

*Г. А. Чернов**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

В работе рассмотрена проблема проектирования индивидуальных средств защиты органов дыхания (ИСЗ) на основе математического моделирования процессов поглощения углекислого газа и выделения кислорода с использованием сформулированной ранее математической модели обогащения воздуха кислородом [1, 2]. Сформулирована математическая постановка задачи оптимального проектирования средств ИСЗ. Предложена методика оптимального проектирования ИСЗ по критерию энергопотребления.

Задача оптимального проектирования ИСЗ формулируется в следующем виде: необходимо найти значения конструктивных параметров $d = f(L, D_{\text{вн}}, K_k, K_u, K_y)$ и режимных переменных $z = f(P_{\text{ад}}, P_{\text{дес}}, \tau_{\text{ц}}, \theta, \psi_{\text{пр}}, q)$, при которых будут обеспечены заданная производительность $Q_{\text{пр}}$, концентрация кислорода $c_{\text{O}_2}^{\text{пр}}$ на выходе из аппарата, кон-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента Е. И. Акулинина.

центрация углекислого газа на выходе из аппарата $c_{\text{CO}_2}^{\text{пр}}$ и при этом будет достигаться минимальное энергопотребление:

$$\min_{d,z} N, \quad (1)$$

при связях в форме уравнений математической модели [3] и ограничениях:

$$\begin{aligned} m_a \leq m_{\text{зад}}; \quad k_p \geq k_{\text{зад}}; \quad L \leq L_{\text{зад}}; \quad D_{\text{вн}} \leq D_{\text{зад}}; \quad S \leq S_{\text{зад}}; \\ R \geq R_{\text{зад}}; \quad E \leq E_{\text{зад}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где K_k, K_u, K_y – конструктивные характеристики соответственно периферийных устройств (клапаны, дюзы, регуляторы), источников давления (вакуума), управляющих устройств; m_a – масса аппарата; S – стоимость; R – надежность; E – эргономические характеристики (уровень шума, средства индикации); $\tau_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с; θ – коэффициент обратной промывки; $\psi_{\text{пр}}$ – степень извлечения; q – удельная производительность, м³.

Методика оптимального проектирования по критерию энергозатрат включает следующие этапы:

1. Формулировка требований к характеристикам ИСЗ: вес, энергопотребление, эргономические показатели, стоимость, и ограничения (2), разработка технического задания на проектирование.

2. Обзор рынка ИСЗ, патентной литературы, выбор прототипа.

3. Предварительная оценка технических характеристик, себестоимости и перспективности создания аппарата.

4. Выбор технологической схемы и величин рабочих давлений на основе решения задачи оптимизации (минимизации) энергопотребления аппарата.

5. Сравнение рассчитанной величины энергопотребления аппарата с заданной в техническом задании.

6. В случае превышения рассчитанной величины энергопотребления заданного значения, техническое задание корректируется, после чего алгоритм повторяется, начиная с шага 2.

7. Осуществляется выбор существующих или разработка новых сорбентов, обладающих необходимыми характеристиками (емкость, селективность по азоту и углекислому газу),

8. Экспериментально исследуются свойства сорбентов.

9. Осуществляется технологический расчет ИСЗ по следующей методике:

Шаг 1. Задать значения $P_{\text{ад}}, P_{\text{дес}}, \Delta P_{\text{доп}}, \theta, Q_{\text{исх}}^{\text{доп}}$ и начальное приближение для высоты слоя L сорбента.

Шаг 2. Выбрать внутренний диаметр адсорбера $D_{\text{вн}}$.

Шаг 3. Задать начальные значения степени извлечения по кислороду $\psi_{\text{пр}}^{\text{O}_2}$ и по углекислому газу $\psi_{\text{пр}}^{\text{CO}_2}$, шаг $(\Delta\psi)$.

Шаг 4. Рассчитать величины расхода входного потока $Q_{\text{исх}}$, фиктивную скорость потока w_0 , величину перепада давлений в слое ΔP и минимальное время стадии сорбции $\tau_{\text{ад}}^{\text{min}}$.

Шаг 5. Решить систему дифференциальных уравнений математической модели и определить концентрацию кислорода на выходе из аппарата c_{O_2} , концентрацию углекислого газа c_{CO_2} при $\tau_{\text{ад}} = \tau_{\text{ад}}^{\text{min}}$ (не менее 6 циклов). В случае, если $c_{\text{O}_2} < c_{\text{O}_2}^{\text{нр}}$, $c_{\text{CO}_2} > c_{\text{CO}_2}^{\text{нр}}$, перейти к шагу 6. В противном случае, перейти к шагу 7.

Шаг 6. Принять новое значение $\psi_{\text{пр}} = \psi_{\text{пр}} - \Delta\psi$ и перейти к шагу 4.

Шаг 7. Осуществить сравнение величины средней остаточной концентрации азота после стадии десорбции $a_{\text{N}_2}^{\text{ост}}$ при времени десорбции $\tau_{\text{дес}} = \tau_{\text{ад}}$ с средней концентрацией азота, достигнутой на стадии адсорбции a_{N_2} . При выполнении условия $a_{\text{N}_2}^{\text{ост}} / a_{\text{N}_2} \leq \chi$, где χ – заданная наперед величина, принять, что сорбент регенерирован. Время цикла $\tau_{\text{ц}}$ определить по формуле $\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{ад}} + \tau_{\text{дес}}$.

Шаг 8. В случае выполнения условия $\Delta P < \Delta P_{\text{доп}}$, перейти к шагу 9. В противном случае, принять: $L = L - \Delta L$ и перейти к шагу 2.

Шаг 9. Если рассчитанная величина $Q_{\text{исх}} < Q_{\text{исх}}^{\text{доп}}$, перейти к шагу 10. В противном случае, необходимо либо перейти к использованию другого вида адсорбента (шаг 11) и повторить расчет, начиная с шага 7, либо внести корректировку в техническое задание.

Шаг 10. В качестве рабочих параметров выбрать рассчитанные значения $P_{\text{ад}}$, $P_{\text{дес}}$, L , $D_{\text{сл}}$, $Q_{\text{пр}}$, θ , $\tau_{\text{ц}}$ и определить рабочий объем $V_{\text{ад}}$ адсорбера.

10. Детальная конструктивная разработка ИСЗ с учетом ограничений (2). Необходимо осуществить выбор или разработку компрессора (воздуходувки, вакуум-насоса) по заданной производительности и величине создаваемого перепада давлений. Необходимо осуществить выбор (разработку) клапанов, дросселирующих вентилей, дюз и прочих периферийных устройств, необходимых для реализации выбранной схемы.

11. Разработка схемы автоматизации и управления потоками, подбор датчиков, контроллеров.

12. Проведение необходимых испытаний и, в случае если они успешны, осуществляется разработка документации, необходимой для изготовления ИСЗ.

13. Осуществляются мероприятия, связанные с прохождением сертификации в зависимости от области применения аппарата. В случае неуспешных испытаний аппарат направляется на конструктивную доработку.

Таким образом, в результате реализации методики оптимального проектирования решается комплекс задач по обеспечению перехода от технического задания на проектирование к готовому техническому изделию.

В качестве примера рассмотрена задача проектирования дыхательной установки обогащения воздуха кислородом с использованием предложенной методики. Результаты расчета характеристик установки представлены в таблице.

На основании полученных результатов предложены рекомендации по совершенствованию установки для получения дыхательной смеси, обогащенной кислородом: замена регулируемого дросселя на нерегулируемый, исключение из схемы организации процесса регулировочных вентилей, исключение расходомера с регулировочным вентилем на входе в установку, установка вместо реле времени программируемого

1. Основные характеристики дыхательной установки

| № | Характеристика | Единица измерения | Значение |
|---|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| 1 | Производительность | л/мин | 2...3 |
| 2 | Концентрация кислорода на выходе | % об. | 30...90 |
| 3 | Производительность компрессора | л/мин | 25,7 |
| 4 | Давление адсорбции | Па | 2,4×10 ⁵ |
| 5 | Давление десорбции | Па | 0,8×10 ⁵ |
| 6 | Высота адсорбера | м | 0,22 |
| 7 | Диаметр адсорбера | м | 0,035 |
| 8 | Коэффициент обратной промывки | м ³ /м ³ | 2,1 |
| 9 | Длительность цикла | с | 2,16 |

микроконтроллера. В результате осуществления указанных мероприятий ожидаемое улучшение характеристик установки по сравнению с аналогами может составить: снижение веса – до 15%, габаритов – до 20%, стоимости – до 10%.

Список литературы

1. *Современные* тенденции по уменьшению энергозатрат кислорододобывающих установок короткоцикловой безнагревной адсорбции / Е. И. Акулинин, Д. С. Дворецкий, С. И. Симаненков, А. А. Ермаков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 597 – 601.

2. *Пат. 136976* РФ, МПК В01D53/047. Адсорбционный генератор кислорода / Акулинин Е. И., Дворецкий Д. С., Темнов М. С. / № 136976 ; заявл. 29.05.12 ; опубл. 27.01.14 ; Бюл. № 3. – 3 с.

3. *Математическое* моделирование процесса обогащения кислородом воздуха в установке короткоцикловой адсорбции / Е. И. Акулинин, Д. С. Дворецкий, С. И. Дворецкий, А. А. Ермаков, С. И. Симаненков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 2. – С. 341 – 355.

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»