

Электролитный водно-пропиленгликолевый хладоноситель как альтернатива «ледяной воде», применяемой на молочных комбинатах

Д-р техн. наук А. Я. ЭГЛИТ, канд. хим. наук В. В. КИРИЛЛОВ

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

The feasibility of using coolants, in particular water-propyleneglycols as an alternative to "icy water" is considered in dairies. Water-propyleneglycol electrolytic coolant is shown to be most efficient one. Its efficiency is attained due to lower viscosity and cost when compared with coolants which contain no electrolyte, as well as due to more than 1.5 times greater temperature drop at the cold end of the milk cooler.

Key words: electrolyte, coolant, water-propylene solution, ice water, refrigerating system, economic effect.

Ключевые слова: электролит, хладоноситель, водо-пропиленовый раствор, ледяная вода, система охлаждения, экономический эффект.

В последнее десятилетие «ледяная вода» за счет высоких теплофизических и энергетических показателей практически вытеснила из системы холодоснабжения молочных комбинатов другие хладоносители (ХН) [1]. Недостатком такой тенденции является уменьшение перепада температур на холодном конце технологического аппарата. При требуемой температуре молока на выходе из охладителя $+4 \pm 2$ °С при использовании «ледяной воды» перепад составляет 3 К, в то время как при использовании ХН на основе неорганических солей доходит до минус 9 К. Последствием уменьшения перепада температур является необходимость увеличения теплообменной поверхности охладителя. Альтернативой «ледяной воде» может быть хладоноситель с температурой на входе в технологические аппараты не выше минус 1 °С. Это дает возможность увеличить перепад температур на холодном конце охладителя молока до 5 К, т. е. в 1,7 раза по сравнению с «ледяной водой». Качественными проблемами такого решения являются увеличение энергозатрат на работу компрессора и насоса, а также опасность попадания ХН в продукт. Попытаемся дать количественную оценку решению.

Для получения «ледяной воды» широко используются пленочные испарители. Для их устойчивой работы в безнасосной схеме хладоснабжения фирма «Висо» рекомендует температуру кипения хладагента минус 4 °С.

При охлаждении хладоносителя до минус 1 °С в кожухотрубном испарителе с внутритрубным кипением ино-

странными производителями рекомендуется перепад на холодном конце испарителя 5 К и перепад 4–6 К, т. е. между средней температурой хладоносителя и кипения хладагента, рекомендуемыми отечественными производителями. Таким образом, для конкретных условий температура кипения может быть принята минус 5 °С.

Для систем холодоснабжения молочных комбинатов, где тепловая нагрузка исчисляется мегаваттами, разница температур кипения в 1 °С соответствует выбору одного и того же числа компрессоров. Например, при $Q_0 = 1$ МВт и $t_k = 40$ °С 4 компрессора марки CSH8571-140 фирмы «Bitzer», работающие на хладагенте R 22 при температурах $t_o = -5$ °С и $t_o = -4$ °С, будут иметь коэффициенты рабочего времени 0,87 и 0,83 соответственно. Подобная теоретическая разница в потреблении электроэнергии компрессором ($0,04 \cdot 340 \approx 14$ кВт) будет нивелирована при колебаниях тепловой нагрузки.

Наиболее ощутимый экономический эффект при использовании хладоносителя заключается в стоимости испарителя. Для охлаждения 100 м³/ч воды от +10 до +1 °С ($Q_{исп} \approx 1$ МВт) требуется пленочный испаритель фирмы «Висо» стоимостью € 53 000 с учетом бака для воды, но без учета монтажа. Для решения этой же задачи можно использовать два последовательно включенных по хладоносителю кожухотрубных испарителя с внутритрубным кипением. Поскольку в стандартном режиме температурный напор составляет 7,5 К, а в рассматриваемом варианте 12,5 К для первого по ходу хладоносителя и 8 К

для второго, принимаем испарители фирмы «Термокеу» марки DCE583 общей стоимостью примерно € 16 000. Такая большая разница связана с необходимостью получать требуемый температурный уровень «ледяной воды» при относительно высокой температуре кипения, меньшем коэффициенте теплопередачи пленочных испарителей и большей их конструктивной металлоемкости. Отметим, что в данном случае имеется возможность работы системы холодоснабжения с хладоносителем при $t_0 = -4$ °С, так как уменьшение температурного напора во втором по ходу испарителе (7 К против 7,5 К при стандартном режиме) компенсируется необходимостью охлаждения хладоносителя лишь на 4 К, а не на 5 К, как при стандартном режиме.

В качестве хладоносителя широко используются водные растворы пропиленгликоля, который имеет сертификат на допустимость контакта с пищевыми продуктами. При рабочей температуре ХН минус 1 °С и показании датчика температуры кипения минус 5 °С требуемая концентрация раствора пропиленгликоля составит 20 % масс. ($t_3 = -7,8$ °С). Такой раствор при указанной температуре имеет плотность 1,021 кг/м³ и теплоемкость $C_v = 4140$ Дж/(м³·К), которая незначительно отличается от теплоемкости воды, и, следовательно, необходим насос с той же объемной подачей. Динамическая вязкость 20 %-го раствора пропиленгликоля $\mu = 3,92$ мПа·с при низшей температуре минус 1 °С превышает динамическую вязкость воды при минимальной температуре +1 °С (1,65 мПа·с) в 2,4 раза. Для снижения концентрации пропиленгликоля в хладоносителе при рабочих условиях предлагается использовать ранее разработанный водно-пропиленгликолевый хладоноситель, содержащий электролит. При этом вязкость электролитсодержащего хладоносителя будет в 1,8 раза меньше по сравнению с вязкостью безэлектролитного водно-пропиленгликолевого хладоносителя, а стоимость — в 1,6 раза меньше [2, 3].

Падение давления в каждом кожухотрубном испарителе составляет 58 кПа, а потери на преодоление столба «ледяной воды» из-за разрыва струи в пленочном испарителе — примерно 40 кПа. Учитывая, что в молочной промышленности насосы для перемещения охлаждающей среды имеют напор на уровне 250–300 кПа, разница

в энергопотреблении находится в пределах точности расчета.

Для работы насоса «ледяной воды» с испарителем, имеющим в конкретном случае поверхность под атмосферным давлением, требуется бак вместимостью 15 м³. При закрытой системе хладоносителя с кожухотрубными испарителями емкостью 114 л общая вместимость системы не превышает 1,5 м³.

Наличие поверхности контакта «ледяной воды» с атмосферным воздухом способствует коррозии металла бака. В то же время в закрытой системе при использовании водно-пропиленгликолевого электролитного ХН можно ожидать меньшей скорости коррозии металла.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Использование водно-пропиленгликолевого электролитного раствора позволяет повысить эффективность работы охлаждающих устройств молочного производства за счет увеличения перепада температур на холодном конце аппаратов более чем в 1,5 раза.

2. Экономические затраты при использовании альтернативного хладоносителя значительно снижаются за счет применения более эффективных испарителей в специфических условиях производства.

3. Стоимость заправки системы холодоснабжения при использовании водно-пропиленгликолевого электролитного хладоносителя примерно в 1,6 раза ниже, чем при использовании ХН, не содержащего электролит.

Список литературы

1. Цветков О. Б., Лантев Ю. А., Колодязная В. С. Одно- и двухфазные жидкие хладоносители // Холодильная техника. 2001. № 10.
2. Бараненко А. В., Кириллов В. В. Разработка хладоносителей на основе электролитных водно-пропиленгликолевых растворов // Холодильная техника. 2007. № 3.
3. Кириллов В. В., Чашникова В. В. Аппроксимация целевых функций для оптимизации параметров хладоносителя // Вестник МАХ. 2008. № 4.