

Утилизация тепла конденсации холодильной установки с помощью аммиачного теплового насоса

Компания Маекава была основана в 1924 г. и в настоящее время является одной из крупнейших мировых корпораций в области промышленного холода. Заботясь о сохранности окружающей среды, она активно продвигает идею использования «Пяти натуральных хладагентов», которые включают в себя аммиак, диоксид углерода, углеводородные газы, воздух и воду. Маекава занимается выпуском аммиачных компрессоров на протяжении более чем 85 лет, а оборудованием для компримирования CO₂ и углеводородов – более 40 лет.

В последние годы Маекава активно разрабатывает тепловые насосы на природных хладагентах для различных промышленных применений.

Экономия затрат на электроэнергию за счёт применения аммиачных тепловых насосов высокого давления

Источником тепла для тепловых насосов высокого давления служит тепло конденсации, вырабатываемое холодильной установкой. В зависимости от требуемой тепловой производительности выбираются тип и модель компрессора.

Маекава выпускает как винтовые компрессоры, так и поршневые компрессоры высокого давления (50 бар и выше), которые могут быть применены в тепловых насосах.

На **рисунке 1** показан тепловой насос, оборудованный винтовым компрессором модели N160GHS, а на **рисунке 2** – тепловой насос с поршневым компрессором модели N6HK.



Рисунок 1: Аммиачный тепловой насос с винтовым компрессором

Рассмотрим более подробно вариант с аммиачным тепловым насосом, который использует тепло конденсации для выработки горячей воды с температурой 60°C, применяемой в технологических нуждах мясокомбината. Потребность данного мясокомбината по горячей воде составляла 406 кВт, при этом нагрев воды следовало осуществлять с 12°C до 60°C.

Нами был выбран поршневой компрессор модели N6HK с максимальным рабочим давлением 50 бар, работающий на аммиаке при TE/TC = +35/+67°C (PS/PD = 13,5/30,5 бар) и вырабатывающий тепло в объёме 406 кВт при частоте вращения вала 970 об/мин. Потребляемая мощность компрессора при указанных условиях составляет 43,9 кВт, что позволило по-



Рисунок 2: Аммиачный тепловой насос с поршневым компрессором

лучить итоговый тепловой коэффициент (COP) в размере 9,3.

В качестве конденсатора теплового насоса применён кожухопластинчатый теплообменник, конденсация аммиака в котором происходит при 65°C , что позволяет вырабатывать горячую воду с температурой 60°C . Масляная система данного теплового насоса состоит из маслоотделителя (со степенью очистки 10 мг/кг по весу) с реле уровня масла, внешнего масляного ресивера и системы возврата масла. Расширение аммиака осуществляется с помощью линейного расширительного вентиля, управляемого по уровню аммиака в отделителе жидкости. Плюсом описываемой системы является простота монтажа и подключения данной теплонасосной установки к работающей холодильной системе.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема данной системы. В нижней части схемы расположена холодильная установка, вырабатывающая тепло в конденсаторе при температуре конденсации 40°C .

Компрессор теплового насоса забирает газообразный хладагент со стороны высокого давления холодильной установки, т.е. с линии нагнетания холодильного компрессора, и подаёт его на сторону низкого давления теплового насоса. Прежде чем попасть на всасывание компрессора теплового насоса газообразный аммиак проходит через газоохладитель, а также теплообменник газ/жидкость на всасывании. Тепловой насос компримирует аммиак, повышая тем самым его температуру с 40°C до 65°C , что позволяет производить горячую воду с температурой 60°C при температуре входящей воды 12°C . Нагрев воды с 12°C до 60°C обеспечивается за счёт применения высокоэффективного теплообменника на стороне высокого давления теплового насоса, а также теплообменника газ/жидкость на линии всасывания теплового насоса. Благодаря использованию данной комбинации теплообменников мы смогли добиться теплового коэффициента от 6,0 до 9,0 единиц. Нарботка данного теплового насоса на сегодняшний день составляет порядка 6000 моточасов.



Рисунок 3: Принципиальная схема установки мясокombината

На рисунке 4 показано, каким образом тепловой насос размещён в машинном отделении, внешний бак термальной аккумуляции используется для накопления горячей воды. Размер бака позволяет перекрыть пиковый расход горячей воды.

Рисунок 5 иллюстрирует график суточного потребления горячей воды на предприятии. Потребление горячей воды наблюдается в дневное время, когда производственные линии работают. График также показывает, что в течение 24 часов поддерживается одинаковая разница температур (красный цвет: температура $t \geq 50^{\circ}\text{C}$, жёлтый цвет: $50^{\circ}\text{C} > t > 30^{\circ}\text{C}$, синий цвет: $t \leq 30^{\circ}\text{C}$). Это означает, что утилизация тепла оптимизирована благодаря тому, что была до минимума сокращена ежедневная выработка горячей воды.



Рисунок 4: Внешний вид теплового насоса и бака термальной аккумуляции

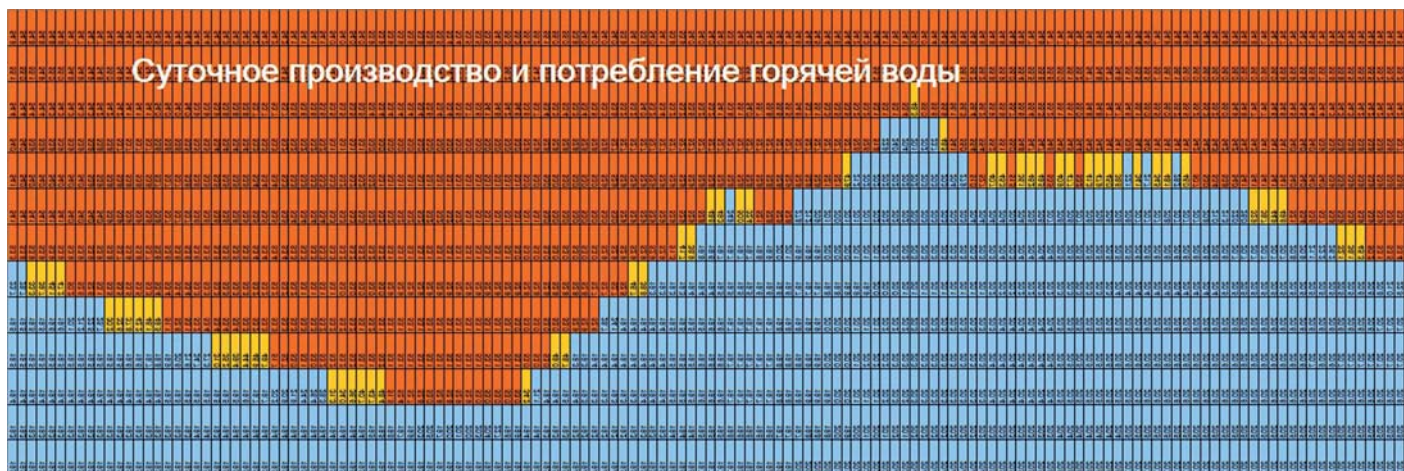


Рисунок 5: Суточное производство и потребление горячей воды

На **рисунке 6** показан температурный график по воде, температура воды на входе отмечена синим цветом, а на выходе – красным. Температура воды на выходе колеблется в районе 62°C, а температура на входе находится в диапазоне от 15 до 35°C.

Рисунок 7 показывает зависимость между общей тепловой производительностью (синяя кривая), рассчитываемой на основе расхода воды и температуры воды на входе и выходе, и COP теплового насоса (красная кривая). Мы можем видеть, что тепловая производительность колеблется в пределах между 260 и 340 кВт.

COP, рассчитанный как отношение общей тепловой производительности к потребляемой мощности теплового насоса, находится в диапазоне между 5,5 и 6,8.

На **рисунке 8** представлена таблица, в которой представлены финансовые показатели проекта, прежде всего, эксплуатационные расходы и срок возврата инвестиций.

Таким образом, данный тепловой насос позволил сократить потребление электроэнергии на 80%, а выбросы CO₂ – на 73%.

Температура воды на входе и выходе

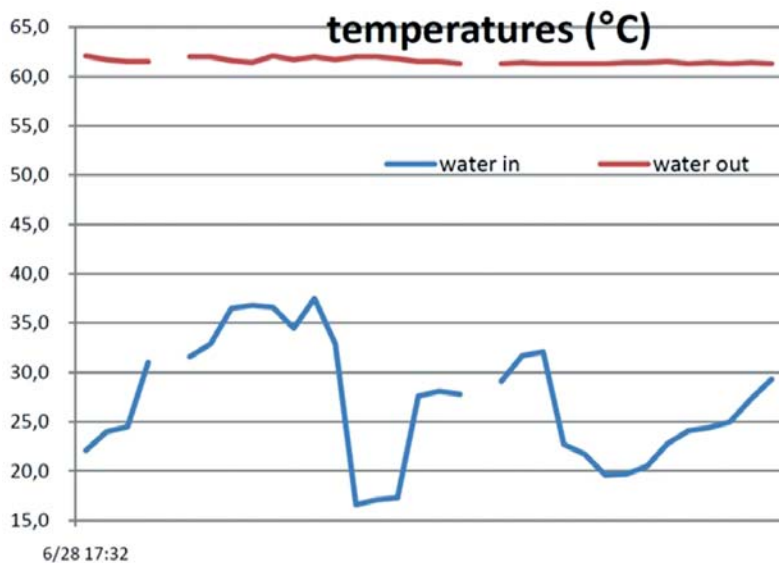


Рисунок 6: Температура воды на входе и выходе

Тепловая производительность и COP

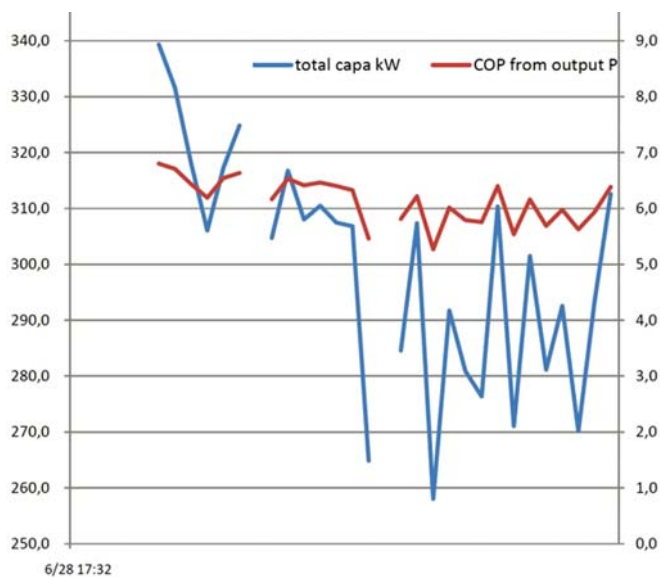


Рисунок 7: тепловая производительность

Сравнительный анализ на базе таблицы рисунка 8

Проведём сравнительный анализ двух систем по производству горячей воды: традиционной на основе паровых котлов, использовавшихся на предприятии ранее, и новой – на основе теплового насоса.

Для того, чтобы оценить экономию, мы просчитали ежегодную тепловую производительность для обеих систем: 1.674 МВт*ч в случае паровых котлов и 2.036 МВт*ч в случае электропривода (640 МВт*ч летом + 1.396 МВт*ч зимой). На данном предприятии тепловой насос производит примерно на 21% больше горячей воды, чем ранее вырабатывалось паровыми котлами, по причине расширения производства.

Приняв стоимость энергии за 34,89 €/тонна для пара и 0,07 €/кВтч для электричества, мы получаем следующие данные по годовым затратам на электроэнергию для обеих систем: 91.342€ для парового нагрева и 17.985€ для теплонаносного нагрева (4.599€ летом + 13.386€ зимой).

Другими словами, затраты на электроэнергию в случае применения теплового насоса на 80% меньше, чем при использовании паровых котлов.

Стоимость капитальных затрат на теплонаносную установку составила 186.000 € без учёта затрат на водяной контур. Это означает, что при ежегодной экономии на эксплуатационных затратах в размере 73.357 € период окупаемости проекта составит примерно 2,6 года (включая 21%-й прирост по производительности горячей воды).

С учётом того, что коэффициент выбросов CO₂ для электричества равен 0,083 (тCO₂/МВт*ч), а для парового котла 0,048 (тCO₂/МВт*ч) эмиссия CO₂ составляет 21.320 кгCO₂/год и 81.190 кгCO₂/год соответственно. Это означает, что после внедрения теплового

ЗАТРАТЫ		ПАР	ТН ЛЕТО	ТН ЗИМА
Производительность	кВт/сутки	5581	5581	5581
Паровая нагрузка (скрытое тепло 0,6395 кВт/кг)	кг/сутки	8727		
Производительность/час	кВт		406	305
Наработка/сутки	часы		13.7	18.3
Кол. рабочих дней	дни	300	115	250
Тепловая производительность в год	МВт*ч	1.674	640	1.396
Потребление электроэнергии в год		2.618 тонн (пар)	65.698 кВт, (41,7 кВт/ч)	191.235 кВт, (41,8 кВт/ч)
Стоимость электроэнергии	€	91.342 (34,89€/т)	4.599 (0,07 €/кВт*ч)	13.386 (0,07 €/кВт*ч)
Кап. затраты на ТН (искл. водяной контур)	€			186.000
Ежегодная экономия	€			73.357
Период окупаемости	годы			Примерно 2,6
Эмиссия CO ₂	тонн CO ₂ /год	81,19	5,45	15,87
Коэффициент выбросов CO ₂		0,0485 т/МВт*ч	0,083 т/МВт*ч	

Рисунок 8: Финансовые показатели

насоса выбросы CO₂ были сокращены на 59.870 кгCO₂/год, т.е. на 73%!

Закключение

На основе проведённого анализа наглядно видно, что реализация данного проекта привела к существенному сокращению потребления ископаемого топлива на рассматриваемом объекте. Тепловой насос потребляет гораздо меньше энергии, нежели паровой котёл, что позволило уменьшить затраты предприятия на энергию на 80%, а выбросы CO₂ — на 73%.

Дополнительным плюсом описанной системы является простота монтажа данной теплонаносной установки, т.к. она может быть легко подсоединена к работающей холодильной системе.

**Ян Боне, Тадаси Хамаока,
Николай Овсянников, Вадим Дмитриев**
MAYEKAWA MFG. CO., LTD. Токио, Япония