

УДК 621.59:04-182.1

¹В.В. Кухаркин, ²А.П. Кравченко

ПАО «Криогенмаш», проспект Ленина, 67, г. Балашиха, Московская область, РФ, 143907

e-mail: ¹v.kuharkin@cryogenmash.ru; ²artem_kravchenko@cryogenmash.ruORCID: ¹http://orcid.org/0000-0002-9464-8267; ²http://orcid.org/0000-0002-2870-3846

ЖИДКОСТНЫЕ ТУРБИНЫ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВРУ

В криогенных системах находят применение двухфазные турбодетандеры. Их используют в двух основных областях: при переходе через правую или левую пограничные кривые воздуха, диоксида углерода, природного и др. газов. Сообщается о результатах расчётных исследований жидкостнопаровых турбодетандеров, которые могут заменить дроссельные вентили на последних ступенях охлаждения в криогенных воздухоразделительных установках (ВРУ). Определены конструктивные, термодинамические и кинематические характеристики жидкостнопаровых турбодетандеров со степенями реактивности 0,1 и 0,5. Изучены характеристики ВРУ с указанными турбодетандерами. Установлено, что наиболее эффективно их применять в ВРУ, реализующих циклы среднего давления. Исследованы три варианта включения турбодетандеров в схему ВРУ среднего давления: базовый с применением одного детандера вместо дроссельного вентиля на потоке жидкого воздуха в нижнюю колонну; с двумя детандерами, установленными на потоке в нижнюю колонну и на потоке кубовой жидкости в верхнюю колонну. Показано, что можно на 2,3 % снизить удельные затраты в ВРУ при замене дроссельных вентилях жидкостнопаровыми турбодетандерами.

Ключевые слова: Криогенная техника. Турбодетандер. Дроссельный вентиль. Воздухоразделительная установка. Степень реактивности. Эффективность.

1. ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности воздухоразделительных установок (ВРУ) всегда являлось важной задачей. В своё время увеличению их эффективности способствовал ряд технических и схемно-технологических решений: применение блоков комплексной очистки и пластинчаторебристых теплообменников в узле очистки и охлаждения воздуха, использование структурированных насадок в узле ректификации и других. Всё это позволило существенно улучшить технико-экономические показатели производства продуктов разделения воздуха. Ещё одним из таких решений может стать применение детандеров вместо дроссельных вентилях на технологических потоках в ВРУ.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКОСТНЫХ ТУРБИН

В 1960-1980-е годы появился устойчивый интерес отечественных и зарубежных исследователей к созданию двухфазных турбодетандеров как парожидкостных (в основном отечественные работы), так и жидкостнопаровых (преимущественно зарубежные работы).

Отечественные исследователи предприняли попытки теоретического осмысления физической картины процессов, происходящих в проточной части радиально-осевого турбодетандера при частичной конденса-

сации рабочего тела. Были разработаны соответствующие расчётные методики и экспериментально подтверждена работоспособность парожидкостного турбодетандера вплоть до 6-процентного содержания жидкой фазы в выходном потоке.

Зарубежные разработчики, начавшие развивать тематику двухфазных турбодетандеров примерно в то же время, что и отечественные, работы не прекращали, и с середины 1990-х годов эти агрегаты нашли применение в воздухоразделительных и ожижительных установках вместо дроссельных вентилях.

В литературе [1–3] встречаются различные примеры использования двухфазных турбодетандеров, например, в составе установок производства диоксида углерода, этилена или в энергетических установках, работающих на геотермальных источниках пароводяной среды.

В криогенной технике следует выделить две основные области применения двухфазных криогенных турбодетандеров: в установках по сжижению какого-либо газа (воздуха и его составляющих, природного газа, водорода и др.) или на дроссельных технологических потоках ВРУ. При этом, граничная кривая пересекается либо по левой ветви (жидкостнопаровой турбодетандер), либо по правой (парожидкостный турбодетандер). Указанные области применения условно показаны стрелками на рис. 1.