

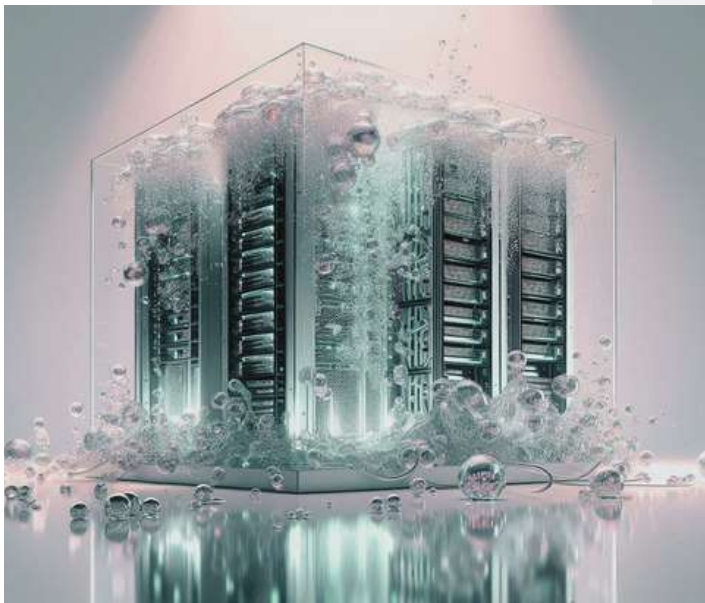


## ОХЛАЖДЕНИЕ В AI-ДАТА-ЦЕНТРАХ:

НОВЫЕ РЕАЛИИ  
ВЫСОКОПЛОТНЫХ НАГРУЗОК

Растущая вычислительная мощность и энергопотребление искусственного интеллекта превратили охлаждение в один из ключевых вызовов при проектировании дата-центров. Если традиционные площадки десятилетиями использовали воздушные системы с плотностью 5–15 кВт на стойку, то AI-кластеры сегодня требуют 40–80 кВт и более. При таких показателях воздушное охлаждение даже в оптимизированной форме теряет эффективность, что приводит к массовому переходу на жидкостные и гибридные технологии.

## ПОЧЕМУ ВОЗДУХ БОЛЬШЕ НЕ СПРАВЛЯЕТСЯ



Для серверов общего назначения тепловыделение можно удерживать в пределах **200–300 Вт на процессор**, но в AI-серверах ситуация иная.

Основной источник тепла — GPU-ускорители, каждый из которых выделяет **400–700 Вт**. В типовой системе их может быть до восьми, и суммарная нагрузка превышает **3 кВт на узел**.

Чтобы рассеять этот объём тепла воздухом, потребовались бы гигантские потоки с высоким давлением, что создаёт **большие потери энергии и ограничивает плотность размещения**.

Поэтому индустрия переходит к **жидкостным технологиям**, которые обеспечивают более эффективный теплообмен при меньших энергетических затратах.

## ЖИДКОСТНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ КАК НОВЫЙ СТАНДАРТ

Термин «*liquid cooling*» охватывает целую группу решений, ставших основой AI-инфраструктуры.

### 1. Direct-to-Chip (D2C)

Тепло отводится с процессоров, GPU и других компонентов с помощью холодных пластин, по которым циркулирует теплоноситель. Эта жидкость направляется во вторичный контур охлаждения, где происходит рассеивание тепла.



## 2. Rear-Door Heat Exchangers (RDHx)

Воздух, выходящий из стоек, проходит через жидкостные радиаторы, где охлаждается перед возвратом в помещение. Это гибридное решение, часто применяемое при модернизации уже работающих ЦОДов.

## 3. Иммерсионное (погружное) охлаждение

Оборудование частично или полностью погружается в диэлектрическую жидкость, что обеспечивает максимально эффективный теплоотвод.

Жидкостное охлаждение позволяет увеличить теплоотдачу в 3–5 раз по сравнению с воздухом и значительно сократить энергопотребление систем кондиционирования, улучшая показатели PUE и снижая OPEX.

# ПОГРУЖНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ: МАКСИМАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Иммерсионное охлаждение стало новым стандартом для высокопроизводительных AI-кластеров. Применяются два типа технологий:

ТИП	ПРИНЦИП РАБОТЫ	ОСОБЕННОСТИ
<b>SINGLE-PHASE IMMERSION</b>	ЖИДКОСТЬ НАГРЕВАЕТСЯ И ОТВОДИТСЯ БЕЗ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА.	ПРОСТАЯ И НАДЁЖНАЯ КОНСТРУКЦИЯ.
<b>TWO-PHASE IMMERSION</b>	ЖИДКОСТЬ ЗАКИПАЕТ НА ПОВЕРХНОСТИ КОМПОНЕНТОВ, ПАР КОНДЕНСИРУЕТСЯ ВО ВНЕШНЕМ КОНТУРЕ.	БОЛЕЕ ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА.

### ПРЕИМУЩЕСТВА:

- непосредственное удаление тепла с поверхности компонентов;
- отсутствие вентиляторов и воздушных потоков;
- плотность установки — до **100 кВт и выше на модуль**;
- снижение энергозатрат на охлаждение до **30–40%**;
- равномерный тепловой режим и продление срока службы оборудования.

Для AI-систем, работающих с многонедельными циклами обучения, такие решения становятся не экспериментом, а **промышленным стандартом**.

## КЛИМАТ И ФРИКУЛИНГ: ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИИ

Расположение дата-центра напрямую влияет на эффективность охлаждения.

В странах с умеренным и холодным климатом широко используются технологии *free cooling* — естественного охлаждения воздухом или водой.



### Основные подходы:

- **Воздушный и водяной фрикулинг** — использование наружного воздуха или холодной воды;
- **Адиабатическое охлаждение** — предварительное увлажнение воздуха для снижения температуры;
- **Комбинированные контуры** — сочетание фрикулинга и чиллеров с резервом.

Такие решения значительно снижают PUE, уменьшают капитальные затраты и повышают общую энергоэффективность.

Именно поэтому hyperscale-операторы всё чаще строят AI-дата-центры в **Скандинавии, Канаде, Северной Европе и северных штатах США**.



