Selectel

Жидкость или воздух: Эволюция систем охлаждения

Михайлов Илья
Директор направления дата-центров

Что предшествовало жидкостному охлаждению?

Современные вызовы

Плотность стоек > 40–80 + кВт
Воздух достигает предела эффективности
Необходимость перехода к жидкостному охлаждению

Усиление воздушного охлаждения

Появление систем in-row и in-rack (охлаждение ближе к стойкам) установка охладителей рядом или внутри стойки, чтобы сократить путь воздуха.
Решения по оптимизации энергопотребления. Снижение PUE, при котором ограничение по эффективности оставалось

Рост нагрузок

Увеличение тепловыделения CPU и GPU
Оптимизация потоков: «холодные» и «горячие» коридоры
Повышение расходов на энергопотребление

Классические дата-центры

Низкая плотность оборудования
Воздушное кондиционирование разных типов

Почему мы пришли к жидкостному охлаждению?

Классическое охлаждение воздухом

🌀 Простое и привычное

⚡ До 15–20 кВт/стойка

💸 До 40% энергии уходит на кондиционирование

🔥 Перегрев при высокой плотности

Жидкостное охлаждение (DLC)

💧 Отвод тепла напрямую с CPU/GPU

⚡ Поддержка >50 кВт/стойка

📉 Снижение энергозатрат

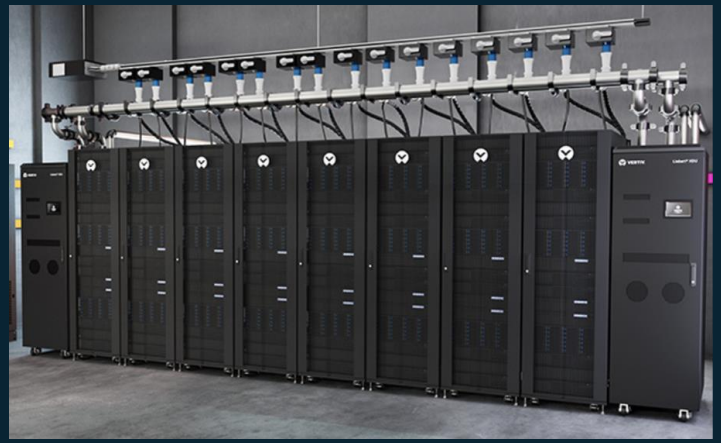
🔗 Не замена воздуху, а дополнение

Типы систем

Стоечный CDU. in-rack

- Компактная CDU (насосы+теплообменник+фильтры) установлена в/рядом со стойкой; вторичный контур подаёт воду на колдплейты CPU/GPU.
- **Когда применять:** точечные high-density стойки; поэтапный запуск без влияния на соседние ряды.
- **Плюсы:** изоляция контуров, простая локальная отказоустойчивость, быстрая интеграция.
- **Ограничения:** больше единиц оборудования (на каждую стойку), локальный сервис

CDU на ряд стоек. Row/room CDU

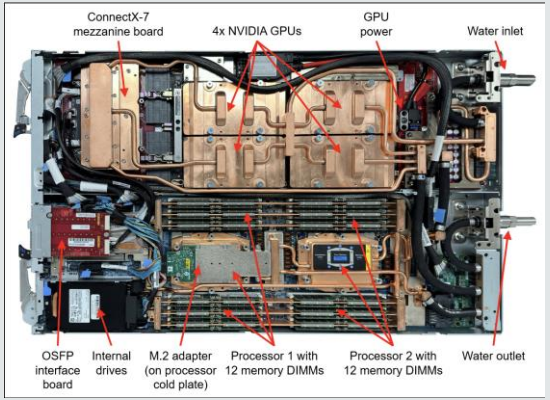


- Одна «крупная» CDU обслуживает сразу несколько стоек/весь ряд; распределение воды по манифольдам стоек.
- **Когда применять:** масштабные залы с несколькими высокоплотными рядами.
- **Плюсы:** централизация, меньше единиц CDU, удобное управление и телеметрия.
- **Ограничения:** проектирование гидравлики ряда, единая точка влияния (нужен резерв N+1)

Теплообменник-дверь («холодная дверь», RDHx — передняя/задняя)

- Дверной радиатор со встроенным теплообменником на воде, снимает тепло с входящего/выходящего воздуха стойки.
- **Когда применять:** апгрейд существующих стоек без переделки серверов; 20–40(+) кВт/стойка.
- **Плюсы:** быстрый retrofit, совместимость с «воздухом», уменьшение нагрузки на зал.
- **Ограничения:** не всегда снимает 100% тепла (зависит от модели/ΔT), трубная обвязка к каждой стойке.

Полностью водяная стойка (fanless варианты; пример — решения Lenovo Neptune



- Вся электроника стойки охлаждается водой (CPU/GPU, память/VRM, иногда даже **блоки питания**); **вентиляторы в узлах не требуются** или сведены к минимуму.
- **Когда применять:** экстремальная плотность, тёплая вода (heat-reuse), минимальный шум.
- **Плюсы:** максимальная доля снятого тепла водой, высокая ΔT, потенциал утилизации тепла.
- **Ограничения:** совместимость платформ/шасси, требования к качеству воды, выше CAPEX.

Погружные системы (иммерсия, одно- и двухфазная)

- серверы погружены в диэлектрическую жидкость; тепло снимается через погружной теплообменник.
- **Когда применять:** суперплотные HPC/AI ряды, изоляция от пыли/влаги, минимум шума.
- **Плюсы:** очень высокая плотность, низкий PUE, равномерное охлаждение.
- **Ограничения:** изменения в эксплуатации/сервисе, совместимость железа, отдельная инфраструктура.

Что имеем?

Нужно запустить 1–2 стойки быстро? → *in-rack CDU*.

Целый ряд/зал high-density? → *row/room CDU*.

Максимум тепла в воду / heat-reuse / тихо? → *полностью водяная стойка (fanless)*.

Нельзя менять серверы, нужен апгрейд? → *RDHx («холодная дверь»)*.

Нужна экстремальная плотность и изоляция? → *иммерсия*.

Остаться на воздухе или все же идти в DLC?

Оставим советы за скобками: далее — факты

Выбор определяется плотностью стоек, профилем нагрузок и экономикой

При умеренной плотности и подходящем климате рационален воздух/фрикулинг; при росте доли GPU, жёстких целях по PUE и дефиците площадей — **DLC/гибрид**.

Сравнение технических и финансовых показателей

Наименование систем	PUE, (прямое отношение IT к холодильной)	Мощность одной IT стойки, кВт	Количество стоек, шт.	IT мощнсть, кВт	Общая потребляемая мощность установок с собственными нуждами, кВт.	Расход воздуха на стойку, м3/ч	Расход одной ВУ, м3/ч	Общий расход воздуха в помещении, м3/ч с учетом всех ВУ	Количество установок, шт.	Количество теплопритоков удаляемых прямым водяных охлаждением, кВт	Количество теплопритоков удаляемых прямым фрикулингом, кВт	Площадь помещения, м.кв.	Площадь под оборудовани е м.кв.	Годовое потребление , кВт/ч
4 МВт														
Система прямого фрикулинга 200 стоек, 20 кВт.	1,25	20	200	4 000	980	6 200	56 364	1 352 727	24	-	4 000	972	1166,5	8 584 800
Система прямого водяного охлаждения стойки + система прямого фрикулинга 100 стоек, 40 кВт.	1,17	40	100	4 000	**660**	4 200	42 000	504 000	12	2 800	1 200	365	390	5 781 600
Вентиляция с адиабатикой					300				12					
Драйкулеры 700кВт					72				5					
DLC														
Насос циркуляционный					88				5					
CDU					100				100					
Собственные нужны					100									

Наименование систем	Стоимость за 1 кв.м. строения	Стоимость строения	Стоимость за 1кв.м. площадки для оборудования	Стоимость площадки для оборудования	Средняя стоимость ВУ за 1 куб.м.воздуха	Стоимость системы, руб.	Стоимость охлаждения в отношении 1кВт IT мощности	Итоговая стоимость реализации	Годовая стоимость потребляемой электроэнергии системы охлаждения, с учетом стоимости за 1 кВт*ч=4,6 руб.
4 МВт									
Система прямого фрикулинга 200 стоек, 20 кВт.	158 741,98р.	154 297 204,56р.	37 475,35р.	43 714 990,14р.	157,85р.	213 528 000,00р.	53 382,00р.	**411 540 194,70р.**	39 490 080,00р.
Система прямого водяного охлаждения стойки + система прямого фрикулинга 100 стоек, 40 кВт.	158 741,98р.	57 940 822,70р.	37 475,35р.	14 615 384,62р.	157,85р.	350 235 297,81р.	87 558,82р.	**422 791 505,13р.**	26 595 360,00р.
Вентиляция с адиабатикой						79 556 400,00р.			
Драйкулеры 700кВт						34 875 000,00р.			
DLC						60 303 897,81р.			
Насос циркуляционный						4 500 000,00р.			
CDU						171 000 000,00р.			
Собственные нужны									

Сравнение технических и финансовых показателей

Наименование систем	PUE, (прямое отношение IT к холодильной)	Мощность одной IT стойки, кВт	Количество стоек, шт.	IT мощнсть, кВт	Общая потребляемая мощность установок с собственными нуждами, кВт.	Расход воздуха на стойку, м3/ч	Расход одной ВУ, м3/ч	Общий расход воздуха в помещении, м3/ч с учетом всех ВУ	Количество установок, шт.	Количество теплопритоков удаляемых прямым водяных охлаждением, кВт	Количество теплопритоков удаляемых прямым фрикулингом, кВт	Площадь помещения, м.кв.	Площадь под оборудовани е м.кв.	Годовое потребление , кВт/ч
8 МВт														
Система прямого фрикулинга 400 стоек, 20 кВт.	1,23	20	400	8 000	1840	6 200	68 889	2 755 556	40	-	8000	1526	1696	16 118 400
Система прямого фрикулинга 200 стоек, 40 кВт.	1,24	40	200	8 000	1924	12 500	65 789	2 631 579	40	-	8000	782	1000	16 854 240
Система прямого водяного охлаждения стойки + система прямого фрикулинга 100 стоек, 80 кВт.	1,12	80	100	8 000	**945**	8 000	57 143	914 286		5 600	2 400	604	680	8 278 200
Вентиляция с адиабатикой					560				16					
Драйкулеры 800кВт					133				8					
DLC														
Насос циркуляционный					110				6					
CDU					42				14					
Собственные нужны														

Наименование систем	Стоимость за 1 кв.м. строения	Стоимость строения	Стоимость за 1кв.м. площадки для оборудования	Стоимость площадки для оборудования	Средняя стоимость ВУ за 1 куб.м.воздуха	Стоимость системы, руб.	Стоимость охлаждения в отношении 1кВт IT мощности	Итоговая стоимость реализации	Годовая стоимость потребляемой электроэнергии системы охлаждения, с учетом стоимости за 1 кВт*ч=4,6 руб.
Собственные нужны									
8 МВт									
Система прямого фрикулинга 400 стоек, 20 кВт.	158 741,98р.	242 240 261,48р.	37 475,35р.	63 558 185,41р.	157,85р.	434 964 444,44р.	54 370,56р.	**740 762 891,33р.**	74 144 640,00р.
Система прямого фрикулинга 200 стоек, 40 кВт.	158 741,98р.	124 136 228,36р.	37 475,00р.	37 475 000,00р.	157,85р.	415 394 736,84р.	51 924,34р.	**577 005 965,20р.**	77 529 504,00р.
Система прямого водяного охлаждения стойки + система прямого фрикулинга 100 стоек, 80 кВт.	158 741,98р.	95 880 155,92р.	37 475,00р.	25 483 000,00р.	157,85р.	433 056 195,35р.	54 132,02р.	**554 419 351,27р.**	38 079 720,00р.
Вентиляция с адиабатикой						144 320 000,00р.			
Драйкулеры 800кВт						60 210 720,00р.			
DLC						101 409 475,35р.			
Насос циркуляционный						5 400 000,00р.			
CDU						121 716 000,00р.			
Собственные нужны									

Соединения в кластере ИИ

NVIDIA (InfiniBand)

OSFP 400G SR4 850nm 50m MPO-12/APC IB NDR, NVIDIA (InfiniBand)

IB 400G SR4 | 100G PAM4 | Broadcom 7nm...

US$1,399.00

NVIDIA (InfiniBand)

OSFP 400G DR4 1310nm 500m MPO-12/APC SiPh IB NDR, NVIDIA...

IB 400G DR4 | 100G PAM4 | Broadcom 7nm...

US$1,499.00

1m (3ft) 1.5m (5ft) 2m (7ft)

400G OSFP to 2x 200G QSFP56 Passive Breakout DAC IB HDR, 2m (7ft)

IB HDR | 50G PAM4 | ≤0.1W | 39.5mm |...

US$159.00

3m (10ft) 5m (16ft) 10m (33ft) +3

400G OSFP to 2x 200G QSFP56 Breakout AOC IB HDR, 10m (33ft)

IB HDR | 50G PAM4 | ≤4W/8W | 30mm |...

US$1,063.00

Каждый сервер

8 Infiniband кабелей

(NDR - 400 Gbit/s)

Cabling кластера

4 стойки рядом – $70 000

16 стоек вразнобой – $300 000

Selectel

selectel.ru

selectelnews

selectel

Спасибо за внимание!