

М. Ф. Руденко

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА РЫБОЛОВНЫХ СУДАХ МАЛОГО ТОННАЖА

На рыболовных судах рефрижераторные установки нужны для хранения рыбной продукции при её перевозке от места лова до потребителя. Обычно срок хранения не превышает двух суток. Этого времени достаточно, чтобы выловить рыбу и отвезти её в пункт приемки свежей и охлажденной продукции. Свежую рыбу при поимке пересыпают льдом с солью, температура хранения в охлажденном трюме достигает $0...-1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

С такой задачей на судах малого тоннажа могут успешно справиться сорбционные установки. В Китае такие установки периодического действия эксплуатируются более 40 лет [1].

Сорбционные установки просты в изготовлении и эксплуатации и состоят из генератора-абсорбера (аппаратов совмещенного типа), конденсатора, ресивера, испарителя, охлаждающей камеры (трюма или твиндека) и запорной арматуры.

На рис. 1 изображена общая схема сорбционной охлаждающей установки, расположенной в носовой части рыболовного катера.

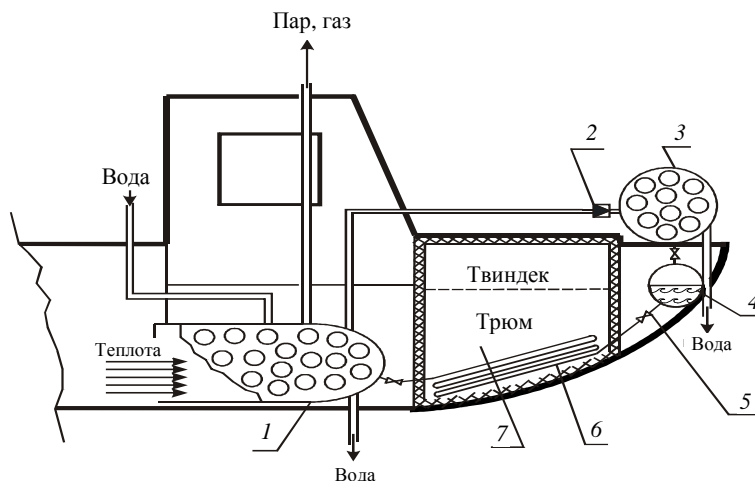


Рис. 1. Схема судовой сорбционной холодильной установки: 1 – генератор-абсорбер; 2 – обратный клапан; 3 – конденсатор; 4 – ресивер; 5 – регулирующий вентиль; 6 – испаритель; 7 – охлаждаемый трюм

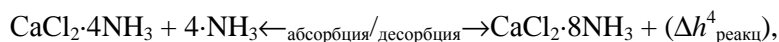
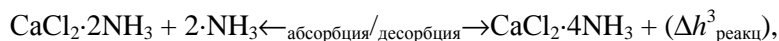
Установка работает в два периода. Первый – регенерация, выделение газообразного аммиака из аммиаатов щелочноземельных солей в генераторе за счет подвода теплоты, полученной при сгорании топлива или отвода горячих газов от судового дизеля, сжижения аммиака в конденсаторе за счет охлаждения забортной водой и накопления его в ресивере. При этом эффект охлаждения в трюме не возникает. Второй период – охлаждение: прекращается подача теплоты в генератор, и начинается охлаждение соли в абсорбере забортной водой. При охлаждении соль поглощает пары аммиака из испарителя при пониженном давлении, аммиак кипит в испарителе, отнимая теплоту из изолированного трюма. Температура в трюме падает до отрицательных значений, что способствует образованию льда или поддержанию его в твердом состоянии. Процессы регенерации и охлаждения идут медленно, инерционность установки большая, поэтому ввод в режим может составить сутки, с несколькими циклами регенерации, но и сохранение холода составляет около двух-трех суток, с учетом массы хранящегося льда.

В России такие установки не нашли должного применения по ряду причин. В СССР приоритетным было развитие высокотоннажного морского и речного флота («Каспий», «Моряна», «Волга», «СРТМ» и т. д.), рыба была дешевой, и затраты никто не считал. Рыболовецкие артели, как правило, не имели охлаждения на малых судах, у них были стационарные холодильные установки на берегу. Впоследствии, с уходом дальше от рыболовецких поселков в поисках рыбы, оснащение малого флота охлаждающей простой техникой станет актуальным.

Несмотря на простоту работы, отсутствие сложных движущихся частей, существенным недостатком сорбционных установок являются большие габариты теплообменных аппаратов и длительное время выхода на расчетный режим.

В настоящее время освоенные промышленностью кожухотрубные аппараты заменяются пластинчатыми и пластинчато-ребристыми, имеющими лучшие массогабаритные и компактные характеристики [2]. Вторым направлением снижения массогабаритных характеристик является интенсификация химико-физических и тепломассобменных процессов в аппаратах сорбционных установок.

Принцип работы сорбционных установок основан на работе термохимического компрессора, в котором при изменении температурных режимов и давления щелочноземельные соли (CaCl_2 , SrCl_2 , BaCl_2 , CaJ и др.) способны поглощать и выделять хладагенты (аммиак). Реакции идут с поглощением и выделением теплоты. При этом в процессе абсорбции (поглощения аммиака) соли образуют аммиакаты, последовательно превращаясь в окто-, ди-, тетра-, октоаммиакат, сорбент увеличивается в объеме до 2–3 раз и выделяет теплоту. В обратном процессе при подводе теплоты – десорбции, из аммиакатов выделяется газообразный аммиак с поглощением теплоты. Химические реакции выглядят так:



где $\Delta h^1_{\text{реакц}}$, $\Delta h^2_{\text{реакц}}$, $\Delta h^3_{\text{реакц}}$, $\Delta h^4_{\text{реакц}}$ – теплота соответствующих реакций.

Следует отметить, что соли и их компоненты обладают плохой теплопроводностью, процессы требуют больших поверхностей контакта между сорбентом и хладагентом, реакции протекают неравномерно во времени и объеме и зависят от свойств и качества сорбента – все это замедляет периоды работы сорбционных установок.

В Астраханском государственном техническом университете на протяжении ряда лет ведутся работы по совершенствованию сорбционных холодильных установок сорбционного типа периодического действия. Разработаны новые конструкции реакторов основного аппарата химического термотрансформатора – генератора-абсорбера. В патентах РФ [3–5] отражены особенности элементов и конструкций аппаратов сорбционной холодильной установки, способных значительно уменьшить их габаритные характеристики и значительно отличающихся от подобных зарубежных устройств того же типа [6–8].

Разработан экспериментальный стенд (рис. 2) и методика для исследования процессов абсорбции – десорбции рабочих пар сорбента и хладагента сорбционных установок периодического действия [9].

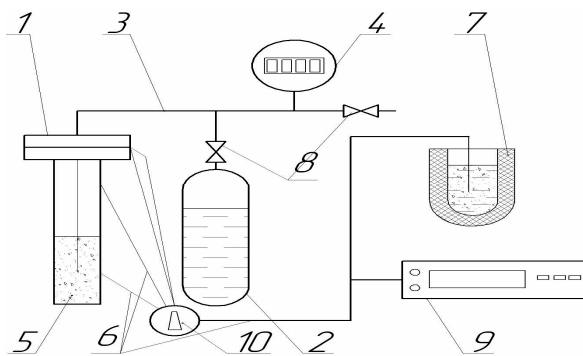


Рис. 2. Экспериментальный стенд: 1 – реактор генератора-абсорбера; 2 – ресивер с хладагентом; 3 – трубопровод; 4 – манометр цифровой; 5 – исследуемый сорбент; 6 – термопары; 7 – термостат «нулевой» термопары; 8 – вентиль запорный; 9 – милливольтметр цифровой; 10 – переключатель термопар

На стенде производятся замеры: давления – цифровым манометром ДМ5002; температуры (как внутри аппаратов, так и снаружи корпуса) – хромелькопелевыми термопарами, определяются массы сорбента и хладагента на высокоточных весах. При протекании процессов абсорбции-десорбции температура насыщаемого сорбента определялась в трех точках по высоте цилиндра реактора в насыпной массе.

Испытывались рабочие пары CaCl_2 – аммиак, вермикулит + 59 % CaCl_2 – аммиак, вермикулит + 60 % BaCl_2 – аммиак в насыпной массе и CaCl_2 – аммиак в массе, армированной металлической сеткой в капсулы. Комбинированные сорбенты вермикулит + 59 % CaCl_2 и вермикулит + 60 % BaCl_2 были разработаны в Институте катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения РАН. Данные по изменению температуры в процессе абсорбции представлены на рис. 3.

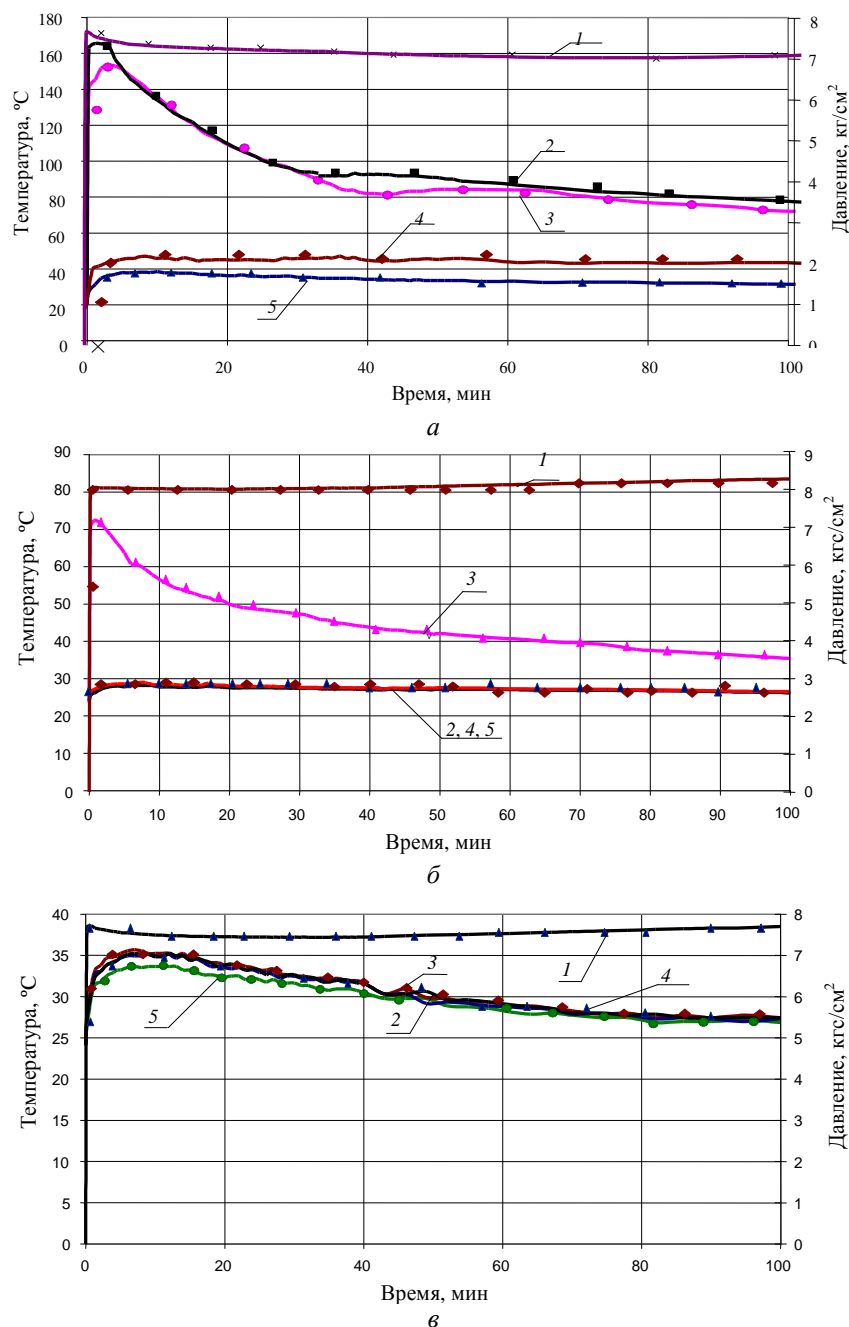


Рис. 3. Зависимости температуры внутри реактора и давления при образовании аммиаков в насыпной массе сорбента: а – соли хлористого кальция; б – вермикулита +50 % BaCl_2 ; в – вермикулита +59 % CaCl_2 : 1 – давление; 2 – температура в центре реактора с солью; 3 – температура на границе раздела соли и воздуха в реакторе; 4 – температура соли у дна реактора; 5 – температура воздуха в реакторе

Сравнение полученных зависимостей показывает, что при примерно одинаковых давлениях внутри аппарата абсорбция чистого сорбента CaCl_2 при образовании аммиакатов протекает при более высокой температуре ($t_{\max} = 150\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\min} = 85\text{ }^\circ\text{C}$) по сравнению с комбинированными сорбентами вермикулит + 60 % BaCl_2 ($t_{\max} = 75\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\min} = 40\text{ }^\circ\text{C}$) и вермикулит + 59 % CaCl_2 ($t_{\max} = 36\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\min} = 28\text{ }^\circ\text{C}$). Последний сорбент обладает меньшей температурой протекания реакции как в процессах абсорбции, так и десорбции, поэтому, несмотря на то, что его масса в 2 раза превышает массу чистого сорбента CaCl_2 , физико-химические реакции протекают равномерно, полностью насыщая сорбент во всем объеме. При хорошем контакте комбинированного сорбента и аммиака (работают равномерно все термодпары) время протекания полной реакции насыщения уменьшается в несколько раз. Именно поэтому такой сорбент предпочтителен в абсорбционных машинах сорбционного типа в судовых установках. Объемы расширения комбинированных сорбентов практически не изменяются.

Сорбенты, армированные металлической сеткой, обладают хорошей сорбционной способностью и имеют большую скорость абсорбции, но температура реакции такая же высокая, как и у чистого сорбента.

В процессах десорбции пониженная температура протекания реакции указывает на возможность применения в качестве прямого источника теплоты низкотемпературных отработавших газов дизельного двигателя на судне.

Зависимости на рис. 3 показывают, что распределение температур по всему объему сорбента происходит практически с одинаковыми характерными изменениями. Относительно низкую температуру внутри реактора с комплексными сорбентами можно объяснить также плохой теплопроводностью сита, выполненного из вермикулита.

Данные зависимости были интерпретированы и обработаны в аналитических параметрах, получены экспериментальные зависимости по определению кинетики процесса абсорбции.

Изменения скорости протекания реакций определяются следующими зависимостями:

– абсорбция аммиака в реакторе с рабочим веществом CaCl_2 в течение времени процесса очевидного насыщения:

$$k_{\text{реакц}} = 0,16 \cdot e^{0,177 \cdot P} \cdot (t - t_{\text{реакц}})^2;$$

– абсорбция аммиака в реакторе с рабочим веществом вермикулит + 60 % BaCl_2 в течение времени процесса очевидного насыщения:

$$k_{\text{реакц}} = 0,64 \cdot e^{0,098 \cdot P} \cdot (t - t_{\text{реакц}})^2;$$

– абсорбция аммиака в реакторе с рабочим веществом вермикулит + 59 % CaCl_2 в течение времени очевидного насыщения:

$$k_{\text{реакц}} = 1,78 \cdot e^{0,605 \cdot P} \cdot (t - t_{\text{реакц}})^2.$$

По этим параметрам кинетики реакции можно рассчитать рабочие периоды протекания реакций в сорбционной холодильной установке при получении охлаждающего эффекта. Зависимость изменения скорости протекания реакции процесса абсорбции чистой соли CaCl_2 с аммиаком практически совпадает с данными, полученными в [10].

Таким образом, результаты исследований доказывают возможность применения абсорбционных холодильных установок с твердыми сорбентами на судах малого тоннажа с подводом теплоты от сжигаемого топлива в дизельных двигателях за счет внедрения компактных малогабаритных теплообменных аппаратов и интенсификации физико-химических и тепломассообменных процессов путем использования новых комбинированных сорбентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Compound adsorbent for adsorption ice maker on fishing boats* / L. W. Wang, R. Z. Wang, J. Y. Wu, K. Wang // *International Journal of Refrigeration*. – 2004. – 27. – P. 401–408.
2. *Руденко М. Ф. Эффективные генераторы солнцеексплуатирующих бромистолитиевых термотрансформаторов* / Лаборатория нетрадиционной энергетики ОЭП СНИЦ РАН при Астрахан. гос. техн. университете. – Астрахань, 2002. – 70 с.
3. *Пат. РФ № 2137991. Генератор-адсорбент гелиохолодильника* / Руденко М. Ф., Альземенов А. В., Анихуви Жак Анри Джидтохе, Черкасов В. И., Макеев П. А.; зарег. 09.09.2009; бюл. № 26.

4. Пат. РФ № 2315923. Гелиоэнергетический холодильник / Руденко М. Ф., Надиров Н. К., Чивиленко Ю. В., Черкасов В. И., Антипов А. Е., Марков А. А.; зарег. 27.01.2008; бюл. № 3.
5. Пат. РФ № 2263859. Реактор генератора-абсорбера гелиохолодильной установки (варианты) / Руденко М. Ф., Ильин А. К., Коноплева Ю. В., Ильин Р. А., Заикин Е. Ю.
6. АС СССР № 1280280. Генератор-абсорбер гелиохолодильника / Захидов Р. А., Шадиев С., Киргизбаев Д. А., Ачилов Б. М.; зарег. 30.12.86; бюл. № 48.
7. Мирзаев Ш. М. Испытание адсорбционного гелиохолодильника / Ш. М. Мирзаев, О. Х. Узаков / Вестн. Междунар. академии холода. – 2001. – № 2. – С. 38–40.
8. Керн Д., Клаус А. Развитие поверхности теплообмена. – М.: Энергия, 1977. – 467 с.
9. Антипов А. Е., Руденко М. Ф., Нургалиев Е. Р. Методика исследования теплофизических процессов образования аммиакатов солей // Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф.: «Повышение эффективности теплообменных процессов и систем», 25–27 октября 2004 г. – Вологда: ВоГТУ, 2004. – С. 105–108.
10. Furrer M. Thermoanalytische Untersuchungen ausgewählter Komplexe von anorganischen Chloriden mit Ammoniak und Ammoniak-Derivaten / EIR-Bericht. – 1980. – N 392. – Wurenlingen. – S. 83–88.

Статья поступила в редакцию 14.09.2009

THE PERSPECTIVES OF USING SORPTION REFRIGERATING INSTALLATIONS IN THE SMALL WATERWAY TONNAGE

M. F. Rudenko

The investigated installations are easy to produce and to operate. The installations work with the energy of hot gases of diesel engine's fuel. Solid sorbent and ammonia are used there as working substances. The workbench has been developed and the absorbing ability of ammonia in 3 working pairs: calcium chloride (CaCl₂) – ammonia, vermiculite with 59 % calcium chloride – ammonia, vermiculite with 60 % barium chloride – ammonia in bulk weight and reinforced gauze calcium chloride – ammonia has been examined. Absorption temperature curves at constant pressure reveal the efficiency of using vermiculite with 59 % calcium chloride – ammonia in the marine sorption installations. The equations of absorption kinetics are received. Sorption refrigerating installations can be effectively used at the marine vessels to store fish products during 2–3 days of transporting.

Key words: ship refrigerating installations, refrigerant, ammonia, sorbents, calcium chloride, vermiculite with 59 % calcium chloride, vermiculite with 60 % barium chloride, the equations of absorption kinetics.