

УДК 661.937.6

Анализ способов получения кислорода для обеспечения жизнедеятельности герметично изолированных объектов

Д-р техн. наук В. А. ПРОНИН¹, Е. А. КАЛАШНИКОВА², В. А. ЦВЕТКОВ³,
А. В. КОВАНОВ⁴, канд. техн. наук О. В. ДОЛГОВСКАЯ⁵

¹maior.pronin@mail.ru, ²kalashnikova. elena. 96@mail.ru, ³wadimtsvetkov@mail.ru,

⁴Kovanov76@yandex.ru, ⁵ovdolgovskaia@itmo.ru

Университет ИТМО

Специальные закрытые аппараты нашли широкое применение при проведении исследований на больших глубинах и в космосе. Данные технические средства имеют ограниченный запас кислорода, который можно получить с помощью различных методов. В данной работе рассмотрены способы получения кислорода для герметично изолированных объектов. Целью работы является повышение эффективности процессов генерации кислорода, в зависимости от различных способов получения кислорода при разных рабочих параметрах системы регенерации. Для этого были проведены анализ различных способов получения кислорода в системах регенерации воздуха и сравнительная оценка возможности их применения для замкнутых систем. В ходе сравнения наиболее экономичным и экологическим способом было выбрано получение кислорода из пероксида кальция. Пероксид кальция является востребованным веществом, благодаря его свойству сохранять в себе активный кислород, находясь при этом в твердом состоянии. Один килограмм пероксида кальция теоретически содержит 156 литров активного кислорода. Опытным путем кислород был извлечен двумя химическими способами: при разложении водной суспензии пероксида кальция и при использовании высокотемпературного прокаливания.

Ключевые слова: кислород, получение кислорода, изолированные объекты, регенерация воздуха, пероксид кальция.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 15.03.2022, одобрена после рецензирования 25.05.2022, принята к печати 31.05.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-13-20

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Пронин В. А., Калашникова Е. А., Цветков В. А., Кованов А. В., Долговская О. В. Анализ способов получения кислорода для обеспечения жизнедеятельности герметично изолированных объектов. // Вестник Международной академии холода. 2022. № 3. С. 13–20. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-13-20

Methods for obtaining oxygen for life support in hermetically isolated objects

D. Sc. V. A. PRONIN¹, E. A. KALASHNIKOVA², V. A. TSVETKOV³,
A. V. KOVANOV⁴, Ph. D. O. V. DOLGOVSKAIA⁵

¹maior.pronin@mail.ru, ²kalashnikova. elena. 96@mail.ru, ³wadimtsvetkov@mail.ru,

⁴Kovanov76@yandex.ru, ⁵ovdolgovskaia@itmo.ru

ITMO University

It is necessary to use special closed apparatus in the study of outer space or the depths of water objects. These technologies have a limited supply of oxygen, which can be obtained with various methods. Therefore, methods for obtaining oxygen for hermetically isolated objects are considered in this paper. The purpose of the article is the efficiency of oxygen generation processes' increase depending on various methods of oxygen production at different operating parameters of the regeneration system. An analysis of various methods of obtaining oxygen in air regeneration systems and a comparative assessment of the possibility of their use for closed systems are given. The production of oxygen from calcium peroxide was chosen as the most economical and environmentally friendly method in the comparison. Calcium peroxide is a sought-after substance due to its property to retain active oxygen while in a solid state. One kilogram of calcium peroxide theoretically contains 156 liters of active oxygen. Experimentally, oxygen was extracted by two chemical methods: by decomposing an aqueous suspension of calcium peroxide and by using high-temperature calcination.

Keywords: oxygen, oxygen production, isolated objects, air regeneration, calcium peroxide.

Article info:

Received 15/03/2022, approved after reviewing 25/05/2022, accepted 31/05/2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-13-20

Article in Russian

For citation:

Pronin V. A., Kalashnikova E. A., Tsvetkov V. A., Kovanov A. V., Dolgovskaia O. V. Methods for obtaining oxygen for life support in hermetically isolated objects. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 3. p. 13–20.

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-3-13-20

Введение

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности живых существ, необходимо поступление таких важных источников, как воздух, вода и пища, обогащенная питательными веществами. Если без воды и еды можно прожить около 10 сут, то нахождение без воздуха более 10 мин приведет к летальному исходу.

В повседневной жизни людей кислород (O_2) является свободно доступным, т. к. атмосфера функционирует как бесконечный буферный резервуар для O_2 , производимого фотосинтетической биосферой Земли. Однако для исследования безвоздушных пространств, таких как воды мирового океана или космос, возникает необходимость в применении закрытых космических кораблей или специальных глубоководных аппаратов, соответственно. Данные технические средства не имеют бесконечного запаса кислорода. Процесс дыхания человека влечет снижение концентрации O_2 , в то время как концентрация углекислого газа со временем увеличивается внутри замкнутой среды обитания. Типичная частота дыхания здорового взрослого человека в состоянии покоя составляет примерно 20 000 вдохов в день [1]. В космических аппаратах считается, что один стандартный член экипажа весом 82 кг потребляет 0,82 кг/сут кислорода и производит 1,04 кг/сут углекислого газа (CO_2) [2].

Объекты, имеющие достаточный запас энергии (атомные подводные лодки, космические станции, высотные самолеты и другие) применяют системы, работающие с помощью электролиза воды для получения кислорода. Объекты с низким энергообеспечением (неатомные подводные лодки, убежища) используют системы химической регенерации воздуха на основе надпероксидов, хлоратов и гидроксидов металлов. Но системы, функционирующие на основе химической реакции, имеют вредные продукты распада, например хлор, а также отличаются высокой стоимостью используемых материалов. Поэтому разработка экологических систем генерации кислорода, потребляющих минимум энергии, является актуальной задачей.

Целью работы является повышение эффективности процессов генерации кислорода, в зависимости от различных способов получения кислорода при разных рабочих параметрах системы регенерации. Для достижения цели определены следующие задачи: анализ различных способов получения кислорода в системах регенерации воздуха и сравнительная оценка возможности их применения для замкнутых систем, проведение экспериментальных исследований получения кислорода при разной температуре реакции и с использованием различных катализаторов.

Источники кислорода в замкнутых системах

Работа систем регенерации воздуха направлена на поддержание концентрации кислорода на комфортном для человека уровне и удаление диоксида углерода [3].

В качестве источника кислорода используют:

- чистый кислород, который хранится в баллонах;
- электролиз воды, при котором под действием электрического тока происходит ее разложение с использованием катода и анода;

- твердые источники, такие как хлораты, перхлораты и др., которые выделяют активный кислород при определенных условиях [4, 5];

- биорегенеративное восстановление воздуха, использующее различные виды растений, такие как водоросли, которые активно выделяют кислород при фотосинтезе [6].

Системы регенерации воздуха подбираются исходя из различных показателей, таких как массогабаритные характеристики, энергопотребление, трудоемкость обслуживания и стоимость эксплуатации системы [7]. Важными требованиями являются производительность системы при определенных концентрациях кислорода и диоксида углерода, надежность, безопасность и, главное, экономическая эффективность.

Сравнительный анализ методов получения кислорода

Потребление кислорода для человека средней массы (70 кг) может изменяться в диапазоне 0,5–1,0 кг/сут в зависимости от физической активности. Система кислородообеспечения должна обеспечивать подачу в атмосферу обитаемого отсека кислорода в количестве 0,9 кг/сут (на одного человека).

Но так как даже кратковременное воздействие гипоксии может вызывать серьезные последствия для организма, принято в расчет использовать потребление кислорода в виде 1 кг/сут для проектирования систем обеспечения жизнедеятельности [4].

В табл. 1 приведены методы и эксплуатационные затраты на получение 1 м³ кислорода.

Исходя из данного сравнения, можно сделать вывод, что использование биологической системы получения кислорода требует больших пространств для размещения растений, что является невозможным при использовании в условиях ограниченных герметичных объектов. При использовании готовых баллонов с газом необходимо использовать баллоны и манометры, которые работают под высоким давлением, а также кислород в чистом виде является взрывоопасным при нарушении условий хранения [14–17]. Электролиз воды требует высоких энергетических затрат.

Таблица 1

Затраты на получение 1 м³ кислорода

Table 1

The cost of 1 m³ of oxygen

Способ \ Характеристика	Материал, цена на осень 2021 г.	Электроэнергия	Массогабаритные характеристики
Сжатый кислород (баллон)	Кислород из атмосферы, 0 руб. Закачка — 700–1200 руб.	3 кВт	1 баллон объемом 40 л, вмещает 6 м ³ кислорода [8]
Электролиз (установка)	Вода 1,7 л; 0,6 руб.	8,73 кВт [9]	64×48×101 см, 120 кг [10, 11]
Твердые источники	2,4 кг хим. вещества; 240 руб.	26 Вт	1,55 дм ³
Биологический	Хлорелла 8 м ³ ; вода	—	14×19×2,5 м, объем 315 м ³ [12, 13]

ческих затрат. Поэтому наиболее экономичным и экологическим является использование систем на основе химических соединений, содержащий в своем составе кислород.

Для извлечения кислорода из твердых носителей используются различные реакции и физические воздействия. В табл. 2 показано количество кислорода в наиболее часто используемых соединениях.

Оценка затрат, необходимых для получения 1 м³ кислорода приведена в табл. 3. В расчет взяты минимальные оптовые цены, предложенные на рынке рассматриваемых химических веществ (осень 2021 г).

Исходя из данных табл. 3, наиболее затратными, с финансовой точки зрения, веществами являются надпероксиды натрия и калия. Остальные вещества находятся примерно в одной ценовой категории.

Выделение кислорода с использованием перхлоратов и хлоратов обуславливается необходимостью охлаждения выделяемого кислорода из-за специфики данной технологии (температура в зоне горения может превышать 800 °С), а также выделение хлора, который при взаимодействии со слизистыми оболочками человека образует соляную кислоту, которая может вызвать различные негативные последствия для организма [18].

Согласно [19] пероксид натрия и калия относятся к 3-му классу опасности по степени воздействия на организм человека (умеренно-опасные химические вещества), а пероксид кальция относится к 4-му классу опасности (малоопасные вещества). Поэтому наиболее безопасным будет являться пероксид кальция, который и выбран для проведения исследования.

Таблица 2

Содержание кислорода в веществах [4]

Table 2

The content of oxygen in the substances [4]

Название вещества	Химическая формула	Химическая реакция	Содержание кислорода	
			% мас.	дм ³ /кг
Пероксид кальция	CaO ₂	CaO ₂ + 2H ₂ O = Ca(OH) ₂ + H ₂ O ₂	44,4	310,6
Надпероксид натрия	NaO ₂	4NaO ₂ + 2H ₂ O = 4NaOH + 3O ₂	58,2	407,3
Хлорат натрия	NaClO ₃	2NaClO ₃ = 2NaCl + 3O ₂	45,1	315,7
Хлорат калия	KClO ₃	2KClO ₃ = 2KCl + 3O ₂	39,2	274,2
Хлорат лития	LiClO ₃	2LiClO ₃ = 2LiCl + 3O ₂	53,1	371,7
Перхлорат натрия	NaClO ₄	NaClO ₄ = NaCl + 2O ₂	52,3	365,9
Перхлорат калия	KClO ₄	KClO ₄ = KCl + 2O ₂	46,2	323,4
Перхлорат лития	LiClO ₄	LiClO ₄ = LiCl + 2O ₂	60,2	421,1

Таблица 3

Стоимость химических веществ

Table 3

The cost of chemical agents

№	Вещество	Цена, руб/кг	Для получения 1 м ³ O ₂ , кг	Стоимость, руб
1	Пероксид кальция	250–350	6,43	1607,5–2250,5
2	Пероксид натрия	1150–1250	6,97	8015,5–8712,5
3	Пероксид водорода	30–50 (40%)	7,59	227,7–379,5
4	Надпероксид натрия, калия	12 500	3,27	40 875
			4,29	53 625
5	Хлорат натрия, калия	300–500	3,17	951–1585
			3,65	1095–1825
6	Перхлорат натрия, калия	250–500	2,74	685–1370
			3,09	772,5–1545

Пероксид кальция и его свойства

Пероксид кальция — это белый или светло-кремовый порошкообразный материал, имеющий высокую термическую устойчивость. Только при температуре выше 375–425 °С происходит его интенсивное и полное разложение. Данный материал плохо растворяется в воде, аммонийных растворах. Также не вступает в реакцию с сухим углекислым газом, но в присутствии воды и при температуре выше 150 °С начинается процесс разложения [20].

Благодаря термодинамической устойчивости CaO_2 может сохранять свои свойства длительное время без введения каких-либо добавок или стабилизаторов. Но в то же время он может разрушаться при неподходящих способах упаковки и условий хранения, а также, если в составе присутствует примеси, возникшие при синтезе.

Важнейший фактор, влияющий на качество CaO_2 является влажность. При длительном хранении влага реагирует с пероксидом, образуя при этом продукты гидролиза, что в свою очередь приводит к потере основного вещества. Для его хранения рекомендуют стеклянные колбы с резиновой пробкой и герметичные металлические емкости, таким способом пероксид кальция можно хранить 7–17 лет. Потеря основного вещества составит меньше 0,1 % [21].

Пероксид кальция является востребованным веществом, благодаря его свойству сохранять в себе активный кислород, находясь при этом в твердом состоянии. Один килограмм пероксида кальция теоретически содержит 156 литров активного кислорода.

Материалы и методы

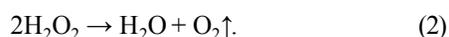
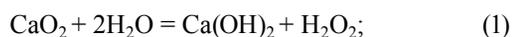
Теоретические расчеты химической генерации кислорода.

Рассмотрим химический способ получения кислорода из CaO_2 .

CaO_2 в чистом виде промышленностью не поставляется. Обычно активная часть CaO_2 в поставляемом порошке составляет не выше 70%. Остальная часть представляет собой Ca(OH)_2 . В России пероксид кальция производится в г. Дзержинске (Нижегородская обл.) в виде препарата «Прана» по ТУ 261133-001-49775126-2015 [22]. Массовая доля пероксида кальция не менее 50%.

Таким образом, в 1 кг сухого порошка, выпускаемого промышленностью, находится не более 10–13 % O_2 .

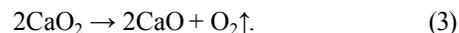
Реакция получения кислорода из пероксида кальция происходит по схеме:



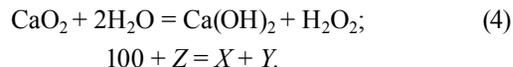
Реакция проходит при температуре 50 °С с выделением тепла, что является положительным отличием от пероксидов щелочных металлов.

Разложение пероксида кальция в суспензии происходит в два этапа. Первоначально CaO_2 гидратирует на гидроксид кальция и перекись водорода, затем перекись водорода разлагается с образованием воды и атомарного кислорода. Присутствие обычных для разложения пероксида водорода катализаторов сокращает время существования перекиси водорода.

Возможен другой способ разложения CaO_2 , который происходит по схеме, при температуре 250–300 °С:



Рассчитаем теоретическое количество гидроксида кальция и перекиси водорода образовавшегося при реакции 100 г пероксида кальция и необходимое количество воды.



Молярная масса $\text{CaO}_2 = 40 + 16 \cdot 2 = 72$.

Молярная масса $2\text{H}_2\text{O} = 2(1 \cdot 2 + 16) = 36$.

Молярная масса $\text{Ca(OH)}_2 = 40 + 2(16 + 1) = 74$.

Молярная масса $\text{H}_2\text{O}_2 = 1 \cdot 2 + 16 \cdot 2 = 34$.

По правилу пропорций рассчитываем значения X, Y, Z :

$$100/72 = X/74, \rightarrow X = (100 \cdot 74)/72 = 102,8 \text{ г};$$

$$100/72 = Y/34, \rightarrow Y = (100 \cdot 34)/72 = 47,2 \text{ г}; \quad (5)$$

$$100/72 = Z/36, \rightarrow Z = (100 \cdot 36)/72 = 50 \text{ г}.$$

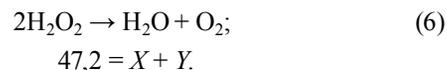
Таким образом, теоретически:

— масса воды, необходимая для реагирования 100 г пероксида кальция, равна 50 г;

— масса полученного гидроксида кальция равна 102,8 г;

— масса образовавшейся перекиси водорода равна 47,2 г.

Аналогично рассчитываем теоретическое количество воды и кислорода, исходя из уравнения разложения 47,2 г перекиси водорода.



Молярная масса $2\text{H}_2\text{O}_2 = 2(1 \cdot 2 + 16 \cdot 2) = 68$.

Молярная масса $\text{O}_2 = 16 \cdot 2 = 32$.

Молярная масса $2\text{H}_2\text{O} = 2(1 \cdot 2 + 16) = 36$.

$$47,2/68 = X/36, \rightarrow X = (47,2 \cdot 36)/68 = 25 \text{ г}.$$

$$47,2/68 = Y/32, \rightarrow Y = (47,2 \cdot 32)/68 = 22,2 \text{ г}. \quad (7)$$

Таким образом, теоретически:

— масса полученной воды равна 25 г;

— масса выделенного кислорода равна 22,2 г.

Рассчитаем объем кислорода массой 22,2 г при нормальных условиях

$$V = (m \cdot V_m)/M, \quad (8)$$

где V_m — молярный объем идеального газа, $V_m = 22,4$ л/моль.

$$V(\text{O}_2) = (22,2 \cdot 22,4)/32 = 15,5 \text{ л}. \quad (9)$$

Таким образом, теоретически для получения 22,2 г (15,5 л) кислорода необходимо 100 г пероксида кальция.

Химический способ получения кислорода из смеси $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$

Первый вариант — использование водной суспензии смеси $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$.

Разложение пероксида кальция в суспензии происходит в два этапа. Первоначально смесь $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$ гидратирует на гидроксид кальция и перекись водорода,

затем перекись водорода разлагается с образованием воды и атомарного кислорода. Присутствие обычных для разложения пероксида водорода катализаторов сокращает время существования перекиси водорода.

Проведенные лабораторные исследования показали, что основная часть O_2 из водной суспензии пероксида кальция при нагревании последнего до $80-90^\circ C$, выделяется в течении $30-60$ мин в присутствии катализаторов Ag (серебро) и $KMnO_4$ (перманганат калия).

Для этих целей водную суспензию с 25% содержанием смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$ нагревали до температуры $80-90^\circ C$ в присутствии катализаторов Ag и $KMnO_4$. Уменьшение суммы масс двух колб в течение 2 ч составило 10% от массы лабораторной установки, представленной на рис. 1.

Колба 1 с водной суспензией смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$ устанавливается на электроплиту 3. Колба 1 плотно закрыта пробкой 4, через которую проведен чувствительный элемент термометра 5 и трубка 6 для отвода образовавшихся в колбе 1 газов.

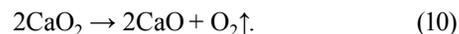
Трубка 6 проходит в охлаждающую колбу 7 сквозь пробку 8. В колбе 7 находится вода 9. Полость колбы 7 сообщена с атмосферой трубкой 10.

Для проведения опыта приготовлена водная суспензия смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$, которая заливается в колбу 1. В колбу 7 наливается охлажденная дистиллированная вода, примерно на $1/3$ объема.

В колбу 1 помещаются катализаторы из серебра и гранулы $KMnO_4$. С помощью весов измеряется потеря массы системы при нагревании колбы 1.

Второй вариант – разложение пероксида кальция в сухом виде.

Разложение пероксида кальция в сухом виде (в порошке) происходит при прокаливании порошка при температуре свыше $275^\circ C$.



Для проведения эксперимента по прокаливанию порошка смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$, была собрана установка, состоящая из электрической плитки 1 и металлического стакана 2 с металлической крышкой 3. Схема лабораторной установки представлена на рис. 2.

Прокаливание порошка осуществлялось на электрической плитке 1 в металлическом стакане 2. Стакан был укрыт металлической крышкой 3. Порошок в количестве 100 г был всыпан в стакан. Стакан был установлен на плитку 1. Плитка была включена и порошок прокаливался до постоянной массы.

Прокаленный порошок поменял свой цвет с бежевого на светло-серый (ближе к белому). При смешивании полученного порошка с водой происходит бурная реакция с шипением и нагревом, следовательно, после прокалывания пероксид кальция превращается в активный оксид кальция (негашеная известь).

Результаты и обсуждения

В первом варианте при разложении водной суспензии смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$ с помощью нагревания получили следующие результаты:

— при нагревании суспензии до $90^\circ C$ за первые 2 ч скорость реакции разложения пероксида кальция максимальна, и в итоге выделившийся кислород составил 8% от массы порошка (табл. 4);

— без нагрева реакция выделения кислорода отсутствует.

Проверка наличия кислорода осуществлялась с помощью тлеющей лучины.

Во втором варианте результаты опыта показали, что при прокаливании смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$ в количестве

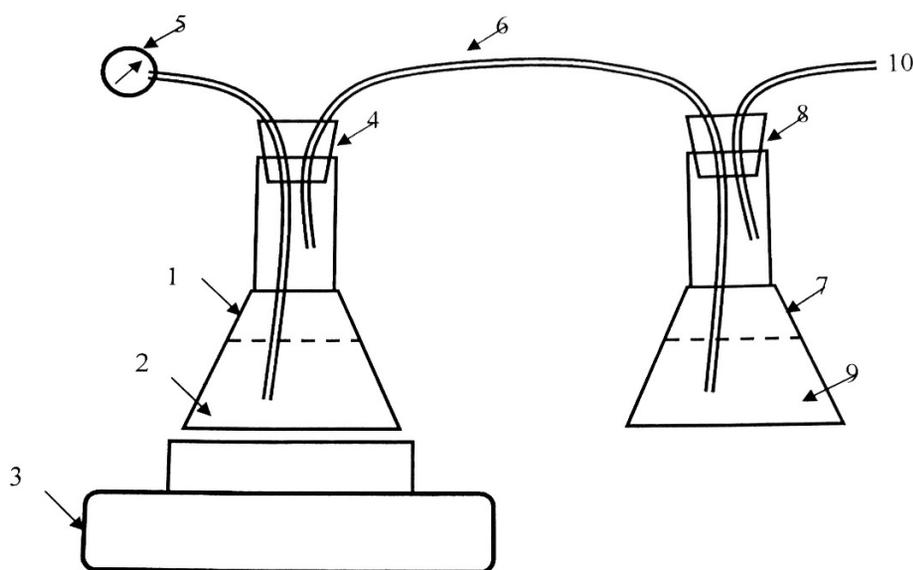


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения скорости разложения смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$ при нагревании

Fig. 1. Laboratory unit for determining decomposition rate of $CaO_2 + Ca(OH)_2$ mixture when heated

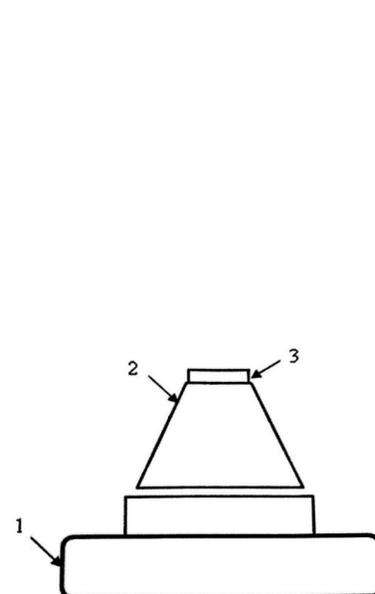


Рис. 2. Схема установки для прокалывания смеси $CaO_2 + Ca(OH)_2$

Fig. 2. The unit for the ignition of $CaO_2 + Ca(OH)_2$ mixture

Таблица 4

Результаты опыта разложения смеси $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$

Table 4

The results of the experiment on the decomposition of $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$ mixture

Продолжительность, ч: мин	00:00	02:00	04:00	04:30
$m(\text{O}_2)$, г	0	12	15	16
Количество кислорода, % от массы порошка	0	6	7,5	8

Таблица 5

Результаты опыта по прокаливанию смеси $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$

Table 5

The results of the experiment on the ignition of $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$ mixture

Масса смеси $\text{CaO}_2 + \text{Ca(OH)}_2$, г	Масса установки с порошком, г	Масса предполагаемого кислорода, г	Время прокаливания, час: мин
100	531,5	0	0:00
87	518,5	13	0:55
86,5	518	13,5	1:50
86,5	518	13,5	3:10
85,5	517	14,5	4:10
85,5	517	14,5	5:00

100 г в течение первого часа теряется около 13% массы порошка (табл. 5).

Таким образом, данный порошок потерял 14,5% от массы.

Выводы по опыту:

— при прокаливании теряется не менее 14% массы, из них часть приходится на влажность порошка (не более 1%);

— при прокаливании пероксид кальция переходит в оксид кальция, что подтверждает теоретические данные.

Заключение

В данной работе был проведен анализ имеющихся способов получения кислорода, их достоинства и недостатки. Проведен сравнительный анализ энергозатрат по способам получения кислорода. Наиболее экологиче-

ским и экономичным способом выбрано получение кислорода из пероксида кальция.

Теоретически было рассчитано, что для получения 22,2 г (15,5 л) кислорода необходимо 100 г пероксида кальция. Извлечение кислорода опытным путем было осуществлено двумя способами:

1. При разложении водной суспензии пероксида кальция, при которой выделилось 8% кислорода.

2. При использовании высокотемпературного прокаливания, при котором получено 14,5% кислорода.

Процесс получения кислорода из пероксида кальция сопровождается экзотермической реакцией. Следовательно, в дальнейшем будет рассчитан полученный тепловой эффект данной реакции и рассмотрены возможные способы применения или утилизации образующегося тепла.

Литература

1. Fahrion J., ets. Use of photobioreactors in regenerative life support systems for human space exploration // *Front Microbiol.* 2021.
2. Crockett A. J., Schermer, T. R., Eston, R. G. Kinanthrometry and exercise physiology. Routledge. 2018. pp. 225–250.
3. Путин С. Б. Математическое моделирование и управление процессом регенерации воздуха. М.: Машиностроение, 2008. 176 с.
4. Гладышев Н. Ф., Гладышева Т. В., Дворецкий С. И. Системы и средства регенерации и очистки воздуха обитаемых герметичных объектов. М.: Издательский дом «Спектр», 2016. 204 с.
5. Дворецкий С. И., Гладышев Н. Ф., Гладышева Т. В., Суворова Ю. А., Плотноков М. Ю. Новый подход к регенерации воздуха в герметичных обитаемых объектах // *Вопросы современной науки и практики.* 2012. (39). С. 159–165.

References

1. Fahrion J., ets. Use of Photobioreactors in Regenerative Life Support Systems for Human Space Exploration. *Front Microbiol.* 2021.
2. Crockett A. J., Schermer T. R., Eston R. G. Kinanthrometry and exercise physiology. Routledge. 2018. pp. 225–250.
3. Putin S. B. Mathematical modeling and control of the air regeneration process. Moscow, Mashinostroenie, 2008. p. 176. (in Russian)
4. Gladyshev N. F., Gladysheva T. V., Dvoretzky S. I. Systems and facilities for air regeneration and purification of inhabited sealed objects. Moscow, Spektr Publishing House, 2016. p. 204. (in Russian)
5. Dvoretzky S. I., Gladyshev N. F., Gladysheva T. V., Suvorova Y. A., Plotnikov M. Y. A new approach to air regeneration in hermetic habitable objects. *Questions of modern science and practice. University. V. I. Vernadsky.* 2012. (39). pp. 159–165. (in Russian)

6. Fu Y. et al. How to establish a bioregenerative life support system for long-term crewed missions to the moon or mars. // *Astrobiology*. 2016. (16), pp. 925–936.
7. Система регенерации воздуха: Патент РФ 2516017: А62В7/08/ Копытов Ю. Ф., Гудков С. В., Путин С. Б.; заявитель и патентообладатель ОАО «Корпорация Росхимзащита»; опублик. 20.05.2014.
8. ГОСТ 5583–78 (ИСО 2046–73) Кислород газообразный технический и медицинский. М., 1980.
9. Sakurai M., Terao T., Sone Y. Development of Water Electrolysis System for Oxygen Production Aimed at Energy Saving and High Safety // 45th International Conference on Environmental Systems, 2015. pp. 1–7.
10. Генераторы кислорода [Электронный ресурс] URL: <http://www.energokomplet.eu/produkcija/tehnologicheskie-sredy/generatory-chistykh-gazov/hydrogenics-belgija/> (дата обращения 20.11.2021)
11. Ключенкова М. И., Назаров В. И., Попов А. П. Техника и технология поддержания жизни в замкнутом пространстве // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018. №6 (52). С. 1255–1263.
12. Гузенберг А. С., Железняков А. Г., Романов С. Ю., Телегин А. А., Юргин А. В. Выбор комплекса жизнеобеспечения для экипажей долговременных космических станций // Космическая техника и технологии. 2015.
13. Niederwieser T., Kociolek P., Klaus D. A review of algal research in space. // *Acta Astronautica*. 2018. pp. 359–367.
14. Мирошниченко Ю. В., Еникеева Р. А., Кассу Е. М. Характеристика способов получения кислорода медицинского и перспективы их применения в военном здравоохранении // Вестник Российской военно-медицинской академии №2 (54), 2016. С. 157–163.
15. Ключенкова М. И., Назаров В. И., Попов А. П. Техника и технология поддержания жизни в замкнутом пространстве // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2018. С. 1255–1263
16. Гузенберг А. С., Железняков А. Г., Романов С. Ю., Телегин А. А., Юргин А. В. Выбор комплекса жизнеобеспечения для экипажей долговременных космических станций // Космическая техника и технологии 2015. №1. С. 67–80.
17. Anderson M. S., Ewert M. K., Keener J. F. Life Support Baseline Values and Assumptions Document. Report Number NASA/TP-2015-218570/REV1, 2018. p. 219
18. Булатова О. Ф., Ключарева Е. В., Назаров М. Н., Сергеева Л. Г. Неорганические окислители и перекисные соединения. Сер. Молекулы и реакции. Уфа: УГНТУ, 2015. 51 с.
19. ГОСТ 12.1.007–76 Вредные вещества. М., 1977
20. Hefei W., Yongsheng Z., Tianyi L., Zhen C., Yinan W., Chuanyu Q. Properties of calcium peroxide for release of hydrogen peroxide and oxygen: A kinetics study // *Chemical Engineering Journal*. 2016.
21. Гладышев Н. Ф., Гладышева Т. В., Лемешева Д. Г. Пероксидные соединения кальция. Синтез. Свойства. Применение. М.: Издательский дом «Спектр», 2013. 216 с.
22. Пероксид кальция [Электронный ресурс] URL: <https://supl.biz/peroksid-kaltsiya-p148819/> (дата обращения 20.12.2021)
6. Fu Y. et al. How to establish a bioregenerative life support system for long-term crewed missions to the moon or mars. *Astrobiology*. 2016. (16), pp. 925–936.
7. Air regeneration system: RF Patent 2516017: A62B7/08/ Kopytov Y. F., Gudkov S. V., Putin S. B.; applicant and patent holder JSC Roskhimzashchita Corporation; publ. 20.05.2014. (in Russian)
8. State standard 5583–78 (ISO 2046–73) Technical and medical gaseous oxygen. Moscow, 1980. (in Russian)
9. Sakurai M., Terao T., Sone Y. Development of Water Electrolysis System for Oxygen Production Aimed at Energy Saving and High Safety. *45th International Conference on Environmental Systems*, 2015. pp. 1–7.
10. Oxygen generators [Electronic resource] URL: <http://www.energokomplet.eu/produkcija/tehnologicheskie-sredy/generatory-chistykh-gazov/hydrogenics-belgija/> (accessed 20.11.2021). (in Russian)
11. Klyushenkova M. I., Nazarov V. I., Popov A. P. Technique and technology for maintaining life in a confined space. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov*, 2018. No. 6 (52). pp. 1255–1263. (in Russian)
12. Guzenberg A. S., Zheleznyakov A. G., Romanov S. Y., Telegin A. A., Yurgin A. V. The choice of a life support complex for crews of long-term space stations. *Space technics and technologies*, 2015. (in Russian)
13. Niederwieser T., Kociolek P., Klaus D. A review of algal research in space. *Acta Astronautica*. 2018. pp. 359–367.
14. Miroshnichenko Y. V., Enikeeva R. A., Kassu E. M. Characteristics of methods for obtaining medical oxygen and the prospects for their use in military healthcare. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2016. No. 2 (54), pp. 157–163. (in Russian)
15. Klyushenkova M. I., Nazarov V. I., Popov A. P. Technique and technology for maintaining life in a confined space. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarova*, 2018. pp. 1255–1263. (in Russian)
16. Guzenberg A. S., Zheleznyakov A. G., Romanov S. Yu., Telegin A. A., Yurgin A. V. The choice of a life support complex for crews of long-term space stations. *Space Technique and Technologies*. No. 1, 2015. pp. 67–80. (in Russian)
17. Anderson M. S., Ewert M. K., Keener J. F. Life Support Baseline Values and Assumptions Document. Report Number NASA/TP-2015-218570/REV1, 2018. p. 219
18. Bulatova O. F., Klyuchareva E. V., Nazarov M. N., Sergeeva L. G. Inorganic oxidizing agents and peroxide compounds. Ser. Molecules and reactions. Ufa: UGNTU, 2015. p. 51. (in Russian)
19. State standard 12.1.007–76 Harmful substances. M., 1977. (in Russian)
20. Hefei W., Yongsheng Z., Tianyi L., Zhen C., Yinan W., Chuanyu Q. Properties of calcium peroxide for release of hydrogen peroxide and oxygen: A kinetics study. *Chemical Engineering Journal*, 2016.
21. Gladyshev N. F., Gladysheva T. V., Lemesheva D. G. Calcium peroxide compounds. Synthesis. Properties. Application. M.: Spektr Publishing House, 2013. p. 216. (in Russian)
22. Calcium peroxide [Electronic resource] URL: <https://supl.biz/peroksid-kaltsiya-p148819/> (accessed 20.12.2021). (in Russian)

Сведения об авторах**Пронин Владимир Александрович**

Д. т. н., профессор, ординарный профессор факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, maior.pronin@mail.ru

Цветков Вадим Александрович

Аспирант факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, wadimtsvetkov@mail.ru

Кованов Александр Викторович

Аспирант образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы» Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, Kovanov76@yandex.ru

Калашникова Елена Анатольевна

Аспирант образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы» Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, kalashnikova.elena.96@mail.ru

Долговская Ольга Владимировна

К. т. н., директор Центра научно-образовательных изданий Университета ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ovdolgovskaia@corp.ifmo.ru, РИНЦ SPIN-код 9181–9946

Information about authors**Pronin Vladimir A.**

D. Sc., Professor, Professor of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, maior.pronin@mail.ru

Tsvetkov Vadim A.

Graduate student of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, wadimtsvetkov@mail.ru

Kovanov Aleksandr V.

Graduate student of Faculty of Energy and Ecotechnology of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, Kovanov76@yandex.ru

Kalashnikova Elena A.

Graduate student of the Educational Center «Energy Efficient Engineering Systems» of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, kalashnikova.elena.96@mail.ru

Dolgovskaia Olga V.

Ph. D., Director of the Center for Scientific and Educational Publications of ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, ovdolgovskaia@corp.ifmo.ru, РИНЦ SPIN-код 9181–9946



Статья доступна по лицензии

Creative Commons «Attribution-NonCommercial»

30-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ,
НАПИТКОВ И СЫРЬЯ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

ПРОД 6–10
30 ЛЕТ ДОВЕРИЯ
ЭКСПО 2023
февраля

Москва, ЦВК «Экспоцентр» 18+

**ТЕМАТИКИ ВЫСТАВКИ:**

- ✓ Ингредиенты. Пищевые добавки. Сырье.
- ✓ Птица, яйцо.
- ✓ Молочная продукция. Сыры.
- ✓ Мороженое. Бакалея. Зернопродукты.
- ✓ Макароны изделия. Приправы, специи.
- ✓ Растительные жиры.
- ✓ Соки, воды. Безалкогольные напитки.
- ✓ Замороженные продукты. Полуфабрикаты.
- ✓ Кондитерская продукция. Снэки.
- ✓ Орехи, сухофрукты.
- ✓ Мед и продукты пчеловодства. Чай. Кофе.
- ✓ Рыба и морепродукты.
- ✓ Консервы. Соусы, кетчупы.
- ✓ Гастрономия.
- ✓ Продукты для здорового образа жизни.
- ✓ Продукция «Халяль».
- ✓ Продукты для HORECA
- ✓ Детское питание. Спортивное питание.
- ✓ Продукты для здорового образа жизни.
- ✓ Овощи, фрукты, грибы, дикоросы.
- ✓ Мед и продукты пчеловодства.
- ✓ Маркетплейсы.
- ✓ Корма для домашних животных.
- ✓ **Продэкспо Wine.**
- ✓ **Продэкспо Organic.**
- ✓ **Продэкспо Pack&Technology.**

Место проведения:

ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»,
123100, г. Москва, Краснопресненская наб., 14

Контакты:

Дирекция выставок пищевой промышленности:
Тел.: (499) 795–37–99, e-mail: info@expocentr.ru

www.prod-expo.ru