

Г.К. Лавренченко, доктор техн. наук; **А.В. Плесной**, аспирант
 ООО «Институт низкотемпературных энерготехнологий», а/я 188, г. Одесса, Украина, 65026
 e-mail: lavrenchenko@paco.net

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТАНДЕР-КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СОСТАВЕ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

В существующих воздуходелительных установках (ВРУ), реализующих циклы среднего давления, не удастся эффективно использовать работу расширения воздуха в турбодетандере. Рассматривается схема ВРУ, в состав которой включен детандер-компрессорный агрегат (ДКА). Используемые математические модели в процессе расчетов позволили при изменениях давления прямого потока и расхода перерабатываемого воздуха найти их оптимальные значения. Оптимальное давление и расход воздуха соответствуют двум экстремумам: минимуму удельной работы и максимуму производства кислорода. Показано, что при снижении давления прямого потока с 6,5 до 4,6 МПа и одновременном росте расхода воздуха удельные затраты на производство жидкого кислорода уменьшаются с 1,15 до 0,98 кВтч/кг.

Ключевые слова: Воздуходелительная установка. Жидкий кислород. Детандер-компрессорный агрегат. Эффективность. Оптимизация.

1. ВВЕДЕНИЕ

Постоянное увеличение стоимости электроэнергии вынуждает производителей криогенных воздуходелительных установок (ВРУ) совершенствовать их основные характеристики и повышать эффективность [1, 2]. Среди производимых ВРУ большую их часть составляют установки малой и средней производительности, вырабатывающие жидкие кислород или азот, а также эти продукты в газообразном состоянии, в том числе и под давлением.

Чтобы снизить удельные затраты энергии на производство жидких продуктов разделения воздуха, следует повысить холодопроизводительность криогенного цикла [1, 2]. Для этого необходимо использовать все имеющиеся в установке резервы. Один из них — применение работы расширения воздуха в детандере для дополнительного его сжатия в компрессорной ступени.

Ранее нами было проведено исследование [3, 4], которое показало, что включение в схему ВРУ среднего давления детандер-компрессорного агрегата (ДКА) двухвальной конструкции позволяет повысить её эффективность. Однако ввиду малых расходов и повышенного на всасывании давления не удаётся создать эффективно работающую компрессорную ступень (КС) ДКА, в которой процесс сжатия воздуха реализовался бы с высоким адиабатным КПД $\eta_{КС}$. Выполненные оптимизационные расчеты показали [3, 4], что при давлении нагнетания компрессора $P_2=6,5$ МПа удаётся предельно достичь $\eta_{КС}=0,36$. При таком значении невысоким оказывается КПД ДКА $\eta_{ДКА}$.

Анализ показывает, что при некотором обоснованном снижении P_2 можно ожидать роста $\eta_{КС}$ КС из-за уменьшения плотности воздуха на всасывании в неё и увеличения его общего расхода.

Исследуем, как снижение давления нагнетания основного компрессора P_2 может сказываться на эффективности КС и, в целом, ДКА. При этом, уменьшая P_2 с 6,5 до 2,5 МПа, будем поддерживать одинаковой потребляемую компрессором мощность W_{KM} . Так как при уменьшении P_2 работа компрессора снижается, для выполнения условия $W_{KM}=\text{const}$ увеличивали расход перерабатываемого воздуха V .

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА В ВРУ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Для выполнения намеченных исследований используем ВРУ, схема которой приведена на рис. 1. Рассматриваемую установку будем комплектовать виртуальными компрессорами, действительная мощность которых равна мощности поршневого компрессора 4ВМ10-55/71 при $P_2=6,5$ МПа.

На входе в ВРУ поток воздуха 1 в количестве 100 % (3963 кг/ч) сжимается в компрессоре КМ до номинального давления 6,5 МПа, затем поступает на охлаждение в концевой холодильник КХ1 и теплообменник-ожижитель ТО. После того, как из воздуха удалена часть влаги, его направляют в блок подготовки воздуха (БПВ), где происходит его осушка, очистка и предварительное охлаждение. Затем воздух с температурой 290 К разделяется на две части. Одна из них — дроссельный поток в количестве (B-D) — направляется

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оптимизация ВРУ с одновременным решением задач повышения эффективности ДКА позволяет снизить удельный расход энергии до $l=0,98$ кВтч/кг жидкого кислорода вместо ранее полученного $l=1,15$ кВтч/кг [3]. Это объясняется тем, что в области исследованных низких давлений напрямую ВРУ происходит повышение характеристик компрессорной ступени ДКА. При снижении давления прямого потока с 6,5 до 4,6 МПа, т. е. на 1,9 МПа, степень повышения давления в КС возросла с 1,3 до 1,48, а адиабатный КПД — с 36 до 46 %.

Выполненное исследование позволяет разработать конкурентоспособные ВРУ, спрос на которые будет расти по мере повышения тарифов на электроэнергию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горенштейн И.В., Лавренченко Г.К. Анализ способов увеличения выхода жидких продуктов в воздухоразделительных установках среднего давления // Технические газы. — 2003. — № 3. — С.33-37.
2. Zhu Y., Legg S., Laird C. D. Optimal design of cryogenic air separation columns under uncertainty // Computers & Chemical engineering. — 2010. — V. 34. — No. 9. — P.

1377-1384.

3. Лавренченко Г.К., Плесной А.В. Оптимизация двухвального детандер-компрессорного агрегата с одновременным совершенствованием ВРУ средней производительности // Технические газы. — 2013. — № 2. — С. 15-23.
4. Лавренченко Г.К., Плесной А.В. Разработка проточной части компрессорной ступени для ДКА двухвальной конструкции в составе ВРУ среднего давления // Технические газы. — 2013. — № 3. — С. 26-32.
5. Barzdaitis V., Maheika P. Diagnostics practice of heavy duty high speed gear transmissions // Mechanika. — 2010. — No. 1. — P. 58-61.
6. Галеркин Ю.Б., Солдатова К.В., Титенский В.И. Теория, расчёт и конструирование компрессорных машин динамического действия. Турбокомпрессоры. — Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2007. — 142 с.
7. Krain H. Unsteady Diffuser Flow in a Transonic Centrifugal Compressor // Int. Journal of Rotating Machinery. — 2002. — V. 8. — No. 3. — P. 223-231.
8. Weilin Yi, Lucheng Ji, Yong Tian et al. An aerodynamic design and numerical investigation of transonic centrifugal compressor stage // Journal of Thermal Science. — 2011. — V. 20. — No. 3. — P. 211-217.
9. Бойко Л. Г., Барышева Е. С. Исследование трансзвукового течения в высоконапорном центробежном рабочем колесе // Вестник двигателестроения. — 2011. — № 2. — С. 203-207.
10. Cumpsty N. A. Compressor aerodynamics. — England: Longman Scientific & Technical, 1989. — 315 p.

G. K. Lavrenchenko, Doctor of Technical Sciences; **A.V. Plesnoy**, PhD Student
LLC «Institute of low temperature energy technology», POB 188, Odessa, Ukraine, 65023
e-mail: lavrenchenko@paco.net

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE GAS-EXPANSION MACHINE-COMPRESSOR UNITS USED IN THE STRUCTURE OF THE AIR-SEPARATING UNIT OF MEDIUM PRESSURE

In the existing air-separating unit (ASU) that carries out the cycles of medium pressure it is not possible to use effectively the operation of air expansion in the turbo gas-expansion machine. The scheme of ASU which includes the gas-expansion machine-compressor unit is considered. The mathematical models used in the course of the calculations enable us to find the optimum values of the direct stream pressure and the consumption of the processed air when they were changed. The optimum pressure and air consumption correspond to two extremums: a minimum of specific work and a maximum of oxygen production. It was found that when the pressure of the direct stream was reduced from 6,5 to 4,6 MPa and simultaneously the air consumption was increased the cost per unit of the liquid oxygen production decreased from 1,15 to 0,98 kWh/kg.

Keywords: Air-separating unit. Liquid oxygen. Gas-expansion machine-compressor unit. Efficiency. Optimization.

REFERENCES

1. Gorenshcheyn I.V., Lavrenchenko G.K. (2003). The analysis of methods for increase of an output of liquid products in air separation units of average pressure // Zhurnal Tehnicheskie

Gazy [Journal of Industrial Gases]. — № 3. — P. 33-37. (Rus.)

2. Zhu Y., Legg S., Laird C. D. (2010). Optimal design of cryogenic air separation columns under uncertainty // Computers & Chemical engineering. — V. 34. — No. 9. —

P. 1377-1384.

3. **Lavrenchenko G.K., Plesnoy A.V.** (2013). Optimization of a two-shaft tendre compressor unit with simultaneous improvement of air-separating installations of medium productivity// Zhurnal Tehnicheskie Gazy [Journal of Industrial Gases]. — № 2. — P. 15-23. (Rus.)

4. **Lavrenchenko G.K., Plesnoy A.V.** (2013). Working out the flowing part of the compressor stage for an expander-compressor unit of two-shaft design in medium pressure ASU structure// Zhurnal Tehnicheskie Gazy [Journal of Industrial Gases]. — № 3. — P. 26-32. (Rus.)

5. **Barzdaitis V., Maheika P.** (2010). Diagnostics practice of heavy duty high speed gear transmissions// Mechanika. — No. 1. — P. 58-61.

6. **Galerkin Yu.B., Soldatova K.V., Titenskiy V.I.** (2007).

The theory, calculation and design of compressor machines dynamic action. Turbocompressors. — Sanct-Peterburg: SPbGPU, — 142 p. (Rus.)

7. **Krain H.** (2002). Unsteady Diffuser Flow in a Transonic Centrifugal Compressor //Int. Journal of Rotating Machinery. — V. 8. — No. 3. — P. 223-231.

8. **Weilin Yi, Lucheng Ji, Yong Tian et al.** (2011). An aerodynamic design and numerical investigation of transonic centrifugal compressor stage// Journal of Thermal Science. — V. 20. — No. 3. — P. 211-217.

9. **Boyko L. G., Barysheva E. S.** (2011). Research of transonic flow in a high-pressure centrifugal impeller// Vestnik dvigatelestroeniya [Bulletin Engine]. — № 2. — P. 203-207. (Rus.)

10. **Cumpsty N. A.** (1989). Compressor aerodynamics. — England: Longman Scientific & Technical. — 315 p.

ЧЕТЫРНАДЦАТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР

ППРВ-2013

СЕМИНАР ПРОВОДИТСЯ
УКРАИНСКОЙ АССОЦИАЦИЕЙ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ
ГАЗОВ «УА-СИГМА»

ООО «ИНСТИТУТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ»

ПОД ЭГИДОЙ:
– МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ
ПОЛИТИКИ УКРАИНЫ
– МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ТОРГОВЛИ РФ
– ОДЕССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
– МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ ХОЛОДА

ПРИ УЧАСТИИ:
– ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ГОРНОГО НАДЗОРА И ПРОМЫШЛЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ УКРАИНЫ
– ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ РФ

И ПРИ СОДЕЙСТВИИ:
– МЕЖДУНАРОДНОЙ ГРУППЫ «РЕДКИЕ ГАЗЫ»
(Г. МОСКВА, РФ)
– ПАО «СУМСКОЕ НПО ИМ. М.В. ФРУНЗЕ»
(Г. СУМЫ, УКРАИНА)
– ОАО «КРИОГЕНМАШ»
(Г. БАЛАШИХА, РФ)
– ПКФ «КРИОПРОМ» ООО
(Г. ОДЕССА, УКРАИНА)
– ПАО «КИСЛОРОДНЫЙ ЗАВОД»
(Г. КИЕВ, УКРАИНА)
– ПАО «ЛИНДЕ ГАЗ УКРАИНА»
(Г. ДНЕПРОПЕТРОВСК, УКРАИНА)
– ЧАО «ХАРЬКОВСКИЙ АВТОГЕННЫЙ ЗАВОД»
(Г. ХАРЬКОВ, УКРАИНА)

Секретариат оргкомитета :
65026, Украина, Одесса-26, а/я 188
Тел/факс: +380 48 777 0087
E-mail: uasigma@paco.net
Http://www.uasigma.odessa.ua

Генеральный информационный спонсор

**«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ
ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА»**

**30 сентября - 4 октября 2013 года
г. Одесса**

СЕМНАДЦАТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ППРВ-2013

Место проведения семинара:
гостиница «Виктория», расположенная
в знаменитом курортном районе г. Одессы — Аркадии.

Условия проживания:
одноместные номера со всеми удобствами.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА: