

Профессиональная публикация

Воздухоохладители, потоки воздуха и распределение температуры на крупных холодильных складах



Дипл. инж. Хайнц Якманн (Heinz Jackmann)

Руководитель сферы деятельности

«Промышленные холодильные установки»

Основные аспекты темы:

Крупные холодильные склады: большие размеры и использование автоматической складской техники предъявляют новые требования к выбору и установке воздухоохладителей.

Представление исследования крупного холодильного склада в Швейцарии, ответы на следующие вопросы.

- Какой тип воздухоохладителя оптимален для какого холодильного склада?
- Насколько хорошо распределяется температура в крупных холодильных складах за счет «озера холодного воздуха» и циркуляции воздуха под действием восходящего теплового потока?
- Каков потенциал энергосбережения в случае применения различных воздухоохладителей?

Введение

Размеры складов глубокой заморозки становятся все больше.

Особенно за последние 10 лет изменилась высота холодильных складов.

Высота современных многоярусных складов с автоматическими системами транспортировки сегодня достигает 30–40 м.

Большие размеры и использование автоматической складской техники предъявляют новые требования к выбору и установке воздухоохладителей.

Невысокая удельная холодопроизводительность приводит к снижению скорости циркуляции воздуха.

Сквозные балки под потолком и опоры стеллажей, проходящие перпендикулярно направлению движения воздуха, снижают длину воздушного потока.

В рабочей области автоматических систем транспортировки установка воздухоохладителей невозможна.

Помимо строительных предписаний, необходимо учитывать также требование относительно энергосбережения.

В последние годы в Европе крупные холодильные склады строились с бесканальным распределением воздуха. Холодный воздух опускается вниз, распределяется по принципу «озера холодного воздуха», под действием восходящего теплового потока поднимается вверх и под потолком возвращается обратно к воздухоохладителю.

Насколько хорошо распределяется температура в крупных холодильных складах за счет такого «озера холодного воздуха» и циркуляции воздуха под действием восходящего теплового потока?

Каким образом можно заранее просчитывать потоки воздуха и значения температуры при помощи компьютерного моделирования?

Каков потенциал энергосбережения в случае применения различных воздухоохладителей?

Чтобы найти ответы на эти вопросы, мы исследовали крупный склад глубокой заморозки в Швейцарии. Для этого склада, высота которого составляет 32 м, было проведено компьютерное моделирование.

Затем мы измерили значения температуры на складе, чтобы установить следующее:

- насколько хорошо работает склад с такой подачей воздуха;

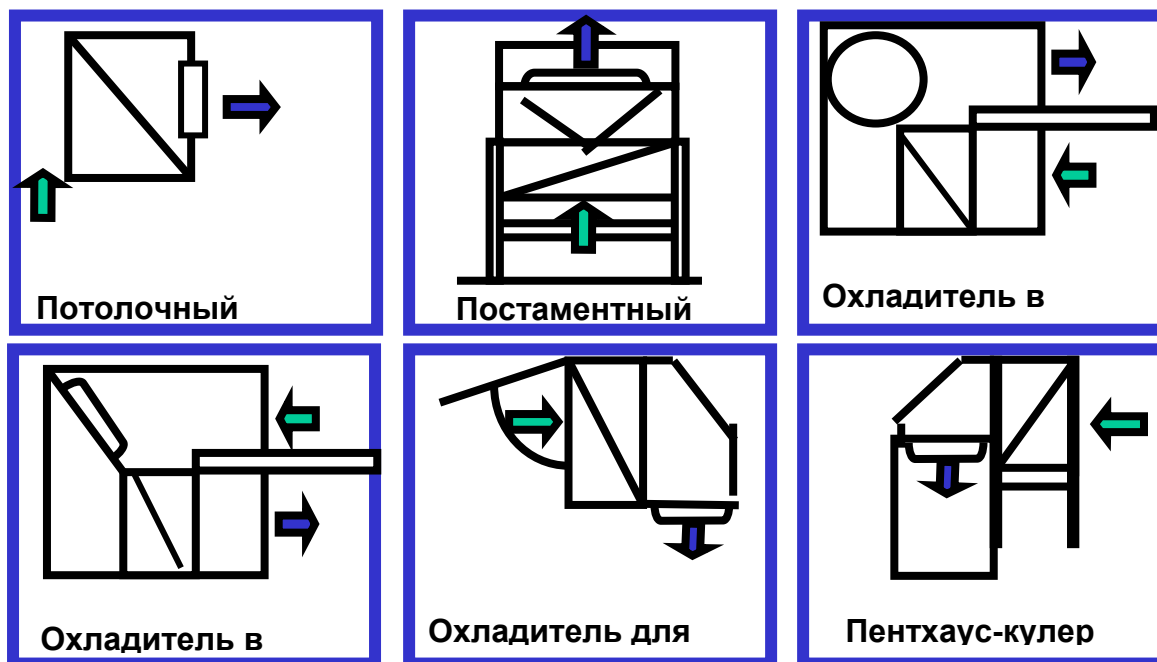
- насколько данные компьютерного моделирования соответствуют результатам измерений.

Разделы:

1. Различные конструкции воздухоохладителей в складах глубокой заморозки
2. Пример крупного склада глубокой заморозки с бесканальным распределением воздуха и циркуляцией воздуха под действием восходящего теплового потока
3. Компьютерное моделирование распределения потоков воздуха и температуры
4. Измерения температуры в данном складе глубокой заморозки
5. Вывод

1. Различные конструкции воздухоохладителей в складах глубокой заморозки

1.1 Обзор



1.2 Потолочный воздухоохладитель с горизонтальной подачей воздуха



Преимущества: недорогой, короткий срок поставки

Условия:

Длина воздушного потока должна быть не меньше длины помещения

отсутствие мешающих балок или ламп в области потолка

соответствующее свободное пространство между верхним краем штабелей и потолком помещения

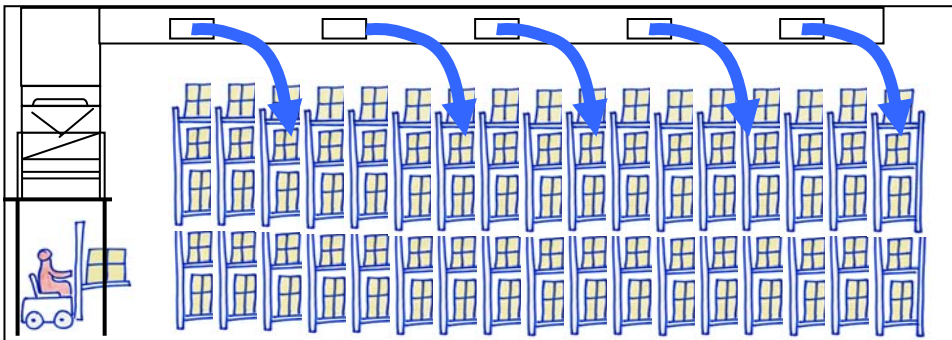
Результат

вентиляторы с высокой частотой вращения и мощностью привода

строительное ограничение

ограниченная высота штабелей, ограниченная эффективность использования

1.3 Постаментный воздухоохладитель с каналами распределения воздуха



Преимущества: хорошее распределение воздуха даже при сложных условиях в помещении.

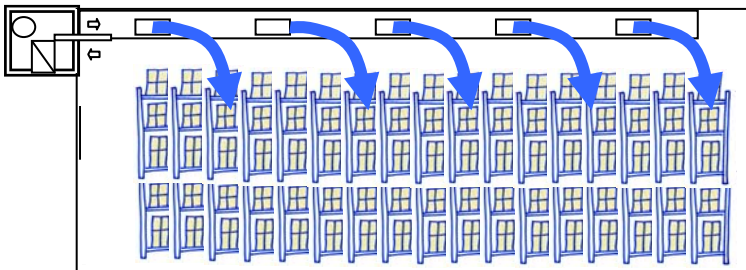
Условия:

- площадь установки находится в холодильном складе
- каналы для распределения воздуха
- вентиляторы с внешним давлением нагнетания

Результат

- уменьшает место для поддонов
- требуется место для системы каналов
- высокие капиталовложения
- более высокая рабочая мощность
- более высокие эксплуатационные расходы

1.4 Охладитель в изолированном корпусе с воздушным каналом



Преимущества: хорошее распределение воздуха даже при сложных условиях в помещении; размещение воздухоохладителя вне складской площади; быстрый процесс оттаивания; хороший доступ для технического обслуживания.

Условия:

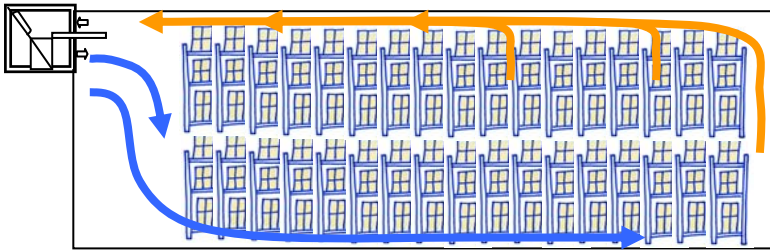
- система каналов для распределения воздуха
- вентиляторы с внешним давлением нагнетания

Результат

- требуется место для системы каналов
- капиталовложения для каналов
- более высокая рабочая мощность
- более высокие эксплуатационные расходы

1.5 Охладитель в изолированном корпусе без воздушных каналов

Распределение воздуха по принципу «озера холодного воздуха», циркуляция воздуха с помощью восходящего теплового потока



Преимущества:

отсутствует система каналов → низкие капиталовложения;
вентиляторы без внешнего давления нагнетания → низкие эксплуатационные расходы;
высокая эффективность использования объема помещения → повышение высоты штабелей;
циркуляция воздуха поддерживается восходящим тепловым потоком → оптимальная циркуляция воздуха для складов с передвижными стеллажами;
размещение воздухоохладителя вне складской площади;
хорошее поведение при оттаивании;
хороший доступ для технического обслуживания.

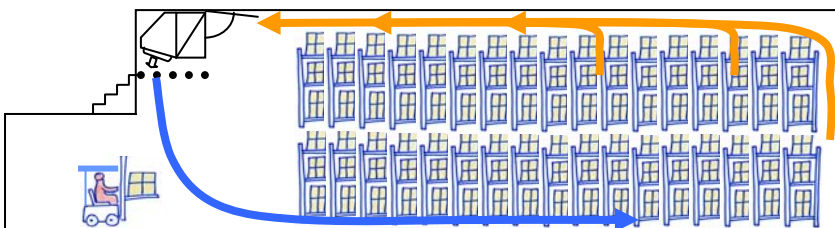
Условия:

свободное пространство для вертикальной циркуляции воздуха между системой стеллажей и внешней стеной
пространство для распределения холодного воздуха перед и под охладителем
отношение длины помещения к высоте составляет примерно 3:1

Результат

расстояние между стеллажом и стеной 30–50 см
размещение над проходом для транспортировки

1.6 Охладитель для складских помещений



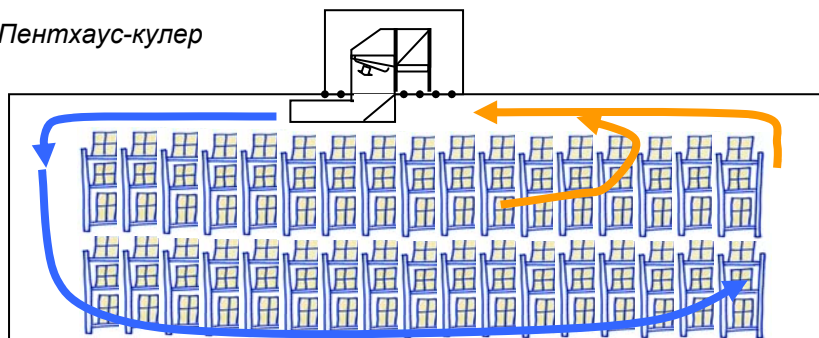
Преимущества:

отсутствует система каналов → низкие капиталовложения;
вентиляторы без внешнего давления нагнетания → низкие эксплуатационные расходы;
небольшой радиус действия → невысокая частота вращения вентиляторов;
высокая эффективность использования объема помещения → повышение высоты штабелей;
циркуляция воздуха поддерживается восходящим тепловым потоком → оптимальная циркуляция воздуха для

Условия:	Результат
<p>свободное пространство для вертикальной циркуляции воздуха между системой стеллажей и внешней стеной</p> <p>пространство для распределения холодного воздуха</p> <p>отношение длины помещения к высоте составляет примерно 3:1</p> <p>рабочая площадка для воздухоохладителя</p>	<p>расстояние между стеллажом и стеной 30–50 см</p> <p>размещение над проходом для транспортировки</p> <p>капиталовложения</p>

Следить за рабочей областью для людей! При небольшой высоте помещения под охладителем возникает сквозняк!

1.7 Пентхаус-кулер



Преимущества:

- размещение воздухоохладителя вне складской площади;
- высокая эффективность использования объема помещения;
- хороший доступ для технического обслуживания;
- отсутствие сервисного персонала на складе глубокой заморозки;
- трубопроводы и вентили прокладываются над крышей;
- замена дефектных устройств без изменения конструкции;
- возможность расширения склада глубокой заморозки без изменения холодильной системы.

Условия	Результат
<p>требуется короткая система каналов</p> <p>вентиляторы с внешним давлением нагнетания около 65 Па</p> <p>пентхаус на крыше склада глубокой заморозки</p>	<p>воздушные каналы</p> <p>высокие эксплуатационные расходы</p> <p>капиталовложения</p>

1.8 Тенденции в устройстве складов глубокой заморозки и логистических складов

- Склады глубокой заморозки становятся все больше и выше.
- Снижение холодопроизводительности для больших объемов помещений.
- Небольшая скорость циркуляции воздуха.
- Многоярусные склады с автоматическими системами транспортировки.
- Склады с передвижными стеллажами для оптимального использования помещения.
- Экономия расходов на электроэнергию и капиталовложений.

Расходы на электроэнергию являются решающим фактором обеспечения экономичности склада глубокой заморозки.

Поэтому для каждого склада важно выбрать оптимальную концепцию системы охлаждения и оптимальные воздухоохладители.

Электричество можно сэкономить с помощью вентиляторов с низкой мощностью привода.

Это особенно интересно, поскольку в отношении энергопотребления необходимо учитывать как потребляемую мощность вентиляторов, так и дополнительное энергопотребление холодильной установки, требуемое для отведения из холодильного склада мощности привода вентиляторов в виде тепла. В Европе в последние годы были построены крупные склады глубокой заморозки, в которых циркуляция воздуха поддерживается с помощью восходящего теплового потока. Холодный воздух опускается вниз, распределяется по полу по принципу «озера холодного воздуха», под действием восходящего теплового потока поднимается вверх и под потолком возвращается обратно к воздухоохладителю.

Такой тип подачи воздуха позволяет:

- добиться в крупных холодильных складах низкой скорости циркуляции воздуха;
- применять вентиляторы с низкой частотой вращения и низкой мощностью привода.

Благодаря этому удается сократить эксплуатационные расходы, а также ликвидировать капиталовложения на воздушные каналы.

Для такого типа подачи воздуха часто подходят склады глубокой заморозки с автоматическими системами транспортировки.

Как ведут себя воздушные потоки в таких складах, и насколько равномерно распределяется температура?

Компания Güntner исследовала склады глубокой заморозки, построенные согласно данным требованиям.

В настоящей презентации мы покажем Вам результаты исследования одного из складов, действующих в Швейцарии.

2. Пример крупного склада глубокой заморозки с бесканальным распределением воздуха и циркуляцией воздуха под действием восходящего теплового потока

Застройщик и эксплуатирующая организация
Швейцария

Migros Verteilbetrieb Neuendorf AG,

Тип склада	Логистический склад на 25 800 поддонов Многоярусный склад с неподвижными стеллажами Автоматическая система транспортировки поддонов Поступление товаров через тамбур		
Количество холодильных камер	4		
Размеры склада глубокой заморозки	Длина:	83 м	
	Ширина:	63 м	
	Высота:	32 м	
	Высота штабелей около 29 м (14 поддонов)		
Температура хранения	- 28° C		
Требуемая холодопроизводительность	Теплоприток от ограждающих конструкций	144 кВт	
	Охлаждение товаров	122 кВт	
	Приводы и вентиляторы	146 кВт	
	Потери при открывании дверей	35 кВт	

		Суммарная холодопроизводительность	447 кВт
Установленная холодопроизводительность при 10-часовом режиме работы:			1 074 кВт
Установленная холодопроизводительность на холодильную камеру			268,5 кВт
Планирование и исполнение холодильной системы	York Industriekälte		
Производство холода			
3 винтовых компрессора	York SAG 80		
1 поршневой компрессор	SABROE серии SMC		
Воздухоохладители: 12 охладителей для складских помещений Güntner типа S GHS 081D/310			

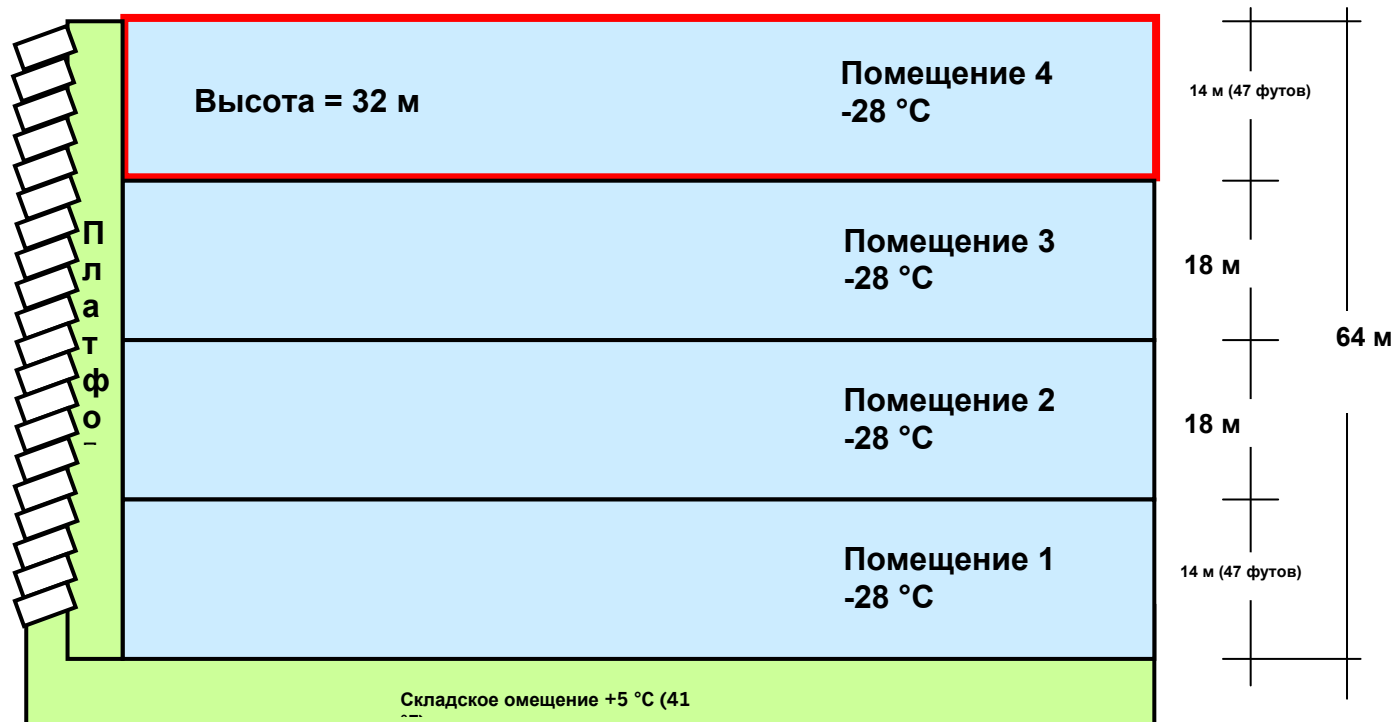
Количество воздухоохладителей на холодильную камеру 3 шт.

Хладагент:	NH ₃ , насосная подача
Холодопроизводительность:	91 кВт
Температура помещения	-28 °C
Объем воздуха	52 600 м ³ /час
Расстояние между ламелями	10 мм
Вентиляторы	3 шт., диаметр = 800 мм, по 1,4 кВт каждый

Размеры	Длина = 4150 мм
	Ширина = 1700 мм
	Высота = 1400 мм

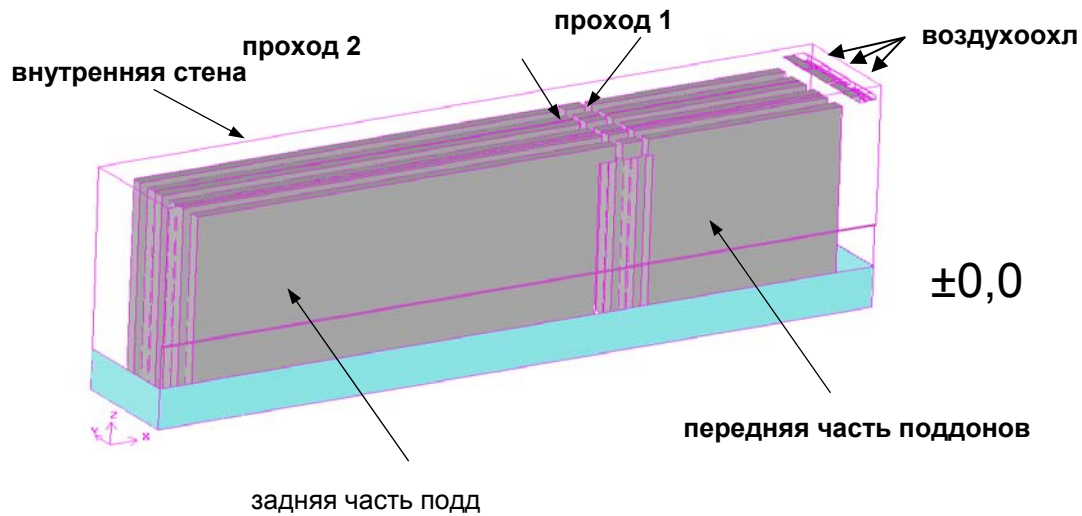
2.1. Планировка помещения: Склад глубокой заморозки разделен на 4 сегмента

83 м



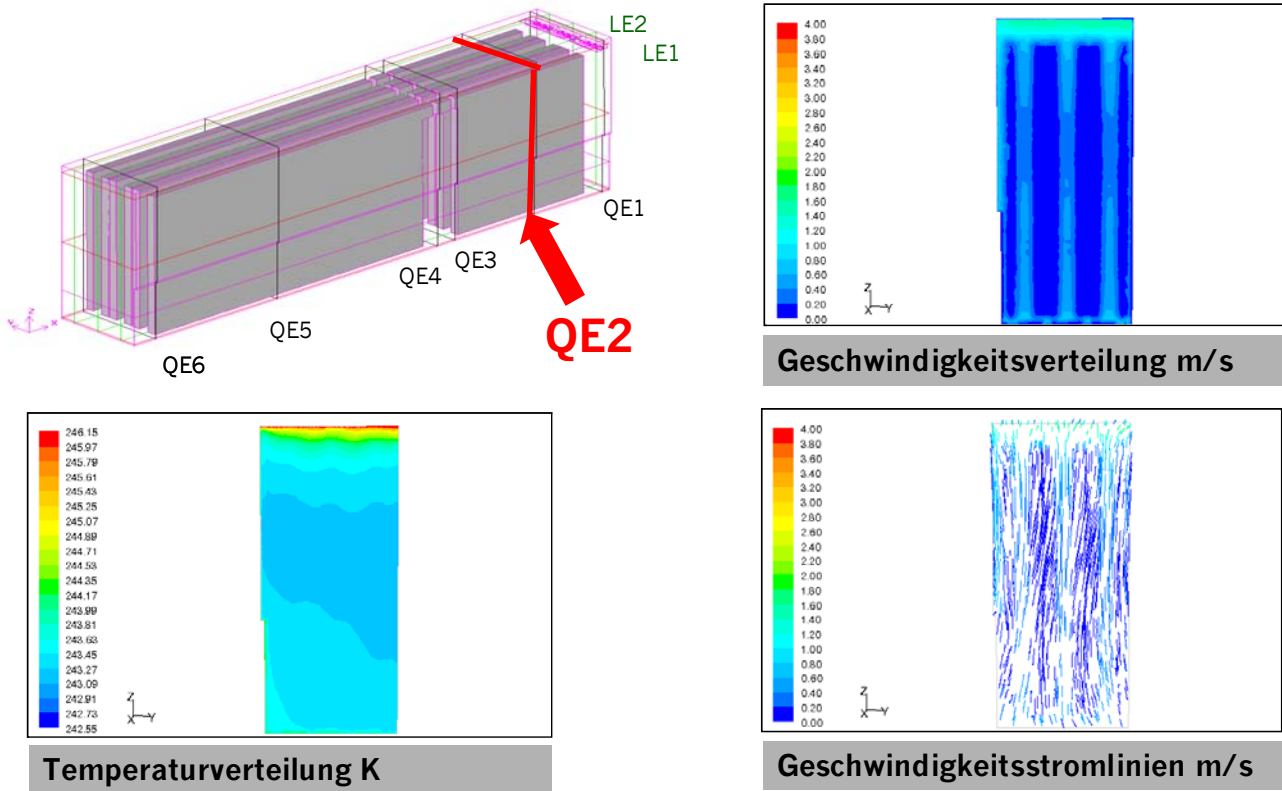
3. Вычисления условий воздушных потоков и температуры на основе моделирования

3.1. Представление области вычислений



Компьютерная модуляция дает возможность представить скорость потока воздуха, направление потока и распределение температуры во всех поперечных и продольных разрезах, а также разрезах по высоте. В следующих примерах представлен ряд графических представлений.

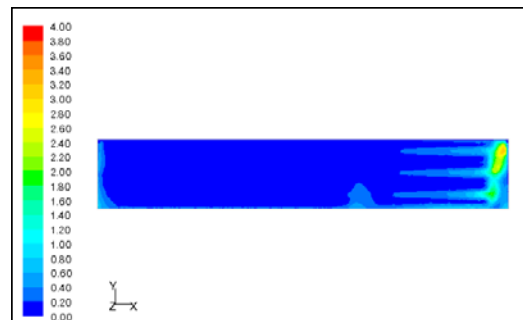
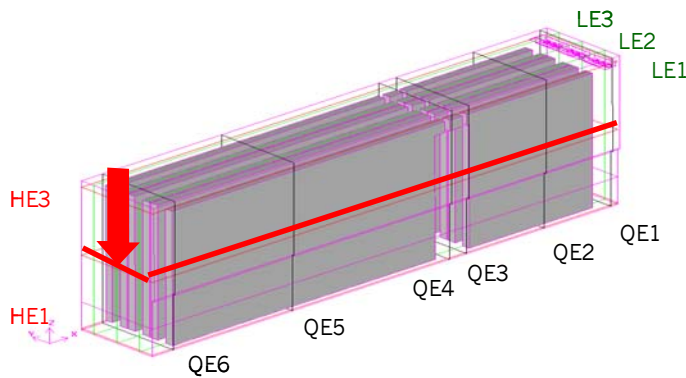
3.2. Пример: результаты поперечной плоскости QE 2



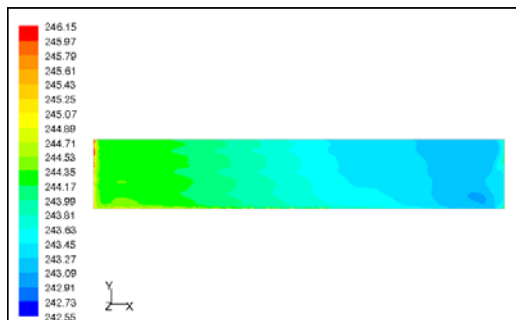
Geschwindigkeitsverteilung m/s	Распределение скорости, м/с
Temperaturverteilung K	Распределение температуры, К
Geschwindigkeitsstromlinien m/s	Линии потока скорости, м/с

По разрезу поперечной плоскости 2 можно увидеть, что в проходах имеет место ярко выраженная скорость воздуха. Воздух подается от воздухоохладителей на противоположную сторону помещения. Часть воздуха подается вверх. Под потолком создается тонкий пограничный слой более теплого воздуха, который возвращается обратно к воздухоохладителям

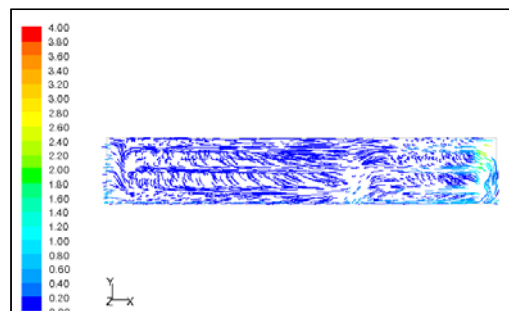
3.3. Пример: Результаты горизонтальной плоскости HE 2



Geschwindigkeitsverteilung m/s



Temperaturverteilung K

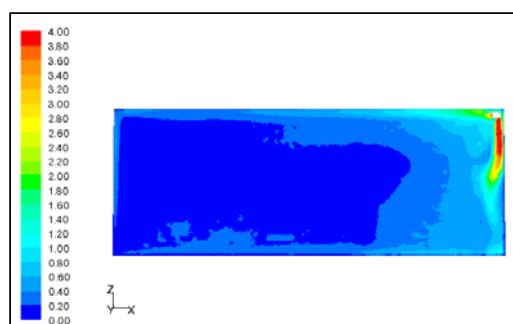
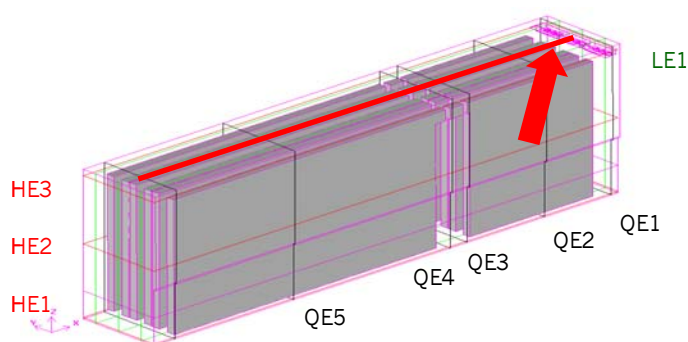


Geschwindigkeitsstromlinien m/s

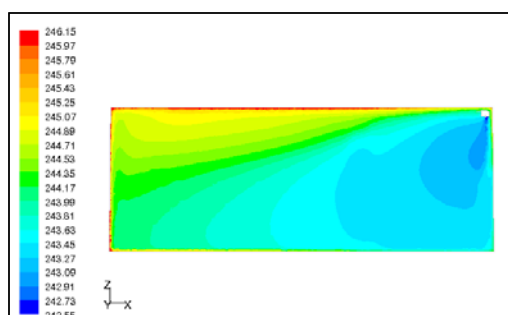
Geschwindigkeitsverteilung m/s	Распределение скорости, м/с
Temperaturverteilung K	Распределение температуры, К
Geschwindigkeitsstromlinien m/s	Линии тока скорости, м/с

Скорость воздуха в проходах снижается примерно через 20 м. Холодный воздух медленно движется по проходам до конца помещения. В тонком пограничном слое у внешних стен воздух поднимается под действием восходящего теплового потока. Разность температур по длине помещения составляет в этой плоскости около 1,8 К

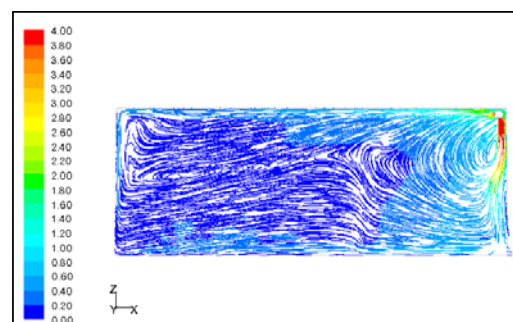
3.4. Пример: результаты продольной плоскости LE 2



Geschwindigkeitsverteilung m/s



Temperaturverteilung K



Geschwindigkeitsstromlinien m/s

Geschwindigkeitsverteilung m/s	Распределение скорости, м/с
Temperaturverteilung K	Распределение температуры, К
Geschwindigkeitsstromlinien m/s	Линии тока скорости, м/с

Графическое представление воздушного потока демонстрирует, что только часть объема воздуха возвращается обратно к охладителю после прохождения примерно 20 метров длины помещения. Большая часть воздуха движется через помещение до противоположной внешней стены, там поднимается вверх и под потолком движется обратно к воздухоохладителям. В области внешней стены и потолка заметен тонкий пограничный слой более теплого воздуха.

3.5 Результат компьютерного моделирования

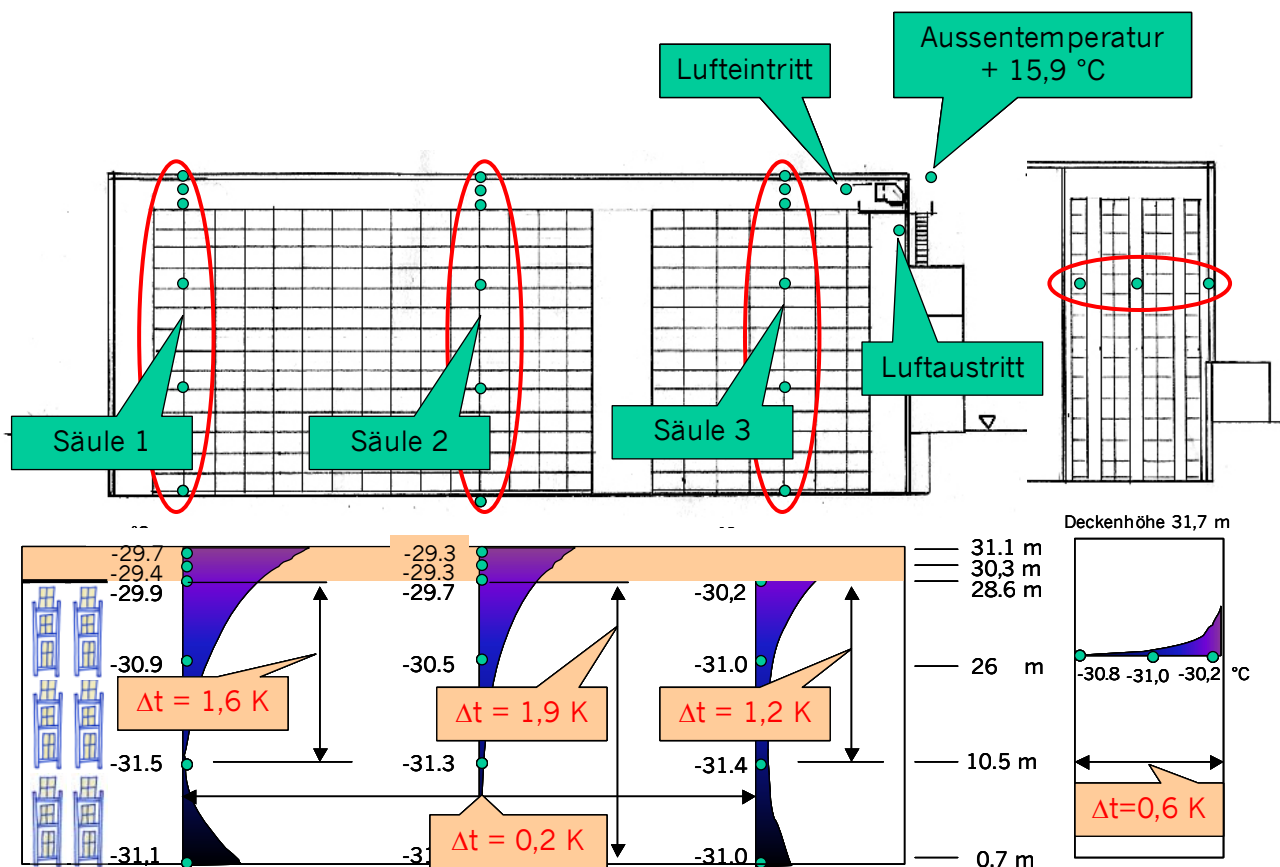
Распределение температуры по длине в области поддонов

В области пола	1,3 К
В средней области	1,8 К
В верхней области	2,0 К

Максимальная температура воздуха в области потолка составляет $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ и находится в заданном диапазоне.

4. Измерения температуры в данном складе глубокой заморозки

4.1. Измеренные значения температуры на протяжении периода измерений, составляющего 7 дней



Lufteintritt	Впуск воздуха
Außentemperatur +15,9 °C	Внешняя температура, +15,9 °C
Luftaustritt	Выпуск воздуха
Säule 1, Säule 2, Säule 3	Колонна 1, колонна 2, колонна 3
Deckenhöhe 31,7 m	Высота потолка 31,7 м

4.2. Результат измерений

Во всей области поддонов максимальная разность температур между самой холодной и самой теплой точками измерений составляет 1,9 K.

Значения температуры во всех точках измерений составили менее -28 °C и находились, таким образом, в заданном диапазоне.

5. Вывод

Скорость циркуляции воздуха 4,2 и подача воздуха с помощью восходящего теплового воздуха позволяют достичь равномерного распределения температуры в крупных складских помещениях глубокой заморозки.

Компьютерное моделирование условий воздушных потоков и температуры предоставляет хорошие исходные данные для дальнейшей оценки функционирования холодильного склада.