

Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук, А.В. Плесной, аспирант

ООО «Институт низкотемпературных энерготехнологий», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026

e-mail: lavrenchenko.g.k.@mail.ru

РАЗРАБОТКА ЖИДКОСТНОЙ ВРУ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МАШИН ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Существует потребность в воздухоразделительных установках (ВРУ) для производства 1000 кг/ч жидкого кислорода. Для обеспечения их высокой эффективности необходимо установки создавать на основе циклов среднего давления. Рассматриваются две схемы ВРУ с детандер-компрессорными агрегатами (ДКА) двух- и многовальными конструкциями, в которых работа расширения части перерабатываемого воздуха преобразуется в дополнительную холодопроизводительность. Отмечается, что в ДКА следует использовать турборедуктор для обеспечения оптимальной частоты вращения вала компрессорной ступени (КС), механически связанной с детандерной ступенью (ДС) агрегата. Режимная и конструктивная оптимизация ДКА, используемых в двух схемах ВРУ, позволила повысить их эффективность и увеличить выход жидкого кислорода. Оптимизационные расчёты ВРУ совместно с ДКА показали, что КПД двух агрегатов имеют близкие значения, но разные холодопроизводительности. Это отразилось на затратах энергии. В ВРУ с ДКА многовальной конструкции они снизились с 1,17 до 1,06 кВтч/кг жидкого кислорода. Выполненные исследования показали, что ВРУ, производящую 1000 кг/ч жидкого кислорода, можно создать на базе центробежного турбокомпрессора с давлением нагнетания 4,2 МПа.

Ключевые слова: Воздухоразделительная установка. Жидкий кислород. Детандер-компрессорный агрегат. Турборедуктор. Компрессорная ступень. Детандерная ступень. Работа расширения. Удельные затраты энергии.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ощущается потребность в воздухоразделительных установках (ВРУ) с производительностью по жидкому кислороду 1000 кг/ч. В связи с этим актуальной является разработка установки с низким удельным энергопотреблением. Создать такую ВРУ на основе поршневого компрессора, изготавливаемого на раме, не удаётся, так как самый крупный из них 4ВМ10-55/71 имеет объёмную производительность, недостаточную для получения указанного количества жидкого кислорода. Поэтому принято решение о применении в жидкостной ВРУ воздушного центробежного турбокомпрессора.

ВРУ, производящую жидкие продукты разделения (кислород или азот) в количестве 1000 кг/ч и более, предпочтительнее создавать на основе цикла среднего давления. В этом случае для сжатия воздуха можно использовать центробежный компрессор с конечным давлением на уровне 4 МПа.

Ранее было показано в [1-3], что для снижения удельных затрат энергии l целесообразно в ВРУ полезно использовать работу детандера в двух случаях:

1. Дополнительного сжатия воздуха в компрессорной ступени (КС) перед подачей его в детандерную ступень (ДС) двухвального детандер-компрессорного агрегата (ДКА).

2. Дополнительного сжатия воздуха в КС после расширения потока воздуха в детандерной ступени высокого давления (ДС1) с последующей его подачей во вторую детандерную ступень низкого давления (ДС2).

Использование таких ДКА обусловлено тем, что агрегаты с одновальной конструкцией не применяются в ВРУ среднего давления. Объясняется это высокими оборотами ДС и, как следствие, КС, которая находится на одном валу с ДС. В этой конструкции частота вращения вала существенно превышает оптимальное значение оборотов, характерных для центробежной КС. В связи с этим КПД КС, как в целом и ДКА, оказывается очень низким.

Из анализа [1, 2] ранее была установлена основная причина низкого КПД КС, которая обуславливалась относительно невысоким объёмным расходом воздуха через ступень из-за высокого давления на входе в неё. Ступень в результате получается малоразмерной с высокими скоростями воздуха и, как следствие, большими потерями.

Для увеличения эффективности КС и в целом ДКА в агрегате используется турборедуктор. Это даёт возможность повысить эффективность процесса сжатия в проточной части КС и увеличить давление нагнетания ступени.

Оптимизационные расчёты ВРУ и ДКА [1] позволили определить, что при снижении давления нагне-