

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА

Кафедра “Управление грузовой и коммерческой работой”

И. С. ДЗЮБА

ПЕРЕВОЗКА СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

Часть II

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПЕРЕВОЗКИ
СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

Пособие для курсового и дипломного проектирования

Гомель 2002

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА

Кафедра “Управление грузовой и коммерческой работой”

И. С. ДЗЮБА

ПЕРЕВОЗКА СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

Часть II

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПЕРЕВОЗКИ
СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

Пособие для курсового и дипломного проектирования

*Одобрено методической комиссией
факультета «Управление процессами перевозок»*

Гомель 2002

УДК 656.225.444 (075.8)

Д 438

Дзюба И.С.

Д 438 Перевозка скоропортящихся грузов. Ч. II. Оптимизация режимов перевозки скоропортящихся грузов: Пособие для курсового и дипломного проектирования.– Гомель: БелГУТ, 2002. – 50 с.

Рассмотрены вопросы организации работ в пунктах отправления скоропортящихся грузов. Приведены методики расчета технического оснащения грузовых фронтов на холодильных складах, даны общие рекомендации по расчету и планировке холодильников, расчету теплоизоляции холодильных камер. Детально исследованы закономерности колебания температуры наружного воздуха в течение суток и впервые предложена методика определения расчетных значений этого параметра при стоянках на опорных станциях и проследовании участков. Подробно излагается методика теплотехнических расчетов изотермического подвижного состава.

Предназначено для использования в учебном процессе при курсовом и дипломном проектировании студентами факультета "Управление процессами перевозок".

Р е ц е н з е н т – докт. техн. наук, профессор кафедры «Управление грузовой
вой
и коммерческой работой» **Г. А. Циркунов.**

© И. С. Дзюба, 2002.

1 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ В ПУНКТАХ ОТПРАВЛЕНИЯ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

1.1 Обработка рефрижераторных вагонов на станции

Необходимость обеспечения специфических условий перевозки скоропортящихся грузов требует особой подготовки изотермических вагонов в техническом, теплотехническом и санитарном отношении.

Техническая и санитарная подготовка может включать: очистку, промывку, дезинфекцию, устранение неисправностей, – после чего решается вопрос возможности подачи вагонов под погрузку. При положительном решении вагоны проходят техническое обслуживание, экипируются по необходимости горюче-смазочными и другими материалами, подвергаются коммерческому осмотру.

Теплотехническая подготовка характерна только для изотермических вагонов и включает проверку целостности изоляции кузова вагона, внутреннего оборудования и осмотр устройств и приборов охлаждения. В случае необходимости производится предварительное охлаждение кузова. Термическая подготовка вагонов особенно важна в летний период, чтобы снизить перепад температур в камерах хранения и в изотермических вагонах.

Санитарная обработка вагонов является обязательной после перевозки живности, птицы, мяса и сырья животного происхождения, а также перед погрузкой мяса и мясопродуктов. Санитарная обработка вагонов производится на специально оборудованных для этих целей дезинфекционно-промывочных станциях и пунктах, которые обычно сооружаются на станциях массовой выгрузки скота и сырья животного происхождения или на ближайших станциях по пути следования порожних потоков вагонов из-под выгрузки этих грузов. Дезинфекционно-промывочные устройства проектируются по индивидуальным проектам. Места их размещения согласовываются с транспортным, ветеринарно-санитарным надзором, должны быть

отделены санитарно-защитной зоной от жилой застройки и располагаться не ближе 500 м от нее. По характеру ветеринарно-санитарной обработки вагоны делят на три категории:

- I – вагоны, в которых перевозились животные и птицы, а также сырье, полученное от здоровых животных;
- II – вагоны, в которых перевозились животные и птицы, больные (или подозреваемые в заболевании) нестойкими инфекциями, а также сырье от таких животных;
- III – вагоны, в которых перевозились животные, больные (или подозреваемые в заболевании) болезнями, имеющими стойких возбудителей (сибирская язва, сеп, столбняк и др.), а также сырье, полученное от таких животных.

Для каждой категории вагонов установлен определенный технологический процесс ветеринарно-санитарной обработки.

Дезинфекционно-промывочные станции предназначены для обработки вагонов всех трех категорий, а дезинфекционно-промывочные пункты – для обработки только вагонов I и II категорий.

В расчетах рекомендуется принимать следующие соотношения вагонов по категориям обработки: I категории – 90 %; II категории – 8 %; III категории – 2 %.

Санитарные разрывы между площадками для обработки вагонов разных категорий на дезинфекционно-промывочных станциях и пунктах должны быть не менее 30 м. Площадка для обработки вагонов I категории ограждается лесозащитной полосой или кустарником, а площадки для обработки вагонов II и III категорий – сплошным забором.

Дезинфекционно-промывочные станции и пункты оборудуются водопроводом, канализацией и очистными сооружениями. Очистные сооружения дезинфекционно-промывочных станций и пунктов для грузовых вагонов имеют следующее оборудование:

- решетки, песколовки, отстойники для очистки стоков от механических примесей;
- аэротенки для биологической очистки стоков;
- резервуар для хлорирования стоков;
- приемный резервуар для сбора очищенных стоков.

В комплекс сооружений дезинфекционно-промывочной станции входят:

- пути для обработки вагонов, оборудованные промывочными платформами и площадками для навоза и мусора (обработку вагонов I и II категорий производят на платформах открытого типа, а вагонов III категории – в закрытом депо);

- дезинфекционная камера с изолированными помещениями для приготовления, хранения и механической подачи дезинфекционных растворов к обрабатываемым вагонам;

- депо для обработки вагонов III категории с помещениями для автоклавирования сточных вод и навозосжигательной печи;

- устройства для сбора, очистки и обеззараживания сточных вод;

- служебно-бытовые помещения с санпропускником.

В комплекс сооружений дезинфекционно-промывочного пункта входят эти же сооружения, за исключением депо для обработки вагонов III категории. Технологический процесс работы дезинфекционно-промывочных пунктов предусматривает совмещение операций (рисунок 1.1) и позволяет выполнять обработку вагонов в течение 1...1,5 часа.



Рисунок 1.1 – Примерный график работы дезинфекционно-промывочной станции

Очевидно, что в силу специфики выполняемых работ, индивидуальности проектов, особых повышенных требований к системам защиты – количество дезинфекционно-промывочных станций и пунктов весьма ограничено. Поэтому санитарная обработка подвижного состава производится заблаговременно, и на станцию погрузки поступают уже обработанные вагоны. Продолжительность операции по подаче, обработке и возвращению подвижного состава на дезинфекционно-промывочные пункты и обратно, как правило, не включается в общее время нахождения рефрижераторного подвижного состава на станциях погрузки.

Перед погрузкой бригада, обслуживающая секцию, или работник хладотранспорта определяют необходимость экипировки рефрижераторного подвижного состава и дозаправки системы охлаждения, холодильной и силовой установок и системы жизнеобеспечения необходимыми компонентами. Экипировка рефрижераторного подвижного состава производится на специально оборудованных пунктах, а заправка топливом может выполняться на пунктах экипировки локомотивов. Обычно продолжительность экипировки не превышает 1,5 часа (рисунок 1.2).

Продолжительность экипировки при регулярном выполнении этих работ может включаться в общее время нахождения рефрижераторного подвижно-

го состава на станции погрузки.

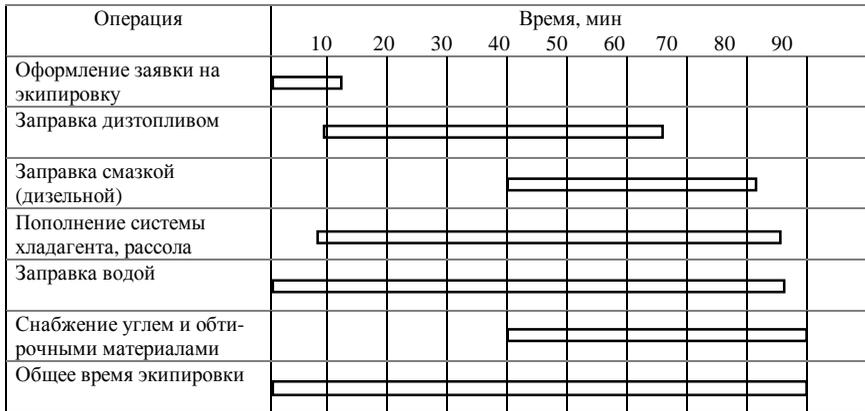


Рисунок 1.2 – Примерный график экипировки рефрижераторного подвижного состава



Рисунок 1.3 – Примерный график обработки вагонов на станции

Для расчета общей продолжительности нахождения рефрижераторных вагонов на грузовой станции выполняется нормирование отдельных операций и разрабатывается технологический график обработки (рисунок 1.3).

1.2 Число подач-уборок вагонов на грузовые фронты холодильного склада

Число подач-уборок вагонов на грузовые фронты холодильного склада устанавливается по расчетному суточному потоку вагонов (m_p) и вместимости погрузочно-выгрузочного пути склада ($m_{гр.фр}$). Так как $m_p = Q_p/Q_v$, то количество подач

$$x_{пу} = m_p/m_{гр.фр} \text{ или } x_{пу} = Q_p/(Q_v m_{гр.фр}), \quad (1.1)$$

где Q_p – расчетный суточный грузопоток, т; Q_v – техническая норма загрузки одного изотермического вагона, принятого для перевозки, т/ваг.

При эпизодической погрузке (выгрузке) скоропортящихся грузов или концентрации продукции по дням недели расчетный суточный поток вагонов принимается равным максимально возможному объему суточной погрузки (выгрузки). Зная количество вагонов в одной подаче,

$$m_{под} = m_p/x_{пу} \leq m_{гр.фр}, \quad (1.2)$$

можно определить потребное число расцепок группового изотермического подвижного состава, разработать последовательность и порядок обработки грузовых фронтов. Важно отметить, что полное использование вместимости грузового фронта возможно только при отгрузке одиночных вагонов. Если же производится погрузка группового рефрижераторного состава и погрузочно-выгрузочный путь не вмещает полностью секцию или поезд, то возникает необходимость расцепки таких рефрижераторных единиц. Порядок обработки расцепляемых секций и поездов устанавливается совместно с маневровым диспетчером (дежурным по станции) и обслуживающей бригадой. Особенности выполнения этих работ отмечались в [1, п. 2.1]. Необходимость разъединения и погрузки по частям рефрижераторных секций может привести к завышению числа подач-уборок.

Пример. На грузовом фронте вместимостью $m_{гр.фр} = 7$ ваг. ежедневно загружается две 12-вагонные секции. Определить: $x_{пу}$ и $m_{под}$.

Так как в одной 12-вагонной секции 10 грузовых вагонов (по пять вагонов с каждой стороны от вагона с машинным отделением), то $m_p = 2 \cdot 10 = 20$ ваг., и по формуле (1.1) находим $x_{пу} = 20/7 = 3$ подачам. Однако организовать такое количество подач нельзя из-за специфики используемого изотермического подвижного состава. В данном случае секция не может быть загружена без расцепки и должна расцепляться на две части по 5 грузовых вагонов каждая. Поэтому на грузовой фронт

будет подаваться за один раз 5 грузовых вагонов, а число подач увеличится до четырех. Таким образом, $t_{под} = 5$ ваг.; $x_{пу} = 4$ подачам.

Число подач оказывает непосредственное влияние на режим работы холодильного склада и потребную производительность применяемой механизации. При круглосуточной работе холодильного склада максимальное количество подач-уборок $x_{пу} = 4 \dots 6$, а при односменной работе – $x_{пу} = 1 \dots 2$. При больших объемах работы количество вагонов в подаче и число подач могут определяться оптимизационными методами [3, 4]. Для сокращения $x_{пу}$ можно предусмотреть различные технические или технологические мероприятия: удлинение погрузочно-выгрузочных фронтов или создание параллельных каналов обслуживания рефрижераторных вагонов и т. п. (см. п. 2.1).

По установленному количеству подач-уборок можно определить среднюю продолжительность интервала между смежными подачами

$$J = T_{xc} / x_{пу},$$

где T_{xc} – продолжительность работы холодильного склада в течение суток, ч; $x_{пу}$ – расчетное количество подач-уборок вагонов на холодильный склад.

Очевидно, что продолжительность производства грузовых операций с одной подачей вагонов $t_{гр}$ будет ограничена интервалом между смежными подачами J за вычетом продолжительности подготовительно-заключительных операций, технологических перерывов и пр. $t_{пз}$, т. е.

$$t_{гр} \leq J - t_{пз}. \quad (1.3)$$

Величина $t_{пз}$ включает продолжительность следования вагонов на грузовой фронт, ожидания подачи, расстановки вагонов по грузовым точкам, открытия дверей, установки переходных мостиков, осмотра и т.п., а также всех операций, связанных с уборкой вагонов после производства грузовых работ. Величина $t_{пз}$ зависит от конкретных условий организации работ на холодильном складе, удаленности его от грузовой станции и для каждого конкретного случая может быть точно определена хронометражными наблюдениями или по действующим технологическим нормам, а для ориентировочных расчетов можно принять $t_{пз} = 1 \dots 1,5$ ч. Известно также, что простой рефрижераторных вагонов на грузовом пункте, особенно при расцепке рефрижераторных секций и поездов, не должен превышать шести часов.

Исходя из вышеуказанных ограничений выбираются соответствующие средства механизации.

1.3 Особенности применения механизации на холодильных складах

При разработке технологических схем механизации и выборе технических средств для переработки заданных грузов на холодильном складе не-

обходимо учитывать ряд особенностей.

1 Все операции производятся в условиях, близких к температурному режиму хранения грузов, чтобы избежать воздействия на грузы излишних теплопритоков от окружающей среды. Поэтому для защиты груза должны предусматриваться различные виды дополнительных ограждений (специализированные платформы закрытого или ангарного типа, тамбуры, системы воздушных завес и т. п.), а выбираемые средства механизации должны обеспечивать надежную и устойчивую работу при минусовых температурах.

2 Переработка скоропортящихся грузов требует обязательного их перевешивания, как правило, на товарных весах. Товарные весы являются обязательным элементом технологической схемы механизации.

3 Скоропортящиеся грузы требуют особого порядка укладки в соответствии с разработанными условиями хранения, обеспечивающими оптимальные режимы температур, влажности, циркуляции. Должен также соблюдаться принцип "раньше пришел – раньше уходит", т. е. первыми отгружаются из холодильного склада грузы, которые первыми закладывались на хранение.

4 Многие грузы из-за особенностей геометрической формы (мясные туши и полутуши, арбузы, дыни и др.) требуют разработки особых средств пакетирования, затрудняя использование стандартных схем механизации. Для формирования пакетов со скоропортящимися грузами применяют плоские (грузы в таре и правильной формы), стоечные и ящичные поддоны (грузы неправильной формы, не позволяющие использовать стандартную тару), специальные контейнеры (жидкие и сыпучие грузы).

5 На складских работах могут применяться практически все виды механизации, удовлетворяющие требованиям:

1) на объектах пищевой промышленности запрещено использовать автопогрузчики из-за высокой токсичности выхлопных газов и дополнительных избыточных теплопритоков;

2) масса средств механизации и их размеры должны позволять транспортировать их в грузовых лифтах и использовать для работы в изотермических вагонах. Из-за сложной конструкции и слабой несущей способности пола изотермических вагонов нагрузка от колес не должна превышать 1,5 т, при этом, если она выше 1,2 т, то на пути следования погрузчика укладываются металлические листы толщиной 3–4 мм;

3) количество и производительность машин и лифтов должны обеспечивать выполнение технологического процесса и сроков погрузки-выгрузки.

Указанным требованиям, в основном, удовлетворяют малогабаритные электрические погрузчики с вилочным захватом и грузоподъемностью до

1000 кг. Широкое распространение в последнее время получило применение на мясокомбинатах специальных роликовых тележек с крючьями на подвесных монорельсовых дорогах, которые охватывают всю технологическую цепочку производства от убойного цеха до камер хранения и далее до пунктов выдачи готовой продукции. Хранение туш в охлаждённом и замороженном состоянии в этом случае производится подвесом. Могут также использоваться на холодильных складах различные стеллажные штабелёры и другие виды механизации.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ СКЛАДОВ

2.1 Расчет оснащения грузовых фронтов

Расчет грузовых фронтов позволяет установить полезную потребную длину, обеспечивающую освоение расчетного суточного грузопотока, и количество механизмов, которое должно быть занято на погрузочно-разгрузочных работах для обеспечения потребной производительности и норм простоя подвижного состава. Вместимость грузовых фронтов обычно измеряют количеством единиц подвижного состава, которое может быть установлено одновременно вдоль фронта. Различают фронт подачи и фронт единовременной погрузки-выгрузки.

Фронт единовременной погрузки-выгрузки определяется технологией производства и конструкцией холодильного склада и, как правило, представляет собой достаточно устойчивую величину. Чтобы изменить количество грузовых точек на участке холодильного склада, требуются значительные реконструктивно-строительные работы. Поэтому, в случае крайней необходимости, для увеличения фронта единовременной погрузки-выгрузки могут сооружаться для перегрузки охлаждённых и замороженных грузов дополнительные крытые платформы, а для массовых отправок овощных грузов – открытые платформы и площадки.

Фронт подачи обычно больше фронта единовременной погрузки-выгрузки и определяется по суточному расчетному количеству подвижного состава, подлежащего обработке на грузовом фронте, и установленному числу подач-уборок. Для ускорения обработки поданные вагоны ожидают выполнения грузовых операций непосредственно на пути грузового фронта и переставляются на фронт непосредственной погрузки-выгрузки по мере его освобождения. При этом сокращаются простои технологических линий погрузки (выгрузки) в ожидании выполнения маневровых операций по уборке и подаче вагонов с грузовой станции.

Задача определения потребной вместимости погрузочно-выгрузочного пути может быть решена итерационным способом. В качестве переменных

величин принимаются продолжительность работы холодильного склада в течение суток (T_{xc}) и число подач-уборок ($x_{пу}$), а исходными данными считаются расчетный суточный поток вагонов (m_p), фронт единовременной погрузки-выгрузки ($m_{п.в.}$) и продолжительности операций по подаче и уборке вагонов ($t_{пу}$), подготовительно-заключительным работам ($t_{пз}$), перестановке вагонов у грузового фронта ($t_{пер}$).

Увеличение числа подач-уборок позволяет сократить требуемую вместимость грузового фронта и простой подвижного состава, но при этом увеличиваются затраты на средства механизации из-за повышения интенсивности грузовых операций, а также расходы на маневровые средства грузовой станции. Таким образом, появляется типовая оптимизационная задача поиска требуемой вместимости грузовых фронтов холодильного склада в комплексе с расчетом количества механизмов, занятых на погрузочно-выгрузочных работах. Достаточно подробно решение подобных задач рассмотрено в [4].

Количество электрических погрузчиков, обслуживающих один грузовой вагон Z_0 , определяется по технической норме загрузки вагона Q_b , часовой производительности механизации $Q_{ч}$ и расчетной продолжительности погрузки одного вагона $\tau_{пв}$:

$$Z_0 = Q_b / (Q_{ч} \tau_{пв}). \quad (2.1)$$

Простой всей подачи вагонов под грузовой операцией, ч,

$$t_{гр} = (\tau_{пв} m_{под}) / m_{пв}, \quad (2.2)$$

где $m_{под}$ – количество вагонов в одной подаче для фронта погрузки (выгрузки), ваг.; $m_{пв}$ – количество единовременно обрабатываемых вагонов, т. е. фронт единовременной погрузки (выгрузки), ваг.

Из выражения (2.2) с учетом ограничения (1.3) следует

$$\tau_{пв} \leq (J - t_{пз}) m_{пв} / m_{под}. \quad (2.3)$$

Для определения часовой нормы выработки электропозрузчика используется выражение

$$Q_{ч} = Q_{п} \cdot 60 / T_{ц}, \quad (2.4)$$

где $Q_{п}$ – масса груза, перемещаемого за один цикл, т. Для пакетированного груза $Q_{п}$ принимается равным массе пакета, в остальных случаях можно ориентировочно принимать $Q_{п} = 0,7 Q_{погр}$, $Q_{погр}$ – грузоподъемность погрузчика; $T_{ц}$ – продолжительность рабочего цикла погрузчика.

Для расчета величины $T_{ц}$ разрабатывается принципиальная технологическая схема механизации работ на холодильнике, и устанавливаются все основные операции, которые должен выполнять погрузчик в течение цикла (рисунок 2.1).

Величина $T_{ц}$ может быть точно определена путем проведения хрономет-

разных замеров продолжительности выполнения отдельных элементарных операций и построения технологического графика работы погрузчика. Для ориентировочных расчетов можно воспользоваться укрупненными нормами времени (таблица 2.1).

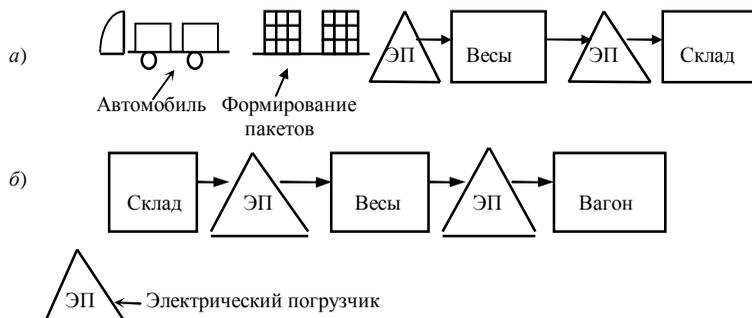


Рисунок 2.1 – Примеры технологических схем использования погрузчиков на холодильных складах при приеме (а) и выдаче (б) грузов

Таблица 2.1 — Нормы времени на технологические операции

Операция	Укрупненные нормы времени, мин
Захват груза	0,3–0,5
Транспортировка к весам	0,8–1,0
Установка на весах, взвешивание, снятие с весов	2,0–2,5
Транспортировка от весов к месту укладки	0,8–1,0
Установка в складе	0,3–0,5
Подъем лифтом	1,0–1,5
Размещение груза в камере	0,8–1,0
Укладка в вагоне-холодильнике	0,8–1,2
Формирование пакета вручную	5,0–7,0

Для холодильных складов со значительными объемами суточного поступления и выдачи скоропортящихся грузов количество средств механизации рассчитывается отдельно по специализированным зонам работы: прием грузов; сортировка и размещение в камерах хранения; выдача грузов со склада. Для каждой выделенной зоны разрабатывается технологический режим работы, нормируются временные показатели.

Для холодильных складов с незначительным грузопотоком при разработке технологической схемы специализацию электрических погрузчиков по рабочим зонам можно не предусматривать.

После подстановки (2.4) и (2.3) в (2.1) получим необходимое количество

электрических погрузчиков, обслуживающих один вагон,

$$Z_0 \geq Q_v m_{\text{под}} T_{\text{ц}} / [(T_{\text{хс}} / x_{\text{пу}} - t_{\text{пз}}) Q_{\text{п}} m_{\text{пв}} \cdot 60]. \quad (2.5)$$

Для обеспечения нормальной и бесперебойной работы средств механизации и повышения надежности погрузочно-выгрузочного комплекса следует принимать величину Z_0 не менее 2.

Поскольку число возможных значений варьируемых параметров ограничено, то имеется возможность организации прямого перебора вариантов. Пусть количество подач-уборок на холодильный склад изменяется от 1 до k и равно $x_{\text{пу}}$ при расчетном суточном потоке вагонов $m_{\text{р}}$, тогда:

1) количество вагонов в одной подаче и потребная вместимость грузового фронта, ваг.,

$$m_{\text{под}} = m_{\text{р}} / x_{\text{пу}}; \quad (2.6)$$

2) интервал между смежными подачами вагонов, ч,

$$J = T_{\text{хс}} / x_{\text{пу}}; \quad (2.7)$$

3) количество частей, на которые должна разделяться поданная группа вагонов при выполнении грузовых операций,

$$n = \text{int} (m_{\text{под}} / m_{\text{пв}}), \quad (2.8)$$

где $m_{\text{пв}}$ – фронт единовременной погрузки-выгрузки;

4) продолжительность выполнения грузовых операций с одним вагоном (или всей группой одновременно обрабатываемых вагонов), ч,

$$\tau_{\text{пв}} = [J - \tau_{\text{пу}} - \tau_{\text{пз}} - \tau_{\text{пер}}(n-1)/n], \quad (2.9)$$

где $\tau_{\text{пу}}, \tau_{\text{пз}}, \tau_{\text{пер}}$ – продолжительность операций по подаче и уборке вагонов к холодильному складу, выполнению подготовительно-заключительных работ с вагоном на грузовом фронте, перестановке вагонов для продолжения выполнения грузовых операций;

5) потребная часовая производительность средств механизации, задействованных на обработке одного вагона, т/ч,

$$Q_{\text{мех}}^{\text{ч}} = Q_v / \tau_{\text{пв}};$$

6) при известной технической производительности одного механизма $Q_{\text{ч}}$ устанавливается количество механизмов, приходящихся на один обрабатываемый вагон,

$$Z_0 = Q_{\text{мех}}^{\text{ч}} / Q_{\text{ч}}; \quad (2.10)$$

7) так как величина Z_0 не может быть дробной и должна приниматься $Z_0 \geq 2$, то возможно изменение фактического времени обработки вагонов, ч, до величины

$$\tau_{пв}^{\phi} = Q_{в} / (Z_{о}^{\phi} Q_{ч}); \quad (2.11)$$

8) общая продолжительность простоя поданных вагонов на грузовом фронте

$$\tau_{гр} = \tau_{пв}^{\phi} + (\tau_{пв}^{\phi} + \tau_{пер}) (n - 1) + \tau_{пз}. \quad (2.12)$$

Расчетные параметры по вариантам могут быть сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Сводная таблица расчетных параметров по вариантам

Число подач-уборок $x_{пу}$	Длина фронта подачи $m_{под}$, ваг. $m_p/x_{пу}$	Средний интервал между подачами J , ч $T_{xc}/x_{пу}$	Предельное время обработки вагона $\tau_{пв}$, ч/ваг.	Потребное число механизмов Z_o , мех./ваг.	Фактическое время простоя вагонов, ч/ваг.	
					под грузовой операцией, $\tau_{пв}$	на грузовом фронте, $\tau_{гр}$
1	$m_p / 1$	$T_{xc} / 1$				
2	$m_p / 2$	$T_{xc} / 2$	Формула	Формула	Формула	Формула
...	(2.9)	(2.10)	(2.11)	(2.12)
k	m_p / k	T_{xc} / k				

На основании логического или технико-экономического анализа вариантов принимается окончательное решение о технической оснащенности грузовых фронтов холодильного склада. Имеются другие аналогичные методики детального моделирования работы технических систем и определения потребных мощностей каналов обслуживания.

После изучения технологии производства погрузочно-выгрузочных работ на холодильнике разрабатывается схема комплексной механизации (рисунков 2.2).

2.2 Расчет параметров и оборудования холодильных складов

Стационарные холодильные сооружения (холодильники, станции предварительного охлаждения, хранилища льда и т. п.) предназначены для охлаждения, замораживания и хранения низкотемпературных грузов и материалов. Основной задачей при расчете таких сооружений является определение потребной вместимости камер, количества грузовых лифтов для многоэтажных холодильников, рациональной толщины теплоизоляции, типа и мощности холодильного оборудования в зависимости от производственно-технических требований и экономической целесообразности.

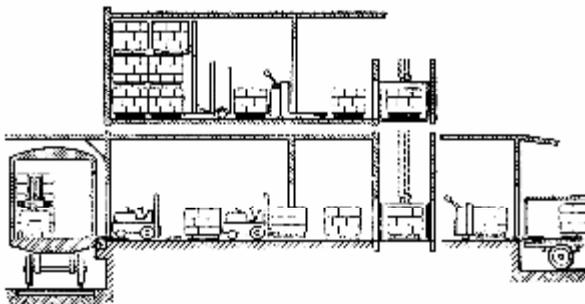
Общая вместимость холодильника зависит от расчетного суточного грузопотока и продолжительности хранения отдельных грузов:

$$E = \sum G_i \tau_{xpi} k_i,$$

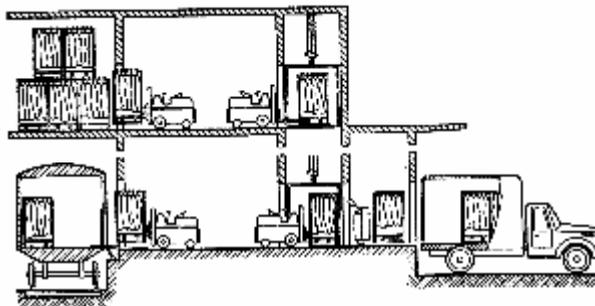
где G_i – расчетное поступление i -го груза, т/сут.; τ_{xpi} – планируемый срок хранения i -го груза, сут.; k_i – коэффициент резерва для сглаживания нерав-

номерности поступающего грузопотока и продолжительности хранения i -го груза.

a)



б)



в)

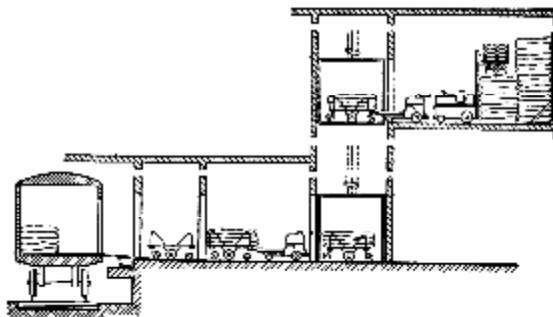


Рисунок 2.2 – Примеры комплексной механизации погрузочно-выгрузочных работ на холодильниках: *a* – с тарно-штучными грузами; *б* – с охлажденным мясом; *в* – с мороженым

МЯСОМ

Величина расчетного срока хранения зависит от рода груза и предполагаемого режима хранения. Для охлажденных скоропортящихся грузов животного происхождения срок хранения не превышает нескольких суток, хранение овощной продукции может продолжаться в течение нескольких месяцев, а для замороженных грузов срок хранения увеличивается до года и более. Нормативные данные по срокам хранения скоропортящихся грузов приводятся в справочной литературе.

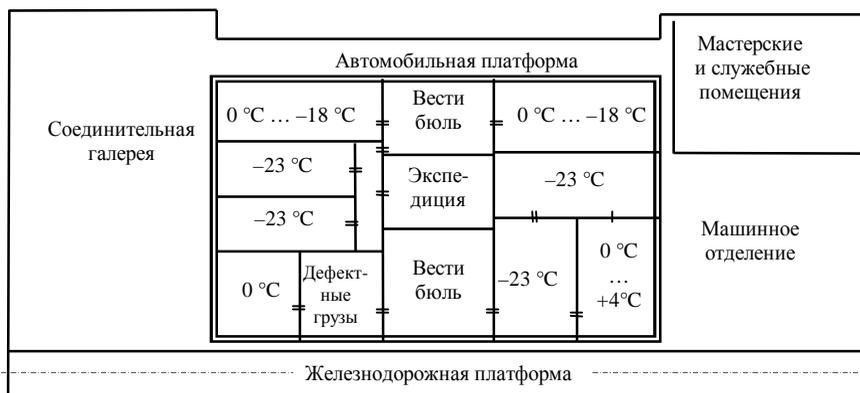


Рисунок 2.3 – Примерный план размещения камер холодильника

Общая потребная площадь камер холодильника

$$F_o = \alpha E / \gamma ,$$

где α – коэффициент, учитывающий дополнительные площади на проходы, отступы от стен и пр. Значение коэффициента α зависит от размеров камер хранения: для малых камер площадью до 50 м^2 $\alpha = 1,4$; для средних площадью от 50 до 300 м^2 $\alpha = 1,3$; для больших камер (свыше 300 м^2) $\alpha = 1,2$; γ – удельная нагрузка на 1 м^2 площади холодильной камеры зависит от назначения камеры, высоты укладки, рода груза. Значение γ приводится в справочной литературе, однако для ориентировочных расчетов можно принять: для камер охлаждения, замораживания и хранения охлажденных грузов $0,16 \dots 0,20 \text{ т/м}^2$, для хранения мороженых грузов с плотной укладкой $0,90 \dots 2,00 \text{ т/м}^2$.

Количество камер зависит, прежде всего, от разновидности хранимой продукции, а также специализации камер. Небольшие реализационные холодильники столовых, магазинов и др. имеют 3–4 камеры, специализированные по грузам: мясо, рыба, жиры, гастрономия. Более крупные холо-

дильники включают от 10 до 40 и более камер. Их специализация осуществляется не по роду груза, а по степени термической обработки. На таких холодильниках обычно выделяются: специальные камеры быстрого охлаждения – морозилки ($t_b \leq -23$ °C), вместимостью около 1 % от общей вместимости камер хранения; камеры хранения мороженных грузов ($t_b \leq -18$ °C); универсальные камеры (-18 °C $< t_b < 0$ °C); камеры для охлажденного мяса (0 °C $< t_b < +4$ °C) и рыбы ($t_b = 0$ °C) и др.

Строительная площадь камеры определяется с учётом размеров строительных модулей

$$F_{\text{стр}} = l_k v_k,$$

где l_k , v_k – соответственно длина и ширина камеры, м. Эти размеры принимаются кратными 6 м и теоретически могут иметь любые значения.

Однако проведенные исследования показывают, что оптимальная ширина холодильных камер обычно не превышает 18...20 м, а длина 36...40 м, при этом строительная площадь одной камеры обычно находится в пределах 100...500 м², а для крупных распределительных холодильников до 1000 м². При расчете технического оснащения холодильника необходимо предварительно разработать технологическую схему взаимодействия основных технических служб, размещения и специализацию камер хранения, их размеры и потребное количество и разработать планировку размещения камер, экспедиции, служебных помещений, вестибюлей, тамбуров, а также железнодорожных и автомобильных подъездов. Пример планировки показан на рисунке 2.3.

Если расчётное количество камер и объемы хранимой продукции получатся большими, то следует предусмотреть размещение камер в несколько этажей. Число этажей должно быть таким, чтобы изолированный контур здания имел форму куба для максимального уменьшения теплопередающей поверхности, а нагрузка на грунт не превышала 2,5 кг/см².

Потребное число подъемников для высотных холодильных складов должно обеспечивать достаточный фронт грузовых работ и потребную перерабатывающую способность холодильного комплекса. Подъемники размещаются обычно со стороны подъездов автомобильного и железнодорожного транспорта и вне изолированного контура холодильника. Количество подъемников может определяться из выражения

$$Z_{\text{л}} = G_{\text{л}}/q_{\text{л}},$$

где $G_{\text{л}}$ – общее количество груза, транспортируемое в лифтах за расчетный период, обычно т/сут.; $q_{\text{л}}$ – производительность, т. е. количество груза, перемещаемое одним подъемником за тот же период.

Величина $G_{\text{л}}$ зависит от принятой технологии переработки поступающих

грузов. Если груз, поступающий на холодильник, предварительно охлаждается или замораживается в камерах первого этажа, а после этого поднимается на верхние этажи для хранения, то загрузка подъемников может быть равномерно распределена по сменам: в дневную смену лифты работают на выдаче груза, а в ночную – на перегрузке продукции с первого этажа на верхние. В этом случае

$$G_{л} = G_{п}^{\max},$$

т. е. расчетное количество груза, транспортируемое в лифтах, будет равно максимальной сменной отгрузке ($G_{п}^{\max}$).

Когда поступающий груз может непосредственно после приёма на склад подниматься на верхние этажи для хранения, тогда

$$G_{л} = G_{п}^{\max} + G_{в}^{\max} - G_1,$$

где $G_{п}^{\max}$, $G_{в}^{\max}$ – общее поступление и выдача скоропортящихся грузов в течение расчетного периода (смены) со всех видов транспорта, т; G_1 – сменная переработка груза на первом этаже холодильника, т.

Сменная производительность одного лифта $q_{л}$ определяется из выражения

$$q_{л} = (T_{см} Q_{гр} \beta \varphi) / \tau_{цл},$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены, ч; $Q_{гр}$ – грузоподъемность лифта, в зависимости от конструкции $Q_{гр} = 2,0..4,0$ т; β – коэффициент использования лифта по грузоподъемности, $\beta = 0,5..0,85$; φ – коэффициент совмещения операций по подъему и опусканию груза. Если лифт идет в грузе только в одну сторону, тогда $\varphi = 1$, а если в обе, то $\varphi = 2$. Очевидно, что степень совмещения будет зависеть от конкретных условий и уровня организации погрузочно-выгрузочных операций. Для усредненных условий можно принять $\varphi = 1,5$; $\tau_{цл}$ – суммарная продолжительность всех операций по перемещению одной порции груза (рабочий цикл лифта). В реальных условиях определяется по хронометражным наблюдениям или нормируется, а для ориентировочных расчётов можно принять $\tau_{цл} = 0,2$ ч.

Для базисных и распределительных холодильников число подъемников должно быть не менее приведенного в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Число подъемников для базисных и распределительных холодильников

Вместимость холодильника, т	До 1000	3000	6000	10000
Число подъемников	1	2	3	4

Оптимизация коэффициента теплопередачи и выбор изоляционного материала для ограждений холодильных камер и всего изолирующего контура холодильника является важнейшей задачей повышения эффективности работы холодильного оборудования, снижения расходов на энергоносители. Как известно, коэффициент теплопередачи

$$k = 1/(A_{\text{стр}} + \delta_{\text{из}}/\lambda_{\text{из}}), \quad (2.13)$$

где $A_{\text{стр}}$ – тепловое сопротивление строительных и гидроизоляционных материалов; $\delta_{\text{из}}$ – толщина изоляционного материала, м; $\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт/(м·К);

$$A_{\text{стр}} = 1/\alpha_{\text{н}} + 1/\alpha_{\text{в}} + \sum (\delta_i/\lambda_i),$$

где δ_i, λ_i – соответственно толщина и коэффициент теплопроводности i -го слоя строительной конструкции; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности ограждения камеры: для открытых наружных поверхностей, не защищённых от ветра, Вт/(м²·К),

$$\alpha_{\text{н}} = 5 + 15\sqrt{v},$$

где v – расчётная скорость ветра; для закрытых наружных поверхностей (чердачных перекрытий и др.) $\alpha_{\text{н}} = 12...15$ Вт/(м²·К); $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности ограждения к воздуху в камере принимается: при конвективном теплообмене $\alpha_{\text{в}} = 7...9$ Вт/(м²·К); при принудительной циркуляции воздуха $\alpha_{\text{в}} = 17...20$ Вт/(м²·К).

Из выражения (2.13) можно определить толщину изоляции

$$\delta_{\text{из}} = (1/k - A_{\text{стр}})\lambda_{\text{из}}.$$

В приведенной формуле тепловое сопротивление строительных материалов $A_{\text{стр}}$ легко рассчитывается, если известна толщина материалов, из которых сооружается ограждение, также считается заданной теплопроводность изоляционного материала. Таким образом, толщина изоляции будет зависеть только от принятого в расчётах значения k . Максимальная величина коэффициента теплопередачи ограждения k устанавливается по условию недопущения конденсации влаги на наружной поверхности камеры или холодильника,

$$k \leq 0,95\alpha_{\text{н}}(t_{\text{н}} - t_{\text{рос}})/(t_{\text{н}} - t_{\text{в}}),$$

где $t_{\text{н}}$, $t_{\text{в}}$ – расчетные температуры воздуха соответственно наружного и внутри камеры; $t_{\text{рос}}$ – температура точки росы наружного воздуха при температуре $t_{\text{н}}$ и установленной относительной влажности.

Минимальная величина k устанавливается заказчиком или обосновыва-

ется технико-экономическими расчетами. В настоящее время имеется достаточно много различных предложений и методик для определения экономически выгодной толщины термоизоляции. Суть всех этих разработок сводится к следующему. Выделяется группа расходов, прямо пропорционально зависящих от толщины изоляции A , и группа расходов, имеющих обратную зависимость B . При этом суммарные затраты составят $E = A \delta_{\text{из}} + B/\delta_{\text{из}}$. Приравняв первую производную полученного выражения нулю и решив уравнение относительно $\delta_{\text{из}}$, получим оптимальную величину $\delta_{\text{из}} = \sqrt{B/A}$. Различия в методиках заключаются лишь в наполнении величин A и B , т. е. сколько и каких видов затрат включается в расчет.

Для стационарных холодильных сооружений величина k обычно находится в пределах $k = 0,1 \dots 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Выбор холодильного оборудования выполняется по общеизвестным методикам в следующем порядке:

1 Определяются теплопритоки, поступающие в камеру холодильника через ограждения (Q_1), при охлаждении и замораживании груза (Q_2), при вентилировании воздуха (Q_3), при открывании дверей, освещении, пребывании в камере погрузчиков и людей и пр. (Q_4),

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

2 Находится рабочая хладопроизводительность установки брутто $Q_{\text{бр}} = (1,1 \dots 1,15) Q_0$ и пересчитывается в "стандартную"

$$Q_{\text{ст}} = Q_{\text{бр}} q_c \lambda_c / (q_p \lambda_p),$$

где q_c, λ_c – соответственно объемная хладопроизводительность и коэффициент подачи хладагента в компрессор для стандартных условий. В расчетах можно принять: для аммиака $\lambda_c = 0,65$, $q_c = 2245 \text{ кДж}/\text{м}^3$; для фреона $\lambda_c = 0,66$, $q_c = 1336 \text{ кДж}/\text{м}^3$; q_p, λ_p – то же в рабочих условиях. Для определения значений q_p и λ_p на энтальпийной диаграмме строится рабочий цикл холодильной установки, и определяются значения энтальпий, давлений и удельных объемов в узловых точках цикла.

3 Выполняется тепловой расчет холодильной машины, и определяются все основные параметры компрессора, конденсатора, испарителя и других устройств. Подбор оборудования производится по справочной литературе.

3 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА В ГРУЗОВОМ ПОМЕЩЕНИИ ВАГОНА

3.1 Влияние параметров состояния воздуха на сохранность скоропортящихся грузов

Перевозку скоропортящихся грузов можно рассматривать как систему взаимодействия трех составляющих: окружающей среды, рефрижераторного подвижного состава и груза. Каждая из составляющих этой системы характеризуется определенным набором параметров и факторов, через которые осуществляется взаимодействие. Окружающая среда характеризуется температурой, влажностью и скоростью движения среды, т. е.

$$C = f(C_t, C_\phi, C_v).$$

Температура окружающей среды – это один из наиболее важных параметров, влияющих на перевозимый груз. Иногда, только от температуры окружающей среды зависит режим перевозки.

Влажность обладает двумя противоречивыми тенденциями:

1) влажность необходимо понижать, так как она является питательной средой обитания микроорганизмов, которые оказывают отрицательное влияние на скоропортящийся груз (плесень, грибки, гниение и др.);

2) влажность необходимо повышать для обеспечения сохранности скоропортящегося груза. Скоропортящийся груз компенсирует низкую влажность окружающей среды, отдавая свою влагу, что приводит к его порче или усушке (потере массы).

Скорость движения среды оказывает влияние на вентилирование груза. Вентилирование помогает обеспечить лучшую сохранность скоропортящегося груза, однако увеличивает интенсивность испарения влаги.

Необходимость обеспечения при перевозках скоропортящихся грузов условий, близких к режимам оптимального хранения в стационарных холодильниках, порождает целый ряд практических задач:

1) определение текущего значения температуры воздуха в вагоне в процессе нагрева (охлаждения);

2) определение продолжительности включения и выключения холодильной машины при ее работе в автоматическом режиме поддержания заданного интервала температур;

3) определение продолжительности нагрева (охлаждения) воздуха в порожнем вагоне и др.

В общем виде дифференциальное уравнение теплового баланса имеет вид

$$dt_v/dt = f(t_v),$$

где t_b – температура внутри рефрижераторного вагона; τ – текущий момент времени.

Так как величина t_b зависит, прежде всего, от температуры наружного воздуха t_n , теплотехнических параметров вагона P_b и мощности холодильного оборудования P_o

$$t_b = f(t_n, P_b, P_o), \quad (3.1)$$

то при тепловом равновесии системы с окружающей средой должно выполняться условие постоянства внутренней температуры во времени, т. е.

$$\left(\frac{dt_b}{d\tau} \right)_{t_b = \bar{t}_b} = f'(\bar{t}_b) = 0,$$

где \bar{t}_b – среднее значение температуры внутри вагона.

В режиме поддержания заданного интервала температур от t_{b1} до t_{b2} средняя температура \bar{t}_b не является среднеарифметическим значением. Более глубокий анализ уравнения (3.1) выдвигает на первый план комплекс теоретических проблем, связанных с определением расчетной температуры наружного воздуха во время груженого рейса, когда рефрижераторный вагон может пересекать различные климатические зоны, характеризующиеся определенной влажностью, скоростью и температурой наружного воздуха.

Анализ энергетических процессов при перевозке грузов в рефрижераторных вагонах показывает, что режимы работы и эффективность таких систем в значительной степени определяются параметрами окружающей среды, которые даже в пределах одной зоны подвержены внутри суточным колебаниям. Вторая, не менее важная проблема, направлена на определение параметров кузова вагонов и в первую очередь коэффициента теплопередачи кузова (k).

Приводимые в справочной литературе значения величины k берутся по данным завода-изготовителя и являются несколько идеализированными. По истечении некоторого срока эксплуатации вагонов теплозащитные свойства кузова ухудшаются, не всегда завод-изготовитель может точно выдерживать технологию укладки изоляционного материала, в изоляцию могут попадать примеси или могут специально вводиться какие-либо добавки, в обшивке могут появляться не предусмотренные проектом тепловые мостики и пр. Все это приводит к увеличению значения коэффициента теплопередачи по сравнению с его исходными паспортными данными. Скоропортящийся груз защищён от воздействия окружающей среды кузовом рефрижераторного вагона, который обладает определенной теплопроводностью. На теплопроводность кузова оказывают влияние материалы, из которых изготавливается изоляция и технология их получения, а также период перевозки. Практиче-

ских рекомендаций в настоящее время по этому вопросу не выработано, что настоятельно требует поиска эмпирических или аналитических зависимостей, позволяющих корректировать значения теплотехнических параметров кузова в зависимости от срока службы рефрижераторного подвижного состава и других факторов.

Параметры состояния воздушной среды внутри вагона непосредственно взаимодействуют с перевозимым грузом. К этим параметрам относятся: температура воздуха, относительная влажность и скорость воздуха. Для сохранной перевозки необходимо, чтобы все факторы имели оптимальное значение, что обеспечивается различным оборудованием рефрижераторного подвижного состава. Также надо отметить, что на сохранность скоропортящихся грузов влияет тепловой и влажностный баланс грузового помещения вагона, который поддерживается за счёт энергии на охлаждение (нагревание) и вентилирование.

Задача холодильно-отопительной установки рефрижераторного вагона состоит в создании и поддержании в нем определенных параметров воздуха (температуры, влажности, скорости), так как именно воздух является тем рабочим телом, которое обеспечивает теплообмен между установкой и перевозимым грузом. Условия перевозки требуют также периодического обновления воздуха в грузовом помещении и достаточной равномерности в нем температурного поля.

Температурный фактор является важнейшим в обеспечении сохранности перевозимых скоропортящихся грузов. Так, срок хранения большинства продуктов увеличивается в 2...4 раза, если понизить их температуру от 10 до 0 °С. Холод замедляет процессы обмена веществ, не нарушая естественный химический баланс. Замораживание приводит к выделению содержащейся в продукте воды в виде льда, а обезвоженное органическое вещество становится инертным по отношению к биохимическим процессам.

Температуру воздуха в грузовом помещении задают в зависимости от вида перевозимого груза. Правила перевозок скоропортящихся продуктов требуют стабильности температурного режима, допускающей достаточно ограниченный диапазон колебания температур. Исходя из этих требований, вагоностроительные заводы изготавливают рефрижераторные вагоны с автоматическим регулированием на разных температурных уровнях.

Другим важным параметром состояния воздуха, исходя из обеспечения сохранности скоропортящихся грузов, является относительная влажность. Пониженные значения влажности приводят к испарениям влаги с поверхности продукта, вызывая так называемую усушку. Вследствие усушки происходят большие весовые и качественные потери продукта. Усушка уменьшается с понижением температуры и увеличением относительной влажности.

Высокая относительная влажность воздуха создает опасность образования слизи и плесени на поверхности продукта. Для каждого вида продукта имеются оптимальные диапазоны параметров воздуха, обеспечивающих его сохранность. Скорость воздуха на поверхности груза находится в пределах от 0,15 до 0,25 м/с. Практика эксплуатации и испытаний рефрижераторных вагонов показывает, что температуры воздуха в отдельных зонах грузового помещения существенно отличаются от средней температуры. Установлено, что вероятность переохлаждения и подмораживания груза возрастает с уменьшением герметичности вагона. Циркуляция воздуха в грузовом помещении, осуществляемая вентиляторами, способствует стабильности температурных режимов, выравниванию температурных полей в массе груза, а, следовательно, является гарантией его сохранности.

Обеспечение оптимального температурного режима в грузовом помещении рефрижераторных вагонов – важное условие сохранности перевозки скоропортящихся грузов. Особо точно поддерживать температурный режим требуется при транспортировке свежих плодов и овощей. В отличие от продуктов животного происхождения для них существует естественный предел охлаждения, ниже которого наступает их "биологическая смерть" – это температура замерзания внутриклеточных соков. Для различных видов и сортов этих ценных продуктов питания она колеблется в пределах от $-1,5$ до $-2,5$ °С.

К сожалению, как показывает практика, при охлаждении плодоовощных грузов, перевозимых в рефрижераторных вагонах, не исключаются временные локальные понижения температуры до опасных значений, причем это может происходить даже в случае точного поддержания в грузовом помещении температурного режима по воздуху в безопасных пределах. При определенных условиях локальное переохлаждение может происходить систематически, что приводит к дополнительной порче продукции.

Произведенные за последние годы контрольные перевозки плодоовощных грузов в рефрижераторных вагонах заводов Дессау и Брянского машиностроительного позволяют сделать некоторые выводы, которые дополняют общую картину исследований по совершенствованию систем охлаждения и перемещения воздушных масс в рефрижераторных вагонах.

В вагонах секций ZB–5 постройки до 1975 года, имеющих верхнюю подачу воздуха через равномерно расположенные щели в "ложном" потолке, пониженные температуры отмечаются в верхних и нижних слоях груза, расположенного в торцах штабеля, т. е. в местах, наиболее близких к воздухоохладителям. Анализ показывает, что температуры тем ниже, чем выше и плотнее уложен штабель.

В вагонах завода Дессау постройки после 1975 г. подача воздуха осуще-

ствляется вдоль стен через щелевидные отверстия. Он поступает сверху в вертикальные каналы между гофрами на стенах и боковыми поверхностями штабеля. При этом холодный воздух непосредственно не контактирует с грузом, а омывает штабель, попадая в толщу груза из-под напольных решеток и, постепенно становясь теплее от груза, "фильтруется" сквозь штабель в своем естественном направлении – снизу вверх.

Полученные схемы распределения температурных полей внутри изотермического показали, что такая система более эффективна и безопасна. Однако и она не исключает локального переохлаждения плодов и овощей. Они возможны из-за повреждений напольных решеток, деформаций и пробоин "ложного" потолка, приводящих к нарушению циркуляции и к неравномерному распределению воздуха.

Рефрижераторные вагоны постройки Брянского машиностроительного завода имеют систему односторонней подачи воздуха через щели в коробе-воздуховоде переменного сечения. Как показали опытные перевозки лимонов в ящиках и коробах, уложенных плотным штабелем на полную погрузочную высоту, а также картофеля навалом, безопасный режим охлаждения, исключаящий подморозку, обеспечивается лишь при условии тщательного постоянного контроля за температурой на выходе воздухоохладителя. Вместе с тем из-за медленного снижения температуры внутри толщи штабеля охлаждающий воздух внутрь штабеля практически не проникает. Его поток "гасится" в наружных слоях груза, где и происходит наиболее интенсивное охлаждение. Учитывая, что производительность холодильных установок и вентиляторов-циркуляторов вагонов постройки БМЗ выше, чем у вагонов Дессау, а также одностороннюю подачу воздуха и значительную неравномерность его расхода по длине короба, создается опасность температурных аномалий в грузе.

Предотвратить локальное переохлаждение груза можно путем периодической циркуляции воздуха при выключенных холодильных машинах. На практике хорошие результаты дает циркуляция при отключении холодильных машин на 10–20 минут, не реже, чем через каждые 4 – 6 ч непрерывной работы. Циркуляция довольно эффективна для выравнивания температур по объему и удалению из штабеля избыточной влаги, выделяющейся при "дыхании" плодов.

Температура внутри штабеля снижается тем медленней, чем больше его начальная температура, выше и плотнее укладка и чем меньше наработка холодильных машин. В свою очередь, наработка тем больше, чем выше начальная температура груза. Поэтому какое-то определенное правило для оценки температуры в толще штабеля дать затруднительно.

3.2 Тепловой и влажностный баланс грузового помещения

Получение и поддержание рассмотренных выше внутренних параметров системы требуют затрат внешней энергии, так как состояние воздушной среды в грузовом помещении вагона постоянно подвержено воздействию как внутренних, так и внешних факторов, создающих тепловую и влажностную нагрузки в грузовом помещении вагона.

К числу внутренних факторов, действующих в границах системы, относятся выделения тепла и влаги грузами вследствие биохимических процессов, выделение теплоты от работы электродвигателей вентиляторов и циркуляторов при перемешивании или обновлении воздуха в грузовом помещении, а также при принудительном периодическом оттаивании воздухоохладителя.

Жизнедеятельность плодов и овощей продолжается также и в условиях их хранения при пониженной температуре, является причиной выделения ими теплоты и влаги в грузовом помещении. От интенсивности биологических тепловыделений груза зависит и выделение им влаги.

Интенсивность тепловыделения вентиляторов, обеспечивающих циркуляцию воздуха в грузовом помещении, принимают равной потребляемой ими электрической мощности, т. е. $Q_v = P_{эд}$.

Тепловыделения при оттаивании воздухоохладителя с помощью теплоносителя или горячими парами хладагента являются периодическими. Частые и редкие оттаивания приводят к недопустимым колебаниям температуры в вагоне и могут отрицательно сказаться на сохранности перевозимых грузов.

Внешними факторами воздействия являются потоки энергии и вещества, пересекающие границы системы. К ним относятся теплопритоки через ограждающие конструкции вагона вследствие теплопередачи, от инфильтрации воздуха через неплотности и в результате периодического воздухообмена путем вентиляции грузового помещения. Инфильтрация и вентиляция сопровождаются поступлением влаги в систему.

Определяющую роль в формировании теплопритоков через ограждающие конструкции играют температура окружающего воздуха и интенсивность солнечной радиации. Колебания температуры наружного воздуха вызывают соответствующие периодические изменения температуры на внутренней поверхности ограждения рефрижераторного вагона. Однако вследствие тепловой инерции ограждения такая передача температурных колебаний, как показывают исследования, происходит с 4-, 5-кратным уменьшением амплитуды с запаздыванием фазы на 2...3 часа. В таких условиях важ-

ное значение имеет правильный выбор средней расчетной температуры наружного воздуха. Повышение значения средней расчетной температуры наружного воздуха увеличивают вероятность обеспечения температурных режимов перевозки в наиболее ответственный летний период, но с другой стороны, высокие расчётные температуры могут привести к неоправданному завышению расчетной холодопроизводительности установки и соответственному ее удорожанию и излишнему перерасходу энергоносителей. Учитывая периодический характер изменения температур наружного воздуха, были установлены оптимальные значения средней расчетной температуры наружного воздуха, при которых общая экономическая эффективность рефрижераторного подвижного состава оказывается наилучшей. Эти значения зависят от типа подвижного состава, теплозащитных характеристик ограждения вагонного кузова, а также от полигона, на котором эксплуатируется рефрижераторный подвижной состав. При проектировании отечественных рефрижераторных вагонов суточные изменения расчетной температуры наружного воздуха принимают от +26,9 °С до +42,8 °С.

Современное состояние экономики требует снижения неоправданных затрат энергии и топлива, к которым приводит неточное определение температуры наружного воздуха за время перевозки. Исследование закономерностей колебания температуры наружного воздуха помогает более точно оценивать реальные условия работы холодильного оборудования, намечать и разрабатывать мероприятия по снижению расходов топлива и энергии. Это достигается путем оптимизации работы холодильного оборудования и установления наиболее экономичного температурного режима перевозки в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

4.1 Теоретические предпосылки и анализ существующих методов

На сохранность скоропортящихся грузов определяющее влияние оказывают факторы окружающей среды и режима хранения (рисунок 4.1).

Сохранение вкусовых и питательных свойств продуктов в процессе их хранения и транспортировки обеспечивается различными способами консервирования, основным из которых является обработка холодом. В зависимости от рода груза температура охлаждения изменяется в достаточно больших пределах от +14 до -35 °С. Для поддержания заданных температурных режимов разрабатываются специальные замкнутые системы, оснащенные соответствующим энергетическим оборудованием, обеспечивающие отвод из грузовых помещений излишних теплопритоков и влаги.

Очевидно, что мощность холодильного оборудования, расход топливно-энергетических ресурсов, продолжительность и качество хранения и перевозки в значительной степени зависят от температуры окружающей среды. Величина температурного напора (разность температур на внутренней и наружной поверхности ограждения) является определяющим фактором во всех теплотехнических расчетах, связанных с установлением тепловых, энергетических и технических характеристик, нагрузок и показателей, и, в конечном счете, экономической целесообразности использования холодильной системы. Если температурный режим перевозки или хранения определен нормативными документами и имеет диапазон отклонения $1...3\text{ }^{\circ}\text{C}$, то изменения температуры окружающей среды подвержены сезонным, периодическим, суточным и другим колебаниям в достаточно широких пределах. Отметим также, что доставка скоропортящихся грузов может осуществляться с пересечением нескольких климатических зон, в которых температуры наружного воздуха будут существенно отличаться друг от друга. В этой связи особую актуальность и значение приобретают вопросы правильного и обоснованного определения расчетных температур наружного воздуха.



Рисунок 4.1 – Факторы, влияющие на скоропортящиеся грузы

Существует несколько способов (или рекомендаций) по измерению и установлению расчетной температуры наружного воздуха при организации перевозок скоропортящихся грузов. Самым распространенным и широко известным является *эмпирический способ*. Суть эмпирического способа достаточно проста и наглядна: расчетная температура наружного воздуха за время грузевого рейса определяется как среднеарифметическая величина расчетных температур на станциях погрузки и выгрузки

$$t_p = (t_{p.погр} + t_{p.выгр})/2.$$

В зависимости от периода перевозки расчетную температуру наружного

воздуха на станциях погрузки и выгрузки предлагается определять по статистическим наблюдениям из выражения

$$t_{p,\text{погр}} (t_{p,\text{выгр}}) = A_t t_{cp} + B_t t_{\text{max}},$$

где t_{cp} – среднестатистическая температура месяца в заданном регионе; t_{max} – максимальная температура за период наблюдения; A_t , B_t – долевые коэффициенты, которые по рекомендациям обычно принимаются $A_t = 0,4$ и $B_t = 0,6$.

Выборочный способ определения расчетной температуры наружного воздуха сводится к нахождению средневзвешенного значения из статистической выборки изменения температур на заданном направлении перевозки. В последнее время используются *вероятностные методы*. Вероятность нахождения температуры в диапазоне $[t_1; t_2]$ может быть определена как разность нормированных интегральных функций

$$P(t_1 - t_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1).$$

При этом предполагается, что температура как случайная величина подчиняется нормальному закону распределения. Среднеквадратическое отклонение температуры от среднего значения можно упрощенно определять по правилу "трех сигм", т. е.

$$\sigma_t = (t_{\text{max}} - t_{\text{min}})/6,$$

тогда температура окружающей среды будет определяться из выражения

$$t_p = t_{cp} + \beta \sigma_t, \quad (4.1)$$

где β – коэффициент, зависящий от уровня доверительной вероятности. Проще говоря, величина β показывает, сколько нужно прибавить "сигм", чтобы обеспечить заданную надежность рассчитываемой системы.

Указанные методы расчета температуры наружного воздуха обладают одним, весьма существенным недостатком – расчетная температура наружного воздуха принимается постоянной на всем пути следования без учета естественных внутрисуточных колебаний, а также изменений температурных параметров при проходе изотермическим подвижным составом различных климатических зон. При этом возможны различные ситуации (рисунок 4.2).

Как видно из рисунка 4.2, несмотря на одинаковые расчетные температуры, фактические отклонения за время груженого рейса могут привести к совершенно различным результатам. В случае, когда $t_p < t_{\text{факт}}$ холодильное оборудование должно будет работать в напряженном режиме, а если перевозка выполнялась в подвижном составе, не имеющем энергетической уставки (вагоны-термосы, вагоны-ледники и т. д.), то может произойти размораживание и порча груза. Подобная ситуация может произойти и при использовании автономных рефрижераторных вагонов. Следует учесть, что

если расход топлива нормировался для температуры t_p , то потребуются дополнительные обоснования его перерасхода. В то же время при попадании перевозки в зону 2 (см. рисунок 4.2) ситуация диаметрально меняется, и оборудование будет работать в льготных условиях. Очевидно, что правильное определение температуры наружного воздуха во многом определяет выбор рационального режима работы холодильного оборудования, экономичность и качество перевозки скоропортящегося груза. Как следует из рассмотренного примера, величина t_p должна выражаться не одним значением, а представлять собой вектор или функцию, в зависимости от места расположения изотермического подвижного состава (удаленности от пункта погрузки), температуры наружного воздуха пересекаемой климатической зоны и текущего момента суток, т. е. $t_p = f(S, t, \tau)$.

4.2 Определение расчетных температур наружного воздуха

Для установления таких зависимостей необходимо выполнить дополнительные исследования по изучению характера температурных колебаний в одной фиксированной точке местности. Как известно, температура воздуха в течение суток повышается до максимальной днем, а затем понижается и достигает своего минимума в ночное время (здесь будем рассматривать установившийся температурный режим, например, в летний период). При этом сами экстремумы (t_{\min} и t_{\max}) и час суток, когда они будут зафиксированы, – носят случайный характер (рисунок 4.3).

Введем ограничения:

1 Предположим, что времена суток, на которые зафиксирован температурный максимум (T_d) и минимум (T_n) определены, т. е. найдено среднестатистическое значение интервалов, в которые попадают эти значения. Эта задача может быть решена при наличии статистических климатических данных.

2 Допустим, что интенсивность нагрева и охлаждения воздушной среды протекает одинаково, по одним законам, тогда продолжительность охлаждения воздуха между T_d и T_n и его нагрева между T_n и T_d будут равны 12 ч.

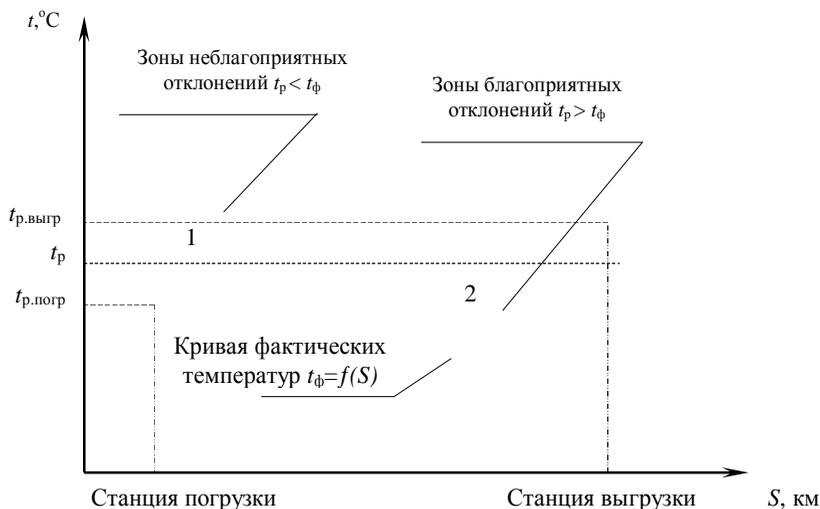


Рисунок 4.2 – Возможные варианты отклонения фактических и расчетных температур

3 Пусть разброс минимальных и максимальных температур в течение длительного периода подчинен нормальному закону распределения, и их расчетное значение определяется по формуле (4.1), т. е.

$$t_{\max} = \bar{t}_d \pm \beta \sigma_d; \quad t_{\min} = \bar{t}_n \pm \beta \sigma_n, \quad (4.2)$$

где t_{\max} , t_{\min} – соответственно расчетные значения дневных и ночных температур, определяемые с учетом заданной (или принятой) надежности расчетов.

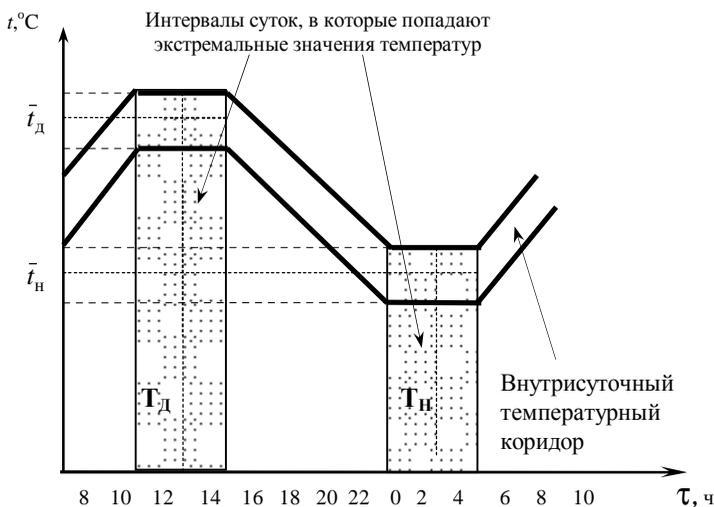


Рисунок 4.3 – Характер внутрисуточных колебаний температур

В результате принятых ограничений температурный коридор суточных колебаний может быть значительно сужен. Если теперь допустить, что температура в течение суток не имеет резких скачков и перепадов, то расчетная схема существенно упростится (рисунок 4.4).

Естественно, что в пределах температурного коридора (см. рисунок 4.3) можно провести неограниченное число различных кривых, характеризующих поведение наружной температуры, но наиболее достоверными зависимостями, на наш взгляд, могут быть приняты: линейная или синусоидальная. При этом синусоидальная зависимость точнее отражает реальный процесс поведения наружной температуры. Исходя из вышесказанного, температуру наружного воздуха в конкретной точке, на любой момент суток τ предлагается рассчитывать из выражения (см. рисунок 4.4)

$$t_{\tau} = \bar{t} + \Delta t \cos\left(\frac{\tau - T_{\text{д}}}{12} \pi\right), \quad (4.3)$$

где \bar{t} – среднесуточная температура наружного воздуха, $\bar{t} = (t_{\text{max}} + t_{\text{min}})/2$; Δt – амплитуда синусоиды, т. е. максимальное абсолютное отклонение температуры от среднего значения (см. рисунок 4.4), $\Delta t = (t_{\text{max}} - t_{\text{min}})/2$; τ – текущий момент времени (любой час суток), на который определяется расчетная температура воздуха.

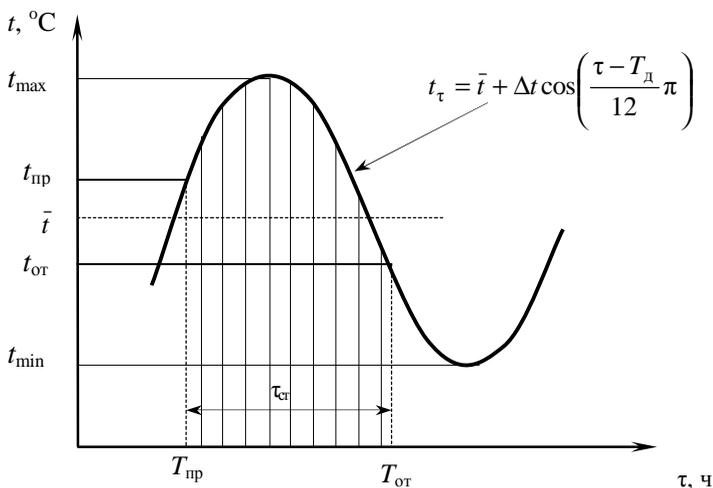


Рисунок 4.5 – Определение средней расчетной температуры за время стоянки

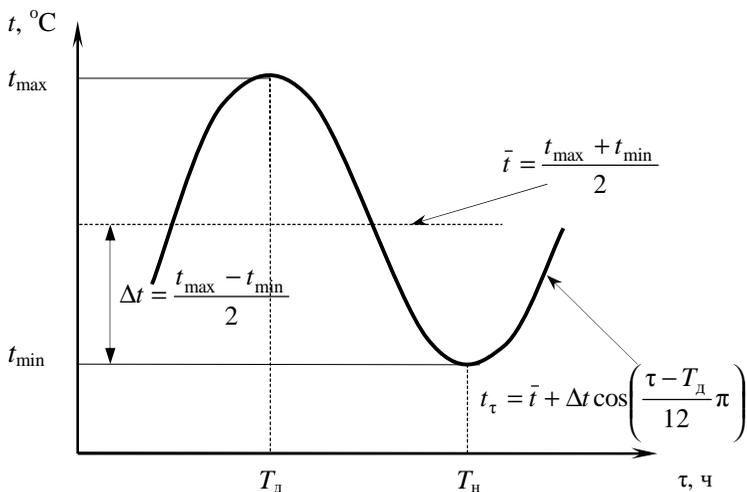


Рисунок 4.4 – Определение расчетной температуры наружного воздуха

За время груженого рейса изотермический подвижной состав проходит техническое обслуживание и попадает в переработку на крупных технических и сортировочных станциях. Простой вагонов на таких станциях регламентирован технологическим процессом работы и заложен в график движения поездов. Можно предположить, что изменения температур на опорных станциях подчиняются таким же законам, как в фиксированной точке местности, тогда температура наружного воздуха на момент прибытия (\$T_{\text{пр}}\$) или отправления (\$T_{\text{от}}\$) вагонов с опорной станции будет соответственно равна:

$$t_{\text{пр}} = \bar{t} + \Delta t \cos\left(\frac{T_{\text{пр}} - T_d}{12} \pi\right); \quad t_{\text{от}} = \bar{t} + \Delta t \cos\left(\frac{T_{\text{от}} - T_d}{12} \pi\right). \quad (4.4)$$

Для определения средней расчетной температуры наружного воздуха \$t_c\$ за время стоянки рефрижераторного подвижного состава на опорной станции (рисунок 4.5) необходимо проинтегрировать функцию изменения температуры по времени и найти средневзвешенное значение за время стоянки \$\tau_{\text{ст}}\$,

$$t_c = \int_{T_{\text{пр}}}^{T_{\text{от}}} t_{\tau} d\tau / \tau_{\text{ст}}.$$

Подставив значение \$t_{\tau}\$ из формулы (4.3), получим

$$t_c = \int_{T_{np}}^{T_{от}} (\bar{t} + \Delta t \cos\left(\frac{\tau - T_d}{12} \pi\right)) d\tau / \tau_{ст}.$$

После математических преобразований конечная формула для определения средней расчетной температуры наружного воздуха за время стоянки будет иметь вид:

$$t_c = \bar{t} + \frac{12\Delta t}{\pi\tau_{ст}} \left[\sin\left(\frac{T_{от} - T_d}{12} \pi\right) - \sin\left(\frac{T_{np} - T_d}{12} \pi\right) \right], \quad (4.5)$$

где $\tau_{ст}$ – продолжительность стоянки, ч.

Более сложным моментом представляется определение расчетных температур на участках между опорными станциями. В рассматриваемой работе предлагается ввести дополнительные ограничения, позволяющие упростить решение этой задачи:

1 Температура в любой точке на участке зависит от температур наружного воздуха на опорных станциях, ограничивающих этот участок, и только от них.

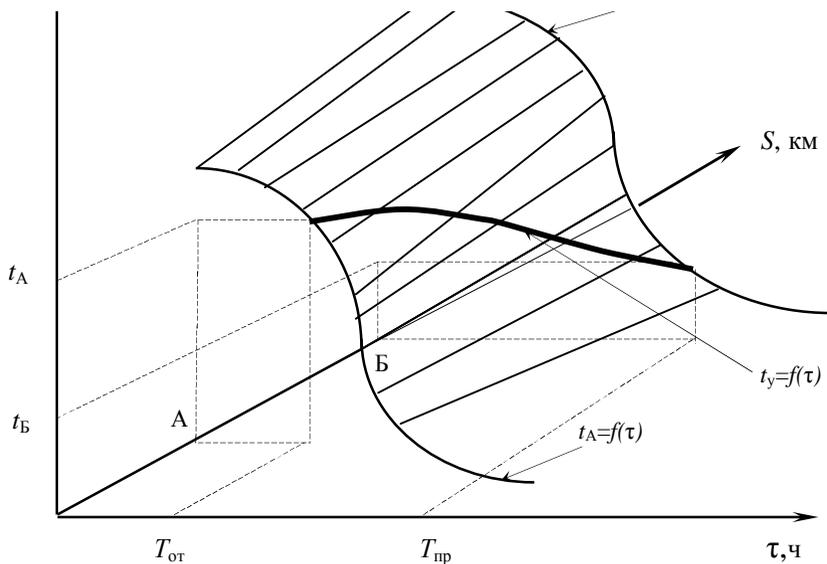


Рисунок 4.6 – Определение расчетной температуры наружного воздуха на участке

2 Влияние температуры опорной станции на температуру в некоторой точке участка обратно пропорционально расстоянию между опорной станцией и этой точкой, т. е.

$$t_y = \frac{t_a l_b + t_b l_a}{l_{ab}} \quad \text{или} \quad t_y = [t_a(t_y - t_b) + t_b t_b] / t_y, \quad (4.6)$$

где l_a , l_b – соответственно расстояния от точки на участке до начальной опорной станции А и до конечной опорной станции Б, ограничивающих этот участок; t_a , t_b – соответственно расчётные температуры наружного воздуха на опорных станциях А и Б; l_{ab} – длина участка; τ_y – продолжительность нахождения на участке рефрижераторного состава; τ_b – время следования от расчетной точки участка до конечной опорной станции Б.

3 Скорость движения по участку равномерная.

В силу принятых соглашений температура на участке будет функционально зависеть от характера ее поведения на опорных станциях. Средняя расчетная температура наружного воздуха на участке рассчитывается в зависимости от расстояния до опорных станций (рисунок 4.6).

Средневзвешенная температура наружного воздуха на участке в общем виде определяется из зависимости:

$$\bar{t}_{yч} = \int_{T_{ор}}^{T_{ор} + \tau_y} t_y d\tau / \tau_y, \quad (4.7)$$

где t_y – фактическая температура наружного воздуха в конкретный момент времени и в конкретной точке участка.

После последовательной подстановки зависимостей (4.3) в (4.6) и в (4.7), интегрирования и упрощения получаем зависимость

$$\bar{t}_{yч} = \frac{\bar{t}' + \bar{t}''}{2} + \frac{12[\Delta\bar{t}'(\sin\alpha - \sin\beta) + Z]}{\tau_y \pi}, \quad (4.8)$$

$$\alpha = \frac{T_{np} - T_d + \tau_y}{12} \pi; \quad \beta = \frac{T_{np} - T_d}{12} \pi; \quad (4.9)$$

$$Z = \frac{(\Delta t'' - \Delta t') \tau_y \cdot \sin\alpha + 12(\cos\alpha - \cos\beta)/\pi}{\tau_y}, \quad (4.10)$$

где \bar{t}' , \bar{t}'' , $\Delta t'$, $\Delta t''$ – расчётные среднесуточные температуры (\bar{t}) и их абсолютные отклонения (Δt) соответственно на начальной и конечной станциях участка.

Для ориентировочных расчетов составлены соответствующие таблицы с интервалом 1 ч:

$$\sin\alpha = f[(T_{np} - T_d), \tau_{ст}], \text{ (таблица 4.1);}$$

$$(\sin\alpha - \sin\beta) = f[(T_{np} - T_d), \tau_{ст}], \text{ (таблица 4.2);}$$

$$(\cos\alpha - \cos\beta) = f[(T_{np} - T_d), \tau_{ст}], \text{ (таблица 4.3).}$$

Таблица 4.1 – Значение величин $\sin\alpha$

$\tau_{ст}$	$T_{np} - T_d$												
	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
0	0,00	0,26	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00
1	0,26	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26
2	0,50	0,71	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50
3	0,71	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71
4	0,87	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87
5	0,97	1,00	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97
6	1,00	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00
7	0,97	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97
8	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97	-0,87
9	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97	-0,87	-0,71
10	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97	-0,87	-0,71	-0,50
11	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97	-0,87	-0,71	-0,50	-0,26
12	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97	-0,87	-0,71	-0,50	-0,26	0,00

Таблица 4.2 – Значение величин $\sin a - \sin b$

$\tau_{\text{ст}}$	$T_{\text{нр}} - T_{\text{д}}$												
	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,26	0,24	0,21	0,16	0,10	0,03	-0,03	-0,10	-0,16	-0,21	-0,24	-0,26	-0,26
2	0,50	0,45	0,37	0,26	0,13	0,00	-0,13	0,26	-0,37	-0,45	-0,50	-0,52	-0,50
3	0,71	0,61	0,47	0,29	0,10	-0,10	-0,29	-0,47	-0,61	-0,71	-0,76	-0,76	-0,71
4	0,87	0,71	0,50	0,26	0,00	-0,26	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97	-0,87
5	0,97	0,74	0,47	0,16	-0,16	-0,47	-0,74	-0,97	-1,12	-1,21	-1,21	-1,12	-0,97
6	1,00	0,71	0,37	-0,00	-0,37	-0,71	-1,00	-1,22	-1,37	-1,41	-1,37	-1,22	-1,00
7	0,97	0,61	0,21	-0,21	-0,61	-0,97	-1,26	-1,47	-1,57	-1,57	-1,47	-1,26	-0,97
8	0,87	0,45	0,00	-0,45	-0,87	-1,22	-1,50	-1,67	-1,73	-1,67	-1,50	-1,22	-0,87
9	0,71	0,24	-0,24	-0,71	-1,12	-1,47	-1,71	-1,83	-1,83	-1,71	-1,47	-1,12	-0,71
10	0,50	0,00	-0,50	-0,97	-1,37	-1,67	-1,87	-1,93	-1,87	-1,67	-1,37	-0,97	-0,50
11	0,26	-0,26	-0,76	-1,21	-1,57	-1,83	-1,97	-1,97	-1,83	-1,57	-1,21	-0,76	-0,26
12	0,00	-0,52	-1,00	-1,41	-1,73	-1,93	-2,00	-1,93	-1,73	-1,41	-1,00	-0,52	0,00

Таблица 4.3 – Значение величин $\cos a - \cos b$

$\tau_{\text{ст}}$	$T_{\text{нр}} - T_{\text{д}}$												
	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	-0,03	-0,10	-0,16	-0,21	-0,24	-0,26	-0,26	-0,24	-0,21	-0,16	-0,10	-0,03	0,03
2	-0,13	-0,26	-0,37	-0,45	-0,50	-0,52	-0,50	-0,45	-0,37	-0,26	-0,13	0,00	0,13
3	-0,29	-0,47	-0,61	-0,71	-0,76	-0,76	-0,71	-0,61	-0,47	-0,29	-0,10	0,10	0,29
4	-0,50	-0,71	-0,87	-0,97	-1,00	-0,97	-0,87	-0,71	-0,50	-0,26	-0,00	0,26	0,50
5	-0,74	-0,97	-1,12	-1,21	-1,21	-1,12	-0,97	-0,74	-0,47	-0,16	0,16	0,47	0,74
6	-1,00	-1,22	-1,37	-1,41	-1,37	-1,22	-1,00	-0,71	-0,37	0,00	0,37	0,71	1,00
7	-1,26	-1,47	-1,57	-1,57	-1,47	-1,26	-0,97	-0,61	-0,21	0,21	0,61	0,97	1,26
8	-1,50	-1,67	-1,73	-1,67	-1,50	-1,22	-0,87	-0,45	-0,00	0,45	0,87	1,22	1,50
9	-1,71	-1,83	-1,83	-1,71	-1,47	-1,12	-0,71	-0,24	0,24	0,71	1,12	1,47	1,71
10	-1,87	-1,93	-1,87	-1,67	-1,37	-0,97	-0,50	-0,00	0,50	0,97	1,37	1,67	1,87
11	-1,97	-1,97	-1,83	-1,57	-1,21	-0,76	-0,26	0,26	0,76	1,21	1,57	1,83	1,97
12	-2,00	-1,93	-1,73	-1,41	-1,00	-0,52	0,00	0,52	1,00	1,41	1,73	1,93	2,00

5 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

5.1 Общие положения

Теплотехнические расчеты изотермического подвижного состава выполняются во всех случаях, когда требуется проверка возможности поддержания требуемого температурного режима в грузовом помещении вагона в изменившихся условиях эксплуатации: выбор холодильно-отопительного оборудования и оценки его производительности; поддержание требуемого температурного режима при изменившейся мощности холодильной установки; оценка эффективности новых изоляционных материалов и др. В процессе эксплуатации рефрижераторного подвижного состава возникают ситуации, когда требуется оценить возможность поддержания требуемого температурного режима транспортировки при отказе холодильной установки, сможет ли рефрижераторный подвижной состав следовать дальше или его необходимо перегружать? Эти задачи решаются с помощью теплотехнических расчетов, суть которых сводится к сопоставлению теплопритоков, поступающих в грузовое помещение вагона (Q_0), с эксплуатационной хладопроизводительностью оборудования (Q_3). Так как величина Q_0 чаще всего задана или может быть определена по справочникам, то основная цель теплотехнических расчетов – определить количество тепла, поступающего в грузовое помещение вагона для установления хладопроизводительности приборов охлаждения, а также продолжительности работы холодильной установки во время груженого рейса.

Определяющее значение на величину теплопоступлений в изотермический вагон оказывает температура наружного воздуха. Расчетная температура наружного воздуха (t_n) может приниматься постоянной на всем пути следования как средняя величина расчётных температур в пунктах погрузки и выгрузки. Очевидно, что такой подход не учитывает естественные внутрисуточные колебания температур и их изменение при прохождении различных климатических зон. Изменчивость параметров внешней среды может существенно влиять на результаты решения эксплуатационных и экономических задач по организации перевозки скоропортящихся грузов. Более реальную картину позволяет получить графоаналитический метод расчета.

Графоаналитический метод обеспечивает заданную степень достоверности расчетов в зависимости от поставленных целей, позволяет комплексно учитывать все теплопоступления и динамику теплового баланса во времени и пространстве в наглядном виде. Суть метода заключается в графическом сопоставлении хладопроизводительности приборов охлаждения и суммарных теплопритоков, поступающих в вагон, для каждого конкретного момен-

та времени суток и места нахождения вагона. Для решения этой задачи грузовой рейс разбивается на расчетные интервалы, в пределах которых изменение температуры наружного воздуха или незначительное, или подчинено определенной аналитической зависимости. Обычно за такие интервалы принимаются стоянки на опорных станциях и проследование участков между ними. Для каждого выделенного интервала производится расчет теплопритоков по фактическим значениям параметров с учетом времени суток и продолжительности нахождения поезда в этом интервале. По полученным значениям строится диаграмма изменения теплопритоков, на которую наносятся кривые разовых, периодических и непрерывных теплопоступлений. По фактической холодопроизводительности оборудования устанавливаются периоды отключения холодильной установки, а также необходимость и место экипировки рефрижераторного подвижного состава. Графоаналитические расчеты позволяют получать усредненный расход холода, максимально приближенный к реальным условиям. При этом расход холода ставится в зависимость от изменяющихся параметров внешней среды и, прежде всего температуры наружного воздуха.

5.2 Определение основных параметров

Основными исходными данными при расчетах графоаналитическим методом являются: маршрут следования; период года, когда осуществляется перевозка; тип используемого подвижного состава; принятый режим перевозки (температура, влажность, вентиляция и т. д.); технологические нормы простоя и дневные и ночные температуры наружного воздуха на опорных станциях; протяженность и участковая скорость на каждом участке.

Грузовой рейс разбивается на расчетные интервалы по опорным станциям и участкам между ними. Продолжительность нахождения в каждом интервале τ_i определяется для опорных станций по технологическим нормам простоя $T_{\text{техн}}$, а для участков по их протяженности L_y и участковой скорости $V_{\text{уч}}$, т. е.

$$\text{для станций } \tau_i = T_{\text{техн}}; \quad \text{для участков } \tau_i = L_y/V_y. \quad (5.1)$$

Величина $T_{\text{техн}}$ считается обычно заданной и определяется технологическим процессом работы соответствующей станции. Значения L_y и V_y также могут быть получены для любого конкретного маршрута следования.

Для каждого расчетного интервала определяется время суток на момент входа $T_{\text{вх}}$ и выхода $T_{\text{вых}}$. При этом время прибытия рефрижераторного подвижного состава на станцию погрузки известно или задается, тогда

$$T_{\text{вых}}^i = T_{\text{вх}}^i + \tau_i; \quad T_{\text{вх}}^{i+1} = T_{\text{вых}}^i, \quad (5.2)$$

где $T_{\text{вх}}^i$ – время суток на момент входа в i -й расчетный интервал (для станции – момент прибытия $T_{\text{вх}} = T_{\text{пр}}$, а для участка это момент отправления $T_{\text{от}}$ с начальной станции); τ_i – продолжительность нахождения рефрижераторного подвижного состава) в i -м интервале.

По каждой опорной станции устанавливаются: дневные t_{max} и ночные t_{min} расчетные температуры наружного воздуха

$$t_{\text{max}} = t_{\text{дн}} + \beta \sigma_{\text{дн}}; \quad t_{\text{min}} = t_{\text{ноч}} - \beta \sigma_{\text{ноч}}, \quad (5.3)$$

где $t_{\text{дн}}$, $t_{\text{ноч}}$ – средние дневные и ночные температуры наружного воздуха на опорной станции для заданного периода перевозки; $\sigma_{\text{дн}}$, $\sigma_{\text{ноч}}$ – среднеквадратические отклонения дневных и ночных температур от их среднего значения; β – коэффициент, зависящий от уровня доверительной вероятности (принятой точности расчетов). Значения β приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Значения параметра β от надежности расчетов P

P	β	P	β	P	β
0,60	0,254	0,82	0,915	0,92	1,405
0,65	0,385	0,83	0,954	0,93	1,476
0,70	0,524	0,84	0,995	0,94	1,555
0,75	0,674	0,85	1,036	0,95	1,645
0,76	0,706	0,86	1,080	0,96	1,751
0,77	0,739	0,87	1,126	0,97	1,881
0,78	0,772	0,88	1,175	0,98	2,054
0,79	0,806	0,89	1,227	0,99	2,326
0,80	0,842	0,90	1,281	0,999	3,090
0,81	0,878	0,91	1,341	0,9999	3,720

Средние температуры за все время нахождения поезда в расчетном интервале

$$t_i = \frac{\sum_{T_{\text{вх}}}^{T_{\text{вх}}^i + \tau_i} f(T) dT}{\tau_i}, \quad (5.4)$$

где $f(T)$ – функциональная зависимость изменения фактической температуры наружного воздуха в расчетном интервале в любой момент времени в зависимости от часа суток (T).

Для опорных станций средняя температура за время стоянки определяется по формуле (4.5)

$$t_i^{\text{oc}} = \bar{t}_{\text{cp}} + 12 \Delta t [\sin \alpha - \sin \beta] / (\tau_i \pi). \quad (5.5)$$

Средневзвешенная расчетная температура наружного воздуха при следовании участка между двумя опорными станциями в общем виде определяется из зависимости (4.8)

$$\bar{t}_{\text{уч}} = \frac{\bar{t}' + \bar{t}''}{2} + \frac{12[\Delta\bar{t}'(\sin\alpha - \sin\beta) + Z]}{\tau_i\pi}, \quad (5.6)$$

где α, β, Z – величины, определяемые по формулам (4.9) и (4.10).

Расчетные и исходные данные для выполнения теплотехнических расчетов сводятся в таблицу 5.2 и используются при определении теплопритоков.

Таблица 5.2 – Расчетные параметры для определения теплопритоков

Параметр	Расчетные интервалы		
	А	а-б	...
Длина участков, км			
Продолжительность интервала, ч			
Момент входа в интервал (час суток)			
Момент выхода из интервала (час суток)			
Максимальная расчетная температура, °C (t_{max})			
Минимальная расчетная температура, °C (t_{min})			
Температура, °C: на момент входа в интервал на момент выхода из интервала расчетная в интервале			

5.3 Определение теплопритоков в грузовое помещение вагона

Общие теплопоступления в грузовое помещение вагона определяются суммой составляющих их теплопритоков

$$Q_o = Q_n + Q_p + Q_r,$$

где Q_n, Q_p, Q_r – соответственно непрерывные, периодические и разовые теплопритоки.

Непрерывные теплопритоки

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где Q_1 – теплоприток через ограждения кузова, который учитывается во всех расчетах; Q_2 – то же от инфильтрации (проникновения) наружного воздуха через неплотности в дверях, люках и пр., также учитывается всегда; Q_3 – тепло, отводимое при охлаждении груза и тары, учитывается только для грузов, охлаждаемых в пути следования, и действует в течение периода охлаждения груза до заданной температуры; Q_4 – физиологическое тепло, выделяемое плодами и овощами в процессе жизнедеятельности, учитывается только при перевозке охлажденных растительных грузов.

К *периодически* действующим относятся теплопритоки:

$$Q_p = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8,$$

где Q_5 – теплоприток из-за дополнительного нагревания кузова от солнечной радиации, учитывается только в дневное время суток во всех расчетах; Q_6 – то же от наружного воздуха, поступающего в грузовое помещение при вентилировании, учитывается для грузов, требующих вентилирования;

Q_7 – тепло, выделяемое электродвигателями вентиляторов и циркуляторов из-за нагрева обмоток, характерно только для вагонов, оборудованных принудительной циркуляцией и учитывается при перевозке любых грузов; Q_8 – теплопоступление при оттаивании снеговой шубы из-за подачи тепла на испаритель. Этот теплоприток учитывается только для рефрижераторных вагонов с непосредственной системой охлаждения (5-вагонные секции, АРВ).

Разовые теплопритоки

$$Q_p = Q_9 + Q_{10},$$

где Q_9 – теплоприток через открытые двери при погрузке вагона, учитывается для всех вагонов; Q_{10} – теплоприток при первичном, предварительном охлаждении кузова вагона и внутреннего оборудования.

Теплоприток через ограждение кузова, МДж / ваг.,

$$Q_1 = [k_p F_p (t_i - t_b)] \tau_i \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (5.7)$$

где k_p – расчетный коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К), F_p – расчетная поверхность ограждения кузова вагона, м²; t_i – расчетная температура в i -м интервале, °С; t_b – температурный режим перевозки заданного груза, °С; τ_i – продолжительность нахождения в i -м расчетном интервале, ч. Расчетное значение k_p отличается от исходного $k_{пн}$, приводимого в справочниках (таблица 5.3), и зависит от продолжительности эксплуатации вагона, скорости движения, температурного напора и других факторов. Влияние этих факторов можно учесть через поправочный коэффициент $k_{пн}$, вычисляемый по эмпирической формуле,

$$k_{пн} = \exp[(7p + 0,05 \tau_{ст} - 4,2)(p + 0,01 \tau_{ст} - 0,6)],$$

в зависимости от уровня доверительной вероятности P и срока эксплуатации изоляционного материала вагона $\tau_{ст}$. Значения $k_{пн}$ приведены в таблице 5.4.

Таким образом,

$$k_p = k_{пн} k_{пн}.$$

После подстановки всех постоянных параметров в формулу (5.7) получается зависимость $Q_1 = f(t_i, \tau_i)$, по которой находятся значения Q_1 в каждом расчетном интервале.

Теплоприток от инфильтрации наружного воздуха, МДж/ваг.,

$$Q_2 = V_b C_b \rho (t_i - t_b) \tau_i \cdot 10^{-3}, \quad (5.8)$$

где V_b – интенсивность проникновения наружного воздуха через неплотности в дверях, люках и пр., м³/ч, зависит от степени изношенности подвижного состава, скорости движения, качества подготовки вагона к перевозке и других факторов. Для ориентировочных расчетов можно воспользоваться данными таблицы 5.5; C_b – теплоемкость наружного воздуха, кДж/(кг·К); ρ – плотность наружного воздуха, кг/м³.

Таблица 5.3 – Теплотехнические параметры изотермических вагонов

Показатель	Поезд		Секция				АРВ			Ледник	
	23 ваг.	21 ваг.	12 в	5-ваг. БМЗ	5-ваг. ZA-5	5-ваг. ZB-5	19 м следяльный	19 м	21 м	прис-тенный	потолоч-ный
Число грузовых вагонов	20	18	10	4	5	4	1	1	1	1	1
Общая грузоподъёмность, т	600	756	399	168	178	164	40	24	39	25	44,4
Общая тара, т	1035	950	560	214	217	242	44	52	48	39,4	37,6
Погрузочный объём, м ³	1269	1537	780	433	318	400	88	56,0	94,5	59,5	82,0
Общая длина состава, м	374	352	219	100	91	91	21,0 ₈	21,0 ₈	22,08	16,6	18,08
Хладопроизводительность, кВт	102	104	90	50	56	56	12	12	16	-	-
Запас топлива, кг: полный резервный		20860 4160	10400 2160	7400 1410	7950 1680	7950 1680	1000 240	1000 240	1400 320	-	-
Удельный расход топлива, кг/ч		104	54	36	42	42	6	6	8	-	-
Интенсивность охлаждения, К/ч	0,20	0,23	0,29	0,35	0,29	0,35	0,35	0,35	0,35	-	-
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)	0,35	0,32	0,31	0,33	0,35	0,32	0,35	0,35	0,35	0,70	0,40
Поверхность ограждений, м ² : полная боковая потолочная пола	211,5 110 53,5 48,5	211,5 110 53 48,5	201 10 53 46,0	233 110 67 55,9	210 120 57 43,5	230 122 57 50,9	200 98 59 43,0	- - - *	229,7 110 67 52,7	160 80 43 37	196 92 54 50
Площадь дверного проема, м ²	4,4	4,4	2,9	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	2,8	2,8

Таблица 5.4 – Значения $k_{\Pi} = f(\tau_{\text{сл}}, P)$

$\tau_{\text{сл}}$	Значения k_{Π} при уровне доверительной вероятности											
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0	-	-	-	-	-	1,02	1,07	1,17	1,32	1,55	1,88	2,36
1	-	-	-	-	1,00	1,03	1,10	1,22	1,39	1,65	2,02	2,57
2	-	-	-	-	1,01	1,05	1,13	1,27	1,47	1,76	2,19	2,81
3	-	-	-	-	1,02	1,07	1,17	1,33	1,56	1,89	2,37	3,09
4	-	-	-	1,00	1,03	1,10	1,22	1,40	1,66	2,03	2,59	3,41
5	-	-	-	1,01	1,05	1,14	1,27	1,47	1,77	2,20	2,83	3,77
6	-	-	-	1,02	1,07	1,18	1,33	1,56	1,90	2,39	3,11	4,19
7	-	-	1,00	1,03	1,10	1,22	1,40	1,66	2,04	2,60	3,43	4,68
8	-	-	1,01	1,05	1,14	1,27	1,48	1,77	2,21	2,84	3,80	5,25
9	-	-	1,02	1,07	1,18	1,33	1,57	1,90	2,40	3,13	4,22	5,90
10	-	-	1,03	1,10	1,22	1,40	1,67	2,05	2,61	3,45	4,71	-
11	-	1,00	1,05	1,14	1,27	1,48	1,78	2,22	2,86	3,82	5,28	-
12	-	1,01	1,07	1,18	1,33	1,57	1,91	2,40	3,14	4,24	5,94	-
13	-	1,03	1,10	1,22	1,40	1,67	2,05	2,62	3,46	4,74	-	-
14	1,00	1,05	1,13	1,27	1,48	1,78	2,22	2,87	3,83	5,31	-	-
15	1,01	1,07	1,17	1,33	1,57	1,91	2,41	3,15	4,26	5,97	-	-
16	1,02	1,10	1,22	1,40	1,67	2,06	2,63	3,47	4,76	-	-	-
17	1,04	1,13	1,27	1,48	1,78	2,22	2,87	3,85	5,33	-	-	-
18	1,07	1,17	1,33	1,57	1,91	2,41	3,16	4,28	-	-	-	-
19	1,09	1,22	1,40	1,67	2,06	2,63	3,48	4,78	-	-	-	-
20	1,13	1,27	1,48	1,78	2,23	2,88	3,86	5,35	-	-	-	-

Таблица 5.5 – Значения $V_{\text{в}}$ в зависимости от уровня доверительной вероятности

Уровень доверительной вероятности	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
Объем инфильтрации, м ³ /ч	50,0	55,0	60,0	70,0	80,0	95,0	120,0

Тепло, выделяемое тарой и грузом при их охлаждении в пути следования, МДж/ваг,

$$Q_3 = G_r (C_r (1 - \psi) + C_t \psi) (t_{\text{гр}} - t_{\text{в}}) \cdot 10^{-3}, \quad (5.9)$$

где G_r – масса груза брутто, загружаемого в один вагон, кг; C_r, C_t – теплоемкость груза и тары, кДж/(кг·К); $t_{\text{гр}}$ – температура груза при погрузке в вагон; ψ – доля тары в общей массе груза: для легкой тары $\psi = 5...8$ %; деревянные ящики – $\psi = 10...15$ %; стеклотара – $\psi = 20...40$ %; ящичные поддоны $\psi = 8...10$ %; плоские поддоны $\psi = 5...10$ %.

Продолжительность охлаждения зависит от типа изотермического состава, мощности холодильного оборудования, интенсивности циркуляции охлаждающей среды. В таблице 5.3 приведена интенсивность охлаждения ($J_{\text{охл}}$), т. е. снижения температуры за один час, (К/ч), тогда

$$\tau_{\text{охл}} = (t_{\text{гр}} - t_{\text{в}}) / J_{\text{охл}}$$

Распределение теплопритока Q_3 по расчётным интервалам должно начи-

наться с момента окончания погрузки на все начальные расчетные интервалы до окончания процесса охлаждения, а если продолжительность охлаждения превышает срок доставки ($\tau_{\text{дост}}$), т. е. при $\tau_{\text{охл}} > \tau_{\text{дост}}$, то на весь период доставки груза. Возможно также включение холодильных машин на интенсивный режим работы при охлаждении грузов только на опорных станциях во время стоянки под технологическим обслуживанием.

Теплоприток, выделяемый плодами и овощами в процессе жизнедеятельности, МДж/ваг.,

$$Q_4 = q_{\text{г}} G_{\text{гр}} \tau_i \cdot 10^{-3}, \quad (5.10)$$

где $G_{\text{гр}}$ – масса груза в вагоне, т; $q_{\text{г}}$ – интенсивность биологического тепловыделения, кДж/(т·ч). Величина $\delta^{\text{г}}$ зависит от рода груза и, особенно от температуры хранения (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Классификация и удельные тепловыделения плодов и овощей

Продукт	Тепловыделение	Груз	Тепловыделение, кДж/(т·ч)			
			Охлаждение от +20 °С до 0 °С	0 °С	+2 °С	+5 °С
Фрукты	Слабое	Цитрусовые, виноград, яблоки поздние	28...38	8...9	9...11	13...21
	Среднее	Ананасы, косточковые плоды, яблоки ранние, груши поздние, бананы зеленые	57...113	15...19	18...30	27...56
	Сильное	Ягоды кроме малины, бананы спелые, груши ранние	122...352	17...46	23...54	61...89
		Малина	450	79	100	142
Овощи	Слабое	Лук, картофель	34...48	17	18...19	21...22
	Среднее	Морковь, огурцы, перец, свекла, томаты, чеснок, капуста	52...100	15...28	17...37	23...54
	Сильное	Зелень свежая, шампиньоны	163...422	33...104	38...117	137...162

Для средневзвешенных условий при $t_{\text{в}} = +4$ °С, $q_{\text{г}} = 10,0$ Вт/т (≈ 36 кДж/т·ч), а для конкретных грузов эта величина приводится в справочниках. Зависимость (5.11) не позволяет учитывать фактическую температуру в грузовом помещении, поэтому в последнее время рекомендуется определять интенсивность тепловыделений плодов и овощей по экспоненциальной зависимости, МДж/ваг.,

$$Q_4 = G_{\text{гр}} q_{\text{об}} \exp(x t_{\text{в}}) \tau_i \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (5.11)$$

где $q_{\text{об}}$ – удельная теплота, выделяемая плодами и овощами при температуре 0 °С, Вт/т; x – температурный коэффициент, 1/°С. Значения величины $q_{\text{об}}$

и x для некоторых грузов приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Значения величин $q_{об}$ и x для некоторых грузов

Груз	$q_{об}$, Вт/т	x , 1/°C	Груз	$q_{об}$, Вт/т	x , 1/°C
Апельсины	11	0,073	Лимоны	11	0,072
Виноград	14	0,128	Огурцы	20	0,119
Груши	16	0,060	Персики	24	0,114
Дыни	31	0,125	Помидоры красные	11	0,114
Капуста	14	0,078	Сливы	19	0,115
Клубника	45	0,094	Яблоки	12	0,093

Теплоприток за счет солнечной радиации, МДж/ваг.,

$$Q_5 = [F_p t_{эр} + (F_{бс} t_{эпв} + F_k t_{эпг}) \mu_c] k_p \tau_{ci} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (5.12)$$

где $F_{бс}$, F_k – теплопередающие поверхности боковых стен и крыши вагона, m^2 (см. таблицу 5.3); $t_{эр}$ – дополнительный нагрев поверхности вагона за счет рассеянной солнечной радиации, в расчетах $t_{эр} = 1,5$ °C; $t_{эпв}$, $t_{эпг}$ – дополнительный нагрев вертикальных и горизонтальных поверхностей вагона от прямых солнечных лучей, ориентировочно: $t_{эпв} = 5,5$ °C, $t_{эпг} = 11,5$ °C; μ_c – вероятность солнечных дней в году. В зависимости от климатической зоны, периода года эта величина может колебаться в довольно широких пределах, $\mu_c = 0,1 \dots 0,8$; τ_{ci} – продолжительность воздействия солнечной радиации за всё время нахождения изотермического состава в i -м расчётном интервале, ч. Условно можно принять, что в летнее время года солнечный период суток продолжается с 6 ч до 21 ч, в переходный период – с 8 ч до 18 ч и зимой – с 10 ч до 16 ч. Например, если перевозка осуществляется в летний период и время входа в интервал 18 ч, а время выхода в 1 ч ночи, то продолжительность воздействия солнечной радиации будет между 18 ч и 21 ч., т. е. $\tau_{ci} = 3$ ч.

Теплоприток за счет наружного воздуха при вентилировании грузового помещения, МДж/ваг.,

$$Q_6 = n \rho V_0 (i_n - i_b) \tau_b \cdot 10^{-3}, \quad (5.13)$$

где n – кратность вентилирования, объемов/ч, $n = 3 \dots 5$; V_0 – объем вагона, не занятый грузом. Для бананов – $60 \dots 75 m^3$, для остальных грузов (сыров, яиц, овощей и др.) – $10 \dots 20 m^3$; i_n , i_b – энтальпия наружного воздуха и воздуха внутри вагона, кДж/кг. Эти величины определяются по справочным данным физических свойств влажного воздуха; τ_b – продолжительность вентилирования вагона. В расчетах принимается: для бананов – не реже трех раз в сутки по 30 мин; для грузов в режиме охлаждения при $t_b = 2 \dots 4$ °C – один раз в сутки по 30 мин; зимой для поддержания влажности $80 \dots 85$ % – не реже двух раз в сутки по 30 мин.

При вентилировании в летнее время увеличивается влажность воздуха в вагоне. Кроме того, значительное обновление воздуха происходит за счет его инфильтрации (Q_2). Поэтому Правилами предлагается вентилировать отдельные виды грузов при температуре воздуха внутри вагона выше $+4\text{ }^\circ\text{C}$ (бананы) и грузы, выделяющие газы (яйца, сыры).

Теплоприток от нагрева двигателей вентиляторов и циркуляторов определяется для рефрижераторного подвижного состава с принудительной циркуляцией воздуха (5-вагонных секций и АРВ), МДж/ваг.,

$$Q_7 = N n_3 \eta \tau_{ц} \cdot 3,6, \quad (5.14)$$

где N – мощность электродвигателя вентилятора и циркулятора определяется по технической характеристике подвижного состава ($N=1,1\dots1,3$ кВт); n_3 – число электродвигателей в вагоне ($n_3 = 2$); η – коэффициент тепловых потерь электродвигателя ($\eta = 0,06\dots0,08$); $\tau_{ц}$ – продолжительность работы циркуляторов. В расчетах можно принять 5 раз в сутки по 0,4 часа.

Теплоприток при оттаивании снеговой шубы на испарителях Q_8 определяется только для рефрижераторного подвижного состава с непосредственной системой охлаждения

$$Q_8 = q_m \tau_{об} / n_{от}, \quad (5.15)$$

где q_m – удельные тепlopоступления при оттаивании снеговой шубы из-за остановки холодильной машины, подачи тепла на испаритель и восстановление температурного режима (100...105 МДж); $\tau_{об}$ – общее время следования вагона от погрузки до выгрузки, сут.; $n_{от}$ – интервал в сутках, через который производится оттаивание снеговой шубы на испарителях, зависит от температуры наружного воздуха (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Значения интервала оттаивания

Температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	10	15	20	25	30	35
Интервал оттаивания, сут.	10,0	7,5	5,5	4,0	3,0	2,0
Удельный суточный теплоприток, МДж/сут.	9,6	13,4	18,4	25,1	33,4	50,2

При определении величины $n_{от}$ следует пользоваться некоторой средней температурой наружного воздуха на всем пути следования

$$t_{ср} = \sum_{i=1}^n (\tau_i t_i) / \tau_{об} .$$

Теплоприток за счет предварительного охлаждения кузова вагона перед погрузкой, МДж/ваг.,

$$Q_9 = (G_m C_m + G_d C_d + G_n C_n) \cdot 10^{-3} (t_n - t_b) / 2, \quad (5.16)$$

где G_m , G_d , G_n – масса металла, дерева, изоляции в конструкции вагона, кг;

C_m, C_d, C_n – теплоемкости составляющих материалов, кДж/(кг·К); t_n – температура наружного воздуха на станции предварительной подготовки вагонов, °С.

Теплоприток через открытые двери при погрузке, МДж/ваг.,

$$Q_{10} = k_{дв} F_{дв} (t_n - t_b) \tau_{пв} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (5.17)$$

где $k_{дв}, F_{дв}$ – приведенный коэффициент теплопередачи и площадь дверного проема. Величина $F_{дв}$ приведена в таблице 5.3, а $k_{дв}$ ориентировочно определяется по эмпирической формуле

$$k_{дв} = 0,11 (t_{пп} - t_b) + 3,5, \quad (5.18)$$

где $t_{пп}$ – расчетная температура окружающей среды в пункте погрузки, °С.

Для закрытых грузовых фронтов $t_{пп} = t_n - (5...10 \text{ } ^\circ\text{C})$; $t_{пв}$ – продолжительность погрузки одного вагона, ч.

Результаты расчетов объединяются в итоговую рабочую таблицу и группируются по видам (непрерывные, периодические, разовые) и расчетным интервалам (таблица 5.9)

Таблица 5.9 – Сводная таблица теплопритоков

Теплоприток	Расчетные интервалы				Итого
	А	а-б	Д	
Q_1			...		
...
Итого Q_n			...		
Q_5			...		
...
Итого Q_n			...		
Q_9			...		
...
Итого Q_p			...		
Всего			...		

По данным таблицы 5.9 строится диаграмма расхода холода за время груженого рейса (рисунок 5.1).

На графике вниз от оси абсцисс, соответствующей протяженности маршрута следования “холодного” поезда по участкам, откладываются расчетные температуры наружного воздуха на опорных станциях на 1 ч и 13 ч.

В центральной части графика указываются расстояние между опорными станциями, продолжительность простоя вагонов на этих станциях и хода между ними.

В верхней части графика наносят в выбранном масштабе сначала линию суммарных разовых теплопритоков, затем к этой линии добавляют сумму периодических теплопритоков по каждому расчетному интервалу. Последней вычерчивают линию суммарных непрерывных теплопритоков.

5.4 Определение расстояния безэкипировочного следования изотермического подвижного состава

В процессе эксплуатации изотермического подвижного состава возникает необходимость производить его экипировку дизельным топливом и другими материалами. При этом важным эксплуатационным показателем является расстояние безэкипировочного следования вагонов (L_3). Расчет его ведут в следующем порядке.

Сначала определяют возможность обеспечения холодом вагона между двумя смежными экипировками (Q_3) по запасу охлаждающих средств или дизельного топлива, тыс. кДж:

для группового рефрижераторного подвижного состава и АРВ

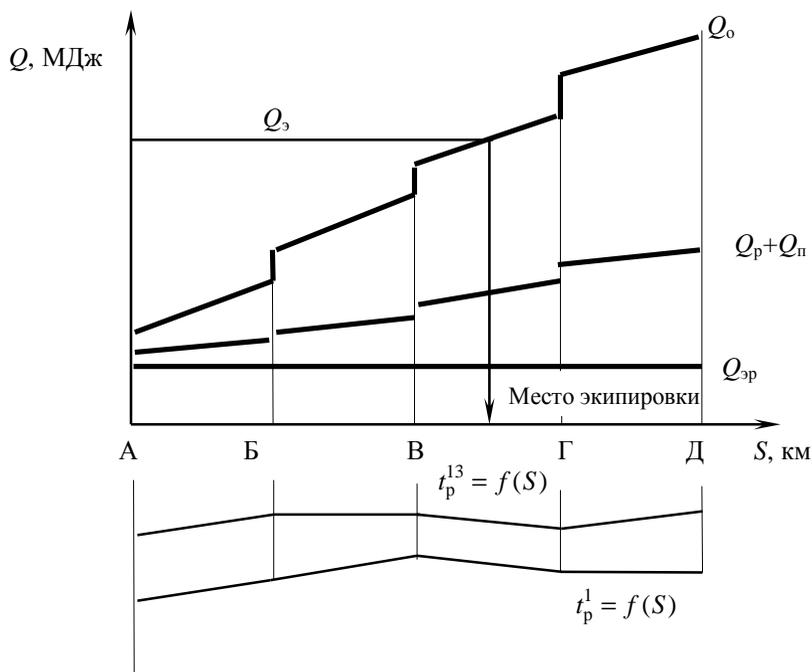


Рисунок 5.1 – Общий вид графика теплотристов за время грузеного рейса

$$Q_3 = \frac{(G_{\text{п}} - G_{\text{р}}) Q_0 \cdot 3,6}{g n_{\text{в}}},$$

для вагонов, охлаждаемых сухим льдом или жидкими газами,

$$Q_3 = G_{\text{ос}} q_0 \cdot 10^{-3},$$

где $G_{\text{п}}$ и $G_{\text{р}}$ – соответственно полный и резервный запасы дизельного топлива, кг; Q_0 – мощность приборов охлаждения, кВт; g – удельный расход дизельного топлива, кг; $n_{\text{в}}$ – количество грузовых вагонов в единице группового рефрижераторного подвижного состава; $G_{\text{ос}}$ – запас охлаждающих средств, кг; q_0 – удельная хладопроизводительность охлаждающих средств (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Холодопроизводительность охлаждающих средств

Охлаждающее средство	G_{oc} , кг	q_o , кДж/кг
Сухой лед	5500	550
Жидкий азот	4000	500

Полученную величину (Q_3) откладывают на графике расхода холода в виде горизонтальной линии. Точка пересечения этой линии с линией суммарных теплопритоков и будет определять место экипировки изотермического подвижного состава. Если эта точка не сходится с осью станции экипировки, то появляется возможность варьирования. Для перенесения точки экипировки можно предложить ускоренное продвижение поезда на участке, сокращение в ряде случаев стоянок, изменение плана формирования и другие меры.

Если возможность обеспечения холодом вагона (Q_3) превышает общий теплоприток за время груженого рейса, то промежуточной экипировки изотермического подвижного состава на маршруте не требуется.

Список литературы

1 Дзюба И.С. Перевозка скоропортящихся грузов: Пособие для курсового и дипломного проектирования. Ч. I – Гомель: БелГУТ, 2000. – 45 с.

2 Энергетика и технология хладотранспорта: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Под ред. Л. Я. Левеняля. – М.: Транспорт, 1993. – 228 с.

3 Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных транспортных и складских операций на предприятиях железнодорожного транспорта: Метод. указания по курсовому и дипломному проектированию. Ч. III / Берлин Н. П., Скоробогатько В. В. – Гомель: БелИИЖТ, 1990. – 60 с.

4 Циркунов Г. А. Выбор технической оснащенности перегрузочных пунктов и оперативное управление эксплуатационной работой пограничных станций. Ч. I, II – Гомель, 1990. – 46 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Организация работ в пунктах отправления скоропортящихся грузов	3
1.1	Обработка рефрижераторных вагонов на станции	3
1.2	Число подач-уборок вагонов на грузовые фронты холодильного склада	7
1.3	Особенности применения механизации на холодильных складах	8
2	Определение технического оснащения холодильных складов ...	10
2.1	Расчет оснащения грузовых фронтов	10
2.2	Расчет параметров и оборудования холодильных складов ..	14
3	Обеспечение параметров состояния воздуха в грузовом помещении вагона.	21
3.1	Влияние параметров состояния воздуха на сохранность ... скоропортящихся грузов	21
3.2	Тепловой и влажностный баланс грузового помещения ...	26
4	Исследование закономерностей колебания температуры наружного воздуха	27
4.1	Теоретические предпосылки и анализ существующих методов	27
4.2	Определение расчетных температур наружного воздуха ..	30
5	Теплотехнические расчеты изотермического подвижного состава	37
5.1	Общие положения	37
5.2	Определение основных параметров	38
5.3	Определение теплопритоков в грузовое помещение вагона .	40
5.4	Определение расстояния безэкипировочного следования изотермического подвижного состава	48
	Список литературы	49

Учебное издание

Илья Самуилович ДЗЮБА

Перевозка скоропортящихся грузов
Часть II Оптимизация режимов перевозки скоропортящихся грузов

Пособие для курсового и дипломного проектирования

Редактор М. П. Д е ж к о
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а
Корректор О. В. З а н и н а

Подписано в печать 26.02.2002 г. Формат бумаги 60x84 I/16.
Бумага газетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,02. Уч. -изд. л. 3,03. Тираж 350 экз.
Зак. № 397. Изд. № 3584.

Редакционно-издательский отдел БелГУТа, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лицензия ЛВ № 57 от 22.10.97 г.

Типография БелГУТа, 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лицензия ЛП № 360 от 26.07.99 г.