

## Газогидратные аккумуляторы природного холода в системах активного вентилирования плодоовощехранилищ

**Клименко В.В.<sup>1</sup>, Скрипник А.В.<sup>2</sup>, Корниенко В.Н.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Полтавский национальный технический университет

<sup>2</sup> Кировоградский национальный технический университет

<sup>3</sup> Государственное научное учреждение

*Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности  
Россельхозакадемии, Москва, РФ*

Рассмотрено применение газогидратных аккумуляторов природного холода в системах активного вентилирования плодоовощехранилищ. Приведена конструкция и термодинамический цикл работы такого аккумулятора, в основе работы которого лежит использование суточной неравновесности температур атмосферного воздуха в системах активного вентилирования хранилищ с динамической теплоизоляцией. Показано, что усушка картофеля снижается на 8–12 % при использовании аккумулятора природного холода в таких хранилищах по сравнению с аналогичными хранилищами без холодакумулятора.

**Ключевые слова:** газогидратный аккумулятор, природный холод, активное вентилирование, динамическая теплоизоляция, термодинамический цикл.

Розглянуто застосування газогідратних акумуляторів природного холоду у системах активного вентилування плодоовочесховищ. Наведено конструкцію та термодинамічний цикл роботи такого акумулятора, робота якого заснована на використанні добової нерівноважності температур атмосферного повітря в системах активного вентилування сховищ з динамічною теплоізоляцією. Показано, що усушка картоплі менше на 8–12 % при використанні акумулятора природного холоду в таких сховищах у порівнянні з аналогічними сховищами без холодакумулятора.

**Ключові слова:** газогідратний акумулятор, природний холод, активне вентилування, динамічна теплоізоляція, термодинамічний цикл.

Использование возобновляемых и нетрадиционных источников энергии для охлаждения продукции позволяет уменьшить расход электроэнергии и снизить уровень экологического загрязнения окружающей среды. Часто с этой целью применяют холодный атмосферный воздух, термодинамическая ценность которого определяется суточной неравновесностью его температуры, возникающей в результате охлаждения и нагревания приземного слоя воздуха от грунта вследствие знакопеременного в течение суток радиационного теплообмена [1, 2].

При охлаждении плодов и овощей распространенный вариант использования естественного холода наружного воздуха — системы активного вентилирования плодоовощехранилищ [3]. Принцип их работы заключается в поддержании требуемого режима охлаждения и хранения продукции вследствие ее периодической продувки в холодный период (ночное время). При этом воздух продувается через насыпь продукции при навальном способе хранения (рис.1,а)

либо обдувает контейнеры или стеллажи с продуктами (рис.1,б), когда его температура ниже, чем в хранилище [3, 4]. Однако при суточном перепаде температур наружного воздуха в 10–20 °С осенью при закладке овощей и фруктов на хранение невозможно обеспечить оптимальный темп охлаждения 0,5–2 °С/сут в таких хранилищах из-за значительных теплопритоков через ограждающие конструкции в дневное время, а также тепловыделения от продукции в результате ее жизнедеятельности. Затруднительно по тем же причинам поддержание оптимального температурно-влажностного режима и в процессе хранения, особенно в осенне-весенний период [5]. Поэтому для локализации теплопритоков в режиме охлаждения и хранения необходимо либо применять холодильную машину, либо использовать аккумулятор естественного холода.

Улучшить теплотехнические и технологические характеристики плодоовощехранилищ можно созданием воздушной теплозащиты (дина-

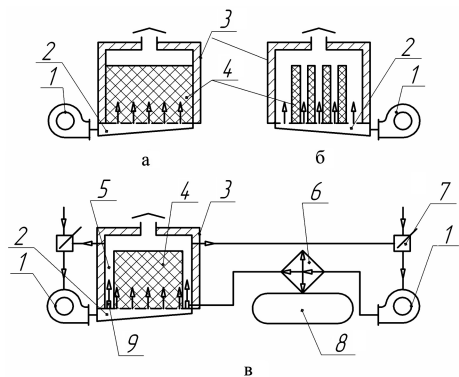


Рис.1. Схемы систем охлаждения хранилищ плодоовощной продукции с навалным (а) и контейнерным (б) способом хранения, с динамической теплоизоляцией и гидратным аккумулятором естественного холода (в): 1 – вентилятор; 2 – подпольный воздух; 3 – ограждающие конструкции; 4 – продукт; 5 – воздушная прослойка; 6 – воздухоохладитель; 7 – клапан-смеситель; 8 – гидратный аккумулятор естественного холода; 9 – наполный воздуховод.

мической теплоизоляции), когда холодный воздух подается в воздушное пространство между наружными ограждениями и ложными стенками или потолком в теплое время суток (рис.1,в).

Результаты испытаний хранилищ с обычной системой охлаждения и с динамической теплоизоляцией подтверждают преимущества последней. Это выражается в лучшей сохранности продукции и улучшении ее упругости, меньших весовых потерях (усушка) овощей, что основывается на возможности поддержания высокой относительной влажности (до 98 %) и стабильной температуры воздуха во внутреннем объеме хранилища [5, 6].

Для реализации указанных выше преимуществ нами предложено хранилище растительной продукции, оснащенное системой активного

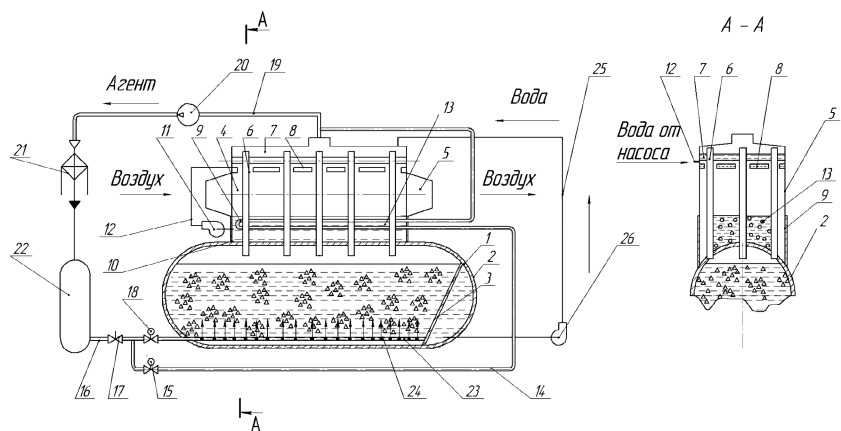


Рис.2. Схема газогидратного аккумулятора холода: 1 – емкость; 2 – изоляция; 3 – сетчатая перегородка; 4 – воздушный теплообменник; 5 – кожух; 6 – трубки; 7, 23 – коллекторы; 8 – распределитель воды; 9 – поддон; 10, 12, 14, 16, 19, 25 – трубопроводы; 11, 26 – насосы; 12 – патрубок; 13 – испаритель; 15, 18 – соленоидные вентили; 17 – регулирующий вентиль; 20 – компрессор; 21 – конденсатор; 22 – емкость; 24 – выводные патрубки.

вентилирования наружным воздухом с автоматическим поддержанием режимов хранения, динамической теплоизоляцией и газогидратным аккумулятором естественного холода [1, 7–9]. Схема и термодинамический цикл аккумулятора приведены на рис.2, 3.

Перед началом работы хладоаккумулятора емкость 1 заполняется на 5/6 объема водой. Основная часть гидратобразующего агента, например, R-22 находится в емкости 22 в виде жидкости, остальная в газообразном виде заполняет верхнюю часть емкости 1 для воды. При охлаждении воды до 10,5–11 °С соленоидный вентиль 15 закрывается и открывается вентиль 18.

Водой заполняется также поддон 9, который имеет патрубок для периодического наполнения испаряемой водой во внешнем контуре вследствие ее контакта с атмосферным воздухом. При работе аккумулятора в режиме зарядки первоначально включают компрессор 20, открывают регулирующий вентиль 17 и соленоидный вентиль 15. Жидкий агент из емкости 22 через вентили 17 и 15 и трубопровод 14 поступает в испаритель 13, где выкипает, охлаждая воду в поддоне 9. Пары агента отсасываются компрессором 20, сжимаются, конденсируются в конденсаторе 21, а жидкий агент направляется в ресивер 22.

С помощью компрессора в емкости 1 поддерживают давление 7,5 бар, вследствие чего R-22 кипит при 14 °С, отводя теплоту, выделяющуюся при гидратообразовании. Количество образующихся в это время газовых гидратов определяется холодопроизводительностью компрессора 20. Когда температура атмосферного воздуха вследствие естественных суточных колебаний достигнет в ночной период 15 °С (при относительной влажности воздуха, например, 50 %), включают насос 11 и подают воду из поддона 9 через трубопроводы 10 и 12 в распределитель 8, откуда вода тонкой пленкой стекает по наружной поверхности вертикальных теплообменных трубок в поддоне 9.

Внутри трубок насосом 26 из емкости 1, температура в которой 15,5 °С, подается вода через трубопровод 25 и горизонтальный коллектор 7. Она стекает пленкой, охлаждается до 14 °С и возвращается в емкость 1, где, воспринимая теплоту гидратообразова-

ния, снова кипит, отводя теплоту, выделяющуюся при гидратообразовании. Когда температура атмосферного воздуха вследствие естественных суточных колебаний достигнет в дневной период 15 °С (при относительной влажности воздуха, например, 50 %), включают насос 11 и подают воду из поддона 9 через трубопроводы 10 и 12 в распределитель 8, откуда вода тонкой пленкой стекает по наружной поверхности вертикальных теплообменных трубок в поддоне 9.

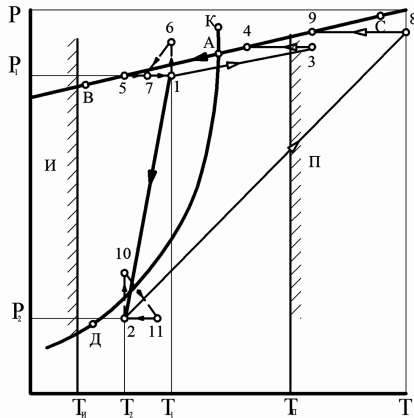


Рис.3. Цикл работы газогидратного аккумулятора естественного холода в P–T диаграмме: точки 1, 2 – образование и плавление гидратов; 1–2 – дроселирование газогидратной суспензии; 1–3, 2–8 – сжатие паров гидратообразователя при зарядке и разрядке; 3–4, 8–9 – охлаждение и конденсация паров гидратообразователя при зарядке и разрядке; 4–5, 9–5 – дроселирование жидкого гидратообразователя при зарядке и разрядке; точка 5 – кипение гидратообразователя; 5–1 – нагревание паров гидратообразователя; 1–6, 2–10 – подача гидратной воды насосом в воздухоохладитель при зарядке и разрядке; 6–7, 10–11 – охлаждение и подогрев гидратной воды в воздухоохладителе при зарядке и разрядке; 7–1, 11–2 – подогрев и охлаждение гидратной воды в емкости при зарядке и разрядке; И – холодный наружный воздух; П – теплый наружный воздух; А – верхняя квадрупольная точка (одновременно сосуществуют четыре фазы); ВС – кривая упругости насыщенных паров гидратообразующего агента; ДА – кривая зависимости давления пара гидратообразователя над гидратом в присутствии жидкой воды; АК – кривая зависимости давления жидкого гидратообразователя над гидратом в присутствии жидкой воды;  $T_0$ ,  $T_{\text{н}}$  – усредненные температуры холодного и теплого наружного воздуха.

ния, подогревается до 15,5 °С. Вследствие испарительного охлаждения температура воды, стекающей пленкой по внешней поверхности теплообменных трубок, станет постоянной и примерно на 2 °С выше, чем температура по мокрому термометру (для наших условий 9,5 °С), то есть примерно 11,5 °С.

В системах охлаждения плодохранилищ целесообразно воздух, проходящий из теплообменника 4, подавать для охлаждения продукции, так как его температура ниже атмосферного, а влажность выше. Работу хладоаккумулятора в режиме зарядки прекращают либо при повышении температуры атмосферного воздуха выше 15 °С, либо при накоплении достаточного количества газовых гидратов.

При работе аккумулятора в режиме разрядки закрывается соленоидный вентиль 18 и включается насос 11. Насосом 26 вода из емкости 1 подается в распределитель 8, стекает по трубкам 6 и, охлаждая теплый воздух, подаваемый в теплообменник, до заданной технологи-

ческой температуры, например, 15 °С нагревается. Подогретая вода, поступая в емкость 1, плавит газовые гидраты и охлаждается. Выделившийся газ отсасывается компрессором 20 из верхней части коллектора 7 по трубопроводу 19, сжимается, конденсируется в конденсаторе 21 и в жидком виде поступает в емкость 22.

Таким образом, включение в хладоаккумулятор дополнительного водяного контура, позволяет осуществлять аккумулярование холода при более высокой температуре атмосферного воздуха.

Размещение в этом контуре испарителя позволяет в течение малого промежутка времени понизить температуру воды, циркулирующей в дополнительном контуре, до температуры по мокрому термометру. Использование при зарядке хладоаккумулятора атмосферного воздуха с более высокой температурой увеличивает время его работы в этом режиме и позволяет уменьшить теплопередающую поверхность теплообменника хладоаккумулятора на 10–20 %.

Эффективность предложенной системы активного вентилирования с газогидратным аккумулятором естественного холода в картофелехранилище с динамической теплоизоляцией оценивалась по величине доли потерь влаги продукцией  $n_{\text{вл}}'$  [5]:

$$n_{\text{вл}}' = (1 + 1,11 \varepsilon_{\text{вн}}) \cdot 100 / 1,11 \varepsilon_{\text{вн}} + 1,45 - 0,01 T_{\text{пр}},$$

где  $n_{\text{вл}}'$  – доля потерь влаги продукцией в результате воздействия на нее теплоты дыхания и внешних теплопритоков;  $\varepsilon_{\text{вн}}$  – коэффициент внешних теплопритоков;  $T_{\text{пр}}$  – температура продукции.

Результаты расчетов  $n_{\text{вл}}'$  на примере картофелехранилища подтверждают целесообразность применения газогидратного аккумулятора природного холода в системах активного вентилирования с динамической теплоизоляцией:

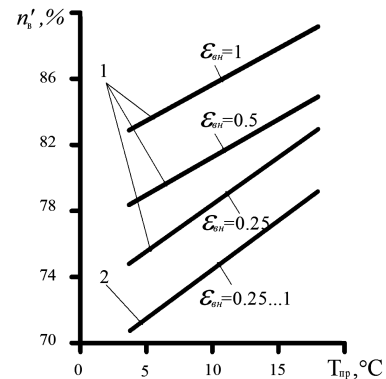


Рис.4. Зависимость доли потерь влаги продукцией  $n_{\text{вл}}'$  от внешних теплопритоков  $\varepsilon_{\text{вн}}$  и температуры картофеля  $T_{\text{пр}}$ : 1 – хранилище без аккумулятора холода; 2 – то же, с газогидратным аккумулятором холода.

усушка картофеля в хранилище с газогидратным хладоаккумулятором на 8–12 % меньше, чем в аналогичном, но без хладоаккумулятора (рис.4).

### Выводы

Проанализированы плодовоовощехранилища с системами активного вентилирования и показано преимущество хранилищ с динамической теплоизоляцией.

Приведены и описаны схема конструкции и термодинамический цикл газогидратного аккумулятора природного холода, использующего суточную неравновесность температур атмосферного воздуха, применительно к условиям работы систем активного вентилирования плодовоовощехранилищ с динамической теплоизоляцией.

Усушка картофеля при хранении в хранилище с динамической теплоизоляцией и газогидратным аккумулятором природного холода меньше на 8–12 %, чем в аналогичном, но без хладоаккумулятора.

### Список литературы

1. Клименко В.В., Корниенко В.Н. Рациональное использование термической неравновесности наружного

воздуха // Холодил. техника. — 1989. — № 6. — С. 24–27.

2. Жадан В.З., Рослов Н.Н., Мартынова Л.В., Кулаков С.И. Критерий климатического районирования страны в целях использования естественного холода в картофеле- и овощехранилищах // Там же. — 1986. — № 6. — С. 16–21.
3. Рослов Н.Н. Комплексы для хранения картофеля и овощей. — М. : Россельхозиздат, 1986. — 207 с.
4. Жадан В.З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях. — М. : Пищ. пром-сть, 1976. — 238 с.
5. Жадан В.З. Влагообмен в плодовоовощехранилищах. — М. : Агропромиздат, 1985. — 197 с.
6. Lehman D.C., Ferguson J.E. A Modified Jacketed Cold Storage Design // Intern. du Froid. — 1983. — Vol. 7, № 3. — P. 186–189.
7. А.с. 1227132 СССР, МКИ<sup>4</sup> С 27 J 25/00. Устройство для хранения растительной продукции / В.В.Клименко, В.И.Ивахнов, В.Н.Корниенко. — Оpubл. 01.06.86, Бюл. № 13.
8. Клименко В.В., Корниенко В.Н. Газогидратные аккумуляторы холода // Холодил. техника. — 1989. — № 1. — С. 14–17.
9. А.с. 1784807 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 26 J 25/00. Аккумулятор холода / В.В.Клименко, Ю.И.Демьяненко. — Оpubл. 16.03.92, Бюл. № 48.

Поступила в редакцию 14.12.10

## Gas and Hydrate Natural Cold Accumulators in Active Aeration Systems for Fruit and Vegetables Depositories

*Klymenko V.V.<sup>1</sup>, Skrypnyk A.V.<sup>2</sup>, Korniyenko V.N.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Poltava National Technical University*

<sup>2</sup> *Kyrovograd National Technical University*

<sup>3</sup> *Public Scientific Institution the All-Russian Research Institute of Refrigeration Industry of Rosselkhozakademy, Russia*

The gas and hydrate accumulators application for natural cold accumulators in active aeration systems of fruit and vegetables depositories is considered. The accumulator design and operational thermodynamic cycle are adduced. The accumulator operational principle consists in nonequilibrium daily temperatures of atmospheric air application in active aeration depositories with dynamic thermal insulation. The potato weight loss increase on 8-12 % by natural cold accumulator application in the depositories in comparison with similar depositories without cold accumulator is displayed.

**Key words:** gas and hydrate accumulator, natural cold, active aeration, dynamic thermal insulation, thermodynamic cycle.

Received December 14, 2010