

УДК 621.565180

¹А.А. Вассерман, доктор техн. наук; ²А.Г. Слынько, канд. техн. наук^{1,2}Одесский национальный морской университет, ул. Мечникова, 34, Одесса, Украина, 65029e-mail: ¹avas@paco.net; ²asg_37@ukr.netORCID: ¹http://orcid.org/0000-0001-8147-8417; ²http://orcid.org/0000-0002-5310-4335

УМЕНЬШЕНИЕ МОЩНОСТИ ПРИВОДА КОМПРЕССОРА ДЛЯ СЖАТИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРБАМИДА

Предлагается адиабатное сжатие до высокого давления газообразного диоксида углерода, используемого в производстве карбамида, заменить изотермическим либо политропным сжатием. Это существенно уменьшает мощность привода компрессора, снижает температуру в конце сжатия и улучшает условия работы компрессора. При переходе к изотермическому сжатию CO₂ удельный расход энергии уменьшается с 0,106 до 0,076 кВтч/кг, а при переходе к политропному сжатию — до 0,087 кВтч/кг. Такая модернизация установки производительностью 45 т CO₂ в час позволит уменьшить эффективную мощность привода компрессора с 4759 до 3431 кВт в первом случае и до 3894 кВт — во втором, что приведёт к экономии 11,63 и 7,58 ГВтч электроэнергии в год соответственно.

Ключевые слова: Адиабатное, изотермическое и политропное сжатие. Диоксид углерода. Мощность привода компрессора. Производство карбамида. Экономия электроэнергии.

1. ВВЕДЕНИЕ

При синтезе карбамида используется диоксид углерода, сжатый до высокого давления [1]. Применяемый при этом адиабатный процесс сжатия CO₂ в четырёхступенчатом компрессоре требует больших затрат энергии. В работе [2] на примере одноступенчатой холодильной установки показано, что цикл с изотермическим сжатием хладагента имеет существенные энергетические и эксплуатационные преимущества перед циклом с адиабатным сжатием.

В настоящей работе рассматривается вопрос о замене в четырёхступенчатом компрессоре энергетически более затратного адиабатного сжатия диоксида углерода более экономичными изотермическим либо политропным. Рассчитаны энергетические характеристики компрессора при указанных вариантах процесса сжатия диоксида углерода.

2. МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЖАТИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

В установке для получения карбамида, рассмотренной в [1], используется диоксид углерода с параметрами 120 °С и 15 МПа. Процессы сжатия CO₂ до указанного давления в такой установке, принятой в настоящей работе в качестве базовой, приведены на рисунке. Сжатие CO₂ от давления $P_H = P_1 = 0,115$ МПа до давления конденсации $P_K = P_9 = 7$ МПа осуществляется адиабатно в четырёхступенчатом поршневом компрессоре (процессы 1–2, 3–4, 5–6 и 7–8). После сжатия в ступенях компрессора проводится изобарное промежуточное охлаждение диоксида углерода

при давлениях 0,3; 0,9; 2,5 и 7 МПа (процессы 2–3, 4–5, 6–7 и 8–9 соответственно).

Конденсация CO₂ при температуре 28,68 °С (процесс 9–10), как и изобарное охлаждение, осуществляется с помощью воды. Насыщенный жидкий CO₂ (точка 10) адиабатно сжимается насосом до давления 15 МПа (процесс 10–11). Затем перед поступлением на синтез карбамида температура диоксида углерода повышается в изобарном процессе 11–12 водяным паром, излишки которого всегда имеются на предприятиях, вырабатывающих аммиак.

При модернизации рассматриваемой установки целесообразно заменить адиабатные процессы сжатия 1–2, 3–4, 5–6 и 7–8 изотермическими процессами сжатия 1–3, 3–5, 5–7 и 7–9 либо близкими к ним политропными процессами 1–2а, 3–4а, 5–6а и 7–8а (см. рисунок). Это возможно при соответствующем интенсивном охлаждении водой цилиндров четырёхступенчатого компрессора.

3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРА ПРИ АДИАБАТНОМ И ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ СЖАТИИ CO₂

По известной методике [3] рассчитаны энергетические характеристики компрессора: мощность и удельные затраты энергии на сжатие 1 кг диоксида углерода в адиабатном, изотермическом и политропном процессах сжатия. Необходимые данные о термодинамических свойствах CO₂ определялись с помощью автоматизированной информационной системы REFPROP [4]. При политропном сжатии конечная температура CO₂ была принята равной 50 °С.