

Холодильное оборудование CLIMAVENETA для продовольственных терминалов с поддержанием микроклимата

А.А. СПАССКИЙ, anatoly.spasskiy@climaveneta.ru

А.В. СУШЕНЦЕВА, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана, annasushentseva@gmail.com, anna.sushentseva@climaveneta.ru
ООО «Климавенета»

Рассмотрены вопросы рационального холодоснабжения и поддержания микроклимата в продовольственных терминалах, предназначенных для хранения различной плодоовощной продукции. Описываются эффективные системы холодоснабжения, обеспечивающие сокращение расхода электроэнергии и сохранение качества продуктов.

Проведен сравнительный анализ двух воздухоохладителей с точки зрения усушки хранимой продукции, обоснована нецелесообразность применения пароувлажнителей для поддержания микроклимата в камерах хранения. Рассчитан срок окупаемости более дорогостоящего, но высокоэффективного воздухоохладителя.

Даны дополнительные рекомендации по организации системы отопления помещений или системы холодоснабжения в случае наличия в структуре склада технологических помещений с энергоемким оборудованием, тепловыделения от которого в холодный период года превышают суммарные теплопотери через ограждающие конструкции и от вентиляции.

В заключение авторы утверждают, что для выбора наиболее оптимальной схемы поддержания микроклимата в продовольственном терминале в первую очередь необходимо грамотно составить техническое задание.

***Ключевые слова:** эффективное холодоснабжение склада, чиллер, воздухоохладитель, пароувлажнитель, усушка продуктов, отопление склада.*

CLIMAVENETA REFRIGERATION EQUIPMENT FOR FOODS TERMINALS TO MAINTAIN MICROCLIMATE

A.A. SPASSKIY, anatoly.spasskiy@climaveneta.ru

A.V. SUSHENTSEVA, postgraduate of BMSTU, annasushentseva@gmail.com,
anna.sushentseva@climaveneta.ru

“Klimaveneta”Ltd

The problems of a rational cold supply and microclimate maintenance at foods terminals for storage of fruit and vegetable products are examined. Effective systems of cold supply that allows reducing power inputs and good quality of produce is described.

A comparative analysis of two air coolers to define the drying of the products stored is cited, is justifying that it was not reasonable to use vapor humidifiers to maintain the microclimate in food cold stores. The term of payback of a more expensive but high efficient air cooler is calculated.

Additional recommendations on organization of the heating system of premises or cold supplying system are given if the cold store has technological premises with power-consuming equipment, heat emission from which during a cold period of the year exceeds the total heat losses through the envelope building and because of ventilation too.

In conclusion the authors affirm that to choice the most optimal scheme to maintain microclimate in the foods terminals first a target specification should be correctly made.

***Keywords:** efficient cold supply of the cold store, chiller, air cooler, vapor-humidifier, products drying, cold store heating.*

В последние годы в России строится большое количество современных распределительных терминалов для различных видов товаров. Особое место занимают ритейлерские склады для хранения плодоовощной продукции в холодильных камерах при соответствующих разных температурно-влажностных режимах.

В статье рассматриваются наиболее распространенные схемы холодоснабжения для поддержания микроклимата в структуре помещений складов в диапазоне температур 18...0 °С и относительной влажности 40–70 %.

Схемы холодоснабжения продовольственных складов

В настоящее время применяются схемы холодоснабжения с непосредственным кипением хладагента (непосредственное охлаждение) и схемы с использованием промежуточного хладоносителя, в качестве которого в основном используется водный раствор пропиленгликоля. В системах непосредственного охлаждения применяются многокомпрессорные центральные на базе спиральных, поршневых или винтовых компрессоров, а в качестве камерного оборудования – подвесные кубические или двухпоточные воздухоохладители [2]. Достоинством таких схем по сравнению со схемами с промежуточным хладоносителем является более высокая температура кипения хладагента (на 3...5 °С) и, как следствие, не слишком значительная, но все же экономия электроэнергии.

Основные недостатки этой схемы: большое количество хладагента, что в случае разгерметизации может вывести систему из строя; сложность эксплуатации; необходимость резервирования основных элементов системы; невозможность опосредованного регулирования относительной влажности путем изменения разности температур воздуха и кипения хладагента.

Для крупных складов чаще используются схемы с промежуточным хладоносителем, в которых CLIMAVENETA предлагает применять водоохлаждающие машины (чиллеры) на базе спиральных, поршневых или винтовых компрессоров с кожухотрубными или пластинчатыми испарителями. В качестве камерного оборудования могут быть использованы подвесные кубические, двухпоточные или каналные воздухоохладители. Достоинства этих систем: малое количество хладагента; простота эксплуатации; регулирование относительной влажности путем изменения температуры хладоносителя; возможность использования камерного оборудования как для охлаждения, так и для отопления помещений; значительно большая надежность и простота резервирования (как правило, чиллеры имеют несколько независимых холодильных контуров); более легкое регулирование температуры кипения хладагента в зависимости от тепловой нагрузки.

В таких схемах могут применяться моноблочные чиллеры CLIMAVENETA уличного монтажа со встроенными гидромодулями (рис. 1) или чиллеры CLIMAVENETA внутреннего монтажа с выносными конденсаторами (рис. 2).

Если в охлаждаемом помещении нет особых требований к влажности и скорости движения воздуха, то наиболее экономичным будет вариант с использованием кубических воздухоохладителей. При этом воздухоохладители следует подбирать с параметрами струи воздушного потока, достаточными для обеспечения циркуляции воздуха во всем объеме помещения.

В помещениях с постоянным пребыванием персонала (экспедиции, фасовочные и технологические цехи) целесообразно применять двухпоточные воздухоохладители с забором воздуха снизу и раздачей в противоположные стороны. В этом случае воздух движется вдоль потолка помещения, верхние его слои тормозятся, а нижние как бы подсасываются и устремляются вверх, так что струя воздуха не рас-



Рис. 1. Моноблочный чиллер CLIMAVENETA



Рис. 2. Чиллер CLIMAVENETA с выносным конденсатором

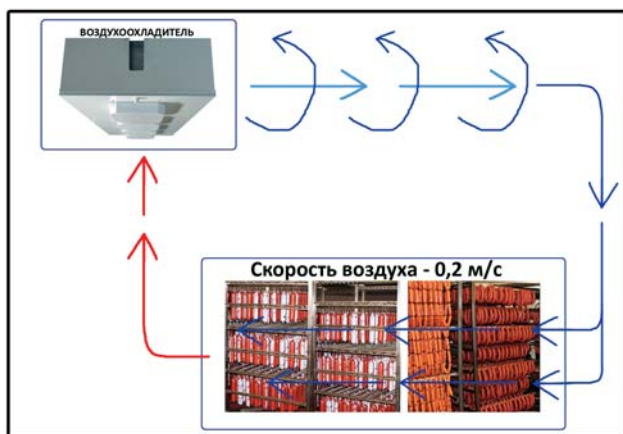


Рис. 3. Воздухораспределение в камере при использовании двухпоточного воздухоохладителя

ширяется. Достигнув стенки помещения, струя воздуха движется вниз, равномерно распределяясь по сечению помещения (рис. 3) [5].

Персонал и складированный продукт обдуваются обратным потоком воздуха со скоростью не более 0,2 м/с. Таким образом создаются максимально комфортные условия для персонала или оптимальные условия хранения для складированной продукции. Это особенно важно для камер хранения неупакованных пищевых продуктов и плодоовощной продукции. Такое воздухораспределение минимизирует потери продукции от усушки, поражения микроорганизмами и загнивания [3].

Схемы с промежуточным хладоносителем позволяют поддерживать различные температурно-влажностные режимы в разных помещениях. Для этого в контуре циркуляции хладоносителя каждой камеры устанавливается трехходовой вентиль, управляемый по температуре циркулирующего хладоносителя, для регулирования расхода хладоносителя в контуре отдельно взятой камеры. Так можно поддерживать заданную разность температур хладоносителя и воздуха в камере и опосредованно довольно точно регулировать относительную влажность воздуха в каждой отдельно взятой камере.

Для поддержания адекватной относительной влажности воздуха в хранилище важно обеспечить удовлетворительную поверхность теплообмена: разность температуры поверхности воздухоохладителя и желаемой температуры продукта должна быть минимальной. Таким образом, очень существенным моментом для поддержания высокой относительной влажности в механически охлаждаемом помещении является четкий контроль за температурой хладагента. При увеличении разности температур поверхности воздухоохладителя и воздуха, соприкасающегося с поверхностью воздухоохладителя, влажность понижается.

В табл. 1 приводятся значения относительной влажности, рассчитанные при разных температурах воздуха и поверхности воздухоохладителя.

Таблица 1
Соотношение температуры поверхности воздухоохладителя, температуры воздуха и относительной влажности

Температура поверхности воздухоохладителя, °С	Температура воздуха по сухому термометру, °С	Разница температур по сухому и мокрому термометрам, °С	Относительная влажность, %
-2,2	-1,7	0,28	94
-3,3	-1,7	0,56	88
-5,0	-1,7	1,11	77
-1,7	-1,1	0,28	94
-2,8	-1,1	0,56	89
-3,9	-1,1	1,11	78
-1,1	-0,6	0,28	94
-2,2	-0,6	0,56	89
-3,3	-0,6	1,11	78
-0,6	0	0,28	95
-1,1	0	0,56	89
-2,8	0	1,11	78
-0,6	0,6	0,56	90
0	1,1	0,56	90
0,6	1,7	0,56	91
1,1	2,2	0,56	91
3,3	4,4	0,56	92
1,7	4,4	1,11	83
8,9	10	0,56	93
7,8	10	1,11	87

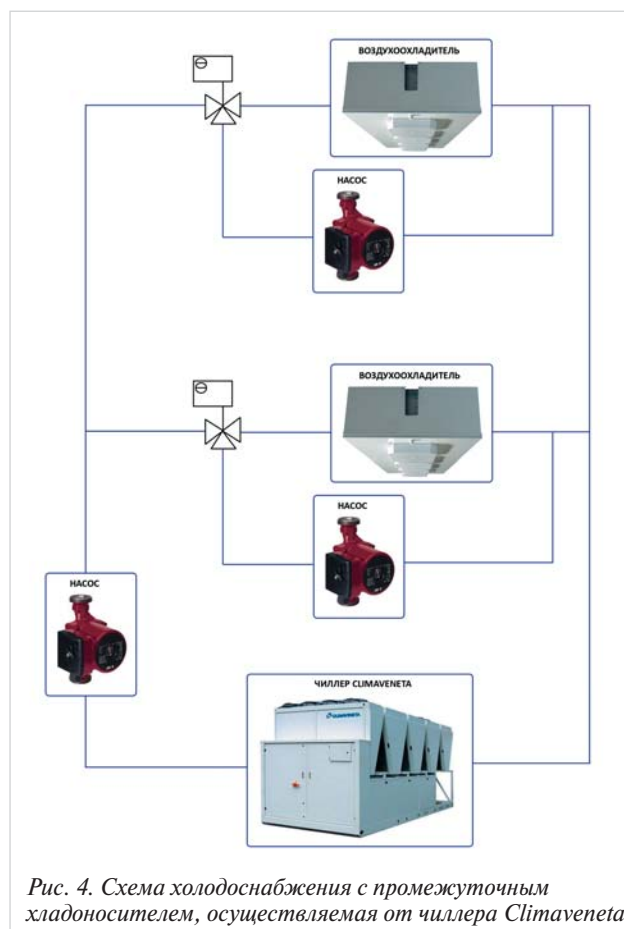


Рис. 4. Схема холодоснабжения с промежуточным хладоносителем, осуществляемая от чиллера Climaveneta

Чем меньше разность температур хладагента и воздуха, тем большая поверхность воздухоохлаждателя требуется. Если воздух в воздухоохладителе охлаждается на $0,5...1$ °С, то для этого требуется значительно большая поверхность, нежели, чем если он охлаждается на $1,5...3$ °С. При наличии адекватной поверхности теплообмена и четкого контроля за температурой этой поверхности, осуществляемого автоматическими устройствами, как правило, не возникает проблем с относительной влажностью воздуха [4] (рис. 4).

Сравнительный анализ воздухоохлаждателей

Для поддержания высокой относительной влажности (выше 80 %) в охлаждаемых помещениях совершенно нецелесообразно использовать парувлажнители, так как это значительно увеличивает эксплуатационные затраты. Дополнительный расход электроэнергии будет складываться из ее затрат на парообразование (2900 кДж/кг); на конденсацию влаги на поверхности охлаждающих приборов (1450 кДж/кг при холодильном коэффициенте работающей установки $\epsilon = 2$); на замораживание сконденсированной влаги на поверхности охлаждающих приборов (166 кДж/кг при $\epsilon = 2$) и на оттайку льда, образующегося на поверхности охлаждающих приборов (333 кДж/кг в случае применения электрической оттайки). Итого общие дополнительные удельные затраты электроэнергии составляют $U = 4849$ кДж/кг.

В качестве примера рассмотрим камеру хранения плодоовощной продукции емкостью 150 т. Максимальная расчетная холодопроизводительность камерного оборудования составляет около 20 кВт (для средней климатической зоны) [1]. Для обеспечения наилучшего воздухообмена в такой камере необходимо использовать потолочный воздухоохладитель с объемным расходом подаваемого воздуха 10000–15000 м³/ч. Сравним по капитальным и эксплуатационным затратам два таких воздухоохлаждателя, работающих с различными температурами хладоносителя. Технические характеристики сравниваемых воздухоохлаждателей приведены в табл. 2.

Диаграммы изменения состояния рабочих параметров воздуха в камере при работе воздухоохлаждателей представлены на рис. 5.

Приняв фактическое рабочее время камерного оборудования (воздухоохладитель + парогенератор+система оттайки воздухоохлаждателя) равным 10 ч в сутки, рассчитаем годовые эксплуатационные затраты для двух воздухоохлаждателей при работе 300 дней в году и стоимости электроэнергии $c = 4$ руб/(кВт·ч). Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 2
Характеристики воздухоохлаждателей

Параметр	Воздухоохладитель	
	Модель 587	Модель 467
Холодопроизводительность Q , кВт	18,36	20,1
Массовый расход подаваемого воздуха G , кг/ч	18982,4	15667,2
Параметры входящего воздуха:		
температура t_1 , °С	2	2
влажность, d_1 , г/кг	3,49	3,49
Параметры выходящего воздуха:		
температура t_2 , °С	-1	-2
влажность, d_2 , г/кг	3,488	3,2
Габаритные размеры, мм Д×Ш×В	3016×1302×716	2444×1162×716
Масса, кг	400	300
Число вентиляторов	5	4
Электрическая мощность всех вентиляторов Y , Вт	575	456
Капитальные затраты (КЗ), руб.	360000	310000

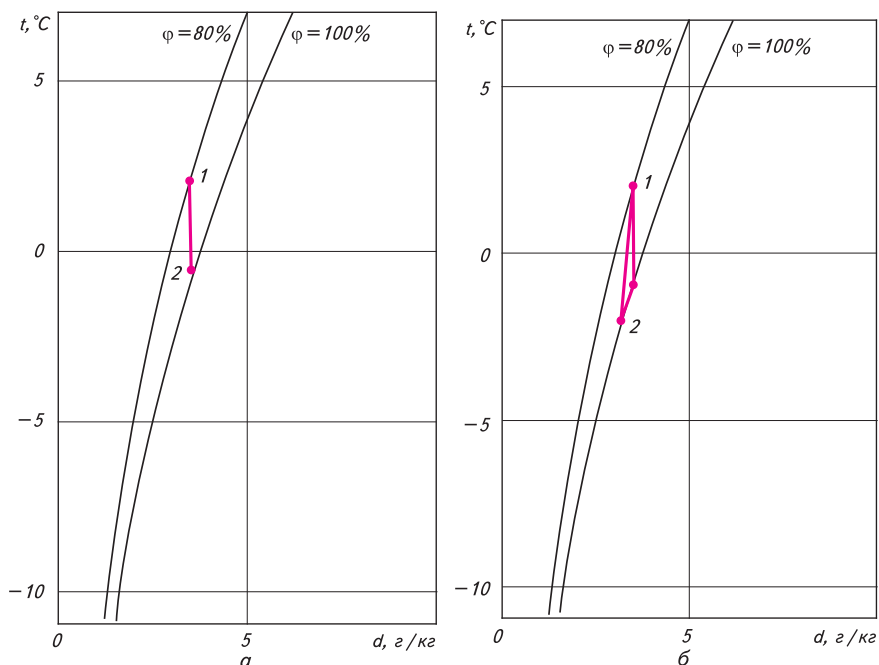


Рис. 5. Диаграмма изменения состояния рабочих параметров воздуха в камере: а – при работе воздухоохлаждателя модели 587; б – при работе воздухоохлаждателя модели 467

Таблица 3
Расчет эксплуатационных затрат

Расчетный параметр и формула расчета	Модель 587	Модель 467
Осушающая способность, кг/г $D = \Delta dG$	$(3,49 - 3,488) \times 18982,4 = 0,038$	$(3,49 - 3,2) \times 15667,2 = 4,5$
Суммарная потребляемая мощность, кВт $N = Y + DU$	$0,575 + 0,038 \cdot 4849 = 0,626$	$0,456 + 4,5 \cdot 4849 = 6,5$
Эксплуатационные затраты, руб./год $\text{ЭЗ} = N \cdot 10 \cdot 300 \text{с}$	$0,626 \cdot 10 \cdot 300 \cdot 4 = 7512$	$6,5 \cdot 10 \cdot 300 \cdot 4 = 78000$

Как видно из табл. 3, осушающая способность воздухоохладителя модели 587 фактически равна 0, т.е. пароувлажнитель не потребуется, а потери продукта от усушки будут минимальными.

Осушающая способность воздухоохладителя модели 467 составила 4,5 кг/ч, поэтому для компенсации влагопотерь понадобится пароувлажнитель. Но даже в этом случае из-за большого градиента значений относительной влажности воздуха по объему помещения потери продукции от усушки все же будут довольно значительными.

Срок окупаемости увеличения капитальных затрат при использовании воздухоохладителя модели 587:

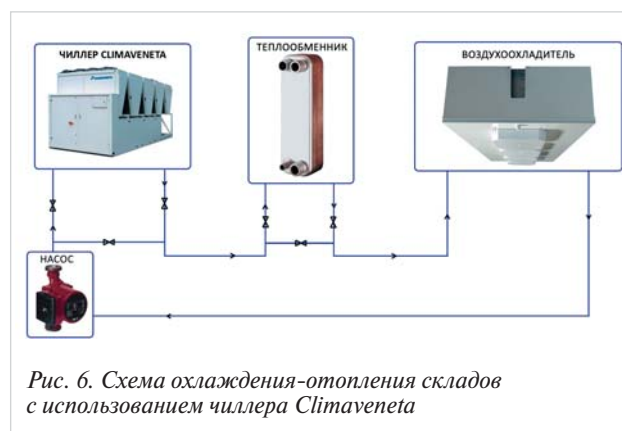
$$\tau_{\text{ок}} = (K_{3_{587}} - K_{3_{467}}) / (\text{ЭЗ}_{467} - \text{ЭЗ}_{587}) = (360000 - 310000) / (78000 - 7512) = 0,71 \text{ года.}$$

Таким образом, увеличение капитальных затрат на 50000 руб., кроме уменьшения потерь и повышения качества хранимой продукции, позволяет снизить эксплуатационные расходы минимум на 70488 руб/год (без учета стоимости расходуемой воды и повышения COP холодильной установки при работе с более высокой температурой кипения) и окупится за 0,71 года.

Другие рекомендации

Для отопления помещений склада в зимнее время можно использовать низкопотенциальные источники тепла и воздухоохладители. При этом циркулирующий через воздухоохладители (в данном случае воздухонагреватели) теплоноситель необходимо подогревать до температуры не выше 30 °С, так как за счет развитой поверхности теплообмена и большого объема циркулирующего воздуха теплопроизводительность аппаратов будет довольно большой.

В случае наличия в структуре склада технологических помещений с установленным в них энергоемким оборудованием, тепловыделения от которого в холодный период года превышают суммарные теплотери через ограждающие конструкции и от вентиляции, для охлаждения таких помещений целесообразно применять чиллеры с функцией естественного охлаждения (Free cooling). CLIMAVENETA разработала и производит такие чиллеры 4-го поколения, в которых используется запатентованная система «Бустер», что позволяет повысить COP таких установок до 3,2 (рис. 6).



Выводы

Для правильного расчета мощности оборудования, выбора оптимальной схемы холодоснабжения и отопления, подбора камерного оборудования необходимо грамотно составленное техническое задание, в котором кроме объемно-планировочного решения должны быть указаны виды продукции по каждому складскому помещению, сроки ее хранения, суточный грузооборот и температура поступающей продукции. Это позволит оптимизировать технические решения и максимально сократить капитальные и эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверин Г.Д., Бразжников А.М., Васильев А.И., Малова Н.Д. Примеры расчетов по курсу «Холодильная техника» – М.: Агропромиздат, 1986. – 183 с.
2. Спасский А. А. Переоборудование камер хранения плодоовощной продукции в АООТ «Перовское» // Холодильная техника. 1999. № 2. С. 14–15.
3. Спасский А. А., Бороздин А. А. Эффективные системы холодоснабжения камер плодоовощехранилищ // Холодильная техника. 2000. № 2. С. 30–31.
4. Харденбург Р.Е., Ватада А.Е., Ванг Ч.Ю. Промышленное хранение фруктов, овощей, цветов и рассады. – М., 1994.
5. Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. – М.: АСВ, 2001.

REFERENCES

1. Averin G. D., Brazhnikov A. M., Vasiliev A. I., Malova N. D. Examples of calculations using the course “Kholodilnaya Tekhnika” – M.: Agropromizdat, 1986. – 183p.
2. Spasskiy A. A. Retrofit of rooms for storage of fruit-vegetable produce in AOOT “Perovskoe”//Kholodilnaya Tekhnika. 1999. № 2. P. 14–15.
3. Spasskiy A. A., Borozdin A. A. Effective systems of cold supply in chambers of a fruit and vegetable store//Kholodilnaya Tekhnika 2000. № 2. P. 30–31.
4. Hardenburg R. E., Vataada A. E., Vang Ch. Yu. Storage of fruits, vegetables, flowers and seedlings in industry. – M.: 1994.
5. Shtokman E. A. Ventilation, air conditioning and air purification at the enterprises of food industry. – M.: ASV, 2001.