

УДК 621.565.9.001.57

Е.В. Хромов, канд. техн. наук, доцент,**В.В. Душко, ст. преподаватель,****А.В. Королев, ст. преподаватель***Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053**E-mail: ev.khromov@mail.ru***ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОМПЛЕКСА АГРЕГАТОВ МОРОЗИЛЬНОГО АППАРАТА СУДОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Рассмотрена модель комплекса отделиль жидкого хладагента — насос — морозильный аппарат, являющаяся важной составляющей системы замораживания продукции. На основании физической модели комплекса исследованы параметры, влияющие на его работу.

Ключевые слова: комплекс, эксергия, физическая модель, термoeкономическая модель.

Введение. Холодильные установки производственного назначения на рыбодобывающих судах типа РКТС, БАТ и рыбообрабатывающие базы являются особенно сложными в эксплуатации. Как показали исследования, распределение установленной мощности электродвигателей производственных холодильных установок судов типа БАТ составляет: предварительное охлаждение рыбы – 120 кВт, замораживание – 410 кВт и хранение – 117 кВт. Основная энергетическая нагрузка приходится на работу комплекса, включающего насос и морозильные аппараты. Если учесть, что морозильный аппарат (например LBH-31,5) работает круглосуточно и с большим периодом времени до 20 – 25 суток, то эксплуатационные затраты превышают в данном случае остальные.

Проблема эффективности эксплуатации морозильного аппарата может быть решена как оптимизированная задача с использованием оператора Лагранжа. Для этого рассматривается физическая и термoeкономическая модели комплекса [1, 2].

Исследования в области термoeкономике успешно развиваются в США. Известная монография [3] Дж. Тсатсарониса переведена на русский язык и издана в Украине. Из отечественных ученых, занимающихся исследованиями в данной области, являются профессора Т.В. Морозюк, В.Р. Никульшин.

Цель работы – исследование модели комплекса отделиль жидкого хладагента-насос-морозильный аппарат и на основании ее построение термoeкономической модели в режиме замораживания рыбной продукции.

Изложение основного материала исследования. Комплекс отделиль жидкого хладагента – насос – морозильный аппарат (ОЖ-Н-МА) является частью судовой производственной холодильной установки двухступенчатого сжатия. Принципиальная схема комплекса показана на рисунке 1. Рассматривая энергетическую взаимосвязь элементов комплекса, необходимо проанализировать взаимодополняющие аналитические методы на основании технологического процесса функционирования данного комплекса. На рисунке 2 представлен эквивалентный граф взаимодействия элементов комплекса по технологической схеме.

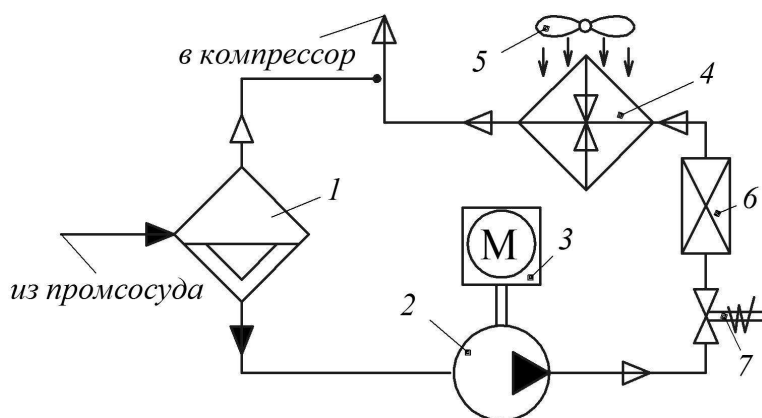


Рисунок 1 – Схема комплекса ОЖ-Н-МА насосно-циркулярной системы подачи хладагента:

1 – отделиль жидкости; 2 – насос хладагента; 3 – электродвигатель насоса;

4 – испаритель морозильного аппарата; 5 – вентилятор морозильного аппарата;

6 – дроссельный клапан; 7 – электромагнитный клапан

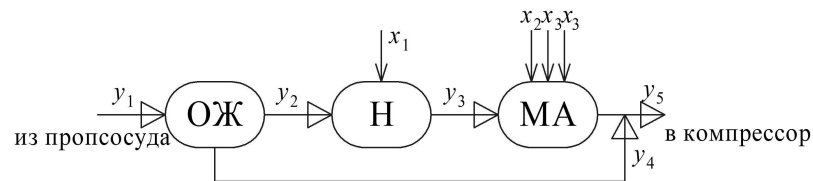


Рисунок 2 – Эквивалентный граф схемы комплекса ОЖ-Н-МА

Взаимодействие осуществляется при помощи энергетических связей. Здесь y_1 – поступление энергии от промежуточного сосуда к отделителю жидкости; y_2 и x_1 – подведенная энергия к насосу хладагента; y_3 , x_2 , x_3 – энергия, подведенная к морозильному аппарату; y_4 – энергия, отведенная с паром хладагента из отделителя жидкости и y_5 – энергия, отведенная от морозильного аппарата. Эти связи в совокупности следует рассматривать, как подвод и отвод эксергии, учитывающей электрический и температурные характеристики комплекса относительно температуры окружающей среды.

Физическая модель комплекса с учетом установленных закономерностей взаимного влияния элементов в процессе совместного функционирования, а также степени влияния переменных эксплуатационных управляющих параметров каждого элемента на работу комплекса имеет вид:

$$E_{\text{ож}} = E_{\text{ож}}(G_a, T_a, T_{o.c.}); \quad E_{\text{н}} = E_{\text{н}}(G_a, T_a, \omega_{\text{н}}); \quad E_{\text{ма}} = E_{\text{ма}}(G_a, G_b, T_o, T_k, T_{o.c.}, T_p, \omega_b, E_b, E_{\text{мех}}),$$

где $E_{\text{ож}}$, $E_{\text{н}}$, $E_{\text{ма}}$, E_b , $E_{\text{мех}}$ – эксергия, подведенная к комплексу ОЖ-Н-МА, потоком жидкого хладагента к отделителю жидкости насосом, морозильным аппаратом, вентилятором воздухом, механизмом перемещения блоков мороженной продукции; G_a – количество циркулируемого хладагента в комплексе; T_a – температура хладагента; $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды; $\omega_{\text{н}}$, ω_b – частота вращения насоса и вентилятора; G_b – производительность вентилятора; T_o , T_k , T_p – температуры кипения, конденсации хладагента и блока продукции.

На основе физической модели, представленной в эксергетическом виде, для эксплуатационных режимов работы комплекса можно проводить расчеты потоков эксергии, энергетических потерь и энергетического к.п.д.

Установленные функциональные зависимости модели могут быть положены в основу разработки термоэкономической модели, которая учитывает закономерности взаимного влияния элементов комплекса в процессе совместного функционирования, степень влияния эксплуатационных и управляющих переменных каждого элемента на работу комплекса в энергоэффективных режимах. Термоэкономическая модель комплекса ОЖ-Н-МА представлена на рисунке 3.

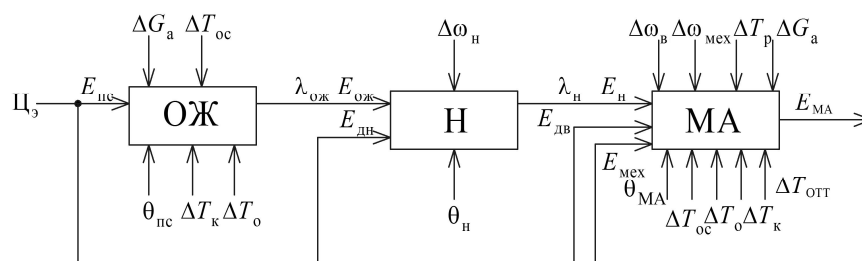


Рисунок 3 – Термоэкономическая модель комплекса ОЖ-Н-МА в режиме замораживания рыбной продукции

Здесь Π_3 – цена подведенной электроэнергии; $E_{\text{пс}}$, $E_{\text{ож}}$, $E_{\text{н}}$, $E_{\text{ма}}$, $E_{\text{дн}}$, $E_{\text{дв}}$, $E_{\text{мех}}$ – соответственно эксергия хладагента, подведенная к отделителю жидкости после промежуточного сосуда, отделителя жидкости, морозильного аппарата, от насоса хладагента и эксергия, подведенная к насосу и вентилятору; ΔG_a – вектор изменения расхода хладагента; $\Delta T_{o.c.}$, ΔT_o , ΔT_k , ΔT_p , $\Delta T_{\text{отт}}$ – соответственно вектор изменения температуры окружающей среды, кипения, конденсации хладагента, замораживания рыбной продукции и температура оттайки; $\theta_{\text{пс}}$, $\theta_{\text{на}}$, $\theta_{\text{ма}}$ – температурные напоры пропсосуа, насоса и морозильного аппарата; $\Delta \omega_{\text{н}}$, $\Delta \omega_b$ – изменение векторов управляющих переменных насоса и вентилятора; $\lambda_{\text{ож}}$, $\lambda_{\text{н}}$ – неопределенные множители Лагранжа.

Эффективность эксплуатации комплекса ОЖ-Н-МА оценивается решением оптимизированной задачи вида «минимизация приведенных затрат + ограничения». Эксергетическая стоимость комплекса дополняется совокупностью балансов стоимости каждого компонента ОЖ-Н-МА. Баланс стоимости компонентов показывает, что сумма стоимостей, связанных с прохождением эксергии, равна сумме стоимостей всех входов эксергии плюс соответствующая стоимость капитальных затрат и расходов на обслуживание.

В рассматриваемой работе наиболее весомая часть балансовой стоимости приходится на морозильный аппарат, которая зависит от конструкции аппарата и температурного перепада ΔT в различных районах промысла. Оптимальный перепад ΔT для воздухоохладителя МА конструктивно находится в пределах 5...12 °С, что определяет его производительность. За оптимальный период температуры ΔT принят тот, при котором будет минимальная сумма приведенных затрат в течении года

$$Z = C + EK,$$

где C – годовая себестоимость продукции, грн/год; E – нормативный коэффициент эффективности; K – капитальные затраты, грн.

Капитальные затраты составляют стоимость и монтаж МА в зависимости от характеристик аппарата, определенных перепадов температуры. Район промысла определяет стоимость топлива, расходуемого на работу МА и стоимость его доставки.

В исследованиях [4] рассмотрена зависимость стоимости топлива от перепада температуры судна типа ВМРТ в трех районах промысла: Северо-западной, Юго-восточной и Центрально-восточной Атлантики.

Баланс стоимости отделителя жидкости и насоса определяется в соответствии с принятой методикой.

Целевая функция – переменная часть приведенных затрат

$$\Pi = [\Pi_3 (E_{\text{пс}} + E_{\text{ож}} + E_{\text{н}} + E_{\text{ма}} + E_{\text{в}} + E_{\text{мех}})] \cdot \tau_{\text{ма}},$$

где $\tau_{\text{ма}}$ – время работы морозильного аппарата.

Взаимосвязь минимизированных переменных в процессе оптимизации приведет к необходимости нахождения условного экстремума, а задача оптимизации режимов работы комплекса решается путем приведения ее к задаче безусловной оптимизации с использованием множителя Лагранжа

$$L_{\text{л}} = [\Pi_3 (E_{\text{пс}} + E_{\text{дн}} + E_{\text{дв}} + E_{\text{мех}}) + \lambda_{\text{ож}} \cdot (l_{\text{ож}} - E_{\text{ож}}) + \lambda_{\text{н}} \cdot (l_{\text{н}} - E_{\text{н}}) + \lambda_{\text{ма}} \cdot (l_{\text{ма}} - E_{\text{ма}})] \cdot \tau_{\text{ма}}.$$

Здесь E означает количество энергии, а l – функцию, описывающую её изменение.

Выводы

1. Разработана физическая модель комплекса ОЖ-Н-МА. Предложена термoeкономическая модель, определяющая эффективность эксплуатации. Использован эксергетический метод работоспособности комплекса.

2. Выполненный анализ необходим для установления зависимости энергетических и экономических затрат от изменения температурного режима в морозильном аппарате.

Библиографический список использованной литературы

1. Оносовский В.В. Моделирование и оптимизация холодильных установок: учеб. пособие / В.В. Оносовский. — Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1990. — 208 с.
2. Эксeргетические расчеты технических систем: Справ. пособие / В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев и др.: под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. / АН УССР. Ин-т технической теплофизики. — К.: Наук. думка, 1991. — 360 с.
3. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергообразующей системы / Дж. Тсатсаронис. — Одесса: Изд-во ООО Студия «Негоциант», 2002. — 87 с.
4. Ионов А.Г. Выбор оптимального перепада температур для воздухоохладителей судовых морозильных аппаратов / А.Г. Ионов, В.Н. Эрлихман // Холодильная техника. — 1973. — № 11. — С. 24–28.

Поступила в редакцию 26.09.2014 г.

Хромов Є.В., Душко В.В., Королев А.В. Ексергетичний аналіз працездатності комплексу агрегатів морозильного апарату суднової холодильної установки

Розглянуто модель комплексу відділювач рідкого хладагенту — насос — морозильний апарат, який є важливою складовою системи заморожування продукції. На підставі фізичної моделі комплексу розглянуто параметри, що впливають на його роботу.

Ключові слова: комплекс, ексергія, фізична модель, термoeкономічна модель.

Khromov E.V., Dushko V.V., Korolev A.V. Exergy analysis working capacity complex aggregates of shipboard refrigeration plant freezer apparatus

The model of complex is considered separator of liquid coolant-pump-refrigerator vehicle, being important making system of freezing of products. On the basis of physical model of complex parameters, influencing on his work, are considered.

Keywords: complex, exergy, physical model, technical-and-economic model.