

частоту вращения электропривода, это может снизить активную массу и потери в меди двигателя. Помимо этого, увеличение числа пар полюсов увеличивает сложность конструкции двигателя и системы охлаждения и влечет потери в сердечнике; таким образом, конструкции с большим количеством полюсов достигли эффективности, сравнимой с конструкциями с меньшим количеством полюсов. Однако, для таких электроустановок, как электроприводы винтов летательных аппаратов, в условиях полета конструкции с большим числом полюсов имели более низкую эффективность, поскольку потери в сердечнике составляли больший процент электромагнитных потерь, чем при взлете.

Магниты ротора располагают в виде матрицы Хальбаха для обеспечения более синусоидального распределения потока, что может снизить потери в сердечнике и крутящий момент при зацеплении [1]. Кроме того, матрица Хальбаха обеспечивает обратное распространение магнитного потока [4], позволяя заменить сердечник ротора на легкий полимер, армированный углеродным волокном.

Основываясь на моделировании, для плотности тока, создаваемой печатной платой, подходящей для высокопроизводительного охлаждения, мощность, типичная для силовых двигателей многовинтовых малых самолетов, т.е. 10 кВт при 2600 об/мин, может быть достигнута с использованием нескольких печатных плат с параллельными слоями или аксиально-модульной альтернативной компоновки с 3 роторами и 2 статорами [5].

Литература

1. Gieras J. F. Axial flux permanent magnet brushless machines / J. F. Gieras, R. J. Wang, M. J. Kamper. – Springer Science & Business Media, 2008.
2. Tiegna H. Over view of analytical models of permanent magnet electrical machines for analysis and design purposes / H. Tiegna, Y. Amara, G. Barakat // Mathematics and Computers in Simulation. – 2013. – Т. 90. – С. 162–177.
3. On the design of coreless permanent magnet machines for electric air craft propulsion / D. Lawhorn [et al.] // 2021 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC). – IEEE, 2021. – С. 278–283.
4. Zhu, Z. Q., Howe D. Halbach permanent magnet machines and applications: IZ.Q 2hu // IEE Proceedings-Electric Power Applications. – 2001. – Vol. N 4. – С. 299–308.
5. Johnson M. Analysis of axial field magnetic gears with Halbach arrays / M. Johnson, M. C. Gardner, H. A. Toliyat // 2015 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC). – IEEE, 2015. – С. 108–114.

АБСОРБЦИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ НАСОС С ГАЗОВЫМ ПРИВОДОМ В СИСТЕМЕ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В. В. Янчук

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель В. Н. Романюк

Приведены основные результаты расчета изменения эффективности работы электрической станции на базе паротурбинной установки ПТ-60. При модернизации системы регенеративного подогрева питательной воды за счет включения в схему абсорбционного теплового насоса (АБТН) с приводом на дымовых газах, отбираемых из тракта парового котла. Данное решение позволяет вытеснить часть пара из отборов турбины, следовательно, увеличить выработку электроэнергии. Предложенная модернизация актуальна для станций, где имеется значительный невозврат конденсата, так как температура нагреваемого потока на выходе из АБТН ограничивается 85 °С. В результате

получено, что при полном невозврате конденсата промышленного отбора в цикл, рост электрического КПД после модернизации составил 2,7 %, рост энергетического КПД – 1,1 %.

Ключевые слова: турбоустановка ПТ-60, абсорбционный тепловой насос, система регенеративного подогрева питательной воды, низкотемпературные тепловые потоки.

Повышение эффективности использования первичных источников энергии – одно из приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021–2025 гг. Мероприятия, способствующие повышению энергетической эффективности процесса, также позволяют снизить себестоимость выпускаемой продукции, соответственно, повысить ее конкурентоспособность, и снизить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения выбросов.

В более ранних исследованиях [показано, что регенеративное использование низкопотенциальных сбросных тепловых потоков на паротурбинной тепловой электростанции позволяет повысить показатели эффективности ее работы. В статье [2] рассмотрен вариант включения абсорбционного теплового насоса (АБТН) в систему регенеративного подогрева питательной воды. Используя пар из отбора турбины для привода АБТН, а в качестве низкопотенциального утилизируемого потока циркуляционную воду, возможно в пределе получить повышение электрического КПД на 0,9 % и энергетического КПД на 0,55 %.

В качестве привода АБТН возможно также использование потока дымовых газов с температурой порядка 330 °С, с их охлаждением до 140 °С. Паровая турбина ПТ-60 работает совместно с котлом БКЗ-420, в соответствии с компоновкой поверхностей нагрева которого, отбор газов соответствующей температуры необходимо осуществлять по ходу дымовых газов перед водяным экономайзером первой ступени. Отбор части дымовых газов повлечет за собой изменение температуры дымовых газов по всему тракту котла, изменение температуры нагреваемых сред – перераспределение температуры в пароводяном тракте и снижение температуры подогретого воздуха. При расчете коэффициента теплопередачи для каждой поверхности нагрева принят постоянным при изменении расхода дымовых газов.

По результатам расчета получено, что температура дымовых газов перед дымовой трубой снизилась на 24 °С. В классической схеме составляла 133 °С, после отбора части газов – 109 °С. Данные температуры исключают конденсацию водяных паров из дымовых газов, что позволяет не проводить дополнительные мероприятия. Наблюдается также недогрев воздуха в воздухоподогревателях на 10 °С, по сравнению с классическим вариантом, что также незначительно снижает температуру горения [3].

В качестве низкопотенциального источника тепловой энергии для АБТН в данном варианте используется также циркуляционная вода конденсатора турбины. Нагрев подпиточной воды осуществляется до 85 °С, что позволяет вытеснить часть пара, расходуемого на ее подогрев, тем самым увеличить выработку электроэнергии.

В результате численного анализа получено, что увеличение электрического КПД за счет предложенной модернизации составил 2,7 %, увеличение энергетического КПД – 1,1 %. Полученные расчетные данные доказывают эффективность предложенных решений.

Литература

1. Янчук, В. В. Повышение эффективности действующих тепловых электрических станций в современных условиях / В. В. Янчук, В. Н. Романюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 6. – С. 511–523.
2. Янчук, В. В. Модернизация системы регенеративного подогрева питательной воды в цикле турбоустановки ПТ-60 / В. В. Янчук, В. Н. Романюк // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 509–523.
3. Хрусталева, Б. М. Расширение энергосберегающей базы в условиях централизованного теплоснабжения и доминирования энергоемких технологий / Б. М. Хрусталева, В. Н. Романюк // Энергоэффективность. – 2017. – № 12. – С. 20–27.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОЩАДИ
ВЫХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ
ТЕПЛООБМЕННИКА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
НА ТЕПЛООТДАЧУ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ
С УЧЕТОМ ИХ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Д. В. Островская

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

Научный руководитель Г. С. Маршалова

Проведены экспериментальные исследования влияния площади выходного отверстия вытяжной шахты теплообменника воздушного охлаждения на интенсивность теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с внешним однородным кольцевым загрязнением. При проведении экспериментальных исследований над пучком была установлена вытяжная шахта высотой $H = 1,04$ м с регулируемым проходным сечением. В результате получены графические зависимости в виде чисел подобия $Nu = f(Ra)$. Установлено, что с увеличением площади выходного отверстия шахты интенсивность теплоотдачи однорядного пучка увеличивается, достигая максимума при $f_{opt} = 0,086$ м², после чего она снижается из-за наличия обратных потоков холодного воздуха в шахту.

Ключевые слова: теплообменник воздушного охлаждения, однорядный пучок, внешнее загрязнение, оребренная труба, теплоотдача.

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) широко распространены в таких отраслях промышленности, как химическая, нефтехимическая, газовая, целлюлозно-бумажная, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях. Данные аппараты используются для охлаждения технологических продуктов, охлаждения и конденсации парогазовых смесей, для нагрева воздуха, а также утилизации тепла отходящих продуктов сгорания природного газа или других газобразных сред.

Обширной областью применения ТВО является необходимость охлаждения, транспортируемого на большие расстояния газа. Для преодоления сопротивления движению газа на газопроводе через определенные промежутки (110–130 км) строят компрессорные станции, предназначенные для повышения давления газа до требуемых значений. Однако в процессе сжатия также увеличивается и температура газа, которую для увеличения пропускной способности трубопровода и повышения его надежности необходимо снижать в ТВО.

Теплообменники воздушного охлаждения в основном, функционируют в режиме вынужденной конвекции, вследствие чего для их работы расходуется значительное количество электроэнергии. В связи с этим можно сказать, что эффективность их