

УДК 641.664.8.037.5

Аппаратное оформление производства твёрдого диоксида углерода

Д-р техн. наук **Е. Н. НЕВЕРОВ**¹, д-р. техн. наук **И. А. КОРОТКИЙ**²,
д-р техн. наук **А. Н. РАСЩЕПКИН**³, канд. техн. наук **М. И. ИБРАГИМОВ**⁴

¹neverov42@mail.ru, ²krot69@mail.ru, ³technoholod@mail.ru, ⁴kompressor_7@mail.ru

Кемеровский государственный университет

Рассмотрен метод переработки и утилизации диоксида углерода, подходящий для использования в пищевой, холодильной и других областях промышленности, при этом обеспечивающий высокий уровень утилизации и переработки углекислого газа и его дальнейшего использования. Проведен анализ востребованности такого метода в сфере переработки жидкой и получения твердой двуокиси углерода. Особенностью концепции данного метода стал принцип отверждения и возможность производства твердой углекислоты с полным использованием сырья без потерь в окружающую среду. Разработана установка для получения твердого диоксида углерода. В статье приведено описание технологической схемы установки и описан принцип ее работы. Отмечены конкурентные преимущества данной установки перед аналогами. При сравнительно небольших габаритных размерах был предусмотрен возврата диоксида углерода путем сжижения обратно в технологический цикл. Подключение питания осуществляется, как из баллонов жидкой углекислотой, так и путем присоединения трубопровода жидкого диоксида углерода из технологических схем сжижения на предприятиях.

Ключевые слова: диоксид углерода, утилизация, установка, холодильная машина.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 12.11.2019, принята к печати 27.01.2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-1-22-26

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Неверов Е. Н., Короткий И. А., Расщепкин А. Н., Ибрагимов М. И. Аппаратное оформление производства твердого диоксида углерода // Вестник Международной академии холода. 2020. № 1. С. 22–26.

Technological scheme for solid carbon dioxide production

D. Sc. **E. N. NEVEROV**¹, D. Sc. **I. A. KOROTKIY**², D. Sc. **A. N. RASCHEPKIN**³, Ph. D. **M. I. IBRAGIMOV**⁴

¹neverov42@mail.ru, ²krot69@mail.ru, ³technoholod@mail.ru, ⁴kompressor_7@mail.ru

Kemerovo State University

The article concerns a technique for reprocessing and utilizing carbon dioxide which can be applied in food, refrigerating and other industries. The technique guarantees high level of reprocessing and utilizing carbon dioxide and its subsequent use. The demand for the technique in the field liquid carbon dioxide reprocessing and solid carbon dioxide production of us analyzed. The peculiarities of the technique are the principle of hardening and the possibility to produce solid carbon dioxide with the full use of raw materials in an environmental safe way. The plant for solid carbon dioxide production has been developed, its technological scheme and principle of operation being presented. The competitive advantages over exiting analogues are shown. At comparatively small sizes carbon dioxide recycling by its liquefaction is provided. Both balloons with liquid carbon dioxide and connecting the plant to a liquid carbon dioxide pipeline from liquefaction circuits at the enterprises can be used for carbon supply.

Keywords: carbon dioxide, utilizing, plant, refrigerating machine.

Article info:

Received 12/11/2019, accepted 27/01/2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-1-22-26

Article in Russian

For citation:

Neverov E. N., Korotkiy I. A., Raschepkin A. N., Ibragimov M. I. Technological scheme for solid carbon dioxide production. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2020. No 1. p. 22–26.

Введение

В последние годы отечественные и зарубежные ученые активно принимают участие в разработке технологий по переработки и утилизации диоксида углерода, что соответствует Парижскому соглашению, подписанному Россией в 2015 г. Соглашение направлено на осуществление мер по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г. и ограничению роста средней температуры на планете на 1,5 °C [1].

Минприроды России, совместно с Минэкономразвития, разрабатывают для промышленных предприятий методику отчетности по выбросам парниковых газов. Компании и предприятия, выбросы которых будут превышать 150000 т углекислоты — эквивалента за год, должны будут до конца 2019 г. обеспечить передачу отчетности о выбросах Росприроднадзору. К началу 2020 г. предоставлять подобные сведения будут уже все производства с годовыми выбросами более 50000 т. После этого будет создана система проверки данных и отчетности и введены инструменты финансового воздействия, т. е. установлен налоговый сбор. [2, 3]

В связи с тем, что в ближайшем будущем предприятиям придется платить за выброс диоксида углерода в атмосферу, можно сделать предположения о возникновении потребности на предприятиях в эффективных и экономически выгодных способах утилизации и переработке бросовых газов, среди которых углекислота. Разработка и создание технологий по обеспечению утилизации и переработке углекислого газа будут иметь востребованный характер на весьма продолжительный период [2].

Перспективных направления применения бросового углекислого газа могут быть реализованы на предприятиях химической и нефтехимической промышленности, фармацевтической и биотехнологической, пищевой промышленности и сельского хозяйства, в медицине, металлургии и машиностроении, в целлюлозно-бумажной промышленности, электронике и экологии [4]–[7].

В настоящее время для получения диоксида углерода в твердой фазе, как правило, используют способы, основанные на процессе дросселирования жидкой углекислоты до атмосферного давления, при этом происходит преобразование жидкой углекислоты в газообразное и снегообразное состояние. В газообразное состояние переходит до 70% CO₂, который затем попадает в атмосферу, реже рекупируется [4, 8, 9, 10].

Исходя из вышесказанного и актуальности мер по снижению углекислого газа в атмосфере, целью настоящего исследования является разработка схемы установки для производства твердого диоксида углерода.

Постановка задачи исследования

Для достижения поставленной цели была разработана схема установки для производства твердого диоксида углерода и его утилизации в процессе использования в пищевой, холодильной и других областях промышленности.

Данная технология является определенной инновацией в сфере переработки жидкой и получения твердой двуокиси углерода. Концептуально новый принцип отверждения и возможность производства твердой угле-

кислоты с полным использованием сырья без потерь в окружающую среду, реализуется в аппарате отверждения диоксида углерода.

Обсуждение результатов

Разработанная установка представляет собой два замкнутых холодильных контура с циркулирующим по первому диоксидом углерода, а по второму холодильного агента. Первый контур обеспечивает регенеративный цикл ожижения двуокиси углерода, которая после дросселирования переходит в газообразное состояние. Процент перешедшего в газовую форму диоксида углерода, будет хоть и не велик, но все же присутствовать из-за физико-химических свойств данного вещества. Объясняется это тем, что CO₂ обладает весьма специфичным поведением при относительно не высоких температурах [8, 11–15].

Для того чтобы избежать попадания в окружающую среду самого «долгоживущего» парникового газа предусмотрена система ожижения, позволяющая абсолютно весь диоксид углерода использовать в системе. Применение цикла ожижения обусловлено экономическими показателями, т. к. чем меньше будет утечек, тем больший процент сырья будет переведен в полезный ресурс, который в дальнейшем будет реализован. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1.

Из баллона 5 жидкая двуокись углерода поступает через запорно-регулирующую арматуру в аппарат отверждения 10. Образовавшийся в корпусе аппарата углекислый газ отсасывается углекислотным компрессором 2, после сжатия которого нагнетает его в рекуперативный теплообменник. Идущий за теплообменником маслоотделитель 3 очищает паровой поток перед теплообменником (испаритель-конденсатор) 4. Сконденсировавшаяся в испарителе-конденсаторе 4 жидкость проходит через воздухоотделитель 7 и через регулирующий вентиль 9 подается в аппарат отверждения 10. Охлаждающая машина состоит из двух ступенчатого компрессора 1 всасывающего и сжимающего перегретый пар из теплообменника 4 первой ступенью компрессора и нагнетающий его во вторую ступень компрессора, где поток смешивается с хладагентом, идущим из переохладителя 12. Вторая ступень компрессора нагнетает пар в конденсатор воздушного охлаждения 15, где переходит в жидкое агрегатное состояние. После конденсатора 15 жидкий холодильный агент поступает в линейный ресивер 14. После ЛР в переохладитель поступает хладон двумя потоками, один из которых дросселируется ТРВ 13 до промежуточного давления и идет на смешение во вторую ступень компрессора. Второй поток переохлаждается и дросселируется ТРВ 11 до давления испарения. Который идет для питания аппарата отверждения (испаритель) 8, в котором частично выкипает и поступает на докипание в теплообменник (испаритель-конденсатор) 4.

Данная установка работает следующим образом, в контур ожижения диоксида углерода включен аппарат 10 отверждения диоксида углерода, который так же является частью второго контура (охлаждающего). К этому аппарату и подключена подача жидкого CO₂ (сырья) из транспортировочных баллонов 5 через редуктор 8 для выравнивания давлений, оснащенного системой контро-

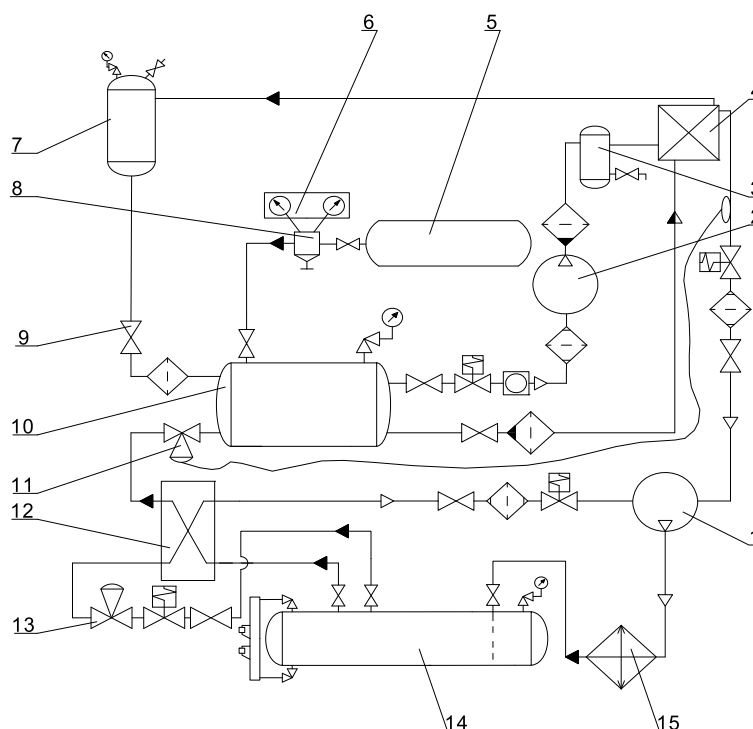


Рис. 1. Принципиальная схема установки для получения диоксида углерода в твердой фазе

Fig. 1. A plant for solid carbon dioxide production

для давления 6. Извлечение твердых блоков CO_2 (готовый продукт) так же осуществляется из этого аппарата. Помимо него в контур включен углекислотный компрессорный агрегат 2, осуществляющий сжатие, образовавшегося при технологическом цикле газа и нагнетание его в теплообменник (испаритель-конденсатор) 4. В теплообменнике происходит охлаждение нагретого сжатого газа и его конденсация, за счет потока парожидкостного фреона из охлаждающего цикла, идущего после аппарата отверждения 10. Остатки не испарившегося хладагента выкипают в теплообменнике, поглощая тепло диоксида углерода, который переходит в жидкую фазу. Данный теплообменник позволяет увеличить энергоэффективность обоих циклов, так же исполняя роль осушителя перед всасыванием в компрессор фреоновой контура. После теплообменника установлен дроссельно-регулирующий вентиль 9, обеспечивающий оптимальную подачу жидкого диоксида углерода в аппарат отверждения 10. В контуре установлен маслоотделитель 3, воздухоотделитель 7 и различные фильтры очистки, для получения более качественного и чистого продукта.

Второй контур установки является парокompрессионной холодильной машиной. Работающая на фреоне по циклу двух ступенчатого сжатия с теплообменником переохладителем 12, обеспечивающая требуемые температуры в камере отверждения 10, для кристаллизации двуоксида углерода и снижения температуры теплообменнике 4 для его ожижения. Аппарат отверждения 10 исполняет в данном цикле, роль испарителя. В корпусе, которого осуществляется движение по трубопроводу фреона, который кипит и поглощает тепло от жидкого диоксида углерода, тем самым осуществляется кристаллизация CO_2 в специальных формах. После чего, недо-

выкипевший фреон поступает в теплообменник первого контура, где происходят описанные выше процессы. Уже перегретый пар из теплообменника всасывается в первую ступень поршневого компрессора 1 и сжимается до промежуточного давления, нагнетается во вторую ступень сжатия, смешиваясь с охлажденным хладагентом из переохладителя 12. Последний представляет собой пластинчатый теплообменник, где часть жидкого хладагента мгновенно испаряется и отнимает теплоту от основной массы фреона R410a. Испарившийся хладагент поступает из переохладителя в виде насыщенного влажного пара. После смешения с парообразным хладагентом из компрессора низкой ступени, оставшаяся влага хладагента испаряется, одновременно охлаждая пар из компрессора первой ступени. Данная технология позволяет сбивать перегрев и получать более низкую температуру пара на выходе из компрессора и повышенный холодильный коэффициент. Перед компрессором предусмотрена система фильтрации и защиты от гидроудара. Далее проходя через конденсатор 15, газ посредством теплообмена с окружающей средой осуществляет фазовый переход в жидкость, которая сливается в линейный ресивер 14. Линейный ресивер предназначен для хранения жидкого хладагента поступающего из конденсатора и равномерную его подачу в переохладитель 12. С линейного ресивера 14 жидкий хладон разделяется на два потока, первый поступающий затем через регулирующий вентиль 13 в переохладитель с промежуточным давлением, где выполняет описанную выше функцию. Второй поток, охлаждаясь за счет кипения первого потока в переохладителе 12, поступает на ТРВ 11, который питает уже сам аппарат «испаритель», где цикл замыкается.

Заключение

Разработана схема установки для производства твердого диоксида углерода, в которой реализован процесс возврата диоксида углерода путем сжижения обратно в технологический цикл. В данную схему включен аппарат, для преобразования жидкого диоксида углерода в твердое агрегатное состояние, который позволяет получать твердую углекислоту без потерь CO_2 и без механического воздействия на получаемый продукт. Относительно малые габаритные размеры позволяют устанавливать аппарат отверждения на одной раме, как с холодильным контуром, так и с контуром ожижения. Подключение питания, возможно осуществлять как из баллонов жидкой

углекислотой, так и путём присоединения трубопровода жидкого диоксида углерода из технологических схем ожижения на предприятиях. Отсутствие в аппарате элементов механического воздействия, значительно увеличивает срок службы данного аппарата. Достаточная простота конструкции также является неоспоримым достоинством, позволяющим создавать подобные аппараты в короткие сроки с минимальной затратой труда. Возможность получения высокопотенциального хладакумулятора для использования его в различных целях, а снижение бесполезной и вредной эмиссии в окружающую среду делает данную схему не просто актуальной, а необходимой для переработки диоксида углерода.

Литература

References

1. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Август 2019. Выпуск 52. С. 24. [Электронный ресурс]: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23719.pdf>. (Дата обращения 3.11.2019)
2. Минприроды и Минэкономразвития готовятся собрать деньги за углекислый газ // Ведомости. 17 ноября 2015 г. [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/economy/articles/2015/11/17/617269-dengi-uglekislui-gaz> (Дата обращения: 03.11.2019).
3. Неверов Е. Н., Коротких П. С. Исследование процесса теплообмена при охлаждении форели с применением диоксида углерода. // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 3. С. 383–389.
4. Ховалыг Д. М., Синицына М., Бараненко А. В., Цой А. П. Энергоэффективность и экологическая безопасность техники низких температур // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 1. С. 2–6
5. Neverov E. N., Korotkiy I. A., Korotkih P. S., Lifenceva L. V. The Method of Carbon-Dioxide Recovery in Fish-Processing Industry. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019, No 1. C. 224, Code 131457.
6. Неверов Е. Н., Гринюк А. Н., Третьякова Н. Г. Применение диоксида углерода для охлаждения тушек кролика // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2 (Часть 2). [Электронный ресурс]: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22318> (Дата обращения: 03.11.2019).
7. Feliu J. A., Manzulli M., Alós M. A Determination of Dry-Ice Formation during the Depressurization of a CO_2 Re-Injection System. CETCCUS, 2017.
8. Пименова Т. Ф. Производство и применение сухого льда, жидкого и газообразного диоксида углерода: Учебник. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 208 с.
9. Антонов А. Н., Архаров А. М., Архаров И. А. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты. Учебник для вузов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. 536 с.
10. Muhammad Sarfraz, M. Ba. Shammakh. ZIF-based water-stable mixed-matrix membranes for effective CO_2 separation from humid flue gas // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2018. Vol. 96, Issue 11. P. 2475–2483.
11. Неверов Е. Н. Производство и применение диоксида углерода в промышленности: монография. Кемерово: КТИПП, 2012. 179 с.
12. Данилов М. М., Смирнов А. С. Основные особенности образования твердой фазы диоксида углерода // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2. С. 37–40.
1. Bulletin on current trends in the Russian economy. August 2019. Issue 52. P. 24. [Electronic resource]: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23719.pdf>. (accessed 3.11.2019) (in Russian)
2. The Ministry of natural resources and the Ministry of economic development are preparing to raise money for carbon dioxide. *Vedomosti*. November 17, 2015 [Electronic resource]: <https://www.vedomosti.ru/economy/articles/2015/11/17/617269-dengi-uglekislui-gaz> (accessed: 03.11.2019). (in Russian)
3. Neverov E. N., Korotkih P. S. Study of process of heat exchange during cooling of the trout with the use of carbon dioxide. *Equipment and technology of food production*. 2019. Vol. 49. No. 3. Pp. 383–389. (in Russian)
4. Khovalyg D. M., Sinityna M., Baranenko A. V., Tsoi A. P. Energy efficiency and environmental safety of low temperature equipment. *Scientific journal of NIU ITMO. Series: Refrigeration and air conditioning*. 2014. No. 1. Pp. 2–6. (in Russian)
5. Neverov E. N., Korotkiy I. A., Korotkih P. S., Lifenceva L. V. The Method of Carbon-Dioxide Recovery in Fish-Processing Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, No 1. C. 224, Code 131457.
6. Neverov E. N., Grinyuk A. N., Tretyakova N. G. Application of carbon dioxide for cooling rabbit carcasses. *Modern problems of science and education*. 2015. No. 2 (Part 2). [Electronic resource]: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22318> (date accessed: 03.11.2019). (in Russian)
7. Feliu J. A., Manzulli M., Alós M. A Determination of Dry-Ice Formation during the Depressurization of a CO_2 Re-Injection System. CETCCUS, 2017.
8. Pimenova T. F. Production and application of dry ice, liquid and gaseous carbon dioxide: Textbook. Moscow: Light and food industry, 1982. 208 PP. (in Russian)
9. Antonov A. N., Arkharov A. M., Arkharov I. A. Machine low-temperature equipment. Cryogenic machines and tools. Textbook for universities. Moscow: Moscow state technical university N. E. Bauman, 2015. 536 PP. (in Russian)
10. Muhammad Sarfraz, M. Ba. Shammakh. ZIF-based water-stable mixed-matrix membranes for effective CO_2 separation from humid flue gas. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2018. Vol. 96, Issue 11. P. 2475–2483.
11. Neverov E. N. Production and application of carbon dioxide in industry: monograph. Kemerovo: KTI PP, 2012. 179 PP. (in Russian)
12. Danilov M. M., Smirnov A. S. Main features of formation of the solid phase of carbon dioxide. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014. No. 2. Pp. 37–40. (in Russian)

13. Анулов С. А. Криогенные технологии разделения газов. М.: АР-Консалт, 2017. 233 с.
14. Данилов М. М., Назарова А. С. Влияние параметров газовой смеси на величину образующихся кристаллов диоксида углерода // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2016. № 4 (24). С. 1–5.
15. Алтунин В. В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М.: Изд-во стандартов, 1975. 546 с.
13. Anurov S. A. Cryogenic technologies for gas separation. Moscow: AR-consult, 2017. 233 p. (in Russian)
14. Danilov M. M., Nazarova A. S. Influence of gas mixture parameters on the value of formed carbon dioxide crystals. *Scientific journal of ITMO research INSTITUTE. Series «Refrigeration and air conditioning»*. 2016. No. 4 (24). Pp. 1–5. (in Russian)
15. Altunin V. V. Thermophysical properties of carbon dioxide. Moscow: Publishing house of standards, 1975. 546 PP. (in Russian)

Сведения об авторах

Неверов Евгений Николаевич

Д. т. н., профессор кафедры Теплохладотехники Кемеровского государственного университета, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6, neverov42@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3542-786X

Короткий Игорь Алексеевич

Д. т. н., профессор кафедры Теплохладотехники Кемеровского государственного университета, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6, krot69@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4379-9652

Расщепкин Александр Николаевич

Д. т. н., профессор кафедры Теплохладотехники Кемеровского государственного университета, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6, technoholod@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6578-5545

Ибрагимов Максим Исмагилович

К. т. н., доцент кафедры Теплохладотехники Кемеровского государственного университета, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная 6, kompressor_7@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2406-6672

Information about authors

Neverov Yevgeniy N.

D. Sc., Professor of the Department of Thermal Refrigeration, of Kemerovo State University, 650043, Russia, Kemerovo, Krasnaya str. 6, neverov42@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3542-786X

Korotkiy Igor A.

D. Sc., Professor of the Department of Thermal Refrigeration, of Kemerovo State University, 650043, Russia, Kemerovo, Krasnaya str. 6, krot69@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4379-9652

Raschepkin Aleksander N.

D. Sc., Professor of the Department of Thermal Refrigeration, of Kemerovo State University, 650043, Russia, Kemerovo, Krasnaya str. 6, technoholod@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6578-5545

Ibragimov Maxim I.

Ph. D., Associate professor of the Department of Thermal Refrigeration, of Kemerovo State University, 650043, Russia, Kemerovo, Krasnaya str. 6, kompressor_7@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2406-6672



29th International Conference
Ecology & Safety
 20–23 June 2020
 Burgas, Bulgaria
<http://www.sciencebg.net>

29 Международная конференция **Экология и безопасность**

20 – 23 июня 2020 г.
 Бургас, Болгария

Тематика конференции:

- Энергия, климат и глобальная безопасность в 21-ом столетии;
- Экология воздуха, почвы и воды;
- Экология человека — здоровье и безопасность;
- Гражданская оборона и борьба со стихийными бедствиями.

Topics:

- Energy, Climate and Global Security in the 21st Century;
- Ecology of Air, Soil and Water;
- Health and Safety;
- Civil Protection and Disaster Management.

Контакты (Contacts)

E-mail: ecology@sciencebg.net