Результаты тестирования теплообменников

Введение

На телекоммуникационном рынке уже давно никого не удивить, установленными в шкаф, вентиляторами охлаждения или уличным шкафом с кондиционером. При этом, в стороне остаются теплообменники – устройства, имеющие радиатор, разделяющий потоки горячего и холодного воздуха.

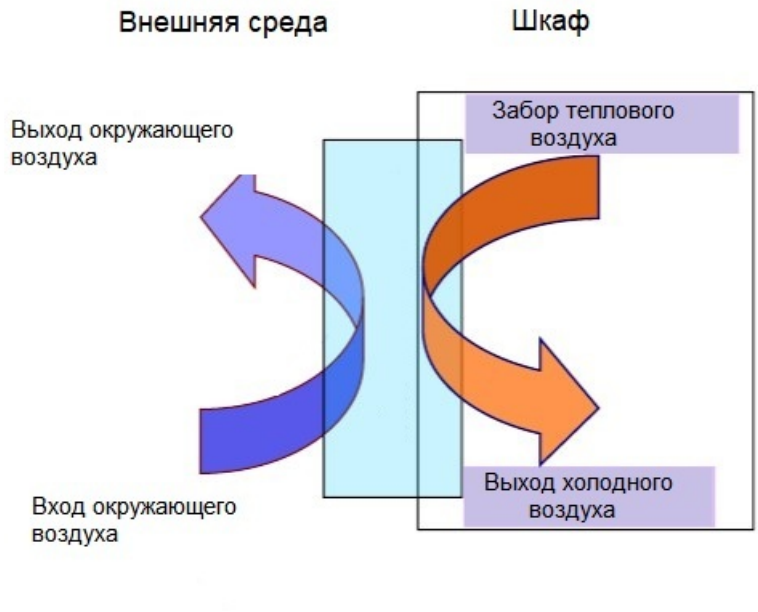

Рисунок 1. Принцип работы теплообменника

В отличие от кондиционера с компрессором и фреоном, теплообменник не имеет в составе жидкостей или газа. Поддержание температуры происходит за счет циркуляции воздуха вдоль пластин (ламелей) радиатора, тепло с которых снимается потоком уличного воздуха.

По внешнему виду, теплообменник почти неотличим от кондиционера для установки в шкаф. Основное отличие – один или несколько мощных центробежных вентиляторов у теплообменника, способных обеспечить поток воздуха вплоть до 1000 м3/час и, чаще всего, осевой или небольшой центробежный вентилятор у кондиционера.

Кондиционер SNR-ACC-500-ACH	Теплообменник SNR-HEX-120-DC

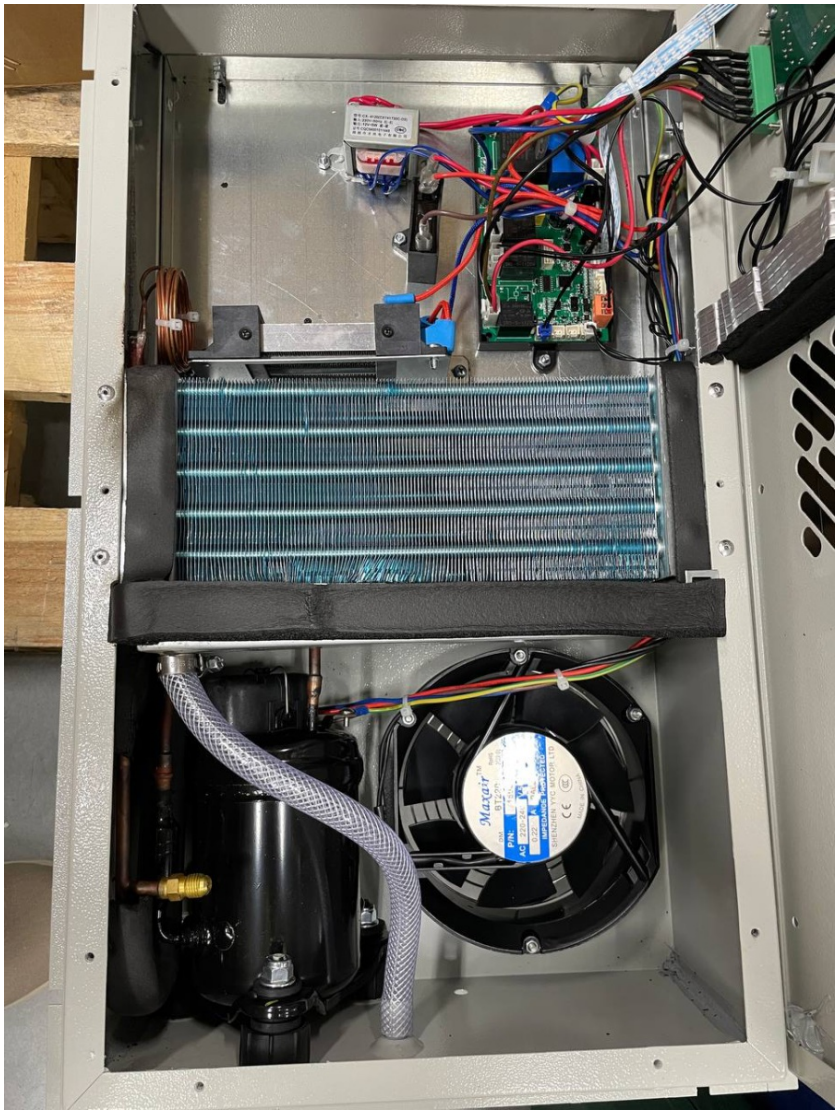



Рисунок 2. Внешний вид кондиционера и теплообменника SNR со снятой передней панелью

По сравнению с вентиляцией, теплообменники имеют ряд достоинств:

- Пыль не проникает в шкаф.
- Защита оболочки IP54 и выше.
- Напряжение питания адаптировано под телеком DC 48 V.
- Простота конструкции (отсутствие технически сложных узлов — компрессора, фреонопровода) обеспечивает длительный срок службы.

По сравнению с кондиционерами, у теплообменников есть существенный недостаток: **внутренняя**

температура всегда выше внешней.

Поэтому установка теплообменника целесообразна в случае расширенного температурного диапазона эксплуатации активного оборудования внутри шкафа.

Предыстория

Климатические шкафы с теплообменниками востребованы операторами связи для размещения АТС и мультисервисных узлов абонентского доступа. Мы решили разработать шкаф под технические требования и принять участие в одном из конкурсов. Климатические шкафы с кондиционерами изготавливаем уже давно, пора и с теплообменниками обзавестись.

Взяв за основу технические требования на климатический шкаф от федерального оператора связи, мы рассчитали необходимую мощность теплообменника.

Для этого использовали формулу:

$$q\text{рас} = \frac{Q - (A * \Delta T * k)}{\Delta T}$$

Где:

qрас – удельная тепловая мощность, Вт/К;

Q - тепловыделение оборудования 1200 Вт;

A - площадь поверхности шкафа 4,14 м^2;

ΔT - максимально возможная разность температур 15 К;*

k - теплопроводность применяемого утеплителя 0,035 Вт/(м·С).

* – Значение ΔT получено путем разности температуры на входе вентиляции активного оборудования (+65°С) и максимальной наружней температуры (+50°С), указанных в технических требованиях.

Подставив значения в формулу, получили необходимую удельную тепловую мощность 79,84 Вт/К.

Разработали модель шкафа, взяв за основу наши стандартные решения, изменив габарит шкафа и заменив кондиционер на теплообменник **SNR-HEX-120-DC** мощностью 120 Вт/К.

Получилось красиво:

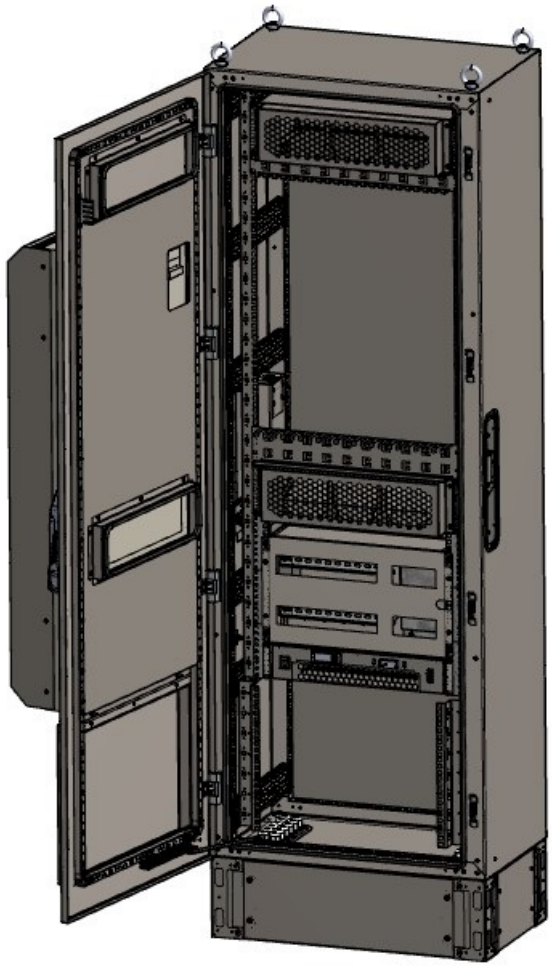

Рисунок 3. Климатический шкаф с теплообменником

Для своего первого климатического шкафа с теплообменником, нашей «первой ласточки», мы разработали методику тестирования, а чтобы было с чем сравнивать, мы сделали второй шкаф и установили в него теплообменник **Envicool EX19HDLC1F** мощностью 190 Вт/К. Самый мощный, который смогли оперативно найти.

Методика тестирования теплообменников Envicool EX19HDLC1 °F и SNR-HEX-120-DC

Подготовительные мероприятия:

1. Разместить оба климатических шкафа в непосредственной близости друг от друга.
2. Подготовить две кабельных линии для подключения шкафов к сети 230 В через разъем ДГУ. В непосредственной близости с розетками разделать кабель на длину 150 мм для возможности фиксации токовых клещей.
3. Расположить электропитающую установку (ЭПУ) вне шкафов для возможности коммутации теплообменников без доступа в шкафы.
4. Подключить входное питание ~230 В на вход ЭПУ.
5. Подключить к обоим выходам ЭПУ две кабельные лини (по одной на каждый шкаф) и завести их в шкафы.
6. В верхней части шкафов установить тепловентиляторы мощностью 1000 Вт, направив воздушный поток с которых, в сторону забора горячего воздуха теплообменником. Таким образом, эмулировав работу вентиляции активного оборудования.
7. В нижней части шкафов, в месте размещения ЭПУ, установить нагреватели мощностью 150 Вт.
8. Подключить питание нагревателей каждого шкафа через индивидуальный счетчик электрической энергии для сравнения потребленной электроэнергии обоими шкафами за период тестирования.
9. Зафиксировать начальные показания счетчиков электроэнергии.
10. Для каждого шкафа предусмотреть контроллер ERD-4s для мониторинга температуры. К контроллерам ERD-4s подключить по три датчика температуры и разместить их в зонах:

- Забор горячего воздуха в теплообменник.
- Выдув холодного воздуха из теплообменника.
- Место установки ЭПУ (внизу шкафа).

11. С помощью патч-кордов подключить каждую ERD-4s к роутеру. Туда же подключить виртуальную машину с Zabbix и ноутбук для мониторинга.

Тестирование

1. Подать питание 230 В на собственные нужды шкафов через разъем ДГУ.
2. Подать питание 230 В на ЭПУ, включить авт.выкл. нагрузки на ЭПУ.
3. Настроить EDR-4s согласно мануала.
4. Развернуть Zabbix.
5. Подключить токовые клещи к вводным кабельным линиям ~230 В.
6. Закрыть двери шкафов и наблюдать за температурой внутри шкафов с помощью интерфейса ERD-4s и Zabbix.
7. Температура выдува горячего воздуха из нагревателей должна быть примерно одинакова.
8. Наблюдать за ростом температуры по датчикам.

Тестирование теплообменников Envicool EX19HDLC1 °F и SNR-HEX-120-DC

Цель

1. Проверка теоретических расчетов, при подборе теплообменника.
2. Измерение температуры в местах установки активного оборудования и системы автономного электроснабжения.

Описание подготовки тестирования

На рисунке 4 представлен общий вид шкафов. Шкафу с теплообменником мощностью 190 Вт/К присвоим имя MSAN 1, а шкафу с теплообменником 120 Вт/К - имя MSAN 2.

Высота 41U, универсальная ширина 21'' с переходниками на 19'' и глубина всего 450 мм. Все элементы выполнены из стали 2 мм.

Дополнительно разработали и изготовили вентиляционные каналы для увеличения эффективного воздушного потока через активное оборудование. В верхних юнитах установлен воздуховод, перенаправляющий воздушный поток от активного оборудования в горячий коридор теплообменника. Конструкция воздуховода позволяет установить внутрь осевые вентиляторы 120×120 мм, тем самым, повысив эффективность системы охлаждения. На входе горячего воздуха теплообменников установили панели с уплотнителями для плотного прилегания с воздуховодом.

В качестве эксперимента, в шкафу MSAN 2, установили воздуховод на выход холодного воздуха из теплообменника. Таким образом, воздушный поток холодного воздуха будет максимально сконцентрирован в зоне активного оборудования.

Общий вид климатических шкафов представлен на рисунке 4.

Шкаф MSAN 1 с теплообменником Envicool EX19HDLC1F	Шкаф MSAN 2 с теплообменником SNR-HEX-120-DC





Рисунок 4. Общий вид климатических шкафов

Тестирование теплообменников Envicool EX19HDLC1 °F и SNR-HEX-120-DC проводилось в помещении объемом приблизительно 600 м³, при температуре окружающего воздуха +25°C.

В верхней части шкафов, в месте установки MSAN, расположили нагреватель мощностью 1000 Вт с направлением воздушного потока в сторону забора воздуха теплообменника (горячий коридор). В нижней части шкафов, в месте установки ЭПУ, установили нагреватель мощностью 150 Вт.

Датчики температуры разместили в трех точках:

- В горячем коридоре теплообменника.
- В холодном коридоре теплообменника.

- В районе размещения ЭПУ и АКБ.

Тестирование

Двери климатических шкафов были закрыты в 16:32. Температура снаружи, по датчикам температуры, +25°C.

Внешний интерфейс ERD-4s представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. Внешний вид интерфейса ERD-4s

Показатели температур для наглядности сведены в таблицы:

Таблица 1. Шкаф MSAN 1. Теплообменник Envicool EX19HDLC1 °F 190 BT/K

	16−32 0 минут	16−40 8 минут	16−58 26 минут	17−27 55 минут	17−42 70 минут
Вход теплообменника	25°C	34,6 °C	35,8 °C	36,4 °C	36,4 °C
Выход теплообменника	25°C	31,0 °C	32,2 °C	32,9 °C	32,9 °C
ЭПУ	25°C	26,6 °C	27,0 °C	27,4 °C	27,2 °C

Таблица 2. Шкаф MSAN 2. Теплообменник SNR-HEX-120-DC 120 BT/K

	16−32 0 минут	16−40 8 минут	16−58 26 минут	17−27 55 минут	17−42 70 минут
Вход теплообменника	25°C	41,8 °C	44,2 °C	45,1 °C	45,0 °C
Выход теплообменника	25°C	35,6 °C	37,6 °C	38,2 °C	38,4 °C
ЭПУ	25°C	28,8 °C	31,8 °C	32,9 °C	33,1 °C

Графики и описание



Рисунок 6. Шкаф MSAN 1 с теплообменником Envicool EX19HDLC1 °F 190 BT/K

После трех минут от начала тестирования, температура в горячем коридоре теплообменника (синий график) увеличивается на 7 °C и достигает значения 33 °C. Температура на выходе теплообменника (красный график) показывает существенный рост в течение 7 минут и стабилизируется на отметке 31 °C.

Температура АКБ на протяжение 30 минут (до 16:52) показывает значение 26 °C, а затем увеличивается на 1 °C и остается неизменной, вплоть, до окончания тестирования.

Температура горячего коридора показывает рост в течение 35 минут и стабилизируется в 17:07 на отметке 36°C.

Температура на выходе теплообменника держится около 32 °C в течение 60 минут, а ближе к окончанию тестирования, добавляет еще 1 °C и фиксируется на уровне 33 °C.



Рисунок 7. Шкаф MSAN 2 с теплообменником SNR-HEX-120-DC 120 BT/K

После трех минут от начала тестирования, температура в горячем коридоре теплообменника (синий график) увеличивается на 15 °C и достигает значения +40°C. Температура на выходе теплообменника (красный график) показывает рост на 8 °C, до 35 °C в течение первых пяти минут после начала тестирования. За счет установки вентиляционного канала в холодном коридоре теплообменника, пространство в нижней части шкафа получается термоизолированным от горячего воздуха, нагревающего верхнюю часть шкафа и радиатор теплообменника.

Температура по датчику в районе АКБ показывает плавный рост на 5 °C до значения 30 °C за 10 минут работы.

В течение 40 минут (до 17:15) от начала тестирования, происходит рост температуры до значений:

- горячий коридор 45 °C;
- холодный коридор 38 °C;
- АКБ 32 °C.

По графикам температур, в 17:15 температура стабилизируется на достигнутых значениях. Присутствуют флуктации температуры (±1°C) горячего и холодного коридоров.

Через 60 минут (в 17:32), температура АКБ увеличивается еще на 1 °C и стабилизируется на отметке 33 °C до конца тестирования.

Графики температуры симметричны друг другу, рост температуры происходит плавно.

Резкий скачок температуры в 15:00 по графику АКБ (зеленый) обусловлен открытием двери,

проверкой положения датчиков и ее закрытием. Температура по остальным датчикам не изменилась.

Результаты

Расчеты

Тестирование проводилось в помещении объемом около 600 м³, при температуре окружающего воздуха +25°C. В течение 80 минут (на протяжении всего тестирования), температура помещения оставалась неизменной +25°C (298,15 K).

Для расчета фактической мощности теплообменников используем знакомую формулу:

$$q\text{факт} = \frac{Q - (A * \Delta T * k)}{\Delta T}$$

Где:

qфакт – удельная тепловая мощность, Вт/К

Q - тепловыделение оборудования, 1150 Вт;

A - площадь поверхности шкафа, 4,41 м²;

ΔT - максимально возможная разность температур, К;

k - теплопроводность применяемого утеплителя, 0,035 Вт/(м·С).

Оба шкафа имеют одинаковые параметры, кроме зафиксированной максимальной температуры на выходе теплообменников. Ее мы и подставим в формулу вычисления ΔT:

$$\Delta T = T\text{внутр} - T\text{внеш}$$

Где:

ΔT - максимально возможная разность температур, К;

Tвнутр – температура, зафиксированная на выходе теплообменника, К

Tвнеш – температура окружающего воздуха, К

Подставив конечные значения температуры на выходе теплообменников, мы получим максимально возможную разницу температур.

Для расчета нам потребуется перевести значения температур из градусов Цельсия в Кельвины. Тут нам помогут два общепринятых условия:

- Один градус Цельсия равен одному Кельвину.
- 0 °C = 273,15 K.

Для наглядности перевода единиц измерения, сведем данные в таблицу 3:

Таблица 3

	Градусы Цельсия, °C	Кельвин
Температура таяния льда	0	273,15
Температура окружающего воздуха	25	298,15

Внутренняя температура шкаф MSAN 1 Envicool EX19HDLC1F	32,9	306,5
Внутренняя температура шкаф MSAN 2 SNR-HEX-120-DC	38,4	311,55

Температура окружающего воздуха 25 °C = 298,15 K.

Шкаф MSAN 1 Envicool EX19HDLC1 °F температура 32,9 °C или 306,5 K.

Шкаф MSAN 2 SNR-HEX-120-DC температура 38,4 °C или 311,55 K.

Процентное выражение между номинальной и фактической мощностью выражается по формуле:

$$\delta = \frac{|q\text{ном} - q\text{факт}|}{q\text{факт}} * 100$$

По условию технических требований, эксплуатация активного оборудования внутри шкафа допустима при температуре на входе вентиляции +65°C и наружней температуре +50°C.

На основе полученных данных, рассчитаем мощность теплообменников при наружней температуре +50 °C. Для этого переведем градусы Цельсия в градусы Кельвина:

Градусы Цельсия, °C	Кельвин
0	273,15
50	323,15
65	338,15

Подставим значения в формулу и вычислим внутреннюю температуру, при наружней температуре +50°C:

$$T\text{внутр} = \frac{Q}{q\text{факт}} + T\text{внеш}$$

Где:

Tвнутр – температура, на выходе теплообменника, К

Q - тепловыделение оборудования, 1200 Вт;

qфакт – удельная тепловая мощность теплообменника, Вт/К

Tвнеш – температура окружающего воздуха, 323,15 К;

Полученные в результате измерений и расчетов данные, сведем в таблицу:

	T внеш, K	T внутр, K	разница T, K	q ном, Вт/K	q факт, Вт/K	δ%	T внутр, при наружней температуре +50 °C, K	T внутр, при наружней температуре +50 °C, °C
Шкаф MSAN 1 Envicool EX19HDLC1F	298,15	306,5	8,35	190	137,57	37,98	331,87	58,72
Шкаф MSAN 2 SNR-HEX-120-DC	298,15	311,55	13,4	120	85,66	40,09	337,16	64,01

Вывод

При использовании теплообменника SNR-HEX-120-DC номинальной мощностью 120 Вт/K, условия технических требований выполняются.

При внешней температуре +50°C и тепловыделении 1200 Вт, температура на входе системы вентиляции активного оборудования составит 64,01 °C.

Эксплуатация климатических шкафов с теплообменником SNR-HEX-120-DC возможна при температуре наружнего воздуха до +50°C и рабочей температуре, установленного внутри шкафа, оборудования выше +65°C.

Применение более мощного теплообменника Envicool EX19HDLC1 °F с номинальной мощностью 190 Вт/K, нецелесообразно.

Напольные шкафы с теплообменниками — изделие проектное и рассчитывается индивидуально под нужды заказчика. В магазине представлены напольные и настенные шкафы с вентиляцией и кондиционированием.

Примеры шкафов:

[Изображение недоступно]
Настенный шкаф

[Изображение недоступно]
Напольный шкаф