

УДК 621.175:629.12.03

С.А.КУЗНЕЦОВА, В.В.КУЗНЕЦОВ

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГПА НА МОРСЬКИХ ОБ'ЄКТАХ ВИДОБУТКУ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Постановка проблеми

Україна за рахунок видобутку природного газу покриває до 30 % свого споживання, що становить 70 млрд. м³, з яких 50 млрд. м³ закупає і 20 млрд. м³ видобуває самостійно. Відповідно до Національної програми "Нафта і газ України до 2010 року" обсяг видобутку газу повинен досягти 28 млрд.м³.

Основними напрямками подальшого збільшення видобутку газу є:

- введення нових потужностей та інтенсифікація видобутку із існуючих родовищ;
- інтенсифікація освоєння ресурсів акваторії Чорного і Азовського морів;
- відновлення і модернізація парку газоперекачувального обладнання.

Вирішення проблеми енергозбереження при видобутку і транспортуванні газу в морських умовах вимагає створення морських об'єктів з високоефективними газоперекачувальними установками. У той же час ці установки повинні бути екологічно безпечними.

Аналіз останніх досліджень

Аналогом таких газоперекачувальних установок з контактними газопаротурбінними установками може бути установка потужністю 16 МВт на газокомпресорній станції "Ставищенська" Управління магістральних газопроводів "Черкаситрансгаз". Установка розроблена, виготовлена і введена в експлуатацію рядом вітчизняних організацій, у тому числі Відкритим акціонерним товариством "НЕТ". До грудня 2007 року ця установка ГПУ-16К №1 працювала більше 10200 годин. За цей час порівняно з установкою аналогічної потужності ГПА-16 з газотурбінним двигуном простого циклу у результаті експлуатації економія паливного газу склала близько 15 млн. м³. При цьому екологічні показники викидів у газах, що відробили, приведені до об'ємного вмісту кисню 15%, склали для NO_x – 40...68 мг/нм³, CO – 58...10мг/нм³ і температура газів за контактним конденсатором - не більше 45°C. Ефективний ККД контактної газопаротурбінної установки дорівнює 42% при максимальній температурі циклу T₃=1358 К [1, 2]. Підвищення ККД контактної газопаротурбінної установки при застосуванні проміжного охолодження повітря і заміні повітряного охолодження паровим обґрунтовано в роботах [3, 4].

Мета й завдання дослідження

Метою представленої роботи є підвищення ефективності енергозбереження при транспортуванні газу на морських об'єктах.

Зазначена мета досягається за рахунок:

- підвищення ефективності контактної газопаротурбінної установки проміжним охолодженням повітря при його стисненні в компресорах і використання парового охолодження високотемпературних вузлів установки;
- підвищення ефективності системи, що охолоджує та дегазує, контактного конденсатора

при використанні водо-водяних охолоджувачів;

- забезпечення опрісненою водою побутових потреб екіпажу.

Результати дослідження і їхній аналіз

Запропоновані авторами способи охолодження дозволяють для морських об'єктів підвищити ККД контактної газопаротурбінної установки до 46...48%. При цьому охолодження паром дозволяє підвищити максимальну температуру циклу зі збереженням ресурсу установки до її капітального ремонту на рівні 50...100 тис. годин.

Для обґрунтування підвищення ефективності контактної газопаротурбінної установки різних схем виконаний термодинамічний аналіз газотурбінних установок простого циклу, контактної газопаротурбінної установки з повітряним охолодженням лопаток, із проміжним охолодженням повітря та повітряним охолодженням лопаток, із проміжним охолодженням повітря й паровим охолодженням лопаток. Дослідження проводилися на базі математичних моделей, алгоритмів і реалізуючих їх програм, розроблених у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова і Відкритому акціонерному товаристві "НЕТ". Показники ефективності роботи установки – ККД і питомої потужності отримані в діапазоні параметрів навколишнього середовища, характерних для районів видобутку газу у Чорному морі (повітря: температура 5...27°C, вологовміст 0,009...0,011 кг/кг, забортна вода: температура 3...24°C).

Залежності ККД і питомої потужності від максимальної температури циклу для чотирьох схем установок однакової номінальної потужності 16 МВт, що є найбільш прийнятною для морських і континентальних газоперекачувальних установок, показані на рис. 1 і 2.

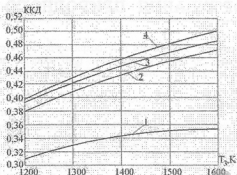


Рис.1. Залежність зміни ККД ГТУ від максимальної температури циклу T_3 :

- 1 - ГТУ простого циклу; 2 - КПГТУ з повітряним охолодженням лопаток;
- 3 - КПГТУ з проміжним охолодженням повітря і повітряним охолодженням лопаток;
- 4 - КПГТУ з проміжним охолодженням повітря і паровим охолодженням лопаток

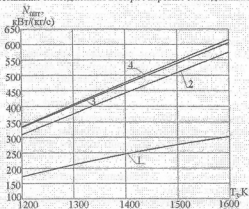


Рис.2. Залежність зміни питомої потужності ГТУ від максимальної температури циклу T_3 :

- 1 - ГТУ простого циклу; 2 - КПГТУ з повітряним охолодженням лопаток;
- 3 - КПГТУ з проміжним охолодженням повітря і повітряним охолодженням лопаток;
- 4 - КПГТУ з проміжним охолодженням повітря і паровим охолодженням лопаток

Застосування проміжного охолодження повітря при його стисненні між компресорами дозволяє підвищити ККД контактної газопаротурбінної установки порівняно із контактною газопаротурбінною установкою з повітряним охолодженням лопаток на 0,013...0,015 і питому потужність на 21...27 кВт/(кг/с). Це спричинене зниженням роботи стиснення в компресорі газотурбінного двигуна.

Подальше підвищення ККД контактної газопаротурбінної установки і питомої потужності відповідно на 0,087...0,130 та 162...268 кВт/(кг/с) досягається за рахунок застосування проміжного охолодження повітря і парового охолодження лопаток.

Номинальна потужність контактної газопаротурбінної установки відповідає температурі зовнішнього повітря 15°C. При температурі понад 15°C зниження потужності становить 14...18% (див. рис.3.).



Рис.3. Залежність зниження питомої потужності ГТУ від температури зовнішнього повітря

Цю втрату можна компенсувати шляхом зниження роботи стиснення в компресорах при охолодженні повітря за рахунок випарного охолодження з урахуванням особливостей роботи установки у морських умовах. Такими особливостями є більш високі вологовміст зовнішнього повітря та ефективність повернення води в цикл при температурах морської води до 24 °C. Це дозволяє одержати в контактній газопаротурбінній установці надлишок води необхідної кількості для випарного охолодження повітря і додаткового підвищення його вологовмісту.

Підвищення вологовмісту на 0,014...0,056 кг/кг залежно від максимальної температури циклу забезпечує підвищення питомої потужності до 75 кВт/(кг/с) (див. рис.4). Наприклад, для контактної газопаротурбінної установки потужністю 16 МВт із повітряним охолодженням лопаток і з температурою $T_3 = 1358$ К при підвищенні температури зовнішнього повітря від 15 до 27°C падіння питомої потужності становить 41 кВт/(кг/с). Компенсацію цієї втрати можна здійснити за рахунок збільшення вологовмісту робочого тіла на 0,031 кг/кг. При збільшенні температури T_3 до 1458 К додатковий вологовміст робочого тіла знизюється до 0,020 кг/кг.

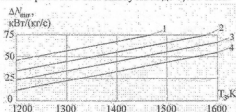


Рис.4. Залежність підвищення питомої потужності від максимальної температури циклу при підвищенні вологовмісту робочого тіла:

- 1 - $\Delta d_{p,x} = 0,056$ кг/кг; 2 - $\Delta d_{p,x} = 0,042$ кг/кг;
3 - $\Delta d_{p,x} = 0,028$ кг/кг; 4 - $\Delta d_{p,x} = 0,014$ кг/кг

Показник економічної ефективності трьох схем контактних газопаротурбінних установок – обсяг зекономленого паливного газу порівняно з газотурбінними установками простого циклу показаний на рис.5. Цей показник визначався з розрахунку 6000 годин роботи установки потужністю 16 МВт за рік. Імовірність отриманої економії паливного газу підтверджується відповідністю даним, отриманим на газокompресорній станції "Ставищенська". В умовах газокompресорної станції для контактної газопаротурбінної установки з повітряним охолодженням лопаток (при $T_3 = 1358$ К) економія паливного газу склала близько 8,8 млн. м³. При такій же

максимальній температурі циклу для контактної газопаротурбінної установки із проміжним охолодженням повітря та повітряним охолодженням лопаток, із проміжним охолодженням повітря й паровим охолодженням лопаток економія паливного газу становить відповідно 9,3 й 9,7 млн. м³. Зі збільшенням максимальної температури циклу до 1500 К максимальна економія паливного газу складе 10,5 млн. м³.

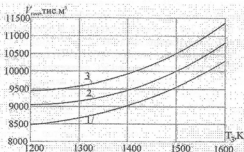


Рис.5. Залежність економії палива від максимальної температури циклу T_3 :

- 1 - ГТУ простого циклу; 2 - КГПТУ з повітряним охолодженням лопаток;
- 3 - КГПТУ з проміжним охолодженням повітря і повітряним охолодженням лопаток;
- 4 - КГПТУ з проміжним охолодженням повітря і паровим охолодженням лопаток.

Додаткове підвищення ефективності енергозбереження в контактних газопаротурбінних установках можливе за рахунок зниження споживання електричної енергії елементами системи, що охолоджує та дегазує, контактного конденсатора: циркуляційними насосами і насосами водоводяних охолоджувачів. Зниження спожитої електричної енергії здійснюється, по-перше, за рахунок зниження витрати води на контактний конденсатор через більші значення вологовмісту робочого тіла й нижчі температури циркуляційної води, і, по-друге, більшої ефективності теплопередачі у водо-водяних охолоджувачах.

Зниження споживання електричної енергії ΔN_{en} циркуляційними насосами системи, що охолоджує та дегазує, контактного конденсатора від температури зовнішнього повітря наведено на рис.6. Визначення зниження споживання енергії розраховувалося з урахуванням компенсації втрат при продувках утилізаційного котла й виробництва необхідної кількості опрісненої води для побутових потреб. Зниження споживання електричної енергії визначалося як різниця потужностей циркуляційних насосів контактної газопаротурбінної установки при роботі в континентальних і морських умовах.

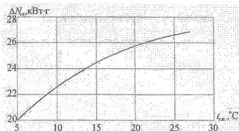


Рис.6. Залежність зниження споживання електричної енергії циркуляційними насосами від температури зовнішнього повітря

Представлені результати показують, що застосування контактних газопаротурбінних установок в морських умовах дозволить за 6000 годин роботи скоротити витрату електроенергії на 120 ... 160 МВт·год.

Зниження енергоспоживання у водо-водяних охолоджувачах можливе за рахунок інтенсифікації процесів теплопередачі при застосуванні профільованих поверхонь.

Для оцінки економії споживання електричної енергії при використанні профільованих поверхонь проведено моделювання течії у водо-водяному кожухотрубчастому охолоджувачі судновому з прямими трубами типу ОКН 220-1050-2 з кількістю ходів охолоджуючої води 2 і охолоджуваної води 8 [5]. Оцінка проводилась за допомогою ліцензійної копії системи моделювання руху рідини і газу "FlowVision", встановленої в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв).

Виходячи з результатів моделювання слід зазначити, що зниження споживання електричної енергії насосами водо-водяних охолоджувачів складає 60...90 МВт·год за рік. Тоді сумарне зниження споживання електричної енергії циркуляційними насосами й насосами водо-водяних охолоджувачів досягає 180...250 МВт·год за рік.

Контактні газопаротурбінні установки здатні генерувати воду, що може бути використана для господарсько-побутових потреб. Це дозволяє додатково скоротити витрати електричної енергії на роботу опріснювальних установок.

Виходячи із часу роботи установки протягом року (6000 годин), кількості команди морського об'єкта (60 чоловік) і норм споживання опрісненої води (4...8 кг/г на одну людину) її кількість становить 1440...2880 т за рік. Для одержання такої кількості опрісненої води в утилізаційних опріснювальних установках типу Д-4У витрачається 1,8...4,2 МВт·год за рік. По цьому відбір зазначеного вище обсягу опрісненої води із системи, що охолоджує та дегазує, контактного конденсатора контактної газопаротурбінної установки додатково до 180...250 МВт·год за рік заощаджує 1,8...4,2 МВт·год за рік, тобто всього 181,8...254,2 МВт·год за рік.

Висновки

На підставі викладеного треба зазначити, що застосування контактних газопаротурбінних установок нового покоління із проміжним охолодженням повітря та паровим охолодженням лопаток є ефективним напрямком у вирішенні проблеми енергозбереження при видобутку газу на морських об'єктах.

Ця ефективність підтверджується наступним.

1. Застосування проміжного охолодження повітря й парового охолодження лопаток дає можливість, не знижуючи надійності установки, підвищити ККД до 48% і збільшити питому потужність до 545 кВт/(кг/с) при максимальній температурі циклу 1500 К, що реалізована в серійних газотурбінних установках вітчизняного виробництва.
2. Збільшення вологовмісту робочого тіла контактних газопаротурбінних установок на 0,14...0,56 кг/кг при дотриманні балансу води в циклі дозволяє повністю компенсувати зниження потужності установки при температурах зовнішнього повітря в морських умовах від 15°C до 27°C.
3. Енергозбереження при експлуатації контактних газопаротурбінних установок другого покоління із проміжним охолодженням повітря й паровим охолодженням лопаток на морських об'єктах протягом року може скласти 9,5...10,5 млн. м³ паливного газу.
4. Сумарне зниження споживання електричної енергії циркуляційними насосами й насосами водо-водяних охолоджувачів при експлуатації контактних газопаротурбінних установок в морських умовах досягає 180...250 МВт·год за рік.
5. Додаткове енергозбереження від забезпечення опрісненою водою побутових потреб команди складе близько 1,8...4,2 МВт·год за рік, тобто всього 181,8...254,2 МВт·год за рік.

Література

1. Коломєєв В.М., Ксеєндзюк М.В., Романов В.В., Мовчан С.М., Шевцов А.П., Кузнецова С.А., Дикий М.О. ГПУ-16К: дослідно-промислова експлуатація, міжвідомчі приймальні випробування, перспективи використання// Нафтова і газова промисловість, Науково-виробничий журнал. – Київ. – 2006. – № 4 (228). – С. 38–40.
2. Избаш В.И., Кучерук Н.В., Мовчан С.Н., Филоенко А.А., Шевцов А.П., Кузнецова С.А. Опыт эксплуатации и пути совершенствования газоперекачивающей установки ГПУ-16К и ее составных частей// Тезисы V Международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», Киев, 2007, С.189-190.
3. Романов В.И., Дикий Н.А., Жирицкий О.Г., Трошин В.П., Кучеренко О.С., Береснев Б.С. Изотермирование процесса сжатия воздуха в компрессоре и его влияние на характеристики газотурбинного двигателя//Промышленная теплотехника, т.20,1998, №6.С.45-50.
4. Шевцов А.П., Ващиленко Н.В. Использование промежуточного охлаждения воздуха в компрессоре для повышения экономичности газотурбинных установок// Энергетика: Збірник наукових праць. - Миколаїв: УДМУ, 2003. – С.39-46.
5. ОУТ 5.4254-86. Охладители масла и воды судовые кожухотрубчатые с прямыми трубами.-71с.