

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1255-1263

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF MAINTAINING LIFE IN A CONFINED SPACE

M. I. Klyushenkova, V. I. Nazarov, A. P. Popov

NIC “Kurchatov Institute” — IREA, Moscow, Russian Federation

The problems of maintaining life in the closed space of submarines are considered. The analysis of the electrolytic method of obtaining oxygen. Recommendations on improving the system of oxygen supply for boat personnel are given. A flowchart of oxygen production using a 15–20 % potassium carbonate solution as an electrolyte is given, which makes it possible to organize an energy-saving closed circuit. In this scheme, the following gases are subject to utilization: hydrogen and carbon dioxide supplied to methanol synthesis. On existing submarines, where similar technologies of oxygen production are used, methanol synthesis is carried out on a solid copper-zinc catalyst at a pressure of 3.6 MPa and a temperature of 270 °C. In this paper, it is proposed to replace the two-phase methanol synthesis system with a three-phase, more economical one. Synthesis of methanol is carried out in a reactor filled with an inert hydrocarbon high boiling liquid, in which the copper-zinc catalyst is suspended, which creates a large contact surface with synthesis gas and provides methanol output in one cycle up to 15–20 %, higher than in the two-phase system (4–5 %). The presence of hydrocarbon liquid and its circulation (reactor-boiler-utilizer) allows the synthesis of methanol in the autothermal mode. Reducing the hydraulic resistance in the reactor allows to reduce the pressure level and carry out the synthesis at a pressure of 3 MPa. Taking into account that the synthesis process takes place in a closed volume, there is practically no wear of the catalyst. The three-phase system is environmentally safe when used in the life support system of a submarine. A block diagram of a three-phase system of methanol synthesis is presented, and the structures of the main apparatus are developed: synthesis reactor, heat exchange and condensation equipment.

Keywords: closed systems, life support, electrolysis, oxygen, carbon dioxide, hydrogen, methanol, synthesis, catalyst, reactor, water object.

For citation:

Klyushenkova, Marina I., Vyacheslav I. Nazarov, and Aleksandr P. Popov. “Technique and technology of maintaining life in a confined space.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1255–1263. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1255-1263.

УДК 66-935.3

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЖИЗНИ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

М. И. Ключенкова, В. И. Назаров, А. П. Попов

НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА, Москва, Российская Федерация

Рассмотрены проблемы поддержания жизни в замкнутом пространстве подводных лодок. Проведен анализ электролитического способа получения кислорода. Даны рекомендации по усовершенствованию системы обеспечения персонала лодки кислородом. Дана блок-схема получения кислорода с использованием в качестве электролита 15–20-процентного раствора карбоната калия, что позволяет организовать энергоэкономичную замкнутую схему. Утилизации в этой схеме подлежат газы: водород и диоксид углерода, поступающие на синтез метанола. На существующих подводных лодках, где используются аналогичные технологии производства кислорода, синтез метанола проводят на твердом медно-цинковом катализаторе при давлении 3,6 МПа и температуре 270 °С. В данной работе предлагается заменить двухфазную систему синтеза метанола на трехфазную, более экономичную: синтез метанола проводить в реакторе, заполненном инертной углеводородной высококипящей жидкостью, в которой во взвешенном состоянии находится медно-цинковый катализатор, что создает большую поверхность контакта с синтез-газом и обеспечивает выход метанола за один цикл на 15–20 % выше, чем в двухфазной системе (4–5 %). Наличие углеводородной жидкости и ее циркуляция (реактор – котел – утилизатор) позволяет проводить синтез метанола в автотермичном режиме. Снижение гидравлического сопро-

тивления в реакторе позволяет уменьшить уровень давления и проводить синтез при давлении 3 МПа. С учетом того, что процесс синтеза проходит в замкнутом объеме, практически нет износа катализатора. Трехфазная система экологически безопасна при использовании ее в системе жизнеобеспечения подводной лодки. Представлена блок-схема трехфазной технологии синтеза метанола, разработаны конструкции основных аппаратов: реактор синтеза, теплообменное и конденсационное оборудование.

Ключевые слова: замкнутые системы, жизнеобеспечение, электролиз, кислород, диоксид углерода, водород, метанол, синтез, катализатор, реактор, водный объект.

Для цитирования:

Клюшеникова М. И. Техника и технология поддержания жизни в замкнутом пространстве / М. И. Клюшеникова, В. И. Назаров, А. П. Попов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1255–1263. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1255-1263.

Введение (Introduction)

Существуют три проблемы поддержания жизни в замкнутом пространстве подводных лодок: проблема содержания необходимого для дыхания количества воздуха, проблема чистой воды и проблема обеспечения определенной температуры в отсеках лодки.

Химический состав воздуха имеет важное гигиеническое значение, так как играет решающую роль в осуществлении дыхательной функции организма человека. Атмосферный сухой воздух представляет собой смесь кислорода, азота, углекислого газа, аргона и других инертных газов в соотношениях, приведенных в табл. 1 [1], [2]. Влажность вдыхаемого воздуха не должна быть повышенной [3].

Таблица 1

Состав атмосферного и выдыхаемого человеком воздуха

Наименование газа	Содержание в воздухе (% от объема)	
	атмосферном	выдыхаемом
Кислород	20,94	15,4–16,0
Углекислый газ	0,04	3,4–4,7
Азот	78,08	~78,26
Аргон, гелий, неон, криптон, ксенон, водород, озон, радон	0,94	~0,94

Кислород (O_2) — наиболее важная для человека составная часть воздуха. В состоянии покоя человек обычно поглощает в среднем 0,3 л кислорода в 1 мин. При физической деятельности потребление кислорода резко возрастает и может достигать 4,5–5,0 л и более в 1 мин. Колебания содержания кислорода в атмосферном воздухе невелики и не превышают, как правило, 0,5 %. Обычно физиологические сдвиги наблюдаются у человека при снижении содержания кислорода при дыхании до 16–17 %. Если его содержание уменьшается до 11–13 %, то появляются ярко выраженная кислородная недостаточность, резкое ухудшение самочувствия и снижение работоспособности. Содержание кислорода до 7–8 % может привести к смертельному исходу. Углекислый газ (CO_2), образующийся при дыхании и накапливаемый в замкнутом пространстве, наносит человеку вред. При продолжительном вдыхании воздуха с содержанием 1,0–1,5 % углекислого газа отмечается ухудшение самочувствия, а при 2,0–2,5 % в организме обнаруживаются паталогические сдвиги. Значительные нарушения функций организма и снижение работоспособности происходят, когда содержание углекислого газа составляет 4–5 %. При содержании 8–10 % происходит потеря сознания и смерть. Значительное повышение углекислого газа в воздухе может возникнуть при аварийных ситуациях в замкнутых пространствах подводных лодок.

Проблема подачи чистой воды решается следующим образом: на большинстве подводных лодок установлены дистилляционные аппараты, которые опресняют морскую воду. Эта вода используется главным образом для охлаждения электроприборов, приготовления пищи и личной

гигиены персонала. Поддержание определенной температуры в отсеках лодки возможно за счет съема внутреннего тепла морской водой. Для поддержания благоприятной положительной температуры для экипажа объем лодки необходимо обогревать. Электропитание для обогрева может поступать с ядерных реакторов, дизельных двигателей или батарей.

Целью данной работы является совмещение и усовершенствование двух технологий: регенерации воздуха для дыхания и получения метанола при утилизации углекислого газа с целью создания современной, энергоэкономичной и эффективной технологии жизнеобеспечения в замкнутом пространстве подводной лодки.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Анализ технологий получения кислорода. Современная подводная лодка обычно находится в погруженном состоянии в течение длительного времени и не может обновлять свой внутренний воздух. В связи с этим должна быть создана замкнутая система жизнеобеспечения, в которой выработка кислорода может осуществляться за счет физико-химических процессов [1] или биологических (последний используется для космических станций [4]).

Кислород можно получать за счет химических реакций (ХР), основанных на эффекте разложения хлората, перхлората, перекиси водорода или пероксида натрия. Широкое применение нашла реакция получения кислорода высокой степени очистки при разложении перекиси водорода с помощью перманганатного катализатора (KMnO_4) [5]:



Возможно термохимическое разложение твердых кислородсодержащих соединений, например, хлората натрия. При многих химических реакциях кислород выделяется в незначительных объемах и используется на объектах с низким энергообеспечением. Увеличение объемов возможно при электролитическом получении кислорода из воды. Основным аппаратом при электролизе является камера с катодом и анодом, разделенная диафрагмой. Щелочные электролизеры воды (ЩЭВ) работают до температуры 120 °С. На электрические характеристики ЩЭВ оказывают влияние плотность тока, давление и температура. В России выпускают электролизеры на АО «Уралхиммаш», но они имеют устаревшую конструкцию. Модернизация идет по пути внедрения новых электродных материалов, позволяющих снизить энергопотребление. В Российской Федерации для стратегических отраслей промышленности часто покупают электролизеры у фирмы *Hydrogenics* (Бельгия), имеющие следующие технические характеристики: удельное энергопотребление — не выше 4,3 кВт·ч/нм³ выделяемого H_2 (отечественные электролизеры потребляют 5,5 кВт·ч/нм³); сила тока — 400–1000 мА/см²; напряжение — 1,6–1,9 В; рабочие температуры — 100–120 °С; давление — 1–20 МПа. В Российской Федерации ведутся работы по созданию высокоэффективных электролизеров с энергопотреблением 4,2–4,8 кВт·ч/нм³. Эта проблема может быть решена посредством разработки новых электродов с эффективными и дешевыми катализаторами. В НИУ «МЭИ» создан и запатентован метод изготовления композитных электродов с пористым никелевым покрытием [6].

Современные диафрагмы для электролиза представляют собой губчатую пористую матрицу из щелочестойкого полимера полисульфонового ряда с частицами наполнителя (диоксида титана или полисурьмяной кислоты). Наполнители могут быть изготовлены на основе субмикронных и наноразмерных волокон [7].

Безотходная технология обеспечения кислородом в замкнутых системах. Предлагаемая технология жизнеобеспечения кислородом в условиях подводной лодки должна решить следующие задачи:

- создание искусственной воздушной среды, близкой по составу и основным свойствам к атмосферному воздуху, для чего необходима генерация кислорода;
- удаление из воздуха диоксида углерода и его утилизация;
- на базе водорода и диоксида углерода получение водного раствора метанола, который можно сбросить в водную среду.

На рис. 1 представлена блок-схема снабжения кислородом в системе жизнеобеспечения. Электролит приготавливают в баке 4. Первоначально в дистиллированной воде растворяют карбонат калия (ОЧ поташ). Затем электролит насосом 3 под давлением перекачивают в электролизер 5. Концентрация K_2CO_3 — в диапазоне 15–20 %. После прохождения рабочего цикла электролит возвращается в бак 4, а затем в электролизер 5, т. е. работа ведется на оборотном потоке поташа. Раствор электролита слабощелочной. Давление в электролизере — 0,7 МПа. Под действием электрического тока на аноде идет выделение газа кислорода (O_2), а на катоде — выделение положительно заряженных ионов водорода (H^+). Ионы водорода принимают электроны, образуя газообразный водород (H_2). Помимо газов, из электролизера 5 выводятся в жидкой фазе католит (KOH) и анолит ($KHCO_3$). В разделительных колонках 2 за счет десорбции из католита выделяют кислород, из анолита — водород. Анолит поступает в десорбер 10, нагревается до температуры 114 °С и проходит реакция разложения с выделением газа CO_2 :

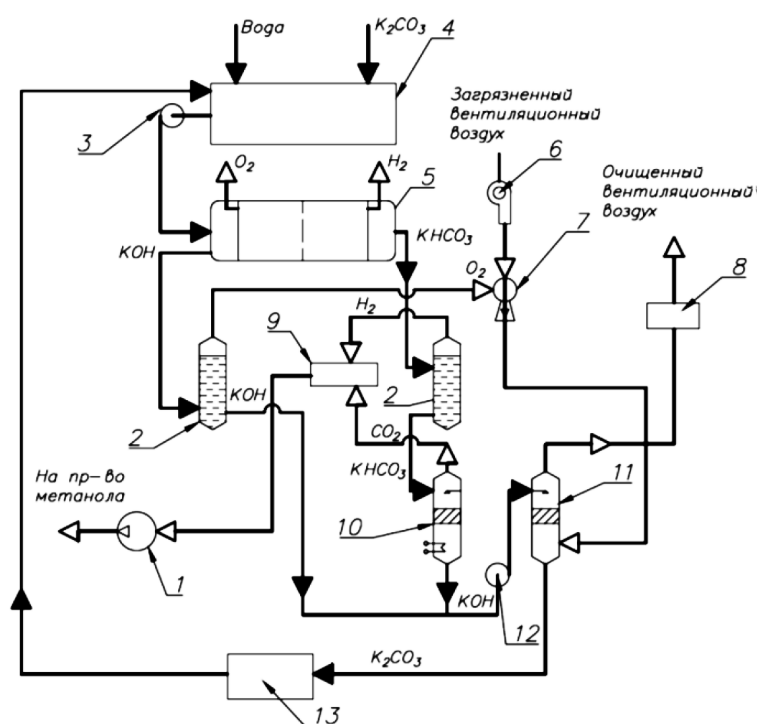


Рис. 1. Блок-схема снабжения кислородом системы жизнеобеспечения:

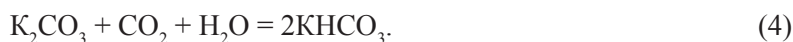
- 1 — компрессор; 2 — разделительные колонки; 3 — насос подачи электролита; 4 — бак;
5 — электролизер; 6 — вентилятор; 7 — инжектор; 8 — блок доочистки воздуха;
9 — бак смешения газов; 10 — десорбер; 11 — абсорбер; 12 — насос подачи KOH;
13 — бак отработанного K_2CO_3

Из десорбера 10 жидкая фаза направляется в бак 13, где осуществляется сбор отработанных растворов карбоната калия. Диоксид углерода, выделяемый при десорбции, поступает в бак смешения газов 9. Кислород, выделяемый на аноде в электролизере 5, и кислород после отгонки в разделительной колонке 2 подсасываются инжектором 7 в вентиляционный воздух, поступающий из отсеков подводной лодки и содержащий повышенную концентрацию CO_2 . Загрязненный воздух поступает на очистку от CO_2 в абсорбер 11.

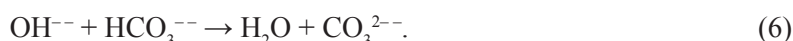
На стадии очистки загрязненного воздуха от CO_2 в представленной блок-схеме рекомендуется вести абсорбционную очистку щелочными растворами, в частности, раствором щелочи KOH. При взаимодействии с растворами щелочей протекает необратимая реакция. Первоначально парциальное давление CO_2 над раствором равно нулю вплоть до полного использования щелочи KOH:



Затем равновесное парциальное давление возрастает, образуются карбонатные соли и протекают реакции с образованием бикарбоната калия:



Лимитирующей стадией является реакция CO_2 с ионами гидроксила OH^- и HCO_3^- :



Выбор щелочи KOH , а не NaOH для очистки от CO_2 целесообразен, так как физическая растворимость CO_2 водным раствором щелочи KOH выше, чем в растворах NaOH , что предопределяет более высокую скорость абсорбции [8].

Скорость абсорбции CO_2 водным раствором щелочи KOH увеличивается с ростом температуры. Повышение температуры с 25 до 45 °С приводит к увеличению скорости процесса на 40–50 %. При малой концентрации CO_2 в газовой смеси (0,1–1,0 %) щелочная очистка лимитируется сопротивлением в газовой фазе и обычно проводится в насадочных колоннах. При больших концентрациях (3–5 % CO_2) сопротивление абсорбции сосредоточено в жидкой фазе. Увеличение концентрации щелочи в растворе снижает скорость абсорбции, поэтому раствор KOH используют с начальной концентрацией не более 10 % и конечной — 1,5 %. Как показали исследования, при давлении 0,1 МПа коэффициент массопередачи процесса абсорбции в насадочной колонне составляет не менее 20 кмоль/м³·ч [8]. Давление на стадии абсорбции поддерживают равным 0,5–0,6 МПа, что позволяет без насосов транспортировать отработанный раствор в бак 4.

Очищенный воздух циркулирует внутри корабля при помощи нескольких газодувок. Контроль постоянно ведется за составом воздуха, который приходит после хемосорбции CO_2 из аппарата II и поступает в специальные фильтры 8, где удаляются остатки CO_2 , влага и др. Из бака смешения газов 9 водород и углекислый газ компрессором направляют на стадию производства водного раствора метанола. Данная стадия необходима для того, чтобы сбрасывать отходящие газы в виде раствора в океан.

Анализ технологий производства метанола. Смесь газов H_2 и CO_2 образует синтез-газ, который при определенном давлении 3–10 МПа и температуре 210–270 °С на медно-цинковом катализаторе вырабатывает метанол. Реакция идет с выделением достаточно большого количества тепла (50,5 кДж/моль), которое необходимо снимать в реакторе синтеза. В промышленных масштабах в мире, в том числе на подводных лодках, получение метанола проводят в основном на твердом катализаторе, т. е. в двухфазовой газовой системе. Недостатком этой системы является то, что при одноактном контакте синтез-газа с катализатором образуется 4,0–5,0 % метанола от общего объема газовой смеси, поэтому для дальнейшего повышения выхода метанола применяют многократную систему циркуляции газа. Для этого необходим циркуляционный компрессор, а для нагрева циркуляционного газа до начала реакции — дополнительный теплообменник [9], [10].

Процесс синтеза метанола можно проводить в трехфазной системе: твердый катализатор находится в инертной углеводородной жидкости, а синтез-газ проходит через нее, вступая в контакт с катализатором. Инертная жидкость используется для съема тепла реакции образования метанола. В трехфазной системе жидкая фаза обеспечивает практически изотермический процесс синтеза, а измельченный катализатор, находящийся в подвижном состоянии в жидкости, создает более полный контакт его с газовой смесью. Это предопределяет более высокий (до 15–20 %) выход метанола при однократном контакте.

Трехфазный синтез метанола был предложен в 1970 гг. американской компанией *Chemical Systems* [11]. Первый вариант этой технологии был разработан Институтом исследований по электроэнергетике США совместно с фирмой *Chemical Systems*. Данная технология известна под торговой маркой LPМЕОН. запатентовано несколько различных модификаций этого процесса [12].

Наиболее интенсивно LPМЕОН-процесс разрабатывался в период 1982–2003 гг. В результате исследований были выявлены основные закономерности синтеза метанола. Отличительным признаком данной технологии является применение катализатора в форме суспензии. Был использован катализатор $\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$. Концентрация гетерогенного катализатора составляла 10–30 масс. %. Имеются в наличии сообщения об эффективности модифицирования медьсодержащих катализаторов оксидом циркония. Установлено, что гетерогенный контакт CuO-ZnO при синтезе газовой смеси H_2/CO_2 ведет к возможности снижения уровня давления в реакторе, т. е. оптимальным становится давление 3 МПа при температуре 240–250 °С. Выход метанола за один проход может достигать 35–40 % [10]. В трехфазной системе получения метанола катализатор стабилен, а при двухфазном режиме он достаточно быстро дезактивируется.

Важным параметром каталитической суспензии является дисперсность катализатора. При уменьшении размера частиц увеличивается площадь активной поверхности катализатора, снижается сопротивление массопереносу и повышается устойчивость суспензии, а также увеличивается производительность по метанолу. Как показали зарубежные исследования, размеры частиц катализатора должны быть в диапазоне 40–70 мкм. Выбор жидкой дисперсионной среды также очень важен, так как от физических характеристик жидкости зависит массоперенос и теплообмен. Процесс синтеза исследован в инертных парафиновых средах, плотность которых должна быть меньше, чем у метанола и воды, а температура кипения — выше рабочей температуры синтеза метанола. Жидкая фаза обеспечивает автотермичность процесса синтеза, оказывает влияние на скорость реакции и даже на величину энергии активации. Наилучшими жидкими средами являются смеси из парафинов и нафтен (65 % парафины C_{16-38} и 35 % нафтен). Плотность такой смеси составляет 0,849 г/см³, вязкость — 31,2 сП при 25 °С, температура кипения — 316 °С, что дает невысокую долю испарения (не более 1 % от объема жидкости) [12]–[14].

Разработка трехфазной системы синтеза метанола. Разработана блок-схема малотоннажной установки получения метанола в трехфазной системе (рис. 2).

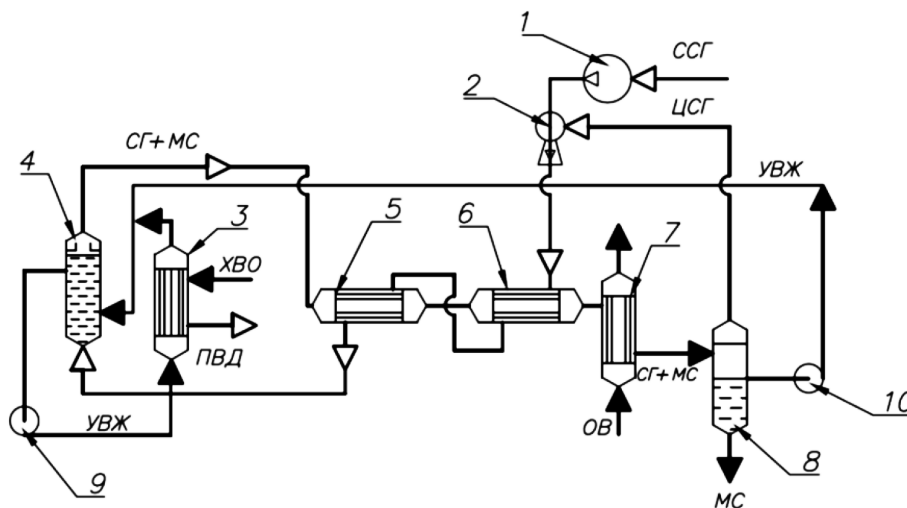


Рис. 2. Блок-схема установки получения метанола:

- 1 — компрессор; 2 — инжектор; 3 — котел; 4 — реактор кипящего слоя; 5, 6 — теплообменники;
7 — холодильник-конденсатор; 8 — конденсационная колонна; 9, 10 — насосы;
СГ — синтез-газ; ССГ — свежий синтез-газ; ЦСГ — циркуляционный синтез-газ;
МС — метанол-сырец; ХВО — химически очищенная вода; ОВ — охлаждающая вода;
ПВД — пар высокого давления; УВЖ — углеводородная жидкость

Свежая смесь (синтез-газ) подается компрессором 1 при давлении 3,6 МПа в инжектор 2, который подсасывает циркуляционный газ, смешиваясь со свежим газом. Далее газ подогревается в теплообменниках 5 и 6 до $T = 270$ °С и поступает в реактор кипящего слоя 4, где происходит образование метанола на медно-цинковом катализаторе. До начала процесса в реактор закачивается

инертная углеводородная жидкость с температурой кипения 360 °С для отвода тепла реакции. Нагретая УВЖ выводится из зоны реакции насосом 9, отдает тепло в котле 3, вырабатывающем водяной пар высокого давления, и возвращается в реактор 4. Смесь продуктов реакции синтеза и непрореагировавших синтез-газов (ЦСГ + МС) выходит из верхней части реактора 4, проходит теплообменники 5 и 6, охлаждается и поступает для конденсации в аппараты 7 и 8. После конденсации и вывода метанола-сырца непрореагировавший газ направляется в инжектор, смешивается со свежим синтез-газом и после нагрева возвращается в реактор 4. Унесенная вместе с газом УВЖ конденсируется в конденсационной колонне 8, отслаивается от метанола и насосом 10 возвращается в реактор 4.

Значительно уменьшенный рабочий объем газовой смеси может быть обеспечен циркуляцией с использованием инжектора вместо циркуляционного компрессора, что позволит существенно снизить расход электроэнергии и упростить технологическую схему производства метанола.

Образование метанола происходит с выделением тепла. Это тепло обеспечивает автотермичность процесса синтеза и используется в схеме для получения пара давлением до 2,7 МПа. Основные расходные показатели на тонну получаемого метанола представлены в табл. 2 [9].

Таблица 2

Основные расходные показатели на тонну получаемого метанола

Реакция $3\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	
H_2	2100 нм ³
CO_2	700 нм ³
Расход электроэнергии	53 кВт
Расход воды на конденсацию	0,5 м ³

Для синтеза 1 т/ч метанола требуется 1,0 м³ медно-цинкового катализатора с размерами гранул 0,5–1,0 мм. Для обеспечения псевдоожиженного движения гранул катализатора в жидком слое требуется 0,3 м³ УВЖ на 1,0 м³ катализатора, при этом скорость подачи газовой фазы должна быть выше скорости псевдоожижения гранул катализатора. УВЖ практически не расходуется, так как циркулирует в замкнутом объеме цикла синтеза метанола.

При проведении синтеза метанола H_2/CO_2 кроме воды образуются диметиловый эфир до 1,6 % и высшие спирты до 1,2 %. Эти примеси выводятся вместе с образовавшимся метанолом во внешнюю среду.

Предлагаемая установка получения метанола экологически безопасна, так как весь процесс происходит в замкнутом объеме. Износ катализатора в трехфазной системе практически исключается, так как катализатор движется в жидкой среде. Для трехфазной системы применяемая объемная скорость ниже, чем для двухфазной (3000 – 6000 ч⁻¹ по сравнению с 8000 – 12000 ч⁻¹).

Выводы (Summary)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предложено заменить существующую двухфазную технологию производства метанола на трехфазную, где твердый медно-цинковый катализатор находится в инертной высококипящей углеводородной жидкости во взвешенном состоянии.
2. Трехфазная технология существенно проще двухфазной, она менее энергоемкая, за один цикл синтеза вырабатывается 15–20 % метанола-сырца.
3. Наличие циркуляции высококипящей углеводородной жидкости (реактор – котел – утилизатор) позволяет проводить синтез метанола в автотермичном режиме.
4. Процесс синтеза метанола экологически безопасен, проходит в замкнутом объеме, что практически исключает износ катализатора.

5. Разработано высокоэффективное оборудование для трехфазной технологии синтеза метанола, которое за счет совмещения стадий процесса позволит создать мобильную установку для жизнеобеспечения экипажа подводной лодки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладышев Н. Ф. Системы и средства регенерации и очистки воздуха обитаемых герметичных объектов / Н. Ф. Гладышев, Т. В. Гладышева, С. И. Дворецкий. — М.: Спектр, 2016. — 203 с.
2. Клопкова Е. В. Атмосферный воздух, его физические и химические свойства, гигиеническое и экологическое значение: метод. разработка по дисциплине «Гигиена и экология человека» / Е. В. Клопкова. — Изд-во Коломенского медицинского колледжа, 2012. — 33 с.
3. Trent R. W. Кондиционирование воздуха на подводных лодках / R. W. Trent // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. — 2003. — № 5. — С. 64–71.
4. Гительзон И. Замкнутые системы жизнеобеспечения / И. Гительзон, А. Дегерменджи, А. Тихомиров // Наука в России. — 2011. — №6 (186). — С. 4–10.
5. Мирошниченко Ю. В. Характеристика способов получения кислорода медицинского и перспективы их применения в военном здравоохранении / Ю. В. Мирошниченко, Р. А. Еникеева, Е. М. Кассу // Вестник Российской военно-медицинской академии. — 2016. — № 2 (54). — С. 157–163.
6. Кулешов В. Н. Высокоэффективные композитные катоды для щелочного электролиза воды / В. Н. Кулешов [и др.] // Журнал прикладной химии. — 2017. — Т. 90. — № 3. — С. 327–331.
7. Кулешов В. Н. Новые диафрагменные материалы для электролизеров воды с щелочным электролизом / В. Н. Кулешов, Ю. А. Славнов, В. Н. Кулешов, С. А. Довбыш // Естественные и технические науки. — 2013. — № 6 (68). — С. 59–63.
8. Ключенкова М. И. Защита окружающей среды от промышленных газовых выбросов: учебное пособие / М. И. Ключенкова, А. В. Луканин. — М.: Изд-во МГУИЭ, 2012. — 144 с.
9. Продан В. Д. Малотоннажное производство метанола / В. Д. Продан, М. И. Ключенкова, Е. И. Бородачева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2013. — № 7. — С. 17–18.
10. Технологии производства метанола: современные тенденции [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=3448 (дата обращения: 01.12.2018).
11. Pat. 4031123 USA, IPC C07C 29/1512 Methanol production in a paraffinic medium / R. L. Espino, T. S. Pletzke; Chem Systems Inc. assignee. — № US4031123A; app. 21.11.1975; Pub. 21.06.1977. — 5 p.
12. Хаджиев С. Н. Slurry-технология в синтезе метанола (обзор) / С. Н. Хаджиев, Н. В. Колесниченко, Н. Н. Ежова // Нефтехимия. — 2016. — Т. 56. — № 2. — С. 95. DOI: 10.7868/S0028242116020076.
13. Загашвили Ю. В. Комплекс получения синтез-газа для малотоннажного производства метанола / Ю. В. Загашвили, В. Н. Ефремов, А. М. Кузьмин, И. И. Лишинер // НефтеГазоХимия. — 2017. — № 1. — С. 19–26.
14. Кемалов Р. А. Технологии получения и применения метанола: учебное пособие / Р. А. Кемалов, А. Ф. Кемалов. — Казань: Изд-во КГУ, 2016. — 167 с.

REFERENCES

1. Gladyshev, N. F., T. V. Gladysheva, and S. I. Dvoretzskii. *Sistemy i sredstva regeneratsii i ochistki vozdukha obitaemykh germetichnykh ob'ektov*. M.: Izdatel'skii dom «Spektr», 2016.
2. Klopokova, E. V. *Atmosfernyi vozdukh, ego fizicheskie i khimicheskie svoistva, gigienicheskoe i ekologicheskoe znachenie: met. razrab. po distsipline «Gigiena i ekologiya cheloveka»*. Kolomenskii meditsinskii kolledzh, 2012.
3. Trent, R. W. “Konditsionirovanie vozdukha na podvodnykh lodkakh.” *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika* 5 (2003): 64–71.
4. Gitel'zon, I., A. Degermendzhi, and A. Tikhomirov. “Zamknutyie sistemy zhizneobespecheniya.” *Nauka v Rossii* 6(186) (2011): 4–10.
5. Miroshnichenko, Yu. V., R. A. Yenikeieva, and E. M. Kassu. “Characteristics of producing medical oxygen and prospects of its usage in military health care.” *Vestnik of Russian military medical Academy* 2(54) (2016): 157–163.

6. Kuleshov, V. N., N. V. Kuleshov, S. A. Dovbysh, E. Y. Udris, Y. A. Slavnov, S. A. Grigoriev, and N. A. Yash-tulov. "High-performance composite cathodes for alkaline electrolysis of water." *Russian Journal of Applied Chem-istry* 90.3 (2017): 389–392. DOI: 10.1134/S1070427217020107.

7. Kuleshov, V. N., Yu. A. Slavnov, V. N. Kuleshov, and S. A. Dovbysh. "Novye diafragmennye materialy dlya elektrolizirov vody s shchelochnym elektrolitom." *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* 6(68) (2013): 59–63.

8. Klyushenkova, M. I., and A. V. Lukanin. *Zashchita okruzhayushchei sredy ot promyshlennykh gazovykh vybrosov: uchebnoe posobie*. M.: MGUIE, 2012.

9. Prodan, V. D., M. I. Klyushenkova, and E. I. Borodacheva. "Malotonnazhnoe proizvodstvo metanola." *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* 7 (2013): 17–18.

10. Tekhnologii proizvodstva metanola: sovremennye tendentsii. Web. 1 Dec. 2018 <http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=3448>.

11. Espino, Ramon L., and Thomas S. Pletzke. US 4031123 B, IPC C07C 29/1512. Methanol production in a paraffinic medium. USA assignee. Publ. 21 June 1977.

12. Khadzhiyev, S. N., N. V. Kolesnichenko, and N. N. Ezhova. "Slurry-technology in methanol synthesis (Review)." *Petroleum Chemistry* 56.2 (2016): 77–95. DOI: 10.1134/S0965544116020079.

13. Zagashvily, Yu. V., V. N. Efremov, A. M. Kuzmin, and I. I. Lishiner. "Complex for obtaining synthesis-gas for smalltonnage production of methanol." *OIL & GAS CHEMISTRY* 1 (2017): 19–26.

14. Kemalov, R.A., and A.F. Kemalov. *Tekhnologii polucheniya i primeneniya metanola: uchebnoe posobie*. Kazan': Kazan. Un-t, 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Клюшenkova Марина Ивановна —

кандидат технических наук, доцент
ФГУП «Институт химических реактивов
и особо чистых химических веществ
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»
107076, Российская Федерация, Москва,
ул. Богородский Вал, 3
e-mail: klyushenkova@gmail.com

Назаров Вячеслав Иванович —

кандидат технических наук, доцент
ФГУП «Институт химических реактивов
и особо чистых химических веществ
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»
107076, Российская Федерация, Москва,
ул. Богородский Вал, 3
e-mail: nazarov_vi41@mail.ru

Попов Александр Павлович —

младший научный сотрудник
ФГУП «Институт химических реактивов
и особо чистых химических веществ
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»
107076, Российская Федерация, Москва,
ул. Богородский Вал, 3
e-mail: schrei6@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Klyushenkova, Marina I. —

PhD, associate professor
Institute of Chemical Reagents
and Highly Pure Chemicals
of the National Research Center
«Kurchatov Institute»
3 Bogorodsky Val Str., Moscow, 107076,
Russian Federation
e-mail: klyushenkova@gmail.com

Nazarov, Vyacheslav I. —

PhD, associate professor
Institute of Chemical Reagents
and Highly Pure Chemicals
of the National Research Center
«Kurchatov Institute»
3 Bogorodsky Val Str., Moscow, 107076,
Russian Federation
e-mail: nazarov_vi41@mail.ru

Popov, Aleksandr P. —

Junior Researcher
Institute of Chemical Reagents
and Highly Pure Chemicals
of the National Research Center
«Kurchatov Institute»
3 Bogorodsky Val Str., Moscow, 107076,
Russian Federation
e-mail: schrei6@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10 декабря 2018 г.

Received: December 10, 2018.