

¹Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук, ²А.В. Плесной, аспирант

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

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

ORCID: ¹http://orcid.org/0000-0002-8239-7587; ²http://orcid.org/0000-0002-2127-2991

ЭФФЕКТИВНЫЕ ЖИДКОСТНЫЕ ВРУ СРЕДНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ДЕТАНДЕР-КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ С ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ РАСШИРЕНИЕМ ВОЗДУХА

Работу расширения части перерабатываемого воздуха в воздухоразделительных установках (ВРУ) средней производительности можно полезно преобразовать в дополнительную холодопроизводительность в детандер-компрессорном агрегате (ДКА) специальной конструкции. Такие ДКА необходимо создавать на базе турборедукторов, с помощью которых удастся обеспечивать наиболее приемлемые числа оборотов валов компрессорных ступеней (КС). Одновременно с этим для совершенствования ВРУ в них целесообразно применять двухступенчатое расширение воздуха. Это обуславливает применение в ВРУ трехвального ДКА, в котором на отдельных валах расположены детандерные ступени ДС1 и ДС2, связанные механически с валом КС. Выполнена режимная и конструктивная оптимизация ВРУ и входящего в её состав трехвального ДКА. Варьированием промежуточного давления P_{13} (давления конца процесса расширения в детандерной ступени высокого давления ДС1) установлено, что при P_{13} равном 1,9 или 1,7 МПа числа оборотов валов ДС1 и ДС2 сравниваются $n_{ДС1} = n_{ДС2}$ и принимают в зависимости от наличия или отсутствия предварительного охлаждения значения: 92580 или 86500 мин⁻¹, соответственно. Равенство частот вращения валов ДС1 и ДС2 позволяет вместо трёхвального использовать двухвальный ДКА, в котором две детандерные ступени размещаются на одном валу, так как их эффективности оказываются близкими. Анализ показывает, что конструкция ДКА с тремя валами хотя и несколько сложнее, но её проще реализовать в отличие от двухвальной конструкции со ступенями ДС1 и ДС2 на одном общем валу. Более простым становится и трёхвальный турборедуктор при равенстве частот вращения валов ДС1 и ДС2.

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

1. ВВЕДЕНИЕ

Снижение затрат энергии при производстве жидких продуктов разделения воздуха в воздухоразделительных установках (ВРУ) имеет важное значение на фоне продолжающегося роста стоимости электроэнергии. Поэтому в процессе создания таких ВРУ учитываются все резервы для дальнейшего повышения их энергетической эффективности. Один из таких резервов — полезное применение в установке работы расширения воздуха в турбодетандере.

Имеется опыт эффективного использования работы турбодетандера в крупнотоннажных ВРУ, реализующих циклы низкого давления [1]. В таких установках применяются детандер-компрессорные агрегаты (ДКА), в которых работа расширения воздуха расходуется на дожатие потока воздуха в компрессорной ступени (КС) ДКА перед его поступлением в детандерную ступень (ДС) с целью увеличения её холодопроизводительности.

Однако использовать одновальные ДКА такого типа в ВРУ средней производительности не удастся ввиду особенностей применяемых в них детандеров (малые расходы, высокие скорости вращения), что приводит к повышенным потерям в основных элементах проточной части рабочих колес КС.

Из проведенного в [2] анализа следует, что эффективность и КС, и ДКА можно повысить, если в конструкцию агрегата ввести турборедуктор. Возможность увеличения КПД ДКА и, как результат, снижения удельных затрат энергии на килограмм жидкого продукта нашла подтверждение в [3]. Оптимизация режимных и конструктивных параметров ДКА, указанной конструкции, позволяет более эффективно применять работу расширения воздуха. Особенно выгодно использовать трехвальный ДКА в ВРУ с двухступенчатым расширением потока воздуха.

В данной работе определяются оптимальные параметры ВРУ и ДКА, в котором производится двухступенчатое расширение воздуха в двух детандерных