4. Zalba B. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis, and applications. / B. Zalba, J.M. Marin, L.F. Cabeza, H. Mehling // *Applied Thermal Engineering*. – 2003. – №23. – P. 251–283.
5. MacCracken M. Energy storage providing for a low-carbon future. / M. MacCracken // *ASHRAE*. – 2010. – №2. – P. 8–36.
6. Sebzali M.J. The impact of using chilled water storage systems on the performance of air-cooled chillers in Kuwait. / M.J. Sebzali, P.A. Rubini // *Energy Build.* – 2007. – №39. – P. 975–984.
7. Корниенко В.Н. Методика теплотехнического расчета аккумуляторов холода для охлаждающих систем с пиковыми тепловыми нагрузками / В.Н. Корниенко. // *Сборник научных трудов к 80-летию ВНИХИ*. – М.: ГНУ ВНИХИ Россельхозакадемии, 2010. – С.27–37.
8. Зверев С.С. Холодильник-аккумулятор естественного холода в условиях Якутии / С.С. Зверев // *Переработка сельскохозяйственной продукции*. – 2010. – №10. – С. 103–108.
9. Зейгарник Ю.А. Система сезонного аккумулирования природного холода для круглогодичного холодоснабжения здания и сельскохозяйственных объектов / Ю.А. Зейгарник, Ю.А. Попель О.С., В.Л. Низовский, Л.В. Низовский // *Известия РАН. Энергетика*. – 2012. – №5. – С. 90–97.
10. Bejarano G. Novel scheme for a PCM-based cold energy storage system. Design, modelling, and simulation / G. Bejarano, J.J. Suffo, M. Vargas, M.G. Ortega // *Applied Thermal Engineering*. – 2018. – Т. 132. – P. 256–274.
11. Клименко В.В. Газогидратные аккумуляторы природного холода в системах активного вентилирования плодовоовощехранилищ / В.В. Клименко, А.В. Скрипник, В.Н. Корниенко. // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2011. – № 2. – С. 16 – 19.
12. Dutil Y.A review on phase-change materials: Mathematical modeling and simulations / Y. Dutil, D.R. Rousse, N.B. Salah, S. Lassue, L. Zalewski // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2011. – № 15. – P. 112–130.
13. Dominguez M. La acumulacion de frio, importante elemento de seguridad en instalaciones de climatizacion / M. Dominguez, J. Culubret, D. Garcia, C. Garcia, A. Soto // *Instalador*. – 2000. – № 361. – P. 5–10.
14. Сучков А.Н. Аналитический обзор известных технологий аккумулирования холода. / А.Н. Сучков, В.Н. Корниенко, Б.С. Бабакин, М.И. Воронин // *Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов (сборник научных трудов ученых и специалистов к 90-летию ВНИХИ)*. – М.: ВНИХИ; Саратов: Амирит, 2020. – С. 354 – 367.

Корниенко В.Н.^{1,3}, Николаев Н.С.², Пранцуз О.С.³, Донецких А.Г.¹

Факторы, влияющие на энергоэффективность эксплуатации холодильных камер

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН*

²*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»*

³*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского» (Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-08-2021-09

Аннотация

Энергосбережение и повышение энергоэффективности при эксплуатации холодильных камер являются ключевыми задачами в решении проблемы рационального использования энергоресурсов холодильным хозяйством агропромышленного комплекса. В работе рассмотрены основные факторы, влияющие на потери холода в камерах холодильной обработки и хранения пищевых продуктов.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, потери холода, холодильная камера.

Abstract

Energy saving and energy efficiency improvement during the operation of refrigerating chambers are the key tasks in solving the problem of rational use of energy resources by the refrigerating economy of the agro-industrial complex. The paper considers the main factors affecting the loss of cold in the chambers of refrigerating processing and storage of food products.

Keywords: energy saving, energy efficiency, cold loss, cold storage.

В настоящее время холодильными системами страны потребляется 15% от общего объема электроэнергии, производимой в России [1, 2].

Среди них значительное место занимает холодильное хозяйство агропромышленного комплекса (АПК), которое насчитывает около 10 млн. т. у. единиц холодильного хранения на предприятиях мясной, молочной, рыбной, сельскохозяйственной и пищевой промышленности, торговли, системы Госрезерва и т.д. [3]. Оно является одним из самых крупных потребителей энергоресурсов в АПК – более 50% всей электроэнергии, расходуемой комплексом [4]. И приведенные цифры будут только все возрастать, что подтверждается общемировым ростом производства продуктов питания и связанных с ним повышением расходов энергетических ресурсов [5, 6].

Для снижения энергетических издержек при производстве и потреблении холода, приводящих к дополнительному износу основных фондов и ненормативным потерям энергии, необходимы четкие экономические стимулы для персонала предприятий, которые в настоящее время отсутствуют. С другой стороны, отсутствуют и эффективные меры воздействия за нерациональное использование энергоресурсов, что приводит к неэффективной работе предприятий, экологическим проблемам и повышенным энергопотерям, влияющим на себестоимость и конкурентоспособность пищевой и сельскохозяйственной продукции.

Реальные потери холода и как следствие перерасход энергоресурсов при эксплуатации холодильных камер различного назначения значительно превышает установленные отечественные нормативы и выше средневропейского уровня. Суммарные годовые потери условного топлива, расходуемого на производство электроэнергии для выработки искусственного холода, могут достигать от 10 до 35 млн. тонн [7].

Энергосбережение и повышение энергоэффективности являются ключевыми положениями ряда государственных программ, в том числе «Энергетической стратегии России на период до 2030 г.» и «Доктрины энергетической безопасности России». В этих документах проблемы рационального использования энергоресурсов определены в качестве одного из приоритетов модернизации отечественной экономики, нацеленной на активное внедрение энергосберегающих технологий, снижение энергоёмкости продукции и повышение её конкурентоспособности как на внутреннем, так и на мировом рынке [8].

Для снижения ресурсопотребления применительно к холодильной отрасли необходимо [9, 10, 11, 12]:

- проведение экспертизы проектной документации для оценки энергоэффективности технических решений при строительстве новых и реконструкции действующих холодильников на соответствие требованиям СНиП и нормативам Евросоюза;
- организация системы постоянного учета расхода энергетических ресурсов на производство холода; проведение энергетических обследований действующих объектов;
- разработка методик определения потерь электроэнергии при выработке и потреблении холода;
- организация в законодательном порядке контроля со стороны инспектирующих органов (составление энергетического паспорта) и самоконтроля предприятия (проведение энергоаудита) за рациональным использованием энергоресурсов.

Перерасход электроэнергии из-за потерь холода в холодильных объектах АПК происходят, как правило, при реализации следующих основных технологических процессов: при производстве холода; при потреблении холода на охлаждение и замораживание продукта; при поддержании заданных температурных параметров хранения продуктов [4, 13].

В качестве примера на рисунке 1 представлены факторы, в наибольшей степени влияющие на энергоэффективность холодильных камер, предназначенных для пищевой и сельскохозяйственной продукции.

На общие энергозатраты при использовании искусственного холода для обеспечения заданных температурных режимов холодильных камер первостепенную роль играют внутренние и внешние теплопритоки, влияющие на потери холода (рисунок 2).

По своему функциональному назначению все холодильные камеры, в основном, делятся на камеры хранения, охлаждения и замораживания. Потери холода в них являются эквивалентом потенциала энергосбережения. Исходя из вышеприведенной информации (рисунки 1, 2) видно, что причины потерь холода во всех камерах носят одинаковый характер, а ряд проведенных исследований [4, 7, 12, 13 – 15] показывает, что в количественном соотношении между ними имеется существенная разница.

Рисунок 1 – Факторы, влияющие на энергоэффективность холодильных камер

Для камер охлаждения и замораживания пищевых продуктов основной расход холода направлен на компенсацию теплопритоков от продукции при ее холодильной обработке (рисунок 3). В этом случае важным фактором, влияющим на потери холода, является коэффициент загрузки холодильных камер, что подробно рассмотрено в работе [13]. К другим факторам можно отнести: производство массы поступившей продукции на разность ее среднеинтегральной температуры и нормативной температуры в конце процесса охлаждения или замораживания; температура воздуха в камерах, график загрузки и выгрузки продукции, вид продукта, его температура и общая загруженная масса.

При этом потери холода на компенсацию эксплуатационных теплопритоков и теплопритоков через ограждающие конструкции для таких типов камер существенно ниже, чем затраты на холодильную обработку (рисунок 3).

Рисунок 2 – Структура потерь холода в холодильной камере

Рисунок 3 – Доля расхода холода на компенсацию различных теплопритоков в камерах охлаждения (1, 3) с рабочей температурой минус 3 °С и замораживания (2, 4) с рабочей температурой минус 30 °С при различных температурах наружного воздуха: 1, 2 – 30 °С; 3, 4 – 3,7 °С

Для камер хранения пищевой продукции, наоборот, определяющими являются потери холода через ее ограждающие конструкции – до 95 % от общих теплопритоков для камер длительного хранения (рисунок 4). Для камер распределительных холодильников эти потери составляют 40 ÷ 70%. Доля потерь холода при наличии теплопритоков через кровельное покрытие увеличивается на 10 ÷ 25%. В течение года доля теплопритоков через ограждающие конструкции изменяется на 20 ÷ 30 %.

а)

б)

- – теплопритоки через ограждающие конструкции
- – теплопритоки от продукта
- – эксплуатационные теплопритоки

Рисунок 4 – Структура потерь холода на компенсацию теплопритоков в камерах хранения замороженной продукции (температура минус 18 °С) с батарейным охлаждением (а) и с воздухоохладителями (б): 1, 2, 5, 6 – камеры длительного хранения; 3, 4, 7, 8 – камеры краткосрочного хранения

При более детальном рассмотрении рисунка 3 видно, что главными факторами, влияющими на потери холода через ограждающие конструкции холодильных камер, являются температура наружного воздуха и температура внутри камеры.

В связи с этим, учитывая кинетику изменения теплофизических свойств изоляции и временной перспективы, наибольшим потенциалом энергосбережения обладают камеры замораживания пищевых продуктов и их хранения при низких температурах. Если классифицировать холодильные камеры по потенциалу энергосбережения, то он будет увеличиваться от камер для охлажденных продуктов (0 ± 5) °С до камер для замороженных продуктов (минус 24 ± 6) °С. При этом энергоэффективность камер с учетом возможных холодильных потерь будет двигаться в обратном направлении.

Потери от завышенных внешних теплопритоков вызваны недостаточной теплозащитой ограждающих конструкций холодильных емкостей за счет:

- заниженных значений сопротивлений теплопередаче теплоизоляционных ограждающих конструкций (ошибки при проектировании или монтаже, неоправданная экономия при строительстве);
- повышения значений коэффициентов теплопроводности теплоизоляционных материалов в процессе эксплуатации (различные факторы, главным из которых является некачественная или недостаточная пароизоляция).

Как показывает опыт, необходимо учитывать и второстепенные, факторы, влияющие на энергопотребление холодильных камер в реальных производственных условиях. К ним относятся, например:

- несоответствие фактических теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов справочным или паспортным данным, ухудшение этих характеристик в процессе эксплуатации [16 – 19];
- увлажнение и промерзание строительной ограждающей конструкции;
- образование на поверхностях приборов охлаждения и ограждающих конструкций ледяной шубы;
- наличие «тепловых мостов», механических повреждений и нарушений целостности строительных ограждающих конструкций;
- годовые колебания и непрогнозируемый значительный рост температуры наружного воздуха вследствие климатических аномалий;
- габаритные размеры и назначение холодильной камеры;
- тип, количество и размеры дверей, завес, наличие тамбуров;
- другие факторы.

Таким образом, основные энергосберегающие мероприятия должны быть направлены на совершенствование теплотехнических характеристик теплоизоляционных ограждающих конструкции холодильных камер и графиков

загрузки и выгрузки продукции; обеспечение нормативного коэффициента загрузки холодильных камер и оптимальной работы систем охлаждения; организацию учета и контроля расхода энергетических ресурсов на производство холода; проведение энергетических обследований и составление энергетических паспортов.

1. Гордиенко, Ю. Энергоэффективность холодильных систем / Ю. Гордиенко // Империя холода. – 2015. – № 5 (74). – С. 47 – 48.
2. Соколов, Ю.В. Аспекты энергоэффективности холодильных систем мясоперерабатывающих производств / Ю.В. Соколов, Ю.С. Гордиенко // Все о мясе. – 2014. – № 6. – С. 44–48.
3. Корешков, В.Н.. О холодильном потенциале пищевых производственных предприятий / В.Н. Корешков, В.А. Лапшин // Мясные технологии. – 2017. – № 11. – С. 44–45.
4. Корниенко, В.Н. Макроанализ энергоёмкости термической обработки мясного сырья в холодильных камерах / В.Н. Корниенко, Н.С. Николаев, Г.С. Руденко // Все о мясе. – 2020. – № 3. – С. 42–47. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-3-42-47.
5. Nunes J. Energetic efficiency evaluation in refrigeration systems of meat industries / J. Nunes, P.D. Silva, L.P. Andrade // Conference: 23rd IIR International Congress of Refrigeration. – 2011. - August 21–26. - Prague, - Czech Republi, - ID: 911.
6. United Nations, World Economic and Social Survey 2013: Sustainable Development Challenges, United Nations publication. Retrieved May 12, 2015 Режим доступа: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2843WESS2013.pdf>
7. Руденко, Г.С. Энергоэффективность и энергосбережение на хладокомбинатах. Материалы Международной конференции «Современное оборудование для производства, хранения, транспортировки мороженого и замороженных продуктов / Г.С. Руденко. – М., 2003. – С. 34–38.
8. Корниенко, В.Н. Проблемы повышения энергоэффективности холодильных процессов в мясной отрасли / В.Н. Корниенко, Н.А. Горбунова // Все о мясе.– 2020. –№ .5S – С. 153 – 156 (BAK) DOI 10.21323/2071–2499–2020–5S-153-156.
9. Корешков, В.Н. Паспортизация холодильного хозяйства на предприятиях мясной промышленности / В.Н. Корешков, В.А. Лапшин // Мясная индустрия. – 2014. – № 9. – С. 58–59.
10. Корниенко, В.Н. О необходимости энергетических обследований объектов холодильной промышленности / В.Н. Корниенко // Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов (сборник научных трудов учёных и специалистов к 90-летию ВНИХИ). – М.: ВНИХИ; Саратов: Амирит, 2020. – С. 205–218.
11. Троицкий-Марков, Т.Е., Бударин О.Н., Михайлов С.А., Потапов А.И. Научно-методические принципы энергосбережения и энергоаудита. / Т.Е. Троицкий-Марков, О.Н. Бударин, С.А. Михайлов, А.И. Потапов. – М.: Наука, 2005. – 239 с.
12. Выгодин В.А., Руденко Г.С., Бабакин С.Б. Методика определения энергоэффективности эксплуатации холодильных камер для мяса. / В.А. Выгодин, Г.С. Руденко, С.Б. Бабакин // Интернет газета «Холодильщик RU». – 2005. – вып. №2.
13. В.Н. Корниенко, В.Н. Энергоэффективность процесса термической обработки мясного сырья в холодильных камерах / В.Н. Корниенко, Н.С. Николаев, Г.С. Руденко // Все о мясе.– 2020. –№ 4. – С. 6 – 11. DOI 10.21323/2071-2499-2020-4-6-11.
14. Белозеров А.Г. Совершенствование ограждающих конструкций холодильных камер для хранения замороженных продуктов: автореф. Дис...канд. техн.наук. / А.Г. Белозеров – М., 2009. – 24 с.
15. Корниенко, В.Н. Энергетическое обследование холодильных камер / В.Н. Корниенко, Г.С. Руденко, А.В. Бобровский, А.А. Цаплин // Сб. научных трудов «Повышение энергоэффективности техники и технологии в перерабатывающих отраслях АПК». – М., 2004. – С. 135-138.
16. Калинин, В.М. Обследование и испытание конструкций зданий и сооружений / В.М. Калинин, С.Д. Сокова, А.Н. Топилин – М.: ИНФА-М, 2011. – 336 с.
17. Камзолов С.М., Корниенко В.Н., Руденко Г.С. Тепловая изоляция. / С.М. Камзолов, В.Н. Корниенко, Г.С. Руденко – М.: МГУПБ, 2010. – 120 с.
18. Корниенко, В.Н. Роль тепловой изоляции в ресурсосбережении на предприятиях мясной промышленности / В.Н. Корниенко, Н.А. Горбунова // Мясная индустрия. – 2019. – № 4. – С. 40 – 44.
19. Бобров Ю.П., Овчаренко Е.Г., Шайхет Б.М., Петухов Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. / Ю.П. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шайхет, Е.Ю. Петухов – М.: ИНФА-М, 2003. – 268 с.