

В. И. Володин, д-р техн. наук;  
С. В. Здитовецкая, мл. науч. сотрудник

## ВЛИЯНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА

The influence of regeneration to an overall performance of transformers of heat on an example of installation for cooling milk is explored. In operation the dependence of energy parameters of a cycle of the transformer of heat on quantity of overheat a pair in a regenerator is exhibited. Besides the influence of regeneration to parameters of the transformer of heat with allowance for operations actual of heat exchangers of a contour surveyed.

**Введение.** Трансформаторы тепла используются практически во всех развитых странах мира для охлаждения и нагрева в технологических процессах, в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для создания комфортных условий микроклимата в гражданских и промышленных зданиях. Кроме того, трансформаторы тепла успешно применяются в химической, медицинской, пищевой промышленности, сельском хозяйстве, быту. Они позволяют использовать тепло низкотемпературных источников.

Реальные пароконденсационные трансформаторы тепла кроме основных аппаратов контура содержат дополнительные устройства, которые влияют на эффективность работы. Основным теплообменным оборудованием контура являются испаритель и конденсатор. К вспомогательному теплообменному оборудованию относятся регенератор, охладитель и отделитель жидкости.

Регенеративный теплообменник решает две практические задачи: с одной стороны он позволяет охлаждать жидкий хладагент, выходящий из конденсатора, с другой – нагревать пар, поступающий из испарителя в компрессор. Это дает возможность исключить попадание в компрессор влажного пара и обеспечить его надежную работу [1].

Кроме того, регенеративный теплообменник способствует организации рециркуляции масла в системе холодильной машины. Из испарителя рабочее вещество отбирается в состоянии сухого насыщенного пара (или влажного пара со степенью сухости 0,95–0,98), поэтому вместе с паром из испарителя выходят капельки жидкого рабочего вещества, в котором растворено масло. В регенераторе жидкое рабочее вещество испаряется, а масло по всасывающему трубопроводу возвращается в компрессор [2].

Влияние регенерации на энергетическую эффективность трансформатора тепла изучено недостаточно. Имеются данные о влиянии регенерации на параметры цикла без учета работы теплообменника.

Целью данной работы является исследование влияния регенерации на энергетические параметры пароконденсационного трансформатора тепла, включающего реальные теплообменники в контуре.

**Объект и метод исследования.** Рассмотрим влияние регенерации на энергетические параметры цикла трансформатора тепла с учетом влияния работы конкретного теплообменного оборудования.

Схема трансформатора тепла представлена на рис. 1 (арабскими цифрами указаны характерные точки, используемые в расчетной схеме для анализа работы).

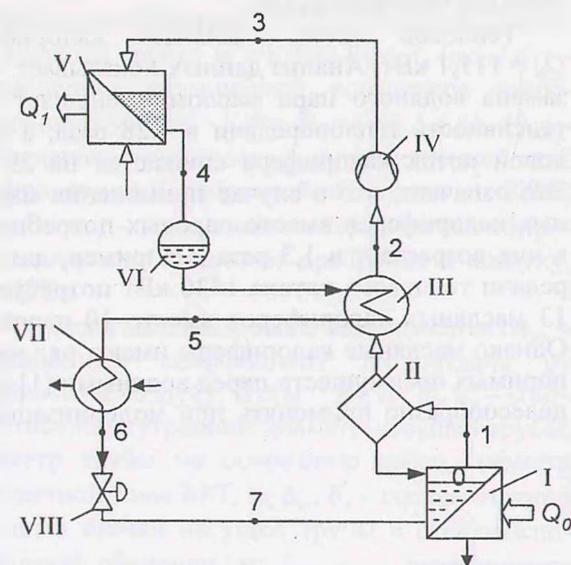


Рис. 1. Схема трансформатора тепла:  
I – испаритель; II – отделитель жидкости;  
III – регенератор; IV – компрессор;  
V – конденсатор; VI – ресивер; VII – охладитель;  
VIII – терморегулирующий вентиль

Вычислительный эксперимент проводился для цикла холодильной установки охлаждения молока с последующим использованием сбросной теплоты для нагрева воды. Установка работает с компрессором ХГВ-14 на хладагенте R22.

В ходе исследования принималось, что температура кипения и конденсации соответственно равны 5 и 48 °С. Перегрев пара в регенераторе изменялся от 0–25 °С.

Анализ проводился с помощью комплексного метода расчета компрессионных трансформаторов тепла. Данный метод исследования включает в себя совместный расчет параметров цикла и теплообменных аппаратов контура. Кроме того, данный метод анализа дает возможность рассчитывать вспомогательные теплообменные аппараты, а также учитывать необратимые потери в элементах обвязки контура [3]. Комплексный метод анализа реализован в виде пакета прикладных программ на языке Фортран.

**Влияние регенерации на энергетические параметры.** Известно, что наличие регенератора в холодильной машине, работающей на хладагенте R22, практически не влияет на холодопроизводительность цикла. Этот результат получен при анализе термодинамического цикла, не учитывающего работу реальных аппаратов при различных степенях регенерации [1, 4]. Проведенный вычислительный эксперимент подтверждает это для цикла холодильной установки охлаждения молока с последующим использованием теплоты для нагрева воды.

Результаты вычислительного эксперимента представлены на рис. 2. Видно, что с ростом перегрева пара в регенераторе энергетические параметры практически не меняются. В результате расчета получено, что холодо- и теплопроизводительность соответственно равны 13 и 16,9 кВт, холодильный коэффициент 2,17 и коэффициент преобразования 2,82.

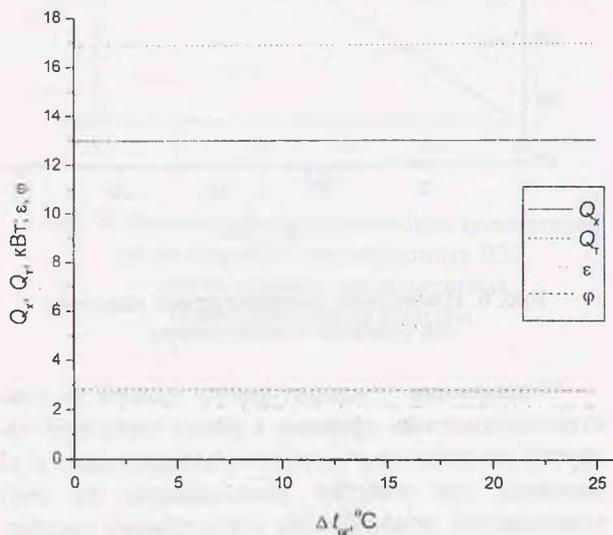


Рис. 2. Зависимость энергетических показателей от регенерации для хладагента R22

Для различных хладагентов влияние регенерации будет разным. Результаты исследования композиционного хладагента R134a-152a представлены на рис. 3. Видно, что холодопроизводительность практически не зависит от величины перегрева пара. Значения холодильного коэффициента и коэффициента преобразования увеличиваются почти на две единицы.

Такой вид полученных закономерностей можно объяснить особенностями теплофизических свойств данного хладагента.

В рассмотренных вычислительных экспериментах исследовалось влияние регенерации на параметры трансформатора тепла без учета теплообменного оборудования контура.

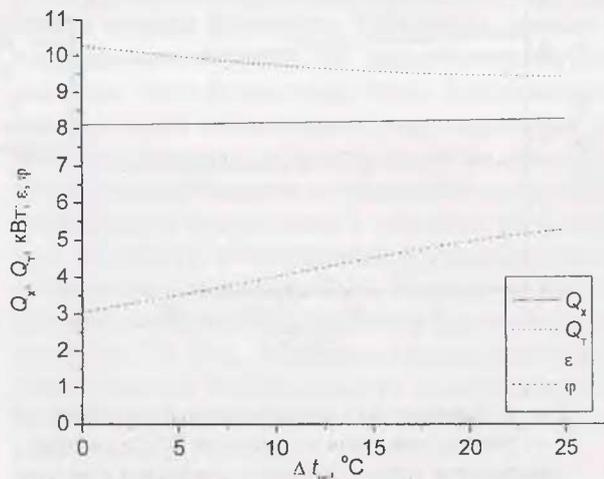


Рис. 3. Зависимость энергетических показателей от регенерации для хладагента R134a-152a

Как известно, теплообменное оборудование оказывает влияние на эффективность работы устройства. Поэтому, чтобы получить более достоверную информацию о влиянии регенерации на параметры трансформатора тепла, следует проводить анализ с учетом работы реальных теплообменных аппаратов контура.

Численное исследование проводилось для рабочего режима молокоохладительной установки с непроточным испарителем и водяным змеевиковым конденсатором, работающей на хладагенте R22 с компрессором ХГВ-14. Теплота, отводимая в конденсаторе, используется для нагрева воды. Схема течения рабочих потоков в змеевиковом конденсаторе-водоподогревателе перекрестно-противоточная. Температура воды на входе в конденсатор бралась равной 10 °С, а начальная температура молока в промежуточном режиме охлаждения составляла 20 °С.

Особенностью эксплуатации установки, является поддержание предельно возможной температуры конденсации на уровне 48 °С. Это

позволяет использовать сбросное тепло путем подогрева воды в конденсаторе для технологических нужд.

Результаты вычислительного эксперимента представлены на рис. 4. Из полученных данных видно, что при увеличении температуры пара в регенеративном теплообменнике холодо- и теплопроизводительность установки уменьшаются соответственно с 16,7 до 15,57 кВт и с 20,85 до 19,65 кВт. Значения холодильного коэффициента и коэффициента преобразования практически не меняются.

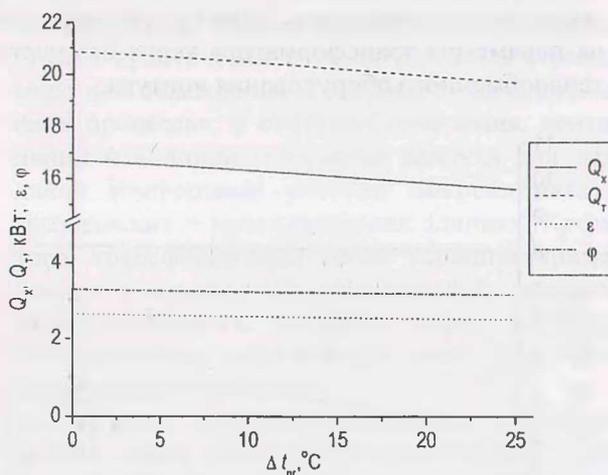


Рис. 4. Зависимость энергетических показателей от регенерации для хладагента R22 с учетом параметров теплообменных аппаратов контура

Рассмотрим, каким образом перегрев пара в регенераторе оказывает влияние на конструктивные и режимные параметры конденсатора. На рис. 5 показано изменение температур хладагента на входе в конденсатор (на выходе из компрессора) и подогретой воды на выходе из конденсатора.

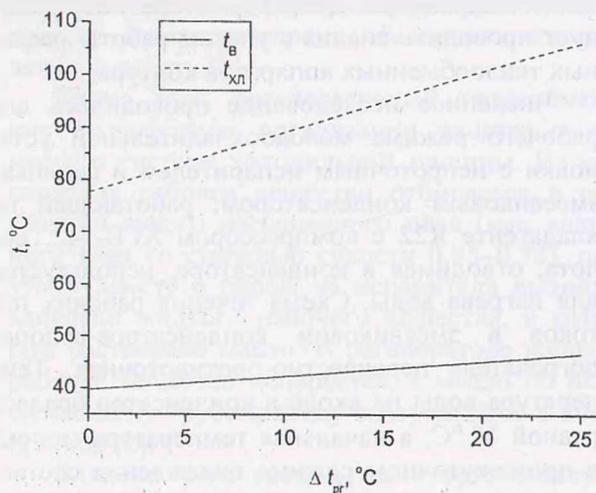


Рис. 5. Изменение температур хладагента и воды

Как видно из рис. 5 при увеличении перегрева в регенераторе температура хладагента на выходе из компрессора возрастает. Температура хладагента меняется практически пропорционально изменению температуры пара в регенераторе. Максимальное приращение температуры пара в регенераторе составляет  $25^\circ\text{C}$ , а температуры хладагента после компрессора —  $28,4^\circ\text{C}$ . Большее приращение температуры хладагента на выходе из компрессора можно объяснить более тяжелыми условиями работы компрессора на этих режимах.

Изменение температуры воды на выходе из конденсатора-водоподогревателя определяется его конструктивными особенностями и режимными параметрами. Температура хладагента на входе в конденсатор увеличилась с  $77,6$  до  $106^\circ\text{C}$ , что привело к увеличению температуры воды на выходе из конденсатора с  $39,7$  до  $52,9^\circ\text{C}$ . Небольшое приращение температуры воды можно объяснить следующим образом. При постоянной общей длине трубчатой поверхности теплообмена в конденсаторе, которая составляет  $30,4$  м, произошло увеличение длины участка охлаждения с  $6,24$  до  $8,09$  м за счет уменьшения длины участка конденсации.

При увеличении температуры перегрева температурный напор на участке охлаждения увеличивался, а на участке конденсации, наоборот, уменьшался, это видно из рис. 6.



Рис. 6. Изменение температурных напоров на участках конденсатора

Увеличение температурного напора на участке охлаждения привело к росту тепловой нагрузки на данном участке и одновременно к ее падению на участке конденсации за счет уменьшения поверхности теплообмена последнего. Учитывая, что теплообмен при конденсации выше, чем при охлаждении газа, это при-

водит к общему снижению тепловой нагрузки конденсатора, т. е. к уменьшению теплопроизводительности холодильно-нагревательной машины (рис. 7).

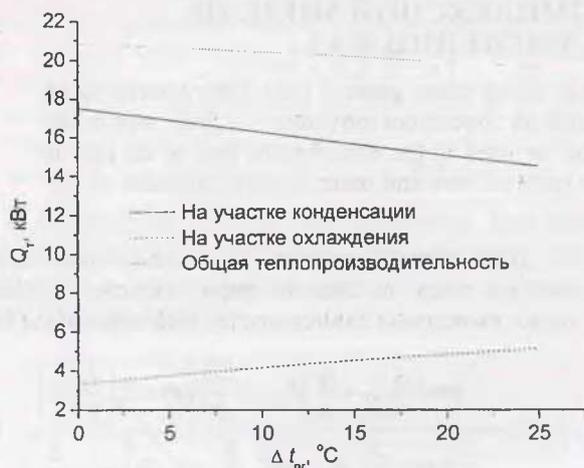


Рис. 7. Изменение теплопроизводительности конденсатора

При проведении вычислительного эксперимента также была выявлена зависимость энергетических параметров установки от перегрева пара в регенераторе для воздушных теплообменных аппаратов контура. Полученные данные представлены на рис. 8.

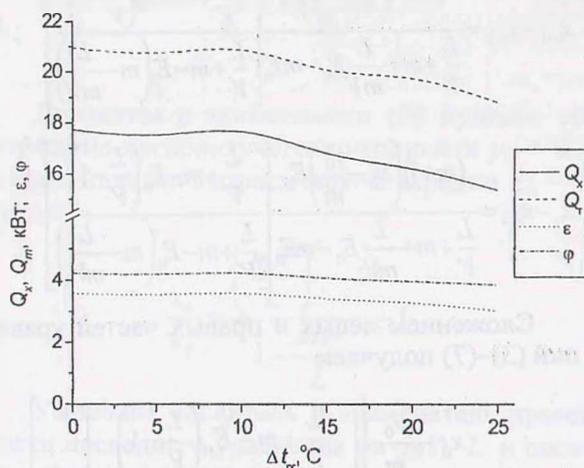


Рис. 8. Зависимость энергетических показателей от регенерации для хладагента R22 с учетом параметров воздушных теплообменников контура

На рис. 8 видно, что полученные зависимости носят нелинейный характер. При увеличении температуры перегрева пара холодо- и теплопроизводительность уменьшаются.

Значение холодопроизводительности установки уменьшается от 17,74 до 15,63 кВт, а теплопроизводительность изменяется от 20,96 до 18,81 кВт. Значения холодильного коэффициента и коэффициента преобразования изменяются незначительно.

**Заключение.** Проведен вычислительный эксперимент с использованием разработанного метода сопряженного расчета компрессионного трансформатора тепла, учитывающего работу реальных теплообменников и необратимые потери в контуре. Получены данные о влиянии регенерации на энергетические параметры трансформатора тепла. Проведенные исследования показывают, что, в отличие от простого анализа параметров цикла, учет работы теплообменников позволяет получить достоверные результаты о влиянии регенерации на работу холодильной установки, работающей на хладагенте R22. Холодо- и теплопроизводительность уменьшаются соответственно на 7 и 6 %. Значения холодильного коэффициента и коэффициента преобразования практически не меняются и составляют соответственно 2,5 и 3,2.

### Литература

1. Пластинчатые теплообменники «Альфа Лаваль для холода»: справ. пособие. – Швеция: Alfa Laval AB, 2001. – 170 с.
2. Холодильные машины / Л. С. Тимофеевский [и др.]; под общ. ред. Л. С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 1997. – 992 с.
3. Володин, В. И. Влияние гидродинамики тракта обвязки теплового насоса на его тепловую эффективность / В. И. Володин, С. В. Здитовская // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. – Минск, 2005. – Вып. XIII. – С. 166–169.
4. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.