



**ОБЗОР ВОЗМОЖНЫХ МЕТОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ НУЖД
СПГ
REVIEW OF POSSIBLE METHODS OF WATER TREATMENT FOR LNG
NEEDS**

Авсюкевич Алексей Петрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Водопользования и Экологии Санкт-Петербургского Государственного Архитектурно-Строительного Университета, Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, г. Санкт-Петербург.

Карпов Виктор Сергеевич магистрант, Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, г. Санкт-Петербург.

Karpov Viktor Sergeyevich, Master's degree student, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia.

e-mail: vikkarпов.96@gmail.com

Alexey Petrovich Avsyukevich, Ph.D. in Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Water Use and Ecology, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia.

e-mail: aap.ecoprom@gmail.com

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Аннотация. Данная статья представляет обзор различных методов водоподготовки, применяемых в производстве сжиженного природного газа (СПГ). Водоподготовка имеет решающее значение для обеспечения безопасности, эффективности и надежности процесса СПГ. В статье рассмотрены традиционные и инновационные методы, включая фильтрацию, осмотическую десалинацию, обратный осмос, электрофлотацию и ионный обмен. Преимущества, ограничения и примеры применения каждого метода подробно описаны. Статья предоставляет информацию для предприятий, занимающихся производством СПГ, чтобы помочь им принять обоснованные решения при выборе наиболее подходящего метода водоподготовки для своих потребностей.

Annotation. This article provides an overview of various water treatment methods used in the production of liquefied natural gas (LNG). Water treatment is crucial for ensuring the safety, efficiency, and reliability of the LNG process. The article explores both traditional and innovative methods, including filtration, osmotic desalination, reverse osmosis, electroflotation, and ion exchange. The advantages, limitations, and examples of each method are extensively discussed. The article aims to provide information for LNG production facilities to make informed decisions when selecting the most suitable water treatment method for their needs.

Ключевые слова: водоподготовка, мокрая газоочистка, удаление примесей из воды, проектирование технологического оборудования, эффективность.

Keywords: Water treatment, wet gas cleaning, water treatment, Impurity removal from water, Technological equipment design, Efficiency.

Качество воды играет важную роль в производстве сжиженного природного газа (СПГ), непосредственно влияя на эффективность и безопасность процесса. Присутствие примесей, загрязнений и других веществ может вызывать проблемы, такие как забивание трубопроводов, коррозия оборудования и снижение качества конечного продукта. Поэтому

водоподготовка, направленная на удаление этих примесей, является неотъемлемой частью процесса производства СПГ. Существуют различные эффективные методы водоподготовки, такие как фильтрация, обратный осмос, ионный обмен и другие, которые обеспечивают достаточное качество воды, гарантируя надежную и безопасную работу всего процесса производства СПГ.

1. Фильтрация. Фильтрация является одним из основных методов водоподготовки [1]. Этот процесс основан на использовании различных типов фильтров, которые способны улавливать механические примеси различных размеров [2]. Фильтры могут быть выполнены из разных материалов, таких как песок, уголь, активированный уголь, мембраны и другие [3].

Применение фильтрации позволяет удалить суспензии, песок, глину и другие механические примеси из воды, что способствует повышению ее качества и предотвращает возможные проблемы, связанные с забиванием трубопроводов и коррозией оборудования [4]. Кроме того, фильтрация может быть использована в сочетании с другими методами водоподготовки для достижения более эффективного очищения воды от различных примесей [5].

2. Обратный осмос. Обратный осмос является эффективным методом водоподготовки, который основан на использовании полупроницаемой мембраны для разделения воды и примесей под высоким давлением [6, с. 10-15]. В процессе обратного осмоса, вода пропускается через мембрану, которая задерживает соли, органические вещества и другие примеси, позволяя получить деминерализованную воду высокого качества [7, с. 50-60]. Этот метод является особенно полезным для производства сжиженного природного газа (СПГ), так как качество воды играет важную роль в процессе производства. Высококачественная деминерализованная вода, полученная с помощью обратного осмоса, необходима для различных этапов производства СПГ, включая охлаждение газа и обеспечение безопасности оборудования [8, с. 80-90].

Обратный осмос является эффективным методом удаления солей и других примесей из воды, обеспечивая высокое качество воды для СПГ-производства и

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

предотвращая возможные проблемы, связанные с коррозией и отложениями в системах [9, с. 120-135].

Обратный осмос является процессом, который проходит через несколько стадий. В начале, вода подвергается предварительной обработке, чтобы удалить крупные частицы и загрязнения. Затем, она под давлением проходит через полупроницаемую мембрану, где осуществляется разделение воды и примесей. Мембрана позволяет проходить только чистой воде, в то время как соли, органические вещества и другие примеси остаются на другой стороне мембраны. Полученная деминерализованная вода высокого качества может быть использована в различных отраслях, включая производство СПГ, питьевую воду и промышленные процессы.

Важным аспектом обратного осмоса является поддержание оптимальных условий процесса. Это включает контроль давления, скорости потока и регенерацию мембраны. Также важно обеспечить регулярное обслуживание и замену мембраны для поддержания эффективности процесса.

Обратный осмос является широко применяемым методом водоподготовки, который обеспечивает высокое качество деминерализованной воды. Он нашел свое применение в различных отраслях, включая энергетику, пищевую промышленность, фармацевтику и многие другие. Этот метод продолжает развиваться и улучшаться с целью повышения эффективности и снижения затрат.

Таким образом, обратный осмос является важным методом водоподготовки, который обеспечивает высокое качество деминерализованной воды и находит широкое применение в различных отраслях промышленности и жизни.

3. Ионный обмен. Ионный обмен - это метод водоподготовки, который использует специальные смолы для удаления различных ионов из воды [10]. Процесс ионного обмена основан на взаимодействии ионов воды с заряженными частицами смолы, что позволяет удалить различные соли и примеси [10]. Этот

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

метод эффективен для снижения содержания солей и улучшения качества воды, используемой в производстве СПГ.

Ионный обмен нашел широкое применение в различных отраслях, включая химическую промышленность, энергетику и пищевую промышленность. Специальные смолы, такие как ионообменные смолы на основе полимеров, обладают способностью селективно улавливать ионы, что делает ионный обмен эффективным методом очистки воды [11]. Он позволяет удалить вредные ионы, такие как соли тяжелых металлов, аммоний и другие загрязнения, что способствует улучшению качества воды и обеспечению безопасности процессов производства [12].

4. Ультрафильтрация. Ультрафильтрация - это метод водоподготовки, основанный на использовании мембран с порами меньшего размера по сравнению с мембранами, используемыми в фильтрации [13]. Этот процесс позволяет удалять более крупные частицы, включая коллоиды, бактерии и вирусы, сохраняя при этом полезные минералы и элементы в воде [14]. Ультрафильтрация обеспечивает высокое качество воды и является важным этапом в процессе водоподготовки.

Мембраны, используемые в ультрафильтрации, имеют поровую структуру, позволяющую пропускать только молекулы и частицы определенного размера [15]. Благодаря этому, ультрафильтрация может эффективно удалить микроорганизмы, взвешенные частицы и органические вещества, что способствует повышению качества воды [16]. Важным преимуществом ультрафильтрации является сохранение полезных компонентов в воде, таких как минералы и элементы, которые необходимы для здоровья и благополучия организма [17].

5. Вакуумный выпариватель. Вакуумный выпариватель является одним из методов водоподготовки, который может использоваться в процессе производства сжиженного природного газа (СПГ) [18, с. 65-70]. Однако, несмотря на свою практичность, этот метод имеет некоторые недостатки.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Один из основных недостатков вакуумного выпаривателя в производстве СПГ заключается в его высоком потреблении энергии [19, с. 90-95]. Процесс нагревания и испарения воды под вакуумом требует значительных энергетических затрат, что может повлечь за собой высокие операционные расходы [20, с. 130-135]. Это делает вакуумный выпариватель неэффективным с экономической точки зрения.

Кроме того, применение вакуумного выпаривателя может привести к проскоку гуминовых кислот [21, с. 180-185]. Гуминовые кислоты - это органические вещества, содержащиеся в природных водах, и их присутствие может негативно повлиять на процесс выпаривания и качество получаемой воды [22, с. 210-215]. Это может потребовать дополнительных этапов обработки для удаления гуминовых кислот и обеспечения требуемого качества воды.

В заключении можно отметить, что водоподготовка является важным процессом для обеспечения высокого качества воды в различных отраслях промышленности и жизни. В данной статье были рассмотрены несколько основных методов водоподготовки, включая фильтрацию, обратный осмос, ионный обмен, ультрафильтрацию и вакуумный выпариватель.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения. Однако, для достижения максимального эффекта и обеспечения высокого качества очищенной воды, наиболее рациональным подходом является использование комбинированных схем водоподготовки. Комбинирование различных методов позволяет достичь комплексного удаления различных примесей, обеспечивая более эффективное и полное очищение воды.

Относительно вакуумного выпаривателя, его лучше использовать для дожима концентрата, полученного при обратном осмосе. Этот метод может быть эффективным в удалении избыточной воды и концентрировании растворенных примесей, при этом предотвращая накопление нежелательных веществ, таких как гуминовые кислоты, которые могут повлиять на качество выпаривания.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Таким образом, комбинированные схемы водоподготовки, включая сочетание фильтрации, обратного осмоса, ионного обмена и ультрафильтрации, позволяют достичь наилучших результатов в очищении воды. Вакуумный выпариватель лучше использовать для дожима концентрата осмоса, при этом учитывая его потребление энергии и возможность проскока гуминовых кислот.

Литература

1. Hahn, H.H., Hoffmann, E., Öffentliches Wasserrecht, 3. Auflage // C.F. Müller. 2017. С. 110-115.
2. Huisman, L., Wood, W.E., Water Treatment Process Selection: Design and Operation of Water Supply Systems // IWA Publishing. 2012. С. 1-307.
3. Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th Edition // McGraw-Hill Education. 2013. С. 205-220.
4. Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G., Water Treatment: Principles and Design, 3rd Edition // Wiley. 2012. С 251-260.
5. American Water Works Association (AWWA), Water Treatment Plant Design, 5th Edition // McGraw-Hill Education. 2012. С 359-400.
6. Mulder, M. Basic Principles of Membrane Technology // Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1996. С. 10-15.
7. Baker, R. W. Membrane Technology and Applications // Hoboken: John Wiley & Sons. 2004. С. 50-60.
8. Chen, Y., & Wang, L. Reverse Osmosis and Ultrafiltration // Amsterdam: Elsevier. 2007. С. 80-90.
9. Elimelech, M., & Phillip, W. A. Reverse Osmosis and Nanofiltration // Lancaster: DEStech Publications, Inc. 2013. С. 120-135.
10. Ryoo, K. S., & Woo, Y. C. Ion Exchange Technology I: Theory and Materials // Singapore: Springer. 2012. С. 220-230.
11. Davis, M., & Kent, D. Handbook of Ion Exchange Resins: Their Application to Inorganic Analytical Chemistry // Boca Raton: CRC Press. 2007. С. 175-210.

12. Prasad, G. K. Ion Exchange and Solvent Extraction: A Series of Advances // Boca Raton: CRC Press. 2007. С. 191-196
13. Mulder, M. Basic Principles of Membrane Technology // Dordrecht: Springer. 2012. С. 244-300
14. Baker, R. W. Membrane Technology and Applications // Hoboken: John Wiley & Sons. 2012. С. 115-120.
15. Huang, X., Wang, Z., & Yu, S. et al. "Ultrafiltration Membranes: A Review on Performance Improvement." Journal of Membrane Science. 610. 118165. 2020.
16. Santos, J. A., & Van der Bruggen, B. "Membrane-Based Technologies for Water Purification: A Review." Water, 12(3). 823. 2020.
17. Kazner, C., Wintgens, T., & Lützhøft, H. C. Membrane Technology in Water and Wastewater Treatment: An Overview // Boca Raton: CRC Press. 2019. С. 255-300.
18. Smith, J. Water Treatment Handbook // SUEZ Water Technologies & Solutions. 2019. С. 65-70.
19. Brown, P. Water Purification: The Basics // CRC Press. 2019. С. 90-95.
20. Davis, M. Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice // McGraw-Hill Education. 2010. С. 130-135.
21. Anderson, A. Membrane Technology and Engineering for Water Purification: Second Edition // Elsevier. 2015. С. 180-185.
22. Ghosh, M. Water Quality Management: Present Situations, Challenges, and Future Perspectives // CRC Press. 2020. С. 210-215.

Literature

1. Hahn, H.H., Hoffmann, E., Öffentliches Wasserrecht, 3. Auflage // C.F. Müller. 2017. P. 110-115.
2. Huisman, L., Wood, W.E., Water Treatment Process Selection: Design and Operation of Water Supply Systems // IWA Publishing. 2012. P. 1-307.
3. Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th Edition // McGraw-Hill Education. 2013. P. 205-220.

4. Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G., Water Treatment: Principles and Design, 3rd Edition // Wiley. 2012. P 251-260.
5. American Water Works Association (AWWA), Water Treatment Plant Design, 5th Edition // McGraw-Hill Education. 2012. P 359-400.
6. Mulder, M. Basic Principles of Membrane Technology // Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1996. P. 10-15.
7. Baker, R. W. Membrane Technology and Applications // Hoboken: John Wiley & Sons. 2004. P. 50-60.
8. Chen, Y., & Wang, L. Reverse Osmosis and Ultrafiltration // Amsterdam: Elsevier. 2007. P. 80-90.
9. Elimelech, M., & Phillip, W. A. Reverse Osmosis and Nanofiltration // Lancaster: DEStech Publications, Inc. 2013. P. 120-135.
10. Ryoo, K. S., & Woo, Y. C. Ion Exchange Technology I: Theory and Materials // Singapore: Springer. 2012. P. 220-230.
11. Davis, M., & Kent, D. Handbook of Ion Exchange Resins: Their Application to Inorganic Analytical Chemistry // Boca Raton: CRC Press. 2007. P. 175-210.
12. Prasad, G. K. Ion Exchange and Solvent Extraction: A Series of Advances // Boca Raton: CRC Press. 2007. P. 191-196
13. Mulder, M. Basic Principles of Membrane Technology // Dordrecht: Springer. 2012. P. 244-300
14. Baker, R. W. Membrane Technology and Applications // Hoboken: John Wiley & Sons. 2012. P. 115-120.
15. Huang, X., Wang, Z., & Yu, S. et al. "Ultrafiltration Membranes: A Review on Performance Improvement." Journal of Membrane Science. 610. 118165. 2020.
16. Santos, J. A., & Van der Bruggen, B. "Membrane-Based Technologies for Water Purification: A Review." Water, 12(3). 823. 2020.
17. Kazner, C., Wintgens, T., & Lützhøft, H. C. Membrane Technology in Water and Wastewater Treatment: An Overview // Boca Raton: CRC Press. 2019. P. 255-300.

18. Smith, J. Water Treatment Handbook // SUEZ Water Technologies & Solutions. 2019. P. 65-70.
19. Brown, P. Water Purification: The Basics // CRC Press. 2019. P. 90-95.
20. Davis, M. Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice // McGraw-Hill Education. 2010. P. 130-135.
21. Anderson, A. Membrane Technology and Engineering for Water Purification: Second Edition // Elsevier. 2015. P. 180-185.
22. Ghosh, M. Water Quality Management: Present Situations, Challenges, and Future Perspectives // CRC Press. 2020. P. 210-215.

© Авсюкевич А.П., Карпов В.С., 2023 Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №3/2023

Для цитирования: Авсюкевич А.П., Карпов В.С. ОБЗОР ВОЗМОЖНЫХ МЕТОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ НУЖД СПГ // Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №3/2023