

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЭНЕРГОЗАТРАТ КИСЛОРОДОДОБЫВАЮЩИХ УСТАНОВОК КОРОТКОЦИКЛОВОЙ БЕЗНАГРЕВНОЙ АДСОРБЦИИ

Е.И. Акулинин, А.А. Ермаков, Д.С. Дворецкий, С.И. Симаненков

*Кафедра «Технологическое оборудование и пищевые технологии»,
ГОУ ВПО «ТГТУ»*

Представлена членом редколлегии профессором С.И. Дворецким

Ключевые слова и фразы: адиабатическая мощность компрессора; короткоцикловая безнагревная адсорбция; коэффициент полезного действия компрессора; малогабаритные установки; массогабаритные показатели; многоадсорберные схемы; мощность компрессора; портативные установки; энергозатраты.

Аннотация: Производится анализ различных схем организации процесса короткоцикловой безнагревной адсорбции в малогабаритных и портативных установках с точки зрения энергозатрат. Предложены рекомендации по их применению.

Обозначения

<p>C – переводной коэффициент, Вт·мин(Па·л)⁻¹;</p> <p>N – адиабатическая мощность компрессора, Вт;</p> <p>P – мощность компрессора, Вт;</p> <p>P_k – мощность, потребляемая клапаном, Вт;</p> <p>P_1 – давление до начала сжатия, Па;</p>	<p>P_2 – давление адсорбции, Па;</p> <p>t – время цикла, с;</p> <p>V_1 – объемный расход при атмосферном давлении, л(мин)⁻¹;</p> <p>W – адиабатическая работа, Дж;</p> <p>η – коэффициент полезного действия компрессора.</p>
---	--

В настоящее время рынок малогабаритных, а в последний год и портативных кислороддобывающих установок непрерывно растет [1]. Эти установки, как правило, основаны на технологии короткоцикловой безнагревной адсорбции (КБА). Важнейшими эксплуатационными характеристиками таких установок являются массогабаритные показатели и энергопотребление.

В настоящее время одним из способов снижения энергозатрат установок КБА является применение энергосберегающих схем организации процесса обогащения кислородом воздуха (схем с уравниванием давления между адсорберами) [2].

Рассмотрим эффективность применения таких схем (как правило, многоадсорберных) [4] в сравнении с классической схемой организации процесса Ч. Скарстрёма [3].

При анализе энергозатрат во всех схемах рассматривается адсорбер проточного типа периодического действия (рис. 1).

В силу различной структуры энергозатрат будем отдельно рассматривать малогабаритные и портативные установки.

1. Малогабаритные установки КБА. В среднем энергозатраты малогабаритной установки, такой как медицинский концентратор кислорода, составляют 150...300 Вт [1]. Большая часть энергии затрачивается на сжатие поступающего воздуха компрессором.

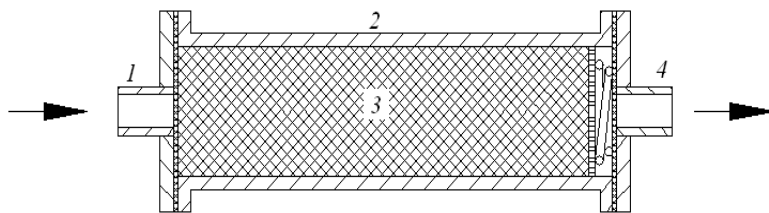


Рис. 1. Схема адсорбера проточного типа:

1, 4 – входные и выходные штуцеры газового потока; 2 – корпус адсорбера; 3 – адсорбент

Адиабатическая мощность компрессора согласно [1] может быть рассчитана по следующей формуле

$$N = \frac{W}{t} = 14,4 P_1 V_1 \left(\frac{k}{1-k} \right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] C, \quad (1)$$

где $C = 12 \cdot 10^{-7}$; $k = 1,4$.

Рассмотрим **пример**. Пусть требуется обеспечить больного хронической легочной болезнью дыхательной смесью в количестве 5 л/мин с концентрацией кислорода 90 %. При степени извлечения кислорода 50 % расход поступающего кислорода воздуха должен составить $5 / (0,9 \cdot 0,5) = 11,12$ л/мин, а расход воздушной смеси $11,12 / 0,21 = 53$ л/мин соответственно. Принимаем, что адсорбция происходит при давлении $3 \cdot 10^5$, а противоточная промывка – при давлении 10^5 Па.

Рассчитаем адиабатическую мощность, затрачиваемую компрессором в установке КБА без выравнивания давления (схема Ч. Скарстрема) [3]

$$N = 14,4 \cdot 10^5 \cdot 53 \left(\frac{1,4}{1-1,4} \right) \left[\left(\frac{3}{1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] 12 \cdot 10^{-7} = 119 \text{ \AA} \cdot \text{д},$$

с учетом КПД компрессора [5] реальные энергозатраты возрастут

$$P = \frac{N}{\eta} = \frac{119}{0,8} = 149 \text{ \AA} \cdot \text{д}.$$

Адиабатическая мощность, затрачиваемая компрессором в двухадсорберной установке КБА с уравниванием давления рассчитывается следующим образом. Учтем, что давление после адсорбции не сбрасывается в атмосферу, а уравнивается со вторым адсорбером, в котором давление составляет 10^5 Па. В результате по закону Дальтона в каждом адсорбере давление должно стать по $2 \cdot 10^5$ Па. Последующий подъем давления осуществляется с $2 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^5$ Па, а не с 10^5 до $3 \cdot 10^5$ Па, что позволяет уменьшить энергопотребление компрессора

$$N = 14,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 53 \left(\frac{1,4}{1-1,4} \right) \left[\left(\frac{3}{2} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right] \cdot 12 \cdot 10^{-7} = 80 \text{ \AA} \cdot \text{д},$$

с учетом КПД компрессора

$$P = \frac{80}{0,8} = 100 \text{ \AA} \cdot \text{д}.$$

Адиабатическая мощность, затрачиваемая компрессором в четырехадсорберной установке КБА с уравниванием давления между адсорберами рассчитывается аналогично, поэтому здесь ее не приводим.

В пятиадсорберной установке с двумя операциями уравнивания давления подъем давления осуществляется уже с $2,33 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^5$ Па. Адиабатическая мощность составит

$$N = 14,4 \cdot 2,33 \cdot 10^5 \cdot 53 \left(\frac{1,4}{1-1,4} \right) \left[\left(\frac{3}{2,33} \right)^{1,4-1} - 1 \right] \cdot 12 \cdot 10^{-7} = 58,25 \text{ \AA} \cdot \text{д},$$

с учетом КПД компрессора

$$P = \frac{58,25}{0,8} = 73 \text{ \AA} \cdot \text{д}.$$

Представленные схемы реализуются с помощью различного числа клапанов. Следовательно, энергозатраты установки, связанные с потребляемой клапанами мощностью, также будут различны. В среднем, энергопотребление клапана составляет 3 Вт [6]. Полученные значения мощности и необходимое число клапанов представлены в табл. 1. По суммарным энергозатратам (см. табл. 1) можно оценить, насколько выигрышна та или иная схема.

Анализируя результаты, представленные в табл. 1, отметим следующее. Уравнивание давлений в параллельно работающих адсорберах позволяет снизить энергозатраты установки КБА. Особенно выигрышна с этой точки зрения двухадсорберная схема с уравниванием давлений между адсорберами, позволяющая добиться существенного сокращения энергозатрат, при этом конструктивно она не сложнее классической схемы КБА. Недостаток – это некоторое снижение производительности установки из-за стадии уравнивания давлений, во время которой кислород не продуцируется.

Сравним четырехадсорберную и пятиадсорберную схемы. Эти схемы отличаются от двухадсорберных тем, что какой-то из адсорберов всегда продуцирует кислород. Как видно из табл. 1, дополнительная стадия уравнивания давлений в пятиадсорберной схеме не приводит к заметному снижению энергопотребления установки, а конструктивная сложность, возрастает.

Таблица 1

Энергозатраты малогабаритной установки КБА

Тип схемы Параметры	С двумя адсорберами без выравнивания давлений	С двумя адсорберами с выравниванием давлений	С четырьмя адсорберами с выравниванием давлений	С пятью адсорберами с двумя операциями выравнивания давлений
P , Вт	149	100	100	73
P_k , Вт	12	15	48	60
Число клапанов	4	5	16	20
Суммарные энергозатра- ты, Вт	161	115	148	133

Таблица 2

Энергозатраты портативной установки КБА

Тип схемы Параметры	С двумя адсорберами без выравнивания давлений	С двумя адсорберами с выравниванием давлений	С четырьмя адсорберами с выравниванием давлений	С пятью адсорберами с двумя операциями выравнивания давлений
P , Вт	90	61	61	45
P_k , Вт	12	15	48	60
Число клапанов	4	5	16	20
Суммарные энергозатра- ты, Вт	102	76	109	105

2. Портативные установки КБА. Энергозатраты портативной установки составляют примерно 75 Вт. Проведем анализ, аналогичный вышеприведенному, для портативной установки.

Для обеспечения больного хронической легочной болезнью кислородом в количестве 3 л/мин с чистотой 90 % и степенью извлечения 50 % расход поступающего кислорода воздуха должен составить $3 / (0,9 \cdot 0,5) = 6,67$ л/мин, а расход воздушной смеси $6,67 / 0,21 = 32$ л/мин соответственно. Расчет энергозатрат портативной установки КБА аналогичен соответствующему расчету энергозатрат малогабаритной установки КБА, поэтому в данной статье не приводится. Результаты расчета энергозатрат портативной установки представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, самой экономичной снова оказалась двухадсорберная схема с двумя операциями уравнивания давлений. Применение многоадсорберных схем в портативных установках КБА становится нецелесообразным, поскольку помимо возрастания энергозатрат значительно возрастает конструктивная сложность, что не позволяет рекомендовать их для использования в портативных установках КБА.

Итак, подведем итоги. При проектировании малогабаритных установок там, где наиболее влияющим фактором являются энергозатраты, наиболее выгодно использовать двухадсорберную схему КБА с уравниванием давлений между адсорберами. Если же определяющим фактором является производительность установки, даже с увеличением массогабаритных характеристик, наиболее перспективно применение многоадсорберных схем. При разработке портативных схем КБА наиболее перспективной на настоящий момент является двухадсорберная схема КБА с уравниванием давлений между адсорберами.

Список литературы

1. Пат. 6691702 США, МКИЗ В01D 128/202.26. Portable oxygen concentration system and method of using the same / Appel W.S., Winter D.P., Sward B.K., Sugano M., Salter E., Vixby J.A. – № 134868 ; заявл. 29.05.02 ; опубл. 17.02.04, Бюл. № 12. – 24 с.
2. Kopaygorodsky, E.M. Mathematical modeling of ultra-rapid PSA : hereby submit this as part of the requirements for the degree Master of Science / E.M. Kopaygo-

rodsky. – MS, University of Cincinnati, Engineering: Chemical Engineering, 2001. – 112 p.

3. Пат. 2944627 США, МКИ2. Method and apparatus for fractionating gaseous mixtures by adsorption / Skarstrom C.W. – № 714780 ; заявл. 12.12.58; опубл. 12.07.60, Бюл. № 2. – 23 с.

4. Получение кислорода и азота адсорбционным разделением воздуха / В.Н. Глупанов [и др.]. – М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1991. – 47 с.

5. Справочник химика. Т. 5 / под ред. Б.П. Никольского. – М. ; Л. : Химия, 1966. – 974 с.

6. Каталог товаров ООО «Техимпорт». – Режим доступа: www.tehimport.ru, свободный.

Present-day Trends for Reduction in Energy Expenses of Oxygen Production Units of Short-Cycle Heatless Adsorption

E.I. Akulinin, A.A. Ermakov, D.S. Dvoretzky, S.I. Simanenkov

Department "Technological Equipment and Food Technologies", TSTU

Key words and phrases: adiabatic power of the compressor; coefficient of compressor's efficiency; compressor's capacity; energy costs; mass-size indexes; multi-adsorption schemes; short-cycle heatless adsorption; small-size units.

Abstract: The paper analyzes different schemes of arranging short-cycle heatless adsorption in small-size portable units from the point of energy costs. Recommendations on their application are given.

Moderne Tendenzen für die Verkleinerung der Energieaufwände der Sauerstoffextraktanlagen der kurzzyklischen unwärmigen Adsorption

Zusammenfassung: Es wird die Analyse der verschiedenen Schemas der Organisierung des Prozesses der kurzzyklischen unwärmigen Adsorption in den Klein- und Portativanlagen von der Sicht der Energieaufwände durchgeführt. Es sind die Empfehlungen nach ihrer Verwendung vorgeschlagen.

Tendances modernes sur la diminution des dépenses énergétiques des installations de l'exploitation de l'oxygène de l'absorption sans chauffage du cycle court

Résumé: Est citée l'analyse de différents schémas de l'organisation du processus de l'absorption à cycle court dans les installations à petits gabarits et celles portatives du point de vue des dépenses énergétiques. Sont données les propositions de leur emploi.