

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Зинурова К.И.

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Якимов Н.Д. – д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры АТПП

Аннотация. Выполнен укрупнённый расчёт параметров одноступенчатой абсорбционной холодильной машины для энергетического объекта. Определены тепловая нагрузка на генератор, величина отводимой теплоты и расходы воды по внешним контурам. Показана пригодность АХМ для использования низкопотенциальной теплоты.

Ключевые слова: абсорбционная холодильная машина, энергетический объект, тепловая нагрузка, низкопотенциальная теплота

Введение. В современных энергетических системах всё более актуальной становится задача повышения степени использования первичных энергетических ресурсов. Значительная часть тепловой энергии на промышленных и коммунально-энергетических объектах в тёплый период года используется не полностью, а часть низкопотенциальной теплоты вовсе не находит полезного применения [1]. В этих условиях особый интерес представляют технологии, позволяющие преобразовывать доступную теплоту в востребованный энергетический продукт, в частности в холод для систем кондиционирования воздуха, технологического охлаждения и обеспечения требуемых температурных режимов оборудования [2].

Одним из наиболее перспективных решений для таких условий являются абсорбционные холодильные машины. В отличие от традиционных парокомпрессионных установок, в которых основная доля затрат связана с потреблением электрической энергии компрессором, абсорбционные системы используют в качестве движущего энергетического фактора теплоту внешнего источника. Это делает их особенно привлекательными для энергетики, где возможно использование горячей воды, водяного пара, вторичных тепловых выбросов, а также теплоты, получаемой от когенерационных и тригенерационных установок. Применение АХМ позволяет не только повысить общую энергетическую эффективность объекта, но и снизить нагрузку на электрические сети в периоды пикового спроса на холод [3].

Наибольшее распространение в системах централизованного холодоснабжения и энергетических установках получили одноступенчатые абсорбционные машины на рабочей паре вода – бромид лития. Их преимуществами являются конструктивная отработанность, возможность работы на низкопотенциальной теплоте и сравнительно невысокое потребление электроэнергии вспомогательным оборудованием. Вместе с тем эффективность их применения определяется согласованностью параметров источника теплоты, охлаждающего контура и потребителя холода [4]. Поэтому уже на начальном этапе проектирования требуется инженерная оценка основных энергетических характеристик установки: холодильной мощности, тепловой нагрузки на генератор, количества отводимой теплоты и расходов теплоносителей по внешним контурам [5].

Целью настоящей работы является оценка параметров одноступенчатой абсорбционной холодильной машины для условий энергетического объекта при заданной холодильной мощности.

Основная часть. В качестве расчётной схемы в работе рассматривается одноступенчатая абсорбционная холодильная машина на рабочей паре вода – бромид лития. Выбор именно такой схемы обусловлен тем, что установки данного типа являются одними из наиболее распространённых в энергетических и коммунально-промышленных системах, где

имеется источник низкопотенциальной или вторичной теплоты. В подобных машинах вода выполняет функцию хладагента, а раствор бромида лития служит абсорбентом. Работа установки основана на том, что процесс получения холода обеспечивается не механическим сжатием хладагента, как в парокомпрессионных системах, а за счёт подвода теплоты к генератору и последующего протекания процессов десорбции, конденсации, дросселирования, испарения и абсорбции.

В качестве исходных данных была принята холодильная мощность установки 120 кВт. Данное значение можно рассматривать как характерное для локального энергетического объекта, где требуется обеспечить охлаждение воздуха, технологической среды либо отдельных элементов оборудования. Коэффициент преобразования АХМ был принят равным 0,72, что соответствует типичному уровню эффективности одноступенчатых литий-бромидных машин при работе в стандартных условиях. Дополнительно были заданы температурные графики по внешним контурам: для охлаждаемой воды – 12/7 °С, для греющей воды, подводимой к генератору, – 95/85 °С, для охлаждающей воды, обеспечивающей отвод теплоты от конденсатора и абсорбера, – 30/35 °С. Такой набор исходных параметров позволяет выполнить расчёт основных тепловых потоков и определить ориентировочные расходы воды по каждому из контуров.

На первом этапе была определена тепловая нагрузка на генератор. Поскольку коэффициент преобразования абсорбционной холодильной машины представляет собой отношение полезной холодильной мощности к теплоте, подводимой к генератору, требуемая тепловая мощность источника может быть найдена делением холодильной мощности на значение COP. При холодильной мощности 120 кВт и коэффициенте преобразования 0,72 расчётная нагрузка на генератор составила 166,7 кВт. Иными словами, для получения 120 кВт холода требуется подвести к генератору около 167 кВт тепловой энергии. Этот результат имеет принципиальное значение для энергетической оценки установки, поскольку именно он показывает минимальный уровень доступного теплового ресурса, необходимого для устойчивой работы АХМ в заданном режиме.

Следующим этапом была выполнена оценка суммарного потока теплоты, который должен быть отведён в окружающую среду через контур охлаждающей воды. В абсорбционной холодильной машине подведённая к генератору теплота и получаемая в испарителе холодильная мощность в конечном итоге превращаются в общий поток теплоты, удаляемый в конденсаторе и абсорбере. Поэтому в первом приближении этот поток может быть определён как сумма холодильной мощности и тепловой нагрузки на генератор. В рассматриваемом случае величина отводимой теплоты составила 286,7 кВт. Полученное значение показывает, что система охлаждения АХМ должна быть рассчитана на достаточно значительный тепловой поток, причём по абсолютной величине он существенно превышает полезную холодильную мощность установки. Это характерная особенность абсорбционных машин, которую необходимо учитывать при проектировании градирен, теплообменников и водооборотных контуров.

После определения основных тепловых потоков были рассчитаны расходы воды по внешним контурам. Для этого использовалось стандартное инженерное соотношение, связывающее тепловую нагрузку, теплоёмкость воды, температурный перепад и массовый расход. На стороне испарителя был определён расход охлаждаемой воды, для которой принят температурный график 12/7 °С, то есть перепад температур составил 5 °С. При таких условиях массовый расход охлаждаемой воды оказался равным 5,73 кг/с. Этот параметр характеризует пропускную способность контура холодоснабжения и может использоваться при выборе насосного оборудования, трубопроводов и теплообменных аппаратов потребителя холода.

Далее аналогичным образом был найден расход греющей воды, подводимой к генератору. Поскольку тепловая нагрузка генератора ранее была определена как 166,7 кВт, а температурный перепад в греющем контуре составляет 10 °С, расчётный расход горячей воды оказался равным 3,98 кг/с. Следовательно, для обеспечения стабильной работы АХМ необходим источник теплоты, способный подавать почти 4 кг/с воды температурного уровня

порядка 95 °С. Это может быть сетевая вода, вода от котельной, утилизированная теплота технологического процесса либо другой подходящий теплоноситель с близкими параметрами.

Наиболее значительным по расходу оказался контур охлаждающей воды, предназначенный для отвода теплоты из конденсатора и абсорбера. При суммарном тепловом потоке 286,7 кВт и температурном перепаде 5 °С расчётный расход охлаждающей воды составил 13,69 кг/с. Это значение заметно превышает расходы в двух других контурах, что объясняется необходимостью удаления не только теплоты, связанной с выработкой холода, но и всей теплоты, подведённой к генератору. С инженерной точки зрения именно охлаждающий контур во многом определяет габариты и эксплуатационные требования к системе, так как при недостаточной эффективности теплоотвода работа абсорбционной машины становится нестабильной, а её энергетические показатели ухудшаются.

Заключение. Проведённый укрупнённый расчёт позволил определить ключевые энергетические параметры одноступенчатой АХМ при заданной холодильной мощности 120 кВт. Было установлено, что для обеспечения такой холодопроизводительности требуется подвод к генератору 166,7 кВт теплоты, а суммарный поток теплоты, отводимый в систему охлаждения, достигает 286,7 кВт. При этом расходы воды по контурам составляют: для охлаждаемой воды 5,73 кг/с, для греющей воды 3,98 кг/с, для охлаждающей воды 13,69 кг/с. Полученные результаты дают возможность не только оценить энергетическую целесообразность применения АХМ, но и определить исходные требования к сопрягаемым системам энергетического объекта.

Список литературы

1. Florides G.A., Kalogirou S.A., Tassou S.A., Wrobel L.C. Design and construction of a LiBr–water absorption machine // *Energy Conversion and Management*. 2003. Vol. 44. No. 15. P. 2483–2508. DOI: 10.1016/S0196-8904(03)00006-2.
2. Tawalbeh M., Al-Othman A., Badran O., et al. Parametric Study of a Single Effect Lithium Bromide-Water Absorption Chiller Powered by a Renewable Heat Source // *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2020. Vol. 8. No. 3. P. 504–519.
3. Marashli A., Alfanatseh Y., Qoaider L., et al. Modelling single-effect of Lithium Bromide-Water (LiBr–H₂O) driven by an evacuated solar tube collector in Ma'an city (Jordan): case study // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2022. Vol. 36. Art. 102200. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102200.
4. Fischer Y.R., Dutra J.C.C., Rohatgi J. Thermodynamic modelling of a LiBr–H₂O absorption chiller by improvement of characteristic equation method // *International Journal of Refrigeration*. 2020. Vol. 120. P. 420–429. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2020.08.021.
5. Talbi M.M., Agnew B. Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluids // *Applied Thermal Engineering*. 2000. Vol. 20. No. 7. P. 619–630. DOI: 10.1016/S1359-4311(99)00052-6.

UDC 621.57

ASSESSMENT OF THE ENERGY PARAMETERS OF AN ABSORPTION CHILLER

Zinurova K.I.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Yakimov N.D. – Dr. of Phys.-Math. Sci., Professor, Professor of the Department of ATPP

Annotation. A simplified calculation of the parameters of a single-effect absorption chiller for an energy facility was carried out. The heat load on the generator, the amount of rejected heat, and the water flow rates in the external circuits were determined. The suitability of the absorption chiller for the utilization of low-grade heat was demonstrated.

Keywords: absorption chiller, energy facility, heat load, low-grade heat