

## ТЕПЛОНАСОСНАЯ ПАСТЕРИЗАЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Шит М.Л., канд. техн. наук

Институт энергетики Академии наук Молдовы, г. Кишинев, Молдова

*На основании подхода, использующего интеграцию теплового насоса в схему пастеризационно-охлаждающей установки для молока и установок для получения горячей и «ледяной» воды, разработана схема пастеризационно - охлаждающей установки для молочных продуктов с тепловым насосом на диоксиде углерода. Схема отличается от известных схем вводом дополнительных теплообменных аппаратов, и способом их связи с основными элементами установки. Способ связи элементов в установке позволяет: компенсировать влияние температуры источника холодного водоснабжения, являющегося источником низкопотенциальной теплоты для теплового насоса, на качество работы установки, одновременно получать как горячую воду для санитарной обработки оборудования и пр., так и «ледяную» воду для технологических нужд. Конструкция установки позволяет компенсировать влияние сезонного изменения температуры воды на ее качество работы. В установке обеспечивается расчетный  $COP=5,3$ .*

*The article presents the installation based on the approach using the integration of the carbon dioxide heat pump in pasteurization and cooling installation for milk and in installations for preparing of hot and "icy" water. The scheme differs from the known by using of additional heat exchangers and the method of their connection with the main elements of the installation. A method of elements connection in the installation permits to compensate the effect of temperature of cold water supply source, which is low-grade heat source for the heat pump, on the quality the work of the installation. The design of the installation enables to compensate the impact of seasonal variation of water temperature. The installation ensures the  $COP = 5.3$ .*

Ключевые слова: тепловой насос, пастеризационно-охлаждающая установка, молоко, термодинамический цикл, диоксид углерода.

**Введение.** Энергетическая безопасность и борьба с изменениями климата являются целями социально-экономического развития государства. Повышение энергоэффективности в молочной промышленности является целью работы, как разработчиков оборудования, так и эксплуатационного персонала. Для снижения потребления как электрической, так и тепловой энергии при пастеризации и охлаждении молочных продуктов предлагается интегрировать теплонасосные установки (ТНУ) в схемы пастеризационно-охлаждающих установок (ПОУ) [1-9]. Однако, надо признать, что работы в этом направлении еще не достигли уровня достаточного для внедрения в промышленность, хотя внимание к ним обращено, начиная с 1980 г. (см. библиографию к [2-8]). В [6] приведена схема, где ТНУ используется для получения ледяной воды на испарителе и горячей воды 85 °С на конденсаторе с последующей подачей воды на пастеризационно-охлаждающую установку. Недостатком такой схемы является ограничение по температуре входного молока (10 °С), а также низкий COP из-за высокой разности температур между испарителем и конденсатором. Кроме того, расположение испарителя в баке для ледяной воды требует использования дополнительного насоса для обеспечения ее циркуляции, что увеличивает электрическую мощность, потребляемую установкой. Схема охлаждения молока в [6] имеет КПД более низкий, чем схема с прямым охлаждением молока в испарителе.

Задачей, поставленной в исследовании, является создание теплонасосной пастеризационно-охлаждающей установки с возможностью параллельного получения горячей и ледяной воды, в которой стоимость энергозатрат ниже, чем в установках, не использующих тепловые насосы.

Нами рассматривается режим пастеризации и охлаждения молока с температурами на входе и выходе 4 °С и с температурой пастеризации 78 °С, который дополняет схемы ПОУ с ТНУ [10,11], в которой объединены ПОУ и установка для производства горячей и ледяной воды и которая может работать в широком диапазоне температур источника холодного водоснабжения.

### Описание установки и основные соотношения

Поставленная цель достигается за счет создания интегрированной установки, в которой производится как пастеризация и охлаждение молока, так и получение одновременно горячей и ледяной воды посредством интегрирования элементов этих в теплонасосную пароконденсационную установку.

Схема установки приведена рис.1. Она отличается от описанных в [1-3] наличием: теплообменника 15, который использует часть теплой воды для стабилизации температуры водопроводной воды на входе

в испаритель 11, испарителя 13, который охлаждает водопроводную воду до требуемой температуры на входе в испаритель 11, газоохладителя 20 для приготовления горячей воды. Условия, которым должны соответствовать теплота, отдаваемая газоохладителем молоку, и теплоты, поглощаемые испарителями в зависимости от температуры водопроводной воды, выражены уравнениями (1), (2), (3), (4).

$$G_2 = G_{11} + G_{13} + G_8 + G_9 - G_{20}, \quad (1)$$

$$G_2 = \frac{G_{m2} c_m \Delta t_{m2}}{\Delta h_2 \eta_2^{-1}}, \quad (2)$$

$$G_8 \Delta h_8 \eta_8^{-1} = G_{m8} c_{cm} \Delta t_{m8}, \quad (3)$$

$$G_9 \Delta h_9 \eta_9^{-1} = G_{m9} c_{cm} \Delta t_{m9}, \quad (4)$$

$$G_{11} \Delta h_{11} \eta_{11}^{-1} = G_{w11} c_w \Delta t_{w11}, \quad (5)$$

$$G_{13} \Delta h_{13} \eta_{13}^{-1} = G_{w13} c_w \Delta t_{w13}, \quad (6)$$

Индексы при обозначениях расходов, КПД, перепадов энтальпий, теплоемкостей указывают на номер теплообменного аппарата, через который протекает та или иная среда (хладагент, вода, молоко).

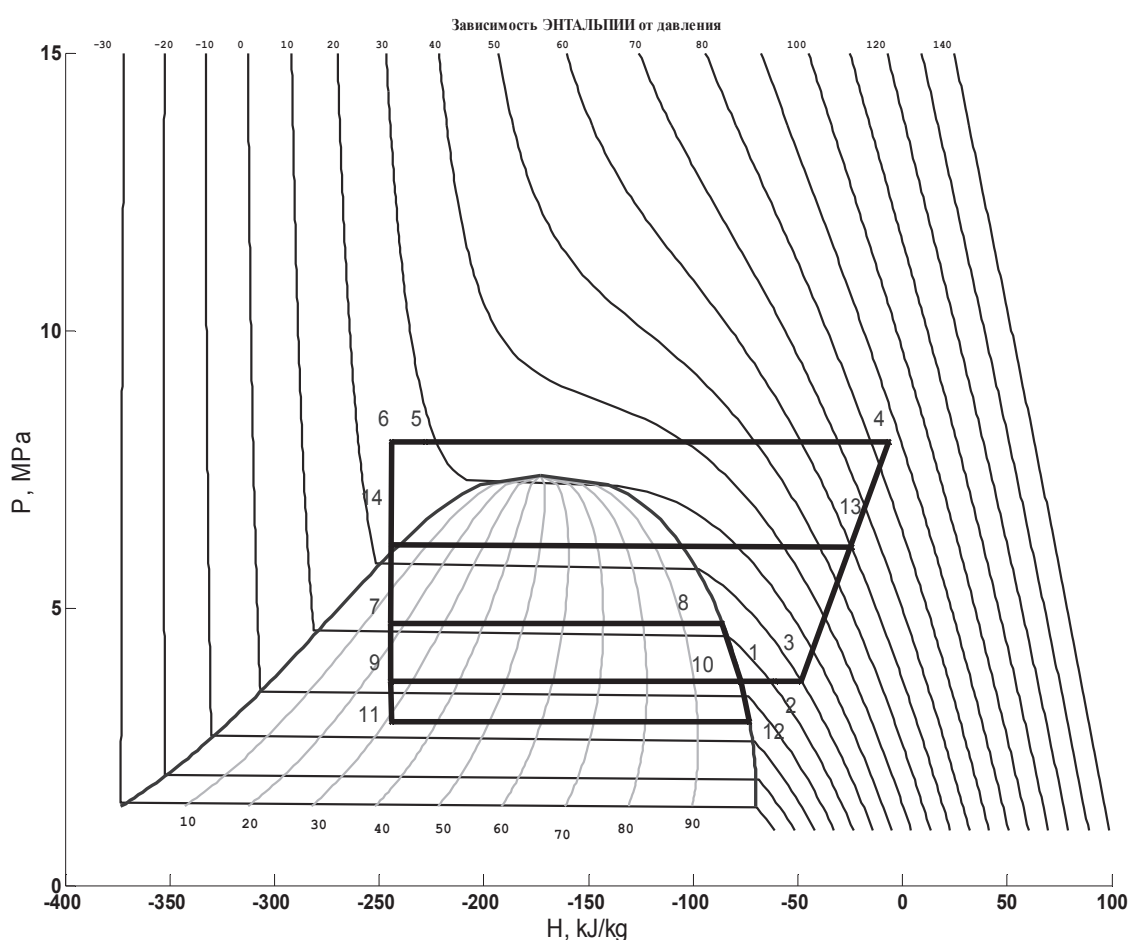
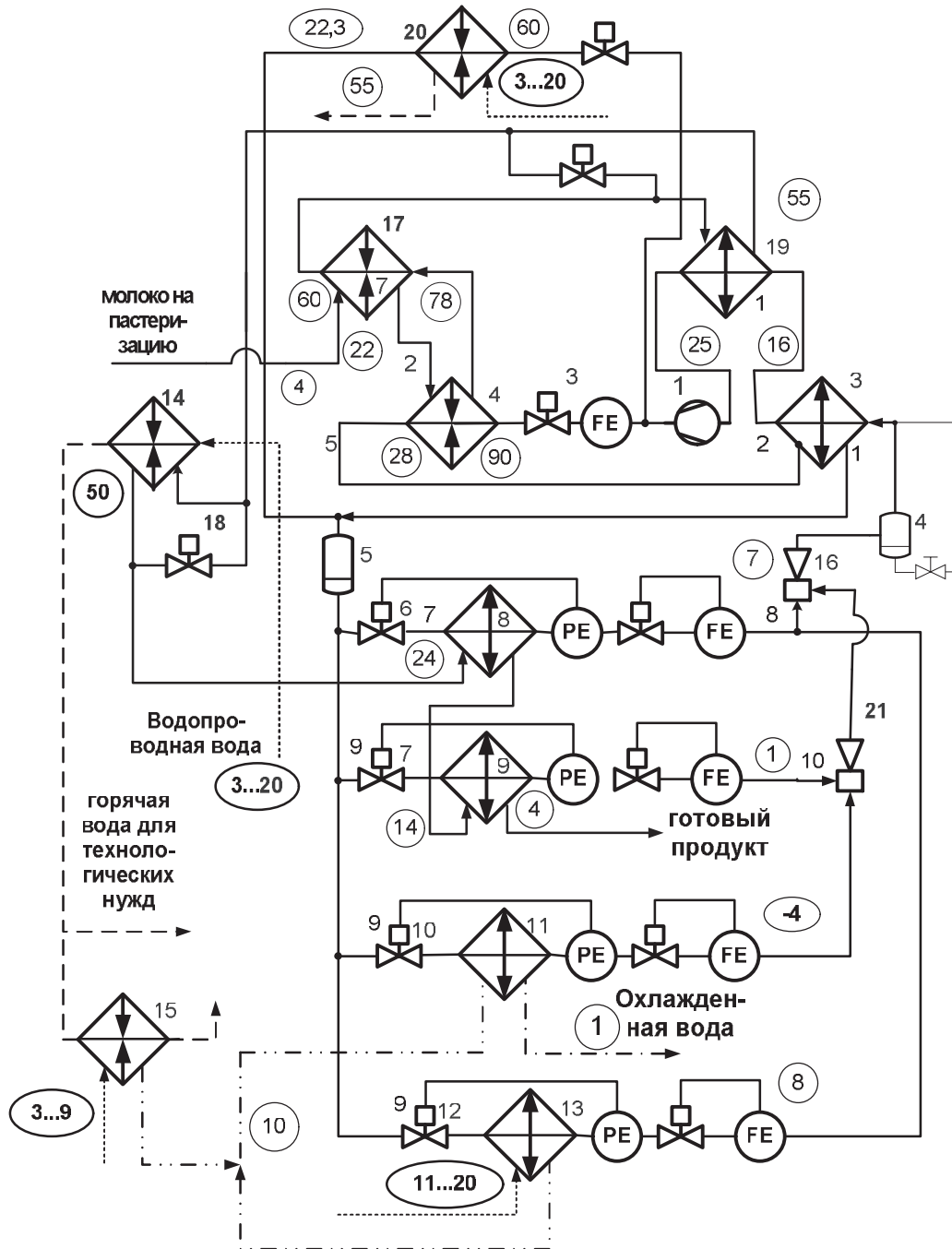


Рис. 1 – График зависимости энтальпии от давления и температуры

При построении графика были введены упрощения, связанные с определением точных температур внутри эжекторов.

Установка (рис.2) состоит из следующих основных элементов: компрессора, двух газоохладителей, четырех испарителей (из которых могут использоваться только три в зависимости от температуры водопроводной воды), двух рекуперативных теплообменников, двух эжекторов, предназначенных для повышения давления на входе в компрессор, регулирующих клапанов давления и расхода. На рис.2 красным

цветом показаны номера аппаратов, черным цветом – номера точек на схеме, рис.1, цифры в кружках – значения температур.



1. Компрессор. 2. Газоохладитель. 3. Рекуперативный теплообменник. 4. Маслоотделитель. 5. Резервуар. 6, 7, 10, 12 – регулирующие клапаны давления. 8, 9, 1, 13 – испарители. 14. Теплообменник приготовления горячей воды. 15. Теплообменник для стабилизации температуры воды на испаритель 11 (стабилизация режима работы газоохладителя 2. 16, 21 – эжекторы. 17. Рекуперативный теплообменник в линии подачи молока на пастеризацию. 18. Регулятор температуры молока перед испарителем 8. 19. Теплообменник для повышения COP установки. 20. Газоохладитель приготовления горячей воды.

Рис. 2 – Схема установки (без вторичного контура узла приготовления ледяной воды)

Режим работы испарителей определяется из условия недопущения попадания жидкости в компрессор, т.е. обеспечения минимального перегрева пара после испарителя. В газоохладитель 2 поступает столько хладагента, сколько это необходимо из условий поддержания необходимого температурного режима нагреваемой среды. Это вытекает из условий поддержания теплового баланса.

#### **Выводы**

1. Применение разработанной схемы теплонасосной установки на диоксиде углерода в составе комбинированной пастеризационно-охладительных установки для молочных продуктов, в которую интегрирована установка для нагрева воды и получения ледяной воды для различных климатических условий позволяет существенно снизить потребление природного газа на предприятиях молочной промышленности, и установка с предложенной схемой может иметь приемлемые сроки окупаемости инвестиций.

2. В схему системы регулирования температуры продукта необходимо ввести: систему регулирования расхода ледяной воды с целью стабилизации выходной мощности пастеризационно-охладительной установки и приготовления горячей воды в дополнительном газоохладителе установки, систему стабилизации температуры воды на входе в испаритель для приготовления ледяной воды.

#### **Литература**

1. Смурыгин В.С., Краснов С.А., Кряклина И.В., Шешунова Е.В. Получение тепла и холода для животноводческого комплекса с использованием высокоэффективной энергосберегающей технологии // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №1; URL: [www.science-education.ru/101-5462](http://www.science-education.ru/101-5462) (дата посещения сайта: 28.07.2012).
2. Becker H., Vuillrmoz A., Marechal F, Heat pump integration in a cheese factory. Applied Thermal Engineering, 2012, v43, October 2012, p.118-127.
3. Becker H., Marechal F., Vuillrmoz A., Process Integration and Opportunities for Heat Pumps in Industrial Processes. International Journal of Thermodynamics, Vol. 14 (No.2), pp.59-70, 2011. doi: 10.5541/ijot.260.
4. Söylemez M.S., Operational cost minimization of heat pump for milk pasteurization in dairy. Journal of Dairy Research, 2005, v72, p.482-485.
5. Söylemez M.S., Optimum heat pump in milk pasteurizing in dairy. Journal of Food Engineering, V.74, 2006, p. 546-551.
6. <http://telemiks.by/geo/food.html>
7. Bilir N., Kersad H.E. Performance improvement of the vapour compression refrigeration cycle by a two-phase constant area ejector. International Journal of Energy Research, 2009, v33. p. 469-480.
8. Ozyurt O., Comakli O., Yilmaz and Karsh S Heat pump use in milk pasteurization: an exergy analysis. International Journal of Energy Research. V28, Iss.9, p.833-846, July 2004.
9. Везиришвили О.Ш., Хвятия М.Т. Каскадная теплонасосная установка для охлаждения и пастеризации молока. Холодильная техника, № 7, 1990 г., с.4-6.
10. Шит М.Л., Балануцэ А.П., Шит Б.М. Теплонасосная установка на диоксиде углерода с испарителями, работающими на разных температурных уровнях и при переменной тепловой нагрузке. Problemele Energeticii Regionale 2(10) 2010, с. 47-58.
11. Шит М.Л., Шит Б.М. Система автоматического управления тепловым насосом в составе установки для пастеризации и охлаждения молока. Ч.1. Проблемы региональной энергетики. №3(20) 2012, с. 48-57.