссия выбрала Thales Alenia Space для разработки концепции орбитальных ЦОДов в рамках программы Horizon Europe. Расчёты показали, что солнечные фермы на орбите способны генерировать сотни мегаватт и питать серверные кластеры без углеродного следа. Долгое время проект упирался в две проблемы: стоимость вывода оборудования в космос и задержки связи. Но постепенно стоимость запусков падает, эффективность солнечных панелей растёт. Ключевым элементом, превратившим космические серверы из концепта в инженерную задачу, стали новые технологии передачи данных. Радиоканалы не подходили для потоков в петабайтах. Их место заняла лазерная межспутниковая связь. Орбитальный ЦОД становится полноценным узлом глобальной цифровой инфраструктуры, а главы технологических компаний всё чаще преподносят идею строить такие ЦОДы, потому что они обещают обходиться дешевле (с этим утверждением надо поосторожнее), чем на Земле.

Идеей возможности строительства ЦОД в космосе недавно буквально загорелся Илон Маск, который стремится стать первопроходцем и в этой сфере, перехватив первенство в технических идеях и инвестировании. За некоторые идеи он хватается настолько сильно, что не жалеет никаких средств на их воплощение. Заявив о необходимости строить ЦОДы в космосе, он понял, что деньги на реализацию этой идеи можно было бы взять на фондовом рынке путём размещения акций SpaceX. Кроме того, средства пригодились бы и для качественного рывка в развитии ИИ-стартапа xAI, для которого Маск и будет строить ЦОД в космосе. Соперничающий с Маском Сэм Альтман, возглавляющий OpenAI, в прошлом году изучал возможность покупки аэрокосмической компании для доставки элементов ЦОД на орбиту Земли.

SpaceX до сих пор остаётся частной, но серьёзные привлекаемые суммы инвестиций позволяли ей претендовать на звание самого дорогого стартапа в мире, пока конкурировать с ней за этот статус не начала OpenAI. Исторически руководство SpaceX придерживалось позиции, согласно которой выходить на IPO (первичное размещения акций компании на фондовом рынке) будет необходимо лишь после того, как ракеты-носители этой марки начнут регулярно совершать полёты на Марс.

Маск решил поторопиться с IPO компании SpaceX ещё и по той причине, что в этом году на публичный фондовый рынок готовятся выйти конкурирующие с xAI стартапы OpenAI и Anthropic. Чтобы иметь шансы привлечь больше средств инвесторов, нужно опередить соперников, как считает Маск. Уже скоро он выберет банки для сопровождения этой процедуры, а провести IPO компании SpaceX он намерен очень скоро.

Как поясняют осведомлённые источники, SpaceX тайно разрабатывала технологии создания ЦОДов в космосе уже несколько лет подряд, и в прошлом году она добилась некоторого прогресса в этой области. К середине прошлого года Маск всё более настойчиво начал говорить о соответствующих инициативах, строительство ЦОД в космосе буквально стало для него приоритетной идеей.

В SpaceX разрабатывают также многоразовую ракету, которая будет выводить в космос оборудование для создания ЦОДов на солнечных батареях, о чём на форуме в Давосе заявил сам Илон Маск: "Space X надеется достичь в текущем году возможности полного повторного использования, этого ещё никому не удавалось добиться. Это важно с точки зрения стоимости доступа в космос... Стоимость этого эквивалентна стоимости реактивного самолёта малого или среднего размера... Надеюсь, в этом году мы докажем полную возможность повторного использования StarShip. И это будет замечательное изобретение, потому что стоимость доступа в космос снизится в 100 раз, когда вы достигнете полной возможности повторного использования... А если разместить солнечные панели в космосе, то их эффективность увеличится в пять раз, а может, и больше по сравнению с наземными. Там всегда солнечно, нет смены дня и ночи, времён года и погоды. И мощность в космосе примерно на 30 % выше, потому что там нет ослабления мощности из-за атмосферы. В итоге солнечные панели в космосе будут вырабатывать в пять раз больше энергии, чем на Земле... Создание ЦОДов с ИИ, работающих на солнечной энергии в космосе, — это очевидное решение... И это станет возможным уже через два, самое позднее — через три года".

Говорят, во второй половине 2030-х появится первая волна орбитальных ЦОДов. Они будут питаться от солнечной энергии, охлаждаться за счёт вакуума и обеспечивать непрерывную работу вне зависимости от земных условий. По сути, речь идёт о создании новой инфраструктурной оболочки вокруг планеты — распределённого "вычислительного кольца" (как дальнейшее развитие проекта Starlink), независимого от климата, политики и энергетических кризисов. Собственно, орбита — это не просто оригинальное расположение, а принципиально новый уровень надёжности, автономии и масштабируемости. Ключевое преимущество — абсолютная физическая изоляция. Ни пожары, ни наводнения, ни войны, ни кибератаки (с этим утверждением надо поосторожнее) не смогут добраться до орбитального ЦОДа. Некоторые проекты по размещению ЦОДов в космосе уже есть не только у SpaceX.

Project Suncatcher от Google предполагает передачу данных с орбитальных ЦОДов на Землю через оптические каналы связи, использующие свет или лазерные лучи для высокоскоростной беспроводной передачи информации.

План компании Starcloud. Планируется построить орбитальный ЦОД мощностью пять миллионов киловатт со "сверхкрупными солнечными и охлаждающими панелями шириной и длиной примерно четыре километра". 2 ноября 2025 г. ракета Falcon 9 компании SpaceX вывела на орбиту спутник Starcloud-1. На борту небольшого аппарата массой 60 кг новейший графический процессор Nvidia H100, вероятно, самый мощный из когда-либо побывавших в космосе. Цель испытаний, рассчитанных на 11 месяцев, проверить, как он поведёт себя на орбите. Космический стартап, основанный менее двух лет назад, уже ведёт разговоры о космическом ЦОДе мощностью 5 ГВт, запитанном от солнечной батареи площадью 4 км^2.

Проект Lumen Orbit предполагает перенос крупных ЦОД в космос. По оценкам, солнечные панели в космосе генерируют в пять раз больше энергии, чем их аналоги на Земле, что позволяет снизить стоимость электроэнергии до 0,002 долл. за киловаттчас,

КУПОН ЧИТАТЕЛЯ
Журнал РАДИО
2

тогда как в США и Европе она составляет от 0,045 до 0,17 долл.

В марте 2025 г. бывший главный исполнительный директор Google Эрик Шмидт приобрёл компанию Relativity Space, работающую над производством космических ракет с помощью 3D-печати. Позже бизнесмен уточнил, что его интересует именно создание космических ЦОДов.

Из необычных новостей — контракт частной компании Lonestar Data Holdings с подрядчиками Intuitive Machines и Skycorp на постройку нескольких ЦОДов под поверхностью Луны.

Некоторые сложности, с которыми придётся столкнуться при реализации космических ЦОДов: высокая стоимость ракетных запусков, риски аварий, а также технические сложности обслуживания и модернизации оборудования на орбите.

Большая ошибка думать, что в космосе холодно, а потому всё легко остывает, ведь вакуум — идеальный теплоизолятор. Иногда некоторые поверхности спутника специально оставляют открытыми для того, чтобы они или поглощали солнечное излучение, или отводили в космос тепло изнутри. Обычно в первом случае поверхности покрывают чёрной эмалью, сильно поглощающей излучение Солнца, а во втором — белой эмалью, хорошо отражающей лучи. Часто сброс тепла в космосе осуществляется через излучение с радиаторов. Обычно их покрывают белой эмалью и стараются разместить либо параллельно солнечному свету, либо в тени. Более сложные активные системы охлаждения задействуют циркулирующий теплоноситель или тепловые трубы.

Согласно закону Стефана-Больцмана, мощность излучения растёт с четвёртой степенью температуры поверхности. Если проще, то чем горячее радиатор, тем эффективнее он сбрасывает тепло. В этом контексте пространство космоса — идеальный "приёмник" тепла, потому что температура фона (−270,45 °C) настолько низка, что он почти не возвращает излучение обратно.

Но стоит заметить, радиатор может отводить тепло только в том случае, если его температура выше температуры окружающей среды. Например, чёрная пластина площадью 1 м^2 при +20 °C в полном вакууме (с обеих сторон) может рассеивать до 838 Вт в космос — в разы больше, чем вырабатывает солнечная панель той же площади (здесь учтена температура фонового излучения). Так, даже без атмосферы можно эффективно отводить десятки—сотни ватт на квадратный метр. Однако при снижении температуры радиатора его способность излучать резко падает, поэтому для высоких тепловых нагрузок требуются либо очень высокие температуры радиатора, либо большая площадь излучения.

На основе практики главное узкое место охлаждения ЦОДов в космосе — площадь. Чтобы справиться с киловаттами, нужны огромные, но лёгкие и надёжные радиаторы, причём направленные строго в сторону глубокого космоса. Также требуется точная ориентация аппарата и защита от загрязнений, износостойкость — радиаторы могут повреждаться микрометеоритами, обрастать выхлопами, темнеть от ультрафиолетового излучения.

Однако вернёмся к реальности. Первое, что делает орбиту привлекательной, — это энергетическая автономия. Согласно данным исследования NASA, на высоте нескольких сотен километров над Землёй солнечная панель получает примерно 1361 Вт/м^2 (постоянное солнечное значение) без потерь на атмосферу. На практике системы на низкой околоземной орбите постоянно освещаются Солнцем, за исключением коротких затемнений, что обеспечивает почти круглосуточную выработку электроэнергии. Получается непрерывная генерация энергии, что выгодно контрастирует с наземными ЦОДами, где ночь и облачность снижают выработку на 30–40 %.

Кроме того, в космосе не нужно экономить на массе опорных конструкций и площади солнечных панелей. Эффективность солнечных элементов уже достигает 30 % и выше, особенно при использовании многослойных гетероструктур на арсениде галлия или перовскитах (это целый класс материалов с уникальной кристаллической структурой, способных эффективно преобразовывать солнечный свет в электричество, но при этом недолговечных).

На орбите электроника сталкивается с ионизирующим излучением. Космос полон быстрых протонов и тяжёлых ионов, которые проходят сквозь кремний и нарушают работу микросхем. Традиционно это решалось с помощью так называемых Rad hard чипов — дорогих, медленных и сильно специализированных, но в последние годы происходит разворот к программной устойчивости.

В частности, в проекте Spaceborne Computer-2 от Hewlett Packard Enterprise использовались коммерческие серверы ProLiant и Edgeline, запущенные на МКС без полноценной физической защиты. NASA оценила этот эксперимент как успешный: "программная закалка" (software hardening) позволила использовать топовые процессоры без перепроектирования кремния. Software hardening (харденинг) — это процесс настройки системы для повышения её безопасности путём уменьшения уязвимостей. Он может быть применён к любому приложению или операционной системе. В целом, учёные отмечают, что в обозримом будущем можно будет сочетать лёгкую физзащиту и ПО-серверные методы, чтобы обеспечить в космосе высокую надёжность.

Теперь что касается расположения ЦОДа на орбите. Чтобы не заниматься её регулярной коррекцией, а также подстраивать лазерные каналы связи, есть идея поместить ЦОД в точку Лагранжа. Во вселенной есть особые места, где гравитационные силы идеально сбалансированы. Это места, которые умная и амбициозная цивилизация могла бы использовать для исследования и колонизации космического пространства.

Точки Лагранжа (точки либрации) или просто L-точки названы в честь французского математика Жозефа-Луи Лагранжа, впервые описавшего их ещё в XVIII веке. Любая система из двух массивных объектов в космосе, таких как Земля и Солнце, имеет пять точек стабильности, где гравитационное притяжение обоих тел компенсируют друг друга. В этих точках возникает небольшая область, где можно расположить спутник и сохранять его статичное положение с минимальными усилиями. Их часто называют "местом, где отсутствует гравитация".

Например, вы можете "припарковать" там космический телескоп или ЦОД, и вам потребуется совсем немного или даже нулевая энергия, чтобы сохранить их в фиксированном положении относительно Земли. Расположенный в точке либрации спутник буквально замрёт в одной точке относительно Земли, пойманный в гравитационную "оттяжку". Остаётся добавить, что одна из наиболее "удачных" с точки зрения расположения ЦОД точек Лагранжа находится между Солнцем и Землёй на расстоянии 1600000 км от последней. Конечно, далековато, хотя потери лазерного луча в вакууме будут не такими, как в атмосфере, однако же и задержки сигнала тоже будут значительно больше, нежели, к примеру, на низкой орбите в нескольких сотнях километров от поверхности Земли (однако постоянно движущийся относительно поверхности планеты ЦОД — не самый удобный объект для организации непрерывной связи). Остаётся добавить, что в точках Лагранжа уже работают спутники из разных стран, исследующих, в том числе, и возможность размещения там космических ЦОДов.

Так на какую орбиту запускать ЦОД? Если уж не в точке Лагранжа, то хорошо бы разместиться на геостационарной орбите

Читатели, приславшие в редакцию любые пять из шести купонов за полугодие, смогут претендовать на один из призов.

Сентябрь 2026 год

высотой около 36000 км. Правда, запуск туда — дорогое удовольствие, да и спутниками связи там всё забито. Встречается такое предложение — размещение на орбите "восход-закат" на высоте 650 км. На такой орбите для спутника не наступает ночь, и его солнечные батареи постоянно освещены либо восходящим, либо заходящим Солнцем, в зависимости от того, над каким полушарием планеты он находится.

Но тут же появляется первая трудность: непрерывной связи с ЦОДом опять же не получится. Спутник будет ненадолго показываться в поле зрения наземных станций и возвращаться лишь на следующем обороте. В совокупности речь может идти, наверное, о нескольких часах связи в сутки. Как же передать в ЦОД гигантские объёмы информации, которые он должен обработать и выгрузить результаты? Придётся-таки работать с межспутниковой связью и распределённым "вычислительным кольцом" из массы ЦОДов, расположенным на низкой орбите.

Запустить на орбиту современный ЦОД нереально. Эксперты предлагают изящный выход: ЦОД должен быть не монолитным сооружением, а группировкой из десятков спутников, поддерживающих связь между собой опять-таки по лазерному лучу. Однако коммуникация между разными частями ЦОДа должна быть ещё быстрее — до 10 Тбит/с (что, как понятно, не так просто). Предлагают добиться этого результата, разбив задачу на подзадачи, заставив спутники летать невиданно тесным роем. На скорости почти 8 км/с необходимо выдерживать расстояние между соседними аппаратами всего 100...200 м (Хьюстон, у нас проблемы). Всё это хозяйство будет ещё непрерывно колебаться, подчиняясь законам небесной механики. Это при том, что гравитационное поле над разными точками Земли несколько отличается — в нём есть свои "ямы и горки". Да и остатки атмосферы будут подтормаживать. В общем, подобный высший пилотаж выходит за пределы доступных технологий, и есть надежда, что именно ИИ обеспечит нужную точность управления. Главное, чтобы этот бортовой ИИ не сожрал всю вычислительную мощность космического ЦОДа. Иначе возникнет логичный вопрос: за что боролись?

Чуть не забыли — данные нужно куда-то передавать. Аналитики отмечают, что основная задача приведённых выше ЦОДов — обрабатывать информацию от соседних спутников-наблюдателей. Например, спутники дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) смогут передавать "сырой" поток ближайшему ЦОДу, где данные будут анализироваться и компрессироваться. На Землю пойдут уже готовые результаты (это граничные вычисления), что снизит нагрузку на каналы и серьёзно сократит задержку (малая задержка между низкоорбитальными спутниками составляет миллисекунды, в то время как через Землю передача занимает десятки миллисекунд на маршруты и задержки). Как показали эксперименты, лазерные межспутниковые терминалы смогут обмениваться данными на скоростях до 200 Гбит/с.

Как выясняется, орбитальные ЦОДы — удовольствие дорогое, и основные расходы там придутся на запуск и обслуживание. Даже с появлением ракет вроде Starship, обещающих удешевление запусков до сотен долл. за килограмм, доставка тяжёлых модулей всё ещё обходится в миллионы за тонну. Каждый лишний килограмм требует усиленной ракеты и более мощной посадочной платформы.

Массовое производство подобных систем потребует крупных инвестиций. Модули должны быть максимально надёжны и ремонтопригодны в автоматическом режиме (или с резервированием, а это дополнительная масса), поэтому в расчёты амортизации должны закладываться риски (микрометеориты, сбои, космический мусор).

Тем не менее, доступ к почти бесплатной солнечной энергии подталкивает к пересмотру экономики. К примеру, стартап Lumen Orbit приводит такую статистику: запуск орбитального ЦОДа на Starship обойдётся примерно в 10 млн долл., тогда как эквивалентная наземная инфраструктура потребует около 140 млн долл. только на электроэнергию. Конечно, здесь есть, с чем поспорить, но при крупномасштабном развёртывании расчёты кажутся неспециалистам привлекательными.

Согласно прогнозу Джеффа Безоса, ЦОДы в космосе станут реальностью через 10...20 лет. Однако здесь существует несколько барьеров, каждый из которых будет сопряжён с решением сложнейших инженерных задач. В конечном итоге все они могут быть решены до определённого уровня, но в том объёме, о котором мечтают занимающиеся ИИ компании, этот уровень будет недостижим на современном этапе развития науки и техники человеческой цивилизации.

Начнём с питания. Солнечные панели МКС площадью 2500 м^2 в пике способны выработать 200 кВт энергии. Условный ускоритель Nvidia H200 с обвязкой потребляет 1 кВт. Этой энергии, батарея для сбора которой создавалась годами, хватит на питание примерно трёх стоек с ускорителями Nvidia H200. На Земле новые ЦОДы с ускорителями Nvidia будут содержать десятки тысяч ускорителей. Питание ЦОД с 10000 GPU Nvidia потребует вывода на орбиту 500 спутников с батареями, как у МКС — а это лучшее, что у нас сегодня есть. Звучит нереально.

Как вариант, можно поговорить о ядерной установке на орбите. В настоящее время для подобного разрешено использовать радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ), которые обычно вырабатывают от 50 до 150 Вт. Можно ещё пофантазировать о ядерном реакторе на орбите Земли. Аварийный или плановый сход всего этого "добра" в атмосферу приведёт к загрязнению планеты радиоактивными материалами, поскольку может разбросать их по значительной территории.

Охлаждение серверов в космосе — это ещё одна трудноразрешимая инженерная задача. Средняя температура на спутнике будет такой же, как средняя температура на Земле, но только если спутник вращается как "курица на вертеле". В тени температура тел в вакууме будет понемногу снижаться за счёт инфракрасного излучения до уровня фонового излучения в галактике, что составит немногим больше абсолютного нуля. На солнечной стороне в это время будет нагрев до нескольких сотен градусов. Но и это не вся проблема.

На Земле за счёт обдува воздухом или охлаждения проточной водой за счёт конвекции тепло довольно легко передаётся в контур охлаждения. В вакууме таких условий нет, поэтому простые радиаторы там бесполезны. Решать придётся не проблему охлаждения, а проблему терморегуляции. На МКС это сложный контур с аммиаком в качестве теплоносителя и выносными панелями большой площади, которые за счёт естественного излучения сбрасывают тепло в пространство.

Система активного терморегулирования (ATCS) на МКС — пример такой системы отвода тепла. Предельная мощность рассеивания панелей на МКС составляет 16 кВт, т. е. примерно 16 графических процессоров H200 — немного больше, чем четверть наземной стойки. Система тепловых радиаторов имеет размеры 13,6×3,12 м, т. е. примерно 42,5 м^2. Если взять за основу 200 кВт и предположить, что вся эта мощность будет подаваться на графические процессоры, то нам понадобится система радиаторов в 12,5 раза больше, т. е. примерно 531 м^2, или около 20 % от площади соответствующей солнечной батареи. Со всей этой

Приём статей: mail@radio.ru
Вопросы: consult@radio.ru

обвязкой это будет очень большой спутник, площадь которого будет в разы больше площади МКС — и всё это ради трёх стандартных серверных стоек на Земле.

Третья проблема — радиация, бесконечные потоки заряженных частиц, которые могут обладать колоссальной энергией. Надёжное экранирование электроники в космосе невозможно. Во-первых, подъём лишней массы в космос на ракете будет по цене золота. Во-вторых, особенно мощные космические частицы, ударяясь в экран, создают лавину частиц с меньшими энергиями, которые вынесут электронику как выстрел из дробовика на близком расстоянии. Пролёт заряженной частицы через чип может переключить состояние транзистора (ячейки) и даже полностью вывести его из строя. Деградация чипов будет идти быстро и неконтролируемо, несмотря на возможные программные решения. В случае ускорителя Nvidia и пр. запускать такое в космос — всё равно, что выбросить.

Наконец, связь. Каналы связи с космосом на пару порядков уже, чем оптические каналы связи внутри ЦОД. Для ИИ это может быть не так критично, но хорошего в слабых каналах связи мало. Это ухудшит процесс масштабирования, и с этой проблемой тоже придётся разбираться.

А ещё можно добавить проблему уязвимости космических ЦОДов для вмешательства третьих сторон. На Земле серверные залы хорошо охраняются, особо важные объекты строятся в укрытиях. В космосе же придётся содержать флот. Наконец, космический ЦОД может быть уничтожен запуском мешка гаек на нужную орбиту.

И, наконец, очередное распределённое "вычислительное кольцо" вокруг Земли увеличит помехи для функционирования остальных спутниковых группировок.

Правда, будут и плюсы. В частности, космические ЦОДы не приведут к дефициту на Земле электриков и сантехников за отсутствием необходимости их присутствия в околоземном космическом пространстве.

По материалам

https://clck.ru/3RfxQR,
https://clck.ru/3RfxRZ,
https://clck.ru/3RfxSU,
https://clck.ru/3RfxTo,
https://clck.ru/3RfxVD,
https://clck.ru/3RfxWS

Приём статей: mail@radio.ru
Вопросы: consult@radio.ru