

**МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Московский государственный университет  
путей сообщения (МИИТ)**

---

**Кафедра логистики, грузовой и коммерческой работы**

**Т.В. Демянкова**

**ГРУЗОВЕДЕНИЕ**

**Учебное пособие**

**Москва – 2003**

656.21 Демянкова Т.В.  
Д32 Грузоведение  
00-81939 |03



**МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Московский государственный университет  
путей сообщения (МИИТ)**

---

**Кафедра логистики, грузовой и коммерческой работы**

**Т.В. Демянкова**

**ГРУЗОВЕДЕНИЕ**

**Учебное пособие  
для студентов специальности  
«Организация перевозок и управление  
на транспорте (железнодорожном)»**



**Москва – 2003**

УДК 656.212.6.073.22

D-32

Демянкова Т.В. Грузоведение.

Учебное пособие. – М.: МИИТ, 2003. – 88 с.

В работе рассмотрены основные группы грузов, их транспортные характеристики и специфические свойства, влияющие на подготовку к перевозке, выбор подвижного состава, условия перевозок, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, хранения и обеспечение сохранности. Учебное пособие включает, кроме теоретических положений, примеры решения ряда простых задач и многовариантные задания для активизации индивидуальной аудиторной работы студентов.

Учебное пособие предназначено для студентов Института управления и информационных технологий, специализирующихся в области организации перевозок и управления на транспорте (железнодорожном).

Ил. 11, табл. 25, библиог. 18 наз.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. ПГУПС, Действительный Член Академии транспорта России О.Б.Маликов; ст. преп. Н.Г. Янковская (ПГУПС); канд. техн. наук, доц. Н.П. Журавлев (МИИТ).

© Московский государственный  
университет путей сообщения  
(МИИТ),  
2003

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Изучение транспортных характеристик, специфических свойств грузов, принципов подготовки грузов и вагонов к перевозке, причин потерь и мероприятий по их сокращению позволяет обеспечить сохранность грузов и вагонов, безопасность движения поездов и охрану окружающей среды от загрязнения перевозимым грузом. Все указанные и другие аспекты, влияющие на выбор более рациональной технологии перевозок, являются предметом изучения дисциплины «Грузоведение».

В соответствии с учебной программой в настоящем учебном пособии «Грузоведение» приводятся основные теоретические положения подготовки грузов к перевозке, а также практические примеры и решения наиболее интересных, актуальных вопросов, связанных с учетом специфических свойств грузов на всех этапах транспортного процесса.

Для активизации индивидуальной работы студентов на практических занятиях в пособии приводятся темы более сложных заданий и рекомендации по их выполнению.

В процессе изучения дисциплины студентам рекомендуется написать реферат на тему «Транспортная характеристика груза». Наименование груза может быть задано в соответствии с ЕТСНГ [2] или другим способом. В реферате должны быть отражены следующие вопросы: физико-химические свойства грузов, влияющие на условия перевозок, способы подготовки грузов к перевозке, подготовка к перевозке подвижного состава, размещение груза в вагоне, расчет массы груза в вагоне, мероприятия по обеспечению сохранности груза, потребительские свойства груза и способы его получения.

# **1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ГРУЗАХ**

## **1.1. Транспортная характеристика груза. Обобщенная классификация грузов**

Грузом называется, специально подготовленная к перевозке по железной дороге или другими видами транспорта, продукция различных отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Совокупность физико-химических и объемно-массовых характеристик и специфических свойств груза, определяющих условия и способы подготовки его к перевозке, а также технологию и технические средства перевозок, перегрузок и хранения на всех этапах доставки до потребителя, составляет понятие – транспортная характеристика груза.

Транспортная характеристика грузов и технико-технологические элементы перевозочного процесса находятся в тесной взаимозависимости. Даже частичное изменение транспортной характеристики груза может привести к изменению одного или более составляющих элементов транспортно-технологической схемы перевозок.

Вместе с тем, при разработке новых более рациональных технологических процессов перевозки грузов, следует учитывать и, в необходимых случаях, изменять отдельные составляющие транспортной характеристики.

Обобщенная классификация грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, производится на основе наиболее общих признаков, характеризующих технологию перевозок, перегрузок, хранения и обеспечения сохранности в качественном и количественном отношениях.

В обобщенной транспортной классификации все грузы составляют следующие основные группы:

- тарно-упаковочные и штучные;
- насыпные и навалочные;
- наливные грузы;
- грузы, перевозимые на особых условиях.

Каждая группа делится на подгруппы, объединяющие грузы с примерно одинаковыми транспортными характеристиками и условиями перевозок.

Тарно-упаковочные и штучные грузы – эта группа включает широкий спектр наименований промышленной продукции и товаров народного потребления. Такие грузы отличаются значительным разнообразием

физико-химических свойств, объемно-массовых характеристик, видов тары и упаковки, требований к подвижному составу, средствам погрузочно-разгрузочных работ, а также к условиям хранения на складах; принимаются к перевозке по счёту мест и общей массе.

Насыпные и навалочные грузы объединены в одну группу в результате того, что они принимаются к перевозке без счета мест, по общей массе груза в вагоне. Насыпью, согласно Сборника [1], перевозятся грузы, представляющие собой однородную массу фракционных составляющих (частиц, кусков), обладающих взаимной подвижностью. Навалом перевозятся грузы, которые по своему физическому состоянию не могут быть отнесены к насыпным.

К наливным грузам относятся все жидкые грузы, перевозимые наливом в цистерны и бункерные полувагоны. Основную массу жидких наливных грузов составляют нефть и нефтепродукты. К наливным грузам относятся также пищевые жидкые продукты (растительные масла, спирты, патока) и группа химических жидкых веществ (кислоты, щелочи, красители, сжиженные газы).

В группу грузов, перевозимых на особых условиях, входят: скоропортящиеся грузы, живность и особая группа – опасные.

Условия перевозок, перегрузок, приема и выдачи грузовладельцам, обеспечение сохранности таких грузов на всех этапах транспортирования, рассматриваются в специальных учебных курсах.

## **1.2. Нормативные документы, регламентирующие основные правила и условия перевозок грузов**

Основополагающие нормы и условия перевозок пассажиров, грузов, багажа, грузобагажа; отношения возникающие между железными дорогами, пользователями транспортных услуг и другими видами транспорта; права, обязанности и ответственность участников транспортного процесса регламентирует «Транспортный устав железных дорог Российской Федерации».

«Сборник правил перевозок грузов на железнодорожном транспорте. Книга 1» расширяет, дополняет и конкретизирует положения Транспортного устава, относящиеся к правилам перевозок грузов, и подробно устанавливает:

- правила документального оформления перевозок грузов на всех этапах перевозочного процесса, включая порядок оформления, предъявления и разрешения взаимных претензий между железными дорогами и пользователями транспортными услугами;

- правила подготовки грузов к перевозке, подготовки вагонов для конкретных грузов, правила приема и выдачи грузов на железнодорожных станциях, правила хранения на местах общего пользования;
- особенности и правила перевозок грузов различными видами отправок (групповыми, маршрутами, контейнерными отправками и т.п.);
- правила перевозок скропортящихся грузов;
- правила перевозок грузов, обладающих специфическими свойствами и требующие особых условий перевозок и хранения; наименования таких грузов приведены в специальных перечнях Сборника.

Указанные перечни позволяют установить:

- допустимость перевозок конкретного груза на открытом подвижном составе;
- возможность перевозки грузов насыпью;
- возможность перевозки грузов навалом;
- отношение грузов, перевозимых насыпью, к смерзающимся; сроки и меры профилактики;
- необходимость сопровождения и охрана груза работниками военизированной охраны МПС РФ;
- допустимость перевозки грузов в контейнерах, цистернах, крытых, специализированных вагонах без запорно-пломбировочных устройств, но с обязательным использованием закруток;
- допустимость хранения грузов на открытых площадках и платформах мест общего пользования;
- необходимость промывки крытых вагонов после выгрузки отдельных перечисленных грузов.

Расчет провозных тарифных плат за перевозку грузов и за другие услуги, предоставляемые железными дорогами грузовладельцам или экспедиторам, производится по Прейскуранту № 10-01 [2]. В этом документе приводятся правила взимания провозных платежей, единая тарифно-статистическая номенклатура грузов (ЕТСНГ) и Алфавит к ЕТСНГ, которые позволяют правильно определить название и код груза, классифицировать по отраслям промышленности и определить минимальную весовую норму груза в вагоне.

Для обеспечения сохранности грузов, относящихся к группе тарно-упаковочных и штучных, в процессе транспортирования, когда на них действуют разновеликие и разнонаправленные инерционные динамические и статические нагрузки необходимо правильно размещать

и крепить грузы в вагонах. Правила размещения и порядок расчетов приводятся в «Технических условиях погрузки и крепления грузов» [3].

В этом документе приведены схемы размещения различных видов тарно-упаковочных и штучных грузов (наиболее часто предъявляемых к перевозке) на открытом подвижном составе, а также правила размещения грузов в крытых вагонах и контейнерах. Подробно расчет крепления грузов на открытом подвижном составе рассматривается в курсе «Организация грузовой и коммерческой работы».

Пример. Определить основные условия перевозки груза «Цемент М-300» на основе Прейскуранта №10-01 и Сборника правил перевозок грузов на железнодорожном транспорте.

Решение.

1. В соответствии с данными Прейскуранта №10-01 часть 1 находим:

- код груза 28115-6;
- груз относится к разделу «Минеральное сырье, минерально-строительные материалы и изделия. Аbrasивы»;
- минимальная весовая норма – г/п (грузоподъемность вагона).

2. В соответствии с данными Сборника правил перевозок грузов железнодорожным транспортом определяем следующие условия перевозок:

- цемент М-300 в таре, сформированный в пакеты с применением термоусадочной пленки допускается к перевозке на открытом подвижном составе;
- цемент М-300 без тары разрешается перевозить насыпью в хопперах-цементовозах;
- сопровождение военизированной охраны МПС РФ не требуется;
- к смерзающимся грузам не относится;
- цемент, перевозимый без упаковки, допускается к перевозке без запорно-пломбировочных устройств, но с обязательным использованием закрутки;
- все виды цемента в таре (мешках), сформированных в пакеты с применением термоусадочной пленки, допускается к хранению на открытых площадках мест общего пользования;
- промывка вагонов не требуется.

## **2. ТАРНО-УПАКОВОЧНЫЕ И ШТУЧНЫЕ ГРУЗЫ**

### **2.1. Основные понятия. Способы перевозок**

**2.1.1. Классификация тарно-упаковочных и штучных грузов.** Тарно-упаковочные и штучные грузы включают обширную номенклатуру наиболее ценных промышленных изделий и товаров народного потребления. Они отличаются большим разнообразием специфических свойств, необходимостью защиты от внешних агрессивных факторов и воздействий, объемно-массовыми характеристиками, тарой и упаковкой и другими показателями объединенным понятием – транспортная характеристика грузов.

В соответствии с транспортной характеристикой тарно-упаковочные и штучные грузы могут перевозиться в упаковке, в частичной упаковке и без упаковки. Для перевозки таких грузов используются крытые вагоны, контейнеры различных типов, открытый подвижной состав.

На основе объемно-массовых характеристик и условий перевозок тарно-упаковочные и штучные грузы условно делятся на следующие группы:

- грузы с массой транспортной единицы (одного грузового места) менее 500кг, линейные параметры которых соответствуют параметрам дверного проема крытого вагона;
- тяжеловесные грузы, масса одного грузового места от 500 до 20000 кг и выше, но не более грузоподъемности универсального железнодорожного вагона; перевозятся такие грузы на открытом подвижном составе, а в отдельных случаях в крупнотонажных универсальных контейнерах, при условии соответствия по линейным параметрам и массе;
- сверхтяжеловесные, крупногабаритные и громоздкие грузы с массой одного грузового места более грузоподъемности универсального вагона; перевозятся такие грузы на специальных вагонах-транспортерах с грузоподъемностью от 80 до 500т;
- длинномерные грузы, требующие для перевозки сцеп из 2-3 платформ;
- негабаритные грузы.

**2.1.2. Упаковка грузов.** Обеспечение сохранности перевозимых грузов от воздействия агрессивных факторов (климатических и динамических) в значительной степени зависит от правильной подготовки грузов к

перевозке, рациональной его упаковки, правильного размещения и крепления грузов на подвижном составе различных видов транспорта.

Упаковка – это комплекс средств: обеспечивающих сохранность груза и облегчающих процесс обращения продукции; защищающих груз от вредного воздействия окружающей среды и окружающую среду от загрязнения и вредного влияния груза.

Требования к упаковке обуславливаются особенностями перевозок, перегрузок и хранения грузов различными видами транспорта, а при вывозе заграницу – условиями перевозок по территории страны импортера.

Специальные экономические требования предъявляют к упаковке таможенный тариф. В случае взимания тарифных пошлин с массы товара в первичной упаковке, она должна быть по возможности более легкой. Если упаковка представляет самостоятельную ценность или сделана из ценных материалов, то она облагается пошлиной отдельно от товара.

Упаковка состоит из тары (потребительской, групповой и транспортной), упаковочных материалов, различных средств консервации.

Транспортная тара представляет собой специальное изделие для размещения продукции, предварительно подготовленной к перевозке с использованием упаковочных материалов и средств консервации. Транспортная тара должна обеспечивать: сохранность перевозимого груза, механизацию грузовых операций, возможность штабелирования на складах и в вагонах, максимально возможное использование вместимости и грузоподъёмности подвижного состава, охрану труда рабочих при погрузочно-разгрузочных операциях.

Тарно-штучные грузы могут перевозиться в жёсткой, полужёсткой и мягкой таре. Конструкция транспортной тары может иметь форму ящиков, коробок, мешков, бочек, бидонов и других видов. Наиболее распространённым видом транспортной тары являются ящики и коробки, доля которых составляет около 60% [5], а материалом для изготовления такой тары может быть дерево, картон, фанера, пластмасса.

Упаковочные материалы выполняют функции амортизирующих, изолирующих и поглощающих средств и могут применяться все в комплексе или отдельно в зависимости от транспортной характеристики груза. Амортизирующие упаковочные материалы позволяют уменьшить влияние динамических перегрузок на продукцию при перевозке, избежать потёртостей, царапин и повреждений изделия. Изолирующие

материалы должны защищать продукцию от влияния вредных посторонних запахов и контактов. Поглощающие средства обеспечивают и поддерживают допустимую влажность внутри упаковки.

Средства консервации предохраняют изделия от различного вида коррозии (атмосферной и биохимической).

Несоблюдение порядка подготовки грузов к перевозке, условий его перевозки, перегрузки и хранения приводят к потерям и повреждениям груза, к изменению его качества.

**2.1.3.Пакетирование тарно-упаковочных и штучных грузов.** Тарно-упаковочные и штучные грузы могут предъявляться к перевозке как отдельными грузовыми местами поштучно, так и в укрупненных грузовых единицах – пакетами. Пакетирование может производиться с помощью различных пакетирующих средств, из которых наибольшее распространение получили плоские деревянные поддоны стандартных размеров 800×1200 и 1000×1200мм.

В этом случае отдельные грузовые единицы в облегчённой упаковке укладываются на поддоне в плотный штабель, а затем скрепляются полимерными термоусадочными или растягивающимися пленками для стабилизации пакета и предупреждения развода в процессе перевозок и перегрузок. Возможны и другие средства скрепления пакетов.

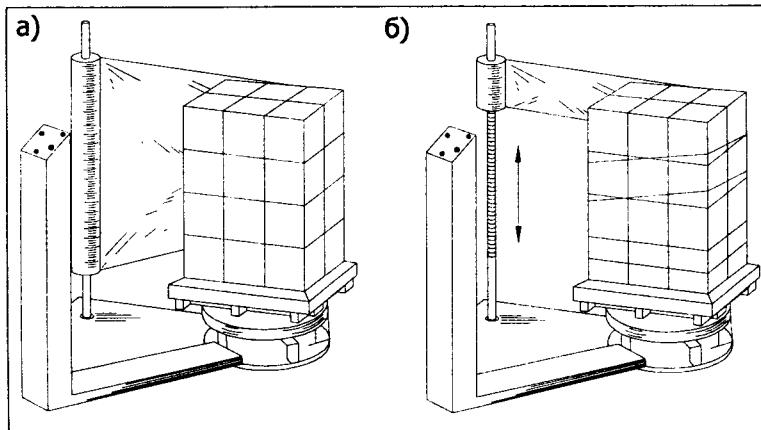


Рис.2.1 Схемы ротационного обертывания пакета по способам прямой (а) и спиральной (б) навивок пленки

Пакетирование тарно-штучных грузов требует определённых капитальных и эксплуатационных затрат, особенно на начальном этапе, т.е. для выполнения операций по формированию и скреплению пакетов. В то же время пакетирование позволяет: повысить сохранность перевозимых грузов, сократить расходы на транспортную тару, механизировать грузовые операции, сократить простоя подвижного состава под погрузкой и выгрузкой [5].

Операции по формированию и скреплению пакетов могут выполняться с помощью специальных пакетоформирующих машин, специальных механизмов и устройств для одевания чехлов из термоусадочной пленки на пакет или для обёртывания пакета растягивающейся пленкой.

Пакет в термоусадочной пленке, для получения её необходимого натяжения и стабилизации пакета, должен пройти специальную тепловую обработку.

При выборе оборудования для тепловой обработки пленки необходимо учитывать: потребную производительность, стоимость, мощность, источник тепла, возможность изменения параметров пакета и мобильность оборудования. В зависимости от конструкции и производительности оборудование для тепловой обработки термоусадочной пленки подразделяется на следующие группы: ручные переносные устройства, рамные установки, однодверные камеры, двухдверные (сквозные) тунNELи [5].

Крепление пакета на поддоне полимерной растягивающейся пленкой производится путём ротационного обёртывания, которое может выполняться способом прямой или спиральной навивки (рис.2.1).

Ротационное обёртывание пакета способом прямой навивки пленки используется при массовом скреплении пакетов стандартных параметров. Метод спиральной навивки пленки на пакет позволяет пленкой одной ширины скреплять пакеты разной высоты за счёт движения рулона в вертикальном направлении.

По окончании навивки полотно обрезается и сваривается по высоте пакета и его верхней поверхности. Общее количество всех слоёв пленки зависит от массы пакета, условий перевозки и толщины пленки.

**2.1.4. Рассчитать схему укладки грузов в транспортный пакет на поддоне и его скрепление.** Транспортный пакет формируется на плоском деревянной поддоне с размерами в плане 800×1200мм из грузов упакованных в картонные коробки, параметры которых и другие исходные данные приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1

## Характеристика тары и полимерной пленки

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Характеристика тары						
Габаритные размеры тары, мм:						
длина	l	600	400	400	400	300
ширина	b	400	200	200	400	200
высота	h	300	300	200	150	200
Масса брутто, кг	q <sub>бр</sub>	35	15	12	20	10
Коэффициент трения	μ	0,3	0,35	0,4	0,45	0,35
Характеристика полимерной пленки						
Параметры пленки:						
толщина, мм	δ	0,15	0,20	0,10	0,12	0,15
допустимое напряжение, Н/см <sup>2</sup>	[σ]	1500	1500	1200	1200	1500

При формировании пакета принимаются следующие условия:

- пакеты размещаются в крытом вагоне в два яруса – следовательно максимальная высота должна быть не более 1350мм с учётом высоты самого поддона;
- масса брутто пакета, не должна быть более 1000кг, для обеспечения нормируемой нагрузки [3] на пол крытого вагона.

Общее число коробок в пакете и масса брутто пакета определяются на основе следующих зависимостей и ограничений:

$$N_{OB} = N_d \times N_W \times N_B; \quad Q_{BR} = N_{OB} \times q_{BR} + q_{Под} \leq 1000 \text{ кг}$$

$$N_d = L_{Под}/l; \quad N_W = B_{Под}/b; \quad N_B = (H_{ПАК} - h_{Под})/h,$$

где:  $N_{OB}$  – общее число коробок в пакете, шт;

$N_d$ ,  $N_W$ ,  $N_B$  – соответственно число коробок размещённых по длине, ширине и высоте пакета, шт;

$Q_{BR}$ ,  $q_{BR}$ ,  $q_{Под}$  – соответственно масса брутто пакета, одной коробки и самого поддона,  $q_{Под} = 30$ кг;

$L_{Под}$ ,  $B_{Под}$ ,  $H_{ПАК}$  – максимальные размеры поддона по длине (1200мм), ширине (800мм) и высоте пакета (1350мм);

$h_{Под}$  – высота поддона,  $h_{Под} = 150$ мм;

$l$ ,  $b$ ,  $h$  – соответственно размеры картонных коробок по длине ширине и высоте, мм.

По результатам расчётов составляется схема укладки картонных коробок на поддоне (см. рис.2.2).

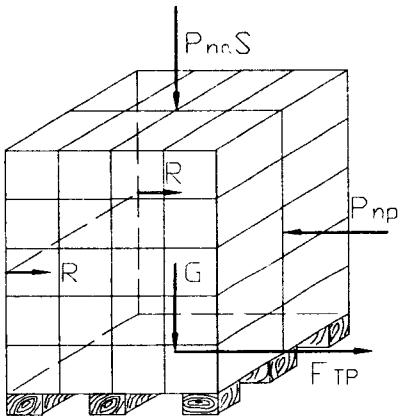


Рис.2.2.Силы, действующие на транспортный пакет

Параметры пленки и ее расход определяются в зависимости от действующих в процессе перевозки инерционных сил, трения, свойств грузовых мест пакета и характеристики пленки (табл.2.1).

Толщина пленки, обеспечивающая устойчивость пакета от раз渲а и сдвига по поддону, определяется на основе уравнения сил действующих на пакет (рис.2.2)

$$P_{np} - \mu g Q_{bp} - \mu P_{pl} S - 2R = 0, \quad P_{np} = K_{np} \times g \times Q_{bp};$$

где  $P_{np}$  – продольная инерционная сила (Н);  
 $\mu, g$  – коэффициент трения и ускорение силы тяжести,  $g=10\text{м}/\text{с}^2$ ;  
 $Q_{bp}$  – масса пакета брутто на поддоне, кг;  
 $K_{np}$  – коэффициент продольного ускорения;  $K_{np} = 2,15$   
 $P_{pl}S$  – равнодействующая равномерно распределенной силы натяжения пленки по площади  $S$  верхней поверхности пакета, Н;  
 $R$  – реакция пленки, Н.

Реакция пленки не должна быть больше допустимой

$$R \leq [\sigma] \times \delta \times H_{PAK},$$

где  $[\sigma]$  – допустимое напряжение на растяжение пленки,  $\text{Н}/\text{см}^2$ ;  
 $\delta, H_{PAK}$  – соответственно толщина пленки и высота пакета, см.

На основе уравнения сил и допустимого значения реакции пленки, а также с учетом действия на пакет при перевозке вибрационных сил, ослабляющих натяжение пленки (принимаем  $P_{pl} = 0$ ), находим необходимую ее толщину, мм.

$$\delta_H = g Q_{bp} (K_{np} - \mu) \times 10 / (2[\sigma] H_{PAK})$$

Полученное значение  $\delta_n$  следует сравнить с заданной толщиной пленки, сделать вывод и рассчитать сколько надо слоев  $n_{CJ}$  растягивающейся пленки навить на пакет,  $n_{CJ} = \delta_n / \delta$ .

Полезный расход пленки [5] для скрепления одного транспортного пакета, кг, составит

$$q_P = L_3 \times B_3 \times n_{CJ} \times m,$$

где  $L_3, B_3$  – длина и ширина заготовки пленки, м;  
 $m$  – масса пленки, кг/м<sup>2</sup>.

Указанные величины  $L_3, B_3$  и  $m$  определяются следующим образом:  
длина  $L_3 = 2(L_{ПОД} + B_{ПОД}) + l_1;$   
ширина  $B_3 = H_{ПАК} + 0,5B_{ПОД} + z + l_1;$   
масса  $m = \rho_P \times \delta \times 10^{-3},$

где  $L_{ПОД}, B_{ПОД}$  – длина и ширина транспортного пакета (поддона), м;  
 $l_1$  – припуск на швы, м.  $l_1 = 0,01$  м;  
 $z$  – припуск для скрепления груза с поддоном.  $z = 0,02$  м;  
 $\rho_P$  – объемная масса пленки,  $\rho_P = 350$  кг/м<sup>3</sup>.

## 2.2. Подготовка к перевозке и размещение тарно-упаковочных грузов в контейнерах и крытых вагонах

**2.2.1. Выбор материалов и расчет амортизирующих прокладок.** В процессе транспортирования и выполнения погрузочно-разгрузочных и складских работ упакованные изделия подвергаются различным динамическим нагрузкам, которые могут достигать значительных величин. Наиболее опасен удар при падении в результате неосторожного выполнения погрузочно-разгрузочных операций. Высота падения упакованного изделия зависит от способа выполнения грузовых работ: при ручной установке в штабель или переноске – это 900 мм (один человек несет груз массой до 40 кг), или 750мм (два человека несут груз массой до 100 кг). При использовании электропогрузчика высота падения принимается 450мм.

Для защиты изделий от ударных нагрузок используются различные амортизирующие материалы: гофрированный картон, пенополистирол, пенополиуретан, велофлекс и др. Основной динамической характеристикой амортизирующих материалов является зависимость «ударное ускорение – статическая нагрузка». Кривая, выражающая эту

зависимость, имеет вогнутую форму (рис.2.3) с ярко выраженным минимумом и описывается выражением [6]

$$K = a_0/p + a_1H/h + a_2(H/h)^2P,$$

где  $K$  – ударное ускорение (пиковая ударная нагрузка); доли г;  
 $P$  – статистическое давление изделия на прокладку, Н/см<sup>2</sup>;  
 $H$  – высота падения изделия в упаковке, см;  
 $h$  – толщина амортизирующей прокладки, см;  
 $a_0, a_2$  – размерные постоянные величины, характеризующие ударо-защитные свойства материала, см<sup>2</sup>/Н; Н/см<sup>2</sup>;  
 $a_1$  – коэффициент амортизации.

Выбор амортизационного материала определяется условием

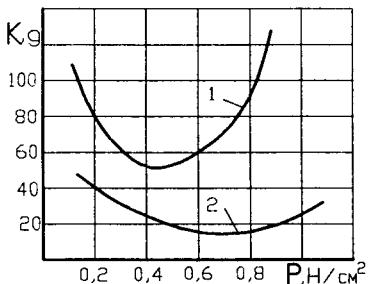


Рис.2.3.Динамические характеристики амортизационных материалов:  
1 - картона, 2 - пенополистирола

$$K_{min} \leq K_{ доп},$$

где  $K_{min}$  – минимальное значение ударной перегрузки, которое может обеспечить амортизационный материал определенного вида в заданных условиях;  
 $K_{доп}$  – допустимая перегрузка, выдерживаемая изделием без повреждений, доли г.

После дифференцирования приведенного выше выражения, и соответствующих преобразований получены следующие расчетные формулы для определения параметров амортизирующих прокладок:

$$\text{толщина прокладки} \quad h = CH/K_{доп};$$

$$\text{площадь прокладки} \quad S_{pp} = C_1 Q K_{доп},$$

где  $Q$  – масса изделия, кг;  
 $C$  – обобщенный коэффициент амортизации;  
 $C_1$  – размерная постоянная величина, см<sup>2</sup>/Н, характеризующая свойства выбранного материала.

Значения величин  $C$  и  $C_I$  для некоторых амортизирующих материалов приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Коэффициенты амортизации  $C$  и  $C_I$

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Значения коэффициентов	
		$C$	$C_I$
Пенополиуретан	33	2,25	7,82
	43	3,02	2,49
	50	3,54	1,28
Пенополистирол	23	2,83	0,24
Латексная губка	132	5,09	2,38
	162	3,19	2,88
	207	5,15	0,54
Картон	№1	2,50	1,93
	№2	3,37	0,60

Полученная площадь прокладки  $S_{np}$  сравнивается с площадью опирания груза  $S$ .

Если  $S/2 < S_{np} \leq S$ , прокладку изготавливают площадью  $S_{np}$  и располагают ее под центром тяжести груза;

если  $S < S_{np}$ , то следует увеличить площадь опоры изделия или выбрать другой материал и повторить расчет.

По проведенным расчетам конструируют прокладки, производят упаковку изделия и ударные испытания порядком установленным стандартами.

Пример. Изделие массой 2,5кг выдерживает без повреждения пиковое ударное ускорение  $a_{ii} = 24g$ . Необходимо определить площадь и толщину прокладки из пенополиуретана плотностью 43кг/м<sup>3</sup>. Прокладка должна обеспечивать сохранность изделия при падении с высоты 90см. Опорная площадь изделия 225см<sup>2</sup>.

Решение. Последовательно определяем следующие величины:

$$\text{допустимая ударная перегрузка } K_{\text{доп}} = a_{ii}/g = 24;$$

$$\text{толщина прокладки } h = CH/K_{\text{доп}} = 3,02 \times 90 / 24 = 11,3\text{ см};$$

$$\text{площадь прокладки } S_{np} = C_I \times Q \times K_{\text{доп}} = 2,49 \times 2,5 \times 24 = 149,4\text{ см}^2.$$

В данном случае рассчитанная площадь прокладки меньше опорной поверхности изделия (149,4<225), следовательно прокладку надо сделать площадью 225см<sup>2</sup> с вырезами.

### **2.2.2. Картонная транспортная тара. Расчет прочности.**

Картонная транспортная тара изготавливается в основном из гофрированного, коробчатого, реже из плоского, картона. Картонная тара в сравнении с деревянной является более экономичной по таким показателям как относительная собственная масса, стоимость, полезный объем, материало- и трудоемкость изготовления. Процесс изготовления картонной тары может быть полностью автоматизирован, также как и процесс упаковывания в такую тару продукции. К недостаткам картонной тары относятся ее гигроскопичность и недостаточная прочность по сравнению с тарой из других материалов (дерево, пластмасса). Для усиления прочности картонной тары, при упаковывании в нее продукции, используют вспомогательные упаковочные средства: вкладыши, перегородки, решетки, прокладки, амортизаторы. Картонная тара может иметь форму ящиков, коробок, барабанов.

Для изготовления картонных ящиков используется гофрированный картон следующих типов:

Т – трехслойный (два слоя плоских, один гофрировальный);

П – пятислойный (три слоя плоских, два гофрировальных);

Д – двухслойный (один плоский и один гофрировальный).

Гофрированные слои отличаются высотой гофр ( $h=1,1\div5,5\text{мм}$ ) и их шагом ( $l=3\div9\text{мм}$ ), что влияет на прочность картона. Предельная масса, упакованной в картонную тару продукции не должна превышать 40кг, оптимальная масса груза – 15–20 кг.

Расчет прочности картонной (деревянной) тары производится на основе сжимающего усилия, которое должна выдерживать тара при штабелировании на складе. Статическое сжимающее усилие  $P_{ct}$ , Н, составляет

$$P_{ct} = K_{зап} \times g \times Q_{бр} \times (H_{ck} - h) / h,$$

где  $K_{зап}$  – коэффициент запаса прочности картонной тары зависит от продолжительности хранения; картон впитывает влагу и теряет прочность,  $K_{зап}=1,6$  при хранении менее 30сут.,  $K_{зап}=1,85$  при хранении более 100 сут.; для деревянной тары  $K_{зап}=1,0$ ;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $g \approx 10\text{м}/\text{с}^2$

$Q_{бр}$  – масса брутто картонного ящика с грузом, кг;

$H_{ck}$  – допустимая высота складирования, для картонной тары  $H_{ck} = 300\text{см}$ ; для деревянной тары  $H_{ck} = 600\text{см}$ ;

$h$  – высота коробки (ящика), принимается при проектировании в зависимости от массы и параметров упаковываемого груза, см.

С другой стороны, сопротивление сжатию картонной тары зависит от периметра коробки и прочности гофрированного картона на торцовое сжатие. В соответствии с упрощенной формулой Макки [7]

$$P_{CT} = 2,55 \times P_T \times \sqrt{\delta \cdot z},$$

где  $P_T$  – торцовая жесткость, Н/см;

$\delta$  – толщина картона, см;

$z$  – периметр коробки, см.

Торцовая жесткость принимается в зависимости от марки картона, (табл.2.3), а толщина практически равна высоте гофр. Сопоставляя приведенные формулы и зная параметры коробки можно определить допустимую высоту штабелирования на складах и в вагонах, а также на основе оптимальной высоты штабелирования и необходимых параметров картонной тары – марку картона.

Таблица 2.3  
Характеристики гофрированного картона  
(при влажности 6-12 %)

Показатели	Норма для картона марок					
	T12	T22	T27	П31	П33	П35
Сопротивление торцовому сжатию, Н/см	30	46	54	50	80	120
Сопротивление продавливанию, мПа	1,3	1,3	1,2	1,1	2,0	2,3

Пример. Определить марку картона для изготовления транспортной картонной тары с параметрами 500×400×400 мм для перевозки груза массой 15 кг. Расчетная высота складирования 300 см, срок хранения 25 сут, толщина картона 0,35 см.

Решение. Статическое сжимающее усилие, Н,

$$P_{CT} = K_{34P} \times g \times Q_{BP} \times (H_{ck} - h) / h = 1,6 \times 10 \times 15 \times (300 - 40) / 40 = 1560;$$

$$\text{периметр ящика, см} \quad z = 2l + 2b = 2 \times 50 + 2 \times 40 = 180 \text{ см};$$

сопротивление торцовому сжатию, Н/см

$$P_r = P_{cr} / (2,55 \sqrt{\delta \cdot z}) = 1560 / (2,55 \sqrt{0,35 \times 180}) = 77.$$

Согласно табл.2.3. для изготовления транспортной картонной тары в заданных условиях необходимо использовать пятислойный картон марки П133 (80>77).

**2.2.3. Разработать схему размещения непакетированных грузов в контейнере.** Правила перевозок тарно-упаковочных и штучных грузов в универсальных контейнерах на железнодорожном транспорте [1] регламентируют следующие основные условия размещения грузовых мест;

-масса груза в контейнере не должна превышать его грузоподъемности;  
-смещение центра масс грузов от центра масс контейнера должно быть:

по ширине контейнера от его середины не более 100мм для всех типов контейнеров;

по длине контейнера от его середины в зависимости от типа контейнера:

для контейнеров типа 1А, 1АА - не более 1200 мм;

для контейнеров типа 1С, 1СС - не более 600 мм;

для контейнеров типа 1D - не более 300 мм.

-общая сумма зазоров между штабелями грузов и продольными стенками контейнера не должна превышать 200мм;

-двери контейнера должны свободно открываться и закрываться, а для этого зазор между штабелем груза (включая ограничительный щит перед дверью) и дверным проемом контейнера должен быть не менее 50мм.

Исходные данные для расчета числа грузовых мест и схемы их размещения в контейнере принимаются по табл.2.1 (габаритные размеры картонных коробок и их масса брутто) и табл.2.4 (характеристика крупнотоннажных контейнеров и условий перевозки) в зависимости от номера заданного варианта.

При расчете числа грузовых мест в крупнотоннажном контейнере принимаем, что картонные коробки с грузом размещаются длинной стороной по длине, короткой стороной по ширине и высотой по высоте контейнера. Для лучшего использования площади контейнера и минимизации зазоров между грузовыми местами и стенками контейнера, коробки могут быть размещены с поворотом их в горизонтальной плоскости на 90° т.е. длинной стороной по ширине контейнера.

Общее число грузовых мест в контейнере составит

$$N_{OB} = N_{PP} \times N_B \times N_H ;$$

$$N_{PP} = L/(l \times K_V); \quad N_B = B/(b \times K_V); \quad N_H = H/h,$$

где  $N_{PP}$ ,  $N_B$ ,  $N_H$  – соответственно число грузовых мест в продольном, поперечном направлениях внутри контейнера и по высоте, шт.; результаты расчетов округляются до целого числа в меньшую сторону;

$L$ ,  $B$ ,  $H$  – соответственно внутренние размеры контейнера по длине, ширине и высоте, мм;

$l$ ,  $b$ ,  $h$  – соответственно габаритные размеры картонных коробок по длине, ширине и высоте, мм;

$K_V$  – коэффициент укладочности,  $K_V = 1,01$ .

Таблица 2.4  
Характеристика контейнеров и условий перевозок

Показатели	Номер варианта				
	1	2	3	4	5
Тип контейнера	1A*	1AA*	1C	1CC	1D
Характеристика контейнера:					
Номинальная масса брутто, т $Q_{HOM}$	30,0	30,0	20,0	24,0	10,0
Масса тары, т $Q_T$	3,6	3,6	2,1	2,1	1,6
Внутренние размеры, мм:					
длина $L$	11998	11998	5867	5867	2802
ширина $B$	2330	2330	2330	2330	2330
высота $H$	2197	2350	2197	2350	2197
Коэффициенты ускорения:					
продольный $\kappa_{PP}$	2,20	2,15	2,25	2,10	2,30
поперечный $\kappa_B$	0,35	0,50	0,45	0,45	0,50
вертикальный $\kappa_H$	1,38	1,29	1,50	1,40	1,45

\* В контейнерах 1A и 1AA рекомендуется перевозить грузы в деревянных ящиках или пакетах.

Общая масса брутто всех грузовых мест в контейнере  $Q_{\text{бр}}$  должна быть не больше его грузоподъемности

$$Q_{\text{бр}} = N_{\text{бр}} \times q_{\text{бр}} \times 10^{-3} \leq Q_{\text{ном}} - Q_t,$$

где  $q_{\text{бр}}$  – масса брутто груза в картонной таре, кг;

$Q_{\text{ном}}, Q_t$  – соответственно номинальная масса брутто контейнера и масса тары контейнера, т.

Если масса груза брутто больше грузоподъемности контейнера необходимо уменьшить общее число грузовых мест за счет уменьшения числа мест по высоте.

При движении поезда и маневровых передвижениях возникают инерционные силы, действующие в продольном, поперечном и вертикальном направлениях. Эти силы стремятся сжать, сдвинуть или опрокинуть грузовые места при наличии зазоров между отдельными рядами и стенками контейнера. Указанные обстоятельства могут служить причинами, нарушающими целостность и сохранность как грузового места в целом, так и груза внутри транспортной тары.

Величины инерционных сил рассчитываются согласно ТУ [3] по формулам:

$$P_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \times g \times (N_{\text{пр}} - l) \times q_{\text{бр}}; \quad P_H = K_H \times g \times (N_H - I) \times q_{\text{бр}};$$

$$P_B = K_B \times g \times (N_B - J) \times q_{\text{бр}}.$$

где  $P_{\text{пр}}, P_H, P_B$  – соответственно продольная, поперечная и вертикальная инерционные силы, Н;

$K_{\text{пр}}, K_H, K_B$  – коэффициенты ускорений, действующих в продольном, поперечном и вертикальном направлениях, доли единиц (табл.2.4);

$g$  – ускорение силы тяжести,  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

Полученные величины необходимо сравнить с расчетной статической нагрузкой  $P_{\text{ср}}$ , на основе которой проектировалась картонная транспортная тара и которая составляет (см. п.2.2.2)

$$P_{\text{ср}} = K_{\text{ср}} \times g \times q_{\text{бр}} \times (H_{\text{ср}} - h) / h$$

Если  $P_{\text{пр}} > P_{\text{ср}}$ , но необходимо устанавливать поперек контейнера сепарационные перегородки для обеспечения сохранности груза от сжатия под действием продольной инерционной силы. Поперечные

вертикальные инерционные силы, как правило, меньше по величине расчетной статической нагрузки:  $P_{\text{П}} < P_{\text{СТ}}$ ;  $P_{\text{В}} < P_{\text{СТ}}$ .

Сепарационные перегородки делят внутренний объем контейнера на отдельные блоки (обычно два или три блока).

Максимальное число грузовых мест в продольном направлении в каждом блоке определяется из условия, что продольная инерционная сила  $P_{\text{ПР}}^{\text{Б}}$ , действующая в этом блоке на последнее грузовое место, равна расчетной статической нагрузке

$$P_{\text{СТ}} = P_{\text{ПР}}^{\text{Б}} = K_{\text{ПР}} \times g \times (N_{\text{ПР}}^{\text{Б}} - 1) \times q_{\text{БР}}.$$

Отсюда можно найти максимальное число грузовых мест в одном блоке

$$N_{\text{ПР}}^{\text{Б}} = \frac{P_{\text{СТ}}}{K_{\text{ПР}} \times g \times q_{\text{БР}}} + 1$$

Полученное число ящиков (грузовых мест) округляется до целого в меньшую сторону, а затем определяется число блоков  $z_{\text{Б}}$  в контейнере

$$z_{\text{Б}} = N_{\text{ПР}} / N_{\text{ПР}}^{\text{Б}},$$

которое округляется до целого в большую сторону.

Количество грузовых мест в каждом блоке должно быть распределено примерно одинаково: при делении на три блока – в среднем должно быть  $N_{\text{ПР}}^{\text{Б}}$ . Сумма всех грузовых мест при этом равняется  $N_{\text{ПР}}$ .

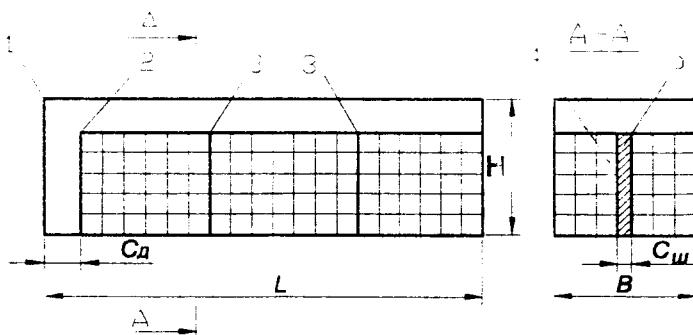


Рис 2.4 Схема размещения картонных коробок в контейнере 1АА:  
1 – ливень; 2 – дверной щит; 3 – сепарационные перегородки;  
4 – коробки; 5 – поперечная перегородка.

Далее составляется схема погрузки грузовых мест в контейнер (рис.2.4) производится проверка их размещения и показывается на схеме крепление, если оно необходимо.

1. Расстояние от штабеля груза до дверей контейнера, мм,

$$C_d = (L - N_{hp} \times l \times K_v) - (z_b - 1) \times b_{hp} - b_m \geq 50,$$

где  $b_{hp}$ ,  $b_m$  – ширина сепарационных перегородок и ширина дверного щита, мм (минимальные значения:  $b_{hp} = 150\text{мм}$ .  $b_m = 100\text{мм}$ ); если величина  $C_d$  больше 50мм, но меньше чем  $l_m$ , где  $l_m$  допустимое смещение центров масс груза и контейнера, то груз размещен правильно.

2. Расстояние между штабелями грузов и продольными стенками контейнера, мм, должно быть

$$C_W = B - N_h \times b \times K_v \leq 200.$$

Если это условие  $C_W \leq 200$  соблюдается, то груз размещен правильно, если  $C_W > 200\text{мм}$ , то необходимо устанавливать поперечные распорки для предотвращения навалов и опрокидываний. Кроме того требуется проверка допустимого смещения центра масс груза в поперечном направлении.

**2.2.4. Разработать схему размещения непакетированных грузов в крытом вагоне.** Технические условия погрузки и крепления грузов [3] регламентируют следующие основные правила по размещению и креплению грузов, перевозимых поштучно в крытых вагонах:

размещать и крепить грузы в крытых вагонах необходимо с учетом безопасности движения поездов, производства маневровых и погрузочно-разгрузочных работ, полного использования вместимости вагонов, сохранности перевозимых грузов и подвижного состава;

грузоотправитель или организация, производящая погрузку, несут полную ответственность за неправильное размещение и крепление грузов в вагонах и за погрузку в нестандартной недоброкачественной упаковке;

груз должен размещаться в вагоне равномерно, допускается смещение общего центра масс груза от вертикальной плоскости, в которой находится поперечная ось вагона не более чем на 1/8 базы вагона; поперечное смещение общего центра масс грузов от вертикальной плоскости, в которой находится продольная ось вагона, допускается не более 100мм;

грузы в крытом вагоне должны укладываться от торцов к междверному пространству плотно без зазоров в поперечном и продольном направлениях так, чтобы не было сдвига, падения, навала на двери, потерпости и повреждения при перевозке:

в целях исключения в процессе перевозки грузов, расположенных в междверном пространстве, от навала на дверь они должны быть ограждены щитами; а расстояние от штабеля до дверей должно быть 250 мм.

Исходные данные для расчета числа мест и общей массы груза в вагоне принимаются в соответствии с номером варианта по табл.2.1 (габаритные размеры транспортной тары) и по табл.2.5 (масса брутто груза и условия перевозок). Характеристики вагонов соответствуют Альбому-справочнику [4].

Порядок расчета числа грузовых мест и массы груза при размещении в крытом вагоне аналогичен порядку расчета таких же величин при размещении груза в контейнере (см. п.2.2.3).

Особенностями данного расчета являются следующие положения:

- транспортная тара – плотные дощатые ящики;
- в соответствии с ТУ грузы располагаются тремя блоками (два торцовых и один междверный), что объясняется уменьшением ширины штабелирования в междверном пространстве на фиксированную величину 250 мм с двух сторон для установки дверных оградительных щитов (толщиной не менее 40 мм), а также ограничением высоты штабеля высотой дверного проема (см. рис.2.5).

Таблица 2.5

Характеристика груза и условий перевозок

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Масса деревянного ящика брутто, кг, $q_{бр}$	75,0	80,0	40,5	45,5	85,0	70,5
Коэффициент ускорения: продольный $K_{пр}$	2,2	2,15	2,25	2,10	2,3	2,35
поперечный $K_{п}$	0,55	0,50	0,45	0,45	0,50	0,55
вертикальный $K_{в}$	1,38	1,29	1,50	1,40	1,55	1,40
Внутренние размеры вагона, м:						
длина L	13,84	16,08	13,84	13,84	13,84	16,08
ширина В	2,76	2,77	2,76	2,76	2,76	2,77
высота H	2,79	3,05	2,79	2,74	2,79	3,05
Грузоподъёмность, т, Г	68,0	67,0	68,5	68,0	68,0	67,0
Размеры дверного проёма в свету, м:						
длина $L_d$	2,00	3,97	3,80	3,94	2,00	3,97
высота $H_d$	2,26	2,72	2,34	2,34	2,26	2,72

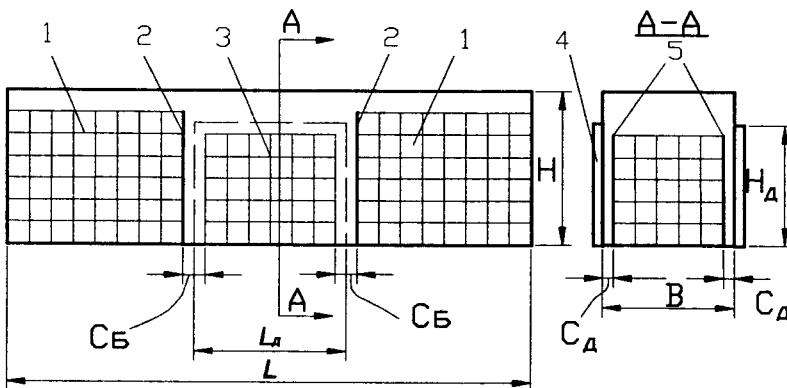


Рис.2.5. Схема размещения ящиков с грузом в вагоне:  
1 – торцовые блоки; 2 – сепарационные перегородки; 3 – междверный блок;  
4 – дверь вагона; 5 – дверные щиты

Расчет числа грузовых мест и массы груза в торцовых блоках производится на основе следующих зависимостей

$$N_T = N_{pp}^T \times N_H^T \times N_B^T; \quad N_{pp}^T = 0,5(L - L_{d\beta}) / (l \times K_Y); \quad N_H^T = B / (b \times K_Y);$$

$$N_B^T = H / h; \quad Q_T = N_T \times q_{bp} \times 10^{-3}$$

где  $N_T$  – число грузовых мест в одном торцовом блоке, шт.;

$N_{pp}^T, N_H^T, N_B^T$  – соответственно число грузовых мест в продольном, поперечном направлениях и по высоте торцового блока, шт.; число грузовых мест после расчета округляется в меньшую сторону до целого;

$L, B, H$  – соответственно внутренние размеры вагона по длине, ширине и высоте, мм; принимаются согласно заданной модели крытого вагона (табл.2.5);

$l, b, h$  – соответственно габаритные размеры ящика по длине, ширине и высоте, мм. (см. табл. 2.1);

$L_d$  – длина дверного проема вагона, мм;

$K_Y$  – коэффициент укладочности,  $K_Y=1,01$ ;

$Q_T$  – масса всех грузовых мест в торцовом штабеле, т;

$q_{bp}$  – масса брутто одного грузового места, кг, (табл.2.5).

Число грузовых мест и масса груза в междверном блоке рассчитывается аналогично с учетом фактически возможных параметров (длины, ширины и высоты) этого штабеля.

$$N_{pp}^{ML} = L_{ML} / (l \times K_Y); \quad L_{ML} = L - 2(N_{pp}^T \times l \times K_Y);$$

$$N_B^{ML} = B_{ML} / (b \times K_Y); \quad B_{ML} = B - 2C_d; \quad C_d = 250 \text{мм}$$

$$N_H^{ML} = H_d / h; \quad N_{ML} = N_{pp}^{ML} \times N_H^{ML} \times N_B^{ML}; \quad Q_{ML} = N_{ML} \times q_{bp} \times 10^{-3},$$

где  $N_{pp}^{ML}, N_H^{ML}, N_B^{ML}$  – соответственно число грузовых мест вдоль, поперек и по высоте междверного блока, шт.; полученные числа округляются до целых величин в меньшую сторону;

$L_{ML}, B_{ML}, H_d$  – соответственно длина, ширина и высота междверного пространства, мм;

$N_{ML}, Q_{ML}$  – соответственно общее число грузовых мест в междверном блоке, шт.; и общая масса этого блока, т.

Далее производится проверка правильности размещения в вагоне грузовых мест, полученных расчетным путем.

1. Масса груза в вагоне не должна превышать грузоподъёмности вагона,  $Q_B$ ,

$$Q_B = 2Q_T + Q_{Ml} \leq \Gamma.$$

Если  $Q_B > \Gamma$ , то необходимо уменьшить число грузовых мест по высоте в торцовых или междверном блоках, так чтобы общее уменьшение массы груза в вагоне составляло  $\Delta Q_B \leq Q_B - \Gamma$ , а затем определить число ящиков в верхнем слое, их массу и  $\Delta N_k$ .

При решении оставить неполный верхний слой ящиков необходимо предусмотреть их крепление от сдвига или принять схему размещения с недогрузом до грузоподъёмности вагона. в любом случае масса груза в вагоне учитывается вместе с массой дверных щитов и сепарационных перегородок.

2. Обеспечение сохранности ящика с грузом, расположенного последним по длине торцового или междверного блоков, от воздействия продольной инерционной силы,  $H$ . (как наибольшей по величине) обеспечивается при условии (см. п.2.2.3)

$$P_{CT} \geq P_{pp}^T;$$

$$P_{CT} = g \times q_{kp} \times (H_{CK} - h) / h; \quad P_{pp}^T = K_{pp} \times g \times (N_{pp}^T - l) \times q_{kp},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ ;

$H_{CK}$  – высота складирования деревянных ящиков,  $H_{CK}=600\text{ см}$ ;

$K_{pp}$  – коэффициент ускорения, доли единиц  $g$ ;

$h$  – высота ящика, см.

3. Величина зазоров между торцовыми и междверными блоками должна быть достаточна для установки сепарационных перегородок или распорок

$$C_B = 0,5 \times [L - (2N_{pp}^T + N_{pp}^{Ml}) \times l \times K_y] \geq 150$$

## **2.3. Подготовка к перевозке и обеспечение сохранности тяжеловесных тарно-штучных грузов**

**2.3.1. Условия перевозок, хранения и категории упаковок.** Тарно-упаковочные и штучные грузы массой одного грузового места от 0,5 до 20,0т и более, к которым относятся станки, агрегаты, различного вида оборудование и машины, перевозятся на открытом подвижном составе. Хранятся такие грузы на открытых площадках железнодорожных станций и часто в таких же условиях на подъездных путях промышленных предприятий, причём срок хранения в упакованном виде до монтажа и наладки оборудования может быть продолжителен.

При разработке транспортной тары и внутренней упаковки тяжеловесных и крупногабаритных изделий необходимо учитывать условия их транспортирования, которые согласно стандартам могут быть:

- легкие – перевозки железной дорогой без перегрузок, а так же с перегрузками на автотранспорт, но не более двух;
- средние – перевозки различными видами транспорта, кроме морского, в сочетании их между собой и с автотранспортом с общим числом перегрузок не более четырех;
- жесткие – перевозки на большие расстояния автотранспортом, по дорогам с различным видом покрытия, в сочетании с другими видами транспорта, включая морской, с числом перегрузок более четырёх.

Условия транспортирования, выполнения грузовых операций и хранения на складах определяют динамические и статические нагрузки на транспортную тару. Одновременно на изделия и тару оказывают негативное влияние климатические условия постоянно меняющиеся на всех этапах транспортирования.

Климатические условия включают температуру и влажность воздуха, суточные колебания этих величин, а так же солнечную радиацию, осадки, пыль, аэрозоли, микроорганизмы, и другие факторы, которые могут оказывать негативное влияние на изделия, способствовать развитию атмосферной и биологической коррозии изделий.

В зависимости от условий транспортирования, хранения, перегрузок оборудования и различных механизмов существуют следующие категории упаковок (КУ):

- без упаковки или с частичной защитой отдельных узлов и деталей (КУ-0);

- облегченная упаковка – деревянный решетчатый ящик, имеющий крышку с влагонепроницаемой обшивкой, для защиты от прямого попадания атмосферных осадков (КУ-1);
- упаковка – плотный деревянный ящик, полностью обшитый изнутри влагонепроницаемым материалом с частичной консервацией изделия (КУ-2);
- усиленная упаковка, состоящая из усиленной транспортной тары, в которую изделие укладывается предварительно упакованное в чехол из полиэтиленовой пленки и защищенное от коррозии (КУ-3);
- герметичная упаковка, защищающая изделие от различных механических и климатических воздействий, включая защиту от проникновения внутрь упаковки паров воды, газов, пыли, аэрозолей, микрофлоры – то есть все виды упаковочных материалов и консервации, необходимые для этого изделия (КУ-4).

**2.3.2. Крупногабаритная транспортная тара, особенности конструкции, условия строповки.** Тяжеловесные тарно-упаковочные и штучные грузы массой от 500 до 20000кг, требующие защиты от воздействий окружающей среды, перевозятся в крупногабаритной транспортной таре – крупногабаритных ящиках, линейные размеры, конструкция и прочность которых зависит от изделия, размещенного в такой таре, условий перевозок и перегрузок. Пределы изменения линейных параметров крупногабаритных ящиков составляют: по длине от 1,2 до 12,0м , по ширине от 1,0 до 2,7м, по высоте от 1 до 3м, что соответствует габариту погрузки на железнодорожном транспорте.

Конструкция крупногабаритных ящиков может быть разборная и неразборная, плотная и решетчатая, приспособленная для выполнения грузовых операций с помощью вилочных захватов или кранами со стропами. Основными частями такой тары являются: дно (основание), боковые и торцевые стенки и крышка. Дно – основная часть, несущая нагрузку от упакованного в такую тару изделия, состоит из двух или более полозов и дощатого настила. Длина полозов больше самого ящика на 25мм с каждой стороны, а сами полозы по торцам имеют скосы под углом 30-45° для завода строп. Снизу полозы имеют подполозные доски, фиксирующие положение строп при выполнении грузовых операций. К основанию крепятся боковые и торцевые стенки (щиты) или каркас ящика. Изделие и транспортная тара должны быть единой транспортной единицей, исключающей возможность перемещения груза внутри ящика.

Упаковывание грузов состоит из следующих этапов:

- установка изделия на дне (поддоне) ящика и прочное его закрепление с помощью болтов на полозах;
- проведение мероприятий по консервации изделия от коррозии;
- установка и закрепление боковых и торцовых стенок;
- установка и закрепление крышки;
- нанесение необходимой маркировки.

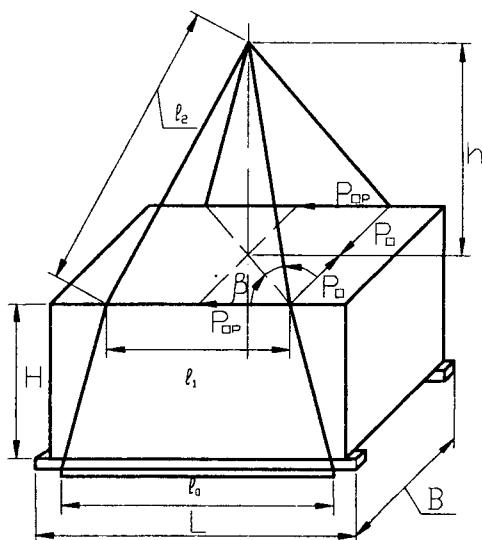


Рис.2.6. Схема строповки крупногабаритной тары

Конструкции крупногабаритных ящиков испытывают различные статические и динамические воздействия, из которых наибольших значений достигают силы, возникающие в процессе погрузочно-разгрузочных работ кранами. При этом полозы испытывают изгибающие усилия, а обшивка крышки ящика – сжимающие.

Для обеспечения минимальных изгибающих усилий зоны строповки ящиков должны располагаться на расстоянии  $0,2L$  от торцовых стенок ящиков [8] (см. рис.2.6), что обеспечивается длиной подполозной доски.

Сжимающие усилия на кромку крышки ящика зависят от способа выполнения грузовых операций, от способа строповки.

При выполнении грузовых операций с захватом типа прямоугольная рама с вертикальными стропами и при равенстве ширины рамы ширине ящика сжимающие усилия близки к нулю.

Если застропка производится только стропами, то сжимающие усилия могут достичь критических. Длина строп должна обеспечить угол наклона строп к поверхности крышки ящика  $\beta \geq 45^\circ$ , см. рис. 2.6.

Общая длина двух петель строп составляет:

$$L_C = 2B + 4\sqrt{H^2 + [0,5(l_0 - l_1)]^2 + (4h / \sin \beta)},$$

где  $L, B, H$  – соответственно длина, ширина, высота ящика;

$l_0, l_1$  – соответственно расстояние между стропами по нижнему и верхнему ребру ящика;

$l_2$  – длина стропа от верхней кромки ящика до крюка;

$h$  – расстояние от крюка до поверхности крышки ящика;

$\beta$  – угол между стропом и его проекцией на горизонтальную плоскость (на крышку ящика).

**2.3.3. Способы и средства консервации.** Все обработанные и необработанные поверхности различных машин и оборудования подвержены коррозии, которая может быть причиной повреждений и отказов в работе. Коррозия неизбежное свойство изделий из металлов и для защиты последних требуются применение различных способов и средств консервации.

Различают два основных вида коррозии: атмосферная и биологическая. Атмосферная коррозия это электрохимический процесс, зависящий от относительной влажности окружающего воздуха; при снижении влажности ниже 60% процесс коррозии практически прекращается. Биологическая коррозия повреждает не только металлы, но органические материалы за счет жизнедеятельности различных микроорганизмов, наиболее часто встречающихся в виде плесневых грибов. Оптимальными условиями развития которых являются постоянная температура, высокая относительная влажность, отсутствие вентиляции и прямого солнечного света, т.е. все условия, которые создаются в замкнутых объемах (ящиках, неотапливаемых складах, контейнерах). Для большинства плесневелых грибов оптимальная температура развития 15–30°C. А пределы ее изменения колеблются от

0°C до 45°C, при относительной влажности более 65%, поэтому плотные ящики для перевозки должны делаться с вентиляционными окнами.

Задача машин и оборудования от атмосферной коррозии осуществляется следующими способами:

- нанесением на поверхность, подверженную коррозии, защитных смазок и масел;
- применением летучих и контактных ингибиторов (веществ, замедляющих коррозию металлов);
- нанесением легко смывающихся покрытий;
- применением герметичной упаковки.

Каждый из указанных способов имеет свои области применения и рецептуру препаратов, защищающих от коррозии. Для более надежной защиты изделий, особо чувствительных к коррозии, возможно сочетание различных способов.

Задача изделий от биокоррозии производится путем использования обеззаражающих веществ – фунгицидов, которые должны отвечать следующим требованиям: невысокая токсичность, эффективность при малых концентрациях, стойкость при высоких температурах, нерастворимость в воде, простота применения.

При подготовке к перевозке и хранению особо сложных изделий, требующих усиленной защиты от воздействия атмосферной и биологической коррозии, следует обращать внимание на создание и поддержание в деревянных вентилируемых ящиках постоянного микроклимата, особенно по такому показателю как абсолютная влажность. Если температура окружающего воздуха повышается, то его влажность становится меньше, а внутри деревянного ящика наоборот повышается в результате того, что при высыхании древесина десорбирует (выделяет) влагу, что может активизировать процессы коррозии.

Для защиты от коррозии указанных выше изделий, используется герметичный чехол из термоусадочной пленки, внутрь которого до заварки швов и обработки горячим воздухом, помещается осушитель воздуха – силикагель. Количество этого препарата рассчитывается в зависимости от площади внутренней поверхности чехла и в соответствии с установленными нормами (см. табл. 2.6).

Таблица 2.6.  
Расход силикагеля

Условия хранения	Срок хранения, год	Расход силикагеля, кг, на 1м <sup>2</sup> чехла из термоусадочной пленки толщиной		
		0,15мм	0,20мм	0,30мм
Навес, открытая площадка, неотапливаемый склад	1	0,50	0,4	0,3
	3	1,25	1,0	0,7
Отапливаемый склад	1	0,3	0,2	0,15
	3	0,8	0,6	0,40

П р и м е р. Определить количество силикагеля для поддержания необходимой влажности (55–60%) внутри упаковки с герметическим чехлом из термоусадочной пленки толщиной 0,2 мм. Внутренняя поверхность транспортной тары  $F_t=9,1\text{м}^2$ , срок хранения 1 год, склад неотапливаемый закрытый, внутри чехла имеются распорки и прокладки из дерева с влажностью 8% и общей массой 4,5кг.

Р е ш е н и е. Расчетная площадь внутренней поверхности чехла до его обработки горячим воздухом и усадки составляет  $F_{\text{ЧЕХ}}$ , а расход силикагеля  $Q_c$ .

Указанные величины определяются на основе следующих соотношений

$$F_{\text{ЧЕХ}} = F_t \times K_y : \quad Q_c = F_{\text{ЧЕХ}} \times K_{\text{НОР}} + Q_d \times K_d$$

где  $K_y$  – коэффициент усадки полиэтиленовой пленки,  $K_y=1,15$ ;

$K_{\text{НОР}}$  – норма расхода силикагеля (см. табл. 2.6);

$Q_d$  – масса деревянных деталей внутри упаковки, кг;

$K_d$  – дополнительный расход силикагеля на поддержание постоянной влажности древесины внутри чехла, кг/кг; при влажности  $w = 8,0\%$ ,  $K_d = 0,1$ .

Таким образом, с учетом выше сказанного

$$F_{\text{ЧЕХ}} = 9,1 \times 1,15 = 10,46 \text{ м}^2 ; \quad Q_c = 10,46 \times 0,4 + 4,5 \times 0,1 = 4,63 \text{ кг.}$$

Полученный результат округляется до целых величин и составляет  $Q_c = 5$  кг, затем это количество силикагеля расфасовывается в специальные мешочки (массой по 1 кг), которые укрепляются внутри чехла равномерно по поверхности изделия.

## **2.4. Негабаритные грузы**

**2.4.1. Общие положения.** Тарно-штучные грузы, предъявляемые к перевозке на открытом подвижном составе, не должны превышать очертания габарита погрузки. Если груз при размещении на открытом подвижном составе, находящемся на прямом горизонтальном участке пути, превышает очертания габарита погрузки, то он считается негабаритным и должен перевозиться в соответствии с Инструкцией по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов [9]. Также негабаритным считается груз если его геометрические выносы в кривых за пределы габарита погрузки превышают геометрические выносы в соответствующих кривых расчетного вагона (длина рамы такого вагона 24 м и длина базы 17 м).

В зависимости от высоты над уровнем головок рельсов (УГР), на которой груз выходит за габарит погрузки, установлены три основные зоны негабаритности:

- зона нижней негабаритности — на высоте от 480 до 1399 мм;
- зона боковой негабаритности — на высоте от 1400 до 4000 мм;
- зона верхней негабаритности — на высоте от 4001 до 5300 мм.

В зависимости от величины выхода негабаритных грузов за габарит погрузки в указанных выше зонах установлены следующие степени негабаритности грузов:

- в нижней зоне — шесть степеней;
- в боковой зоне — шесть степеней;
- в верхней зоне — три степени.

Груз, превышающий предельные очертания зон негабаритности, а также очертания габарита погрузки по высоте над УГР ниже 480 мм и выше 5300 мм, считается сверхнегабаритным. Сверхнегабаритность грузов, имеющих высоту более 5300 мм, называются вертикальной.

Зона и степень негабаритности груза должны устанавливаться не только при нахождении вагона с грузом на прямом участке пути, но также с учетом прохода вагоном кривых участков. В этом случае груз может иметь расчетную негабаритность (см. п. 2.4.3).

В перевозочных и поездных документах, выдаваемых на ЭВМ, данные о зонах и степенях негабаритности перевозимых грузов указываются индексом негабаритности, который состоит из пяти знаков.

Каждый знак индекса негабаритности (кроме первого) обозначает степень негабаритности груза в соответствующей зоне.

Сверхнегабаритность в любой зоне обозначается цифрой 8.

Обозначения в индексе негабаритности:

1-й знак — всегда буква Н (негабаритность);

2-й знак — степень нижней негабаритности, может принимать значения от 1 до 6;

3-й знак — степень боковой негабаритности, может принимать значения от 1 до 6;

4-й знак — степень верхней негабаритности, может принимать значения от 1 до 3;

5-й знак — вертикальная сверхнегабаритность, имеет значение 8.

Отсутствие негабаритности в любой зоне, в т.ч. и отсутствие вертикальной сверхнегабаритности, отмечается цифрой «0» в соответствующем знаке индекса негабаритности.

Например: Индекс негабаритности Н8480 означает, что негабаритный груз имеет нижнюю и верхнюю сверхнегабаритность, боковую негабаритность 4-й степени, а вертикальная сверхнегабаритность отсутствует.

**2.4.2. Определение зоны и степени негабаритности груза.** Для согласования возможности и условий перевозки негабаритных грузов, а также обоснования расчетов зон и степеней негабаритности отправители выполняют эскиз (в сложных случаях чертежи) погрузки груза в трех проекциях с указанием координат переломных точек (горизонтальные расстояния  $X$  от оси пути и вертикальные расстояния  $Y$  от уровня головок рельсов). Порядок согласования и организации перевозок указан в Инструкции по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов.

В рамках практических занятий по определению зон, степеней и индекса негабаритности необходимо выполнить схему размещения условного груза на платформе в поперечном к оси пути очертаний и совместить ее с габаритом погрузки. Схема выполняется в масштабе 1:50, на ней указываются переломные точки контура груза.

Исходные данные для выполнения схемы приведены в табл. 2.7 в соответствии с заданным номером варианта.

Для перевозки груза используется платформа модели 13-Н451 с металлическими бортами и тележками ЦНИИ-Х3.

Основные параметры этой платформы:

база платформы  $L_b=9720$  мм; внутренняя ширина  $B_B=2870$  мм;

внутренняя длина  $L_B=13300$  мм; высота пола над УГР  $h_H=1300$  мм.

Груз (поперечное сечение) размещается на платформе (см. рис. 2.7) с соблюдением следующих условий:

— опорная поверхность груза находится на уровне пола платформы;

— вертикальная ось поперечного контура груза, проходящая через центр масс груза, совмещается с вертикальной осью, проходящей через центр масс платформы.

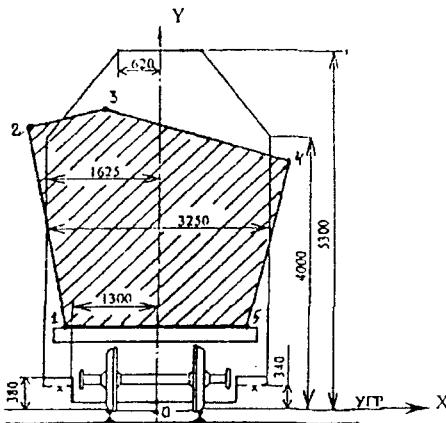


Рис. 2.7. Габарит погрузки и поперечное очертание груза.

Таблица 2.7  
Габаритные размеры груза

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Длина груза, м:						
для п. 2.4.2	11,0	12,0	11,8	10,0	10,6	12,3
для п. 2.4.3	23,2	20,7	22,1	23,4	25,1	24,0
Расстояния от вертикальной оси, м:						
	B <sub>1</sub>	1,45	1,51	1,55	1,62	1,78
	B <sub>2</sub>	1,32	1,72	1,65	1,60	1,54
	B <sub>3</sub>	1,20	1,05	1,10	1,43	1,38
	B <sub>4</sub>	1,63	1,72	1,66	1,82	1,57
	B <sub>5</sub>	1,40	1,43	1,52	1,58	1,73
Расстояния от плоскости опоры, м:						
	h <sub>1</sub>	0	0	0	0	0
	h <sub>2</sub>	2,65	2,60	2,75	2,70	2,08
	h <sub>3</sub>	2,91	3,21	3,08	2,80	4,00
	h <sub>4</sub>	3,00	3,12	3,39	3,40	3,00
	h <sub>5</sub>	0	0	0	0	0

Таблица 2.8

Координаты переломных точек предельных  
очертаний степеней негабаритности

Наимено- вание степени	Номер степе- ни	Расстояния X и Y в мм точек							
		первой		второй		третьей		четвертой	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Нижняя	1	1700	380	1700	1399	-	-	-	-
	2	1760	380	1760	1399	-	-	-	-
	3	1850	1230	1850	1399	-	-	-	-
	4	2000	1230	2000	1399	-	-	-	-
	5	2080	1230	2080	1399	-	-	-	-
	6	2240	1230	2240	1399	-	-	-	-
Боковая	1	1700	1400	1700	4000	-	-	-	-
	2	1760	1400	1760	4000	-	-	-	-
	3	1850	1400	1850	4000	-	-	-	-
	4	2000	1400	2000	3700	1850	4000	-	-
	5	2080	1400	2080	3400	2000	3700	-	-
	6	2240	1400	2240	2800	2080	3400	-	-
Верхняя	1	1700	4001	1415	4500	880	5300	-	-
	2	1800	4001	1700	4350	1480	4700	1020	5300
	3	1850	4001	1700	4500	1120	5300	-	-

Координаты переломных точек контура груза, с учетом его размещения на платформе, определяются по горизонтальной оси X (от оси пути) и по вертикальной оси Y (от уровня головок рельсов УГР)

$$X_i = B_i; \quad Y_i = h_n + h_i,$$

где  $B_i$  — расстояние переломной точки  $i$  ( $i=1,5$ ) по ширине груза от вертикальной его оси, проходящей через ЦМ, мм;

$h_n$  — высота пола платформы над УГР, мм;

$h_i$  — высота переломной точки  $i$  контура груза от опорной его поверхности, мм;

Результаты расчетов заносятся в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Координаты точек, мм	Номера точек				
	1	2	3	4	5
От оси пути, X					
От уровня головок рельсов, Y					
Индекс негабаритности					

Сравнивая координаты переломных точек заданного груза с координатами переломных точек зон и степеней негабаритности (табл. 2.8) делаются выводы и определяется индекс негабаритности, который и заносится в табл. 2.9.

В сложных случаях для уточнения зоны и степени негабаритности груза необходимо пользоваться Инструкцией по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов.

**2.4.3. Определение расчетной негабаритности.** При вписывании вагона или цепи вагонов с грузом в кривую продольная ось груза совпадает с осью пути только в двух точках, все остальные точки оси вагонов и груза имеют геометрические выносы внутрь или наружу кривой. В зависимости от величины геометрических выносов груз может не вписываться в габарит погрузки или в пределы негабаритности, установленной при нахождении вагонов с грузом на прямом горизонтальном участке пути. Появляется расчетная негабаритность.

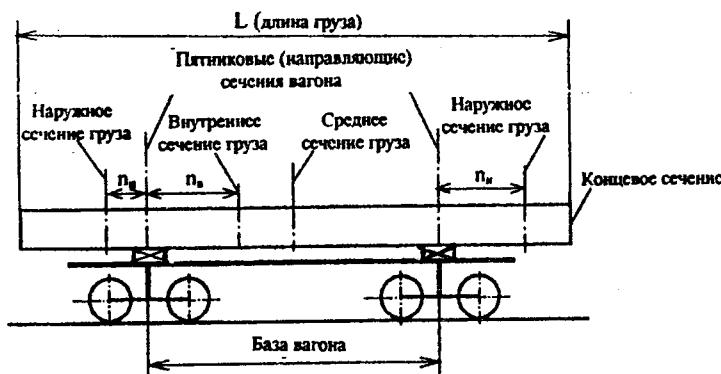


Рис. 2.8. Схема сечений, груза погруженного с опорой на один вагон.

Расчетной негабаритностью называется негабаритность определенная с учетом геометрических выносов данного груза в условной расчетной кривой с радиусом  $R=350$  м, не имеющей возвышения наружного рельса.

Расчетная негабаритность должна определяться для грузов: длинномерных, когда отношение их длины  $L_{ГР}$  к базе вагона  $L_B$  составляет  $L_{ГР}/L_B > 1,41$ ; перевозимых на сцепах платформ; перевозимых на транспортёрах с базой 17 м и более.

Расчетная негабаритность определяется отдельно для внутренних и наружных сечений груза в переломных точках его контура. Внутренними сечениями груза называются все его поперечные сечения, расположенные в пределах базы вагона или сцепа (рис. 2.8). Поперечные сечения груза, расположенные за пределами базы подвижного состава или сцепа, называются наружными.

Расчет условной негабаритности студенты проводят на основе исходных данных, заданных преподавателем или номером варианта по табл. 2.7. Подробный порядок определения расчетной негабаритности для всех указанных выше случаев представлен в [9]. В настоящей работе (п. 2.4.3) рассматривается перевозка длинномерного груза на сцепе из трех платформ с опорой на один вагон. При этом поперечный контур груза и его размеры остаются такие же как для п. 2.4.2. Изменяется только длина груза, что приводит к необходимости проверки его расчетной негабаритности. Модель опорной платформы принимается аналогичной п. 2.4.2.

Студенты вычерчивают в тетради схему продольного размещения груза на сцепе в масштабе 1:100. Условно принимаем, что груз размещается симметрично относительно опорного вагона, его центр находится в пересечении вертикальных плоскостей, проходящих через поперечную и продольную ось опорного вагона.

Для свободного вписывания в кривые груза, размещенного на сцепе с опорой на один вагон, особое значение имеет правильный расчет высоты подкладок и их размещение. Высота подкладок составляет:

$$h_0 = a_{\pi} \times \operatorname{tg} y + h_{\pi} + h_s + f_r,$$

где  $a_{\pi}$  — расстояние от возможной точки касания груза с полом вагона прикрытия до оси крайней колесной пары груженесущего вагона (см. рис. 2.8), мм;

$$a_{\pi} = 0,5(L_{GP} - L_B - 1850),$$

где  $L_{GP}$ ,  $L_B$  — длина груза и базы опорного вагона, мм;

$\operatorname{tg} y$  — тангенс угла между продольными осями груза и вагона сцепа; для концевого сечения при опоре на один вагон  $\operatorname{tg} y = 0,025$ ;

$h_{\pi}$  — разность в уровнях полов смежных вагонов сцепа;  $h_{\pi} = 100$  мм;

$h_s$  — предохранительный зазор;  $h_s = 25$  мм;

$f_r$  — упругий прогиб, мм; для конструкции фермы, предложенной заданием  $f_r = 0$ .

Полученная величина высоты подкладки округляется до стандартных размеров брусьев (кратных 50 мм) в большую сторону. Ширина подкладки равна ее высоте, а длина равна ширине вагона. Подкладки размещаются напротив второй пары скоб (от торцовых бортов).

На основе схемы поперечного очертания груза, погруженного на платформу, с учетом высоты подкладки определяются координаты переломных точек груза над уровнем головок рельсов  $Y_P$  и заносятся в табл. 2.10.

$$Y_P = Y + h_d$$

Таблица 2.10

Координаты переломных точек длинномерного груза.

Координаты точек, мм	Номера точек				
	1	2	3	4	5
От оси пути: $X_p^B$ $X_p^H$					
От УГР: $Y_p$					
Индекс негабаритности					

Расчетные координаты критических точек груза от оси пути определяются по формулам:

$$X_p^B = X_{pp}^B + \Delta b_R^B; \quad X_p^H = X_{pp}^H + \Delta b_R^H,$$

где  $X_p^B$ ,  $X_p^H$  — расчетные расстояния от оси пути в кривой критических точек, расположенных соответственно во внутренних и наружных сечениях, мм;

$X_{pp}^B$ ,  $X_{pp}^H$  — расстояние от оси пути в прямых участках критических точек, расположенных соответственно во внутренних и наружных сечениях, мм; эти величины, в данном случае, принимаются равными координатам точек, рассчитанным в п. 2.4.2 (см. табл. 2.9);

$\Delta b_R^B$ ,  $\Delta b_R^H$  — разность между геометрическими выносами рассматриваемого внутреннего или наружного поперечного сечения груза и расчетного вагона в условной расчетной кривой, мм.

Величины  $\Delta b_R^B$  и  $\Delta b_R^H$  зависят от типа подвижного состава, расстояния от рассматриваемых сечений до направляющих и могут быть определены двумя способами: с помощью таблиц, приведенных в [9], или расчетом.

Расчетный метод необходим для случаев, не предусмотренных таблицами. Величины  $\Delta b_R^B$  и  $\Delta b_R^H$  принимаются в расчет только при их

положительном значении. Так как в соответствии с исходными данными табл. 2.7 ширина груза по всей его длине одинаковая, то проверяются координаты  $X_p^B$  и  $X_p^H$  только для наиболее опасных сечений — среднего внутреннего и концевого наружного.

При погрузке длинномерного груза с опорой на одну платформу скрепа или транспортер с числом осей не более шести, величины  $\Delta b_R^B$  и  $\Delta b_R^H$  (мм) рассчитываются по формулам, приведенным ниже; причем величины  $L_{Tp}$  и  $L_E$  подставляются в метрах, а полученные значения  $\Delta b_R^B$  и  $\Delta b_R^H$  учитываются в дальнейшем только при их положительном значении

$$\Delta b_R^B = 1,43(L_E - n_e)n_e - 105;$$

$$\Delta b_R^H = 1,43(L_E + n_n)n_n - 105 + K,$$

где  $n_e$ ,  $n_n$  — расстояния от пятникового (направляющего) сечения, до соответственно внутреннего или наружного поперечных сечений, м; для грузов с одинаковым сечением по всей длине эти расстояния до среднего и концевого сечения составляют

$$n_e = 0,5L_E; \quad n_n = 0,5(L_{Tp} - L_E);$$

$105$  — геометрический вынос, мм, расчетного вагона с базой 17 м в расчетной кривой радиусом 350 м;

$K$  — дополнительное смещение концевых сечений груза, мм.

Это смещение  $K$  происходит вследствие перекоса вагона в рельсовой колее в результате существующих норм содержания пути и подвижного состава и учитывается только при его положительном значении. Смещение  $K$  определяется для вагонов:

на специальных тележках  $K=55(L_{Tp}/L_E-1,41)$ ,

на тележках ЦНИИ-ХЗ  $K=70(L_{Tp}/L_E-1,41)$ .

Полученные новые расчетные значения координат  $X_p^B$  и  $X_p^H$  критических точек заносятся в табл. 2.10, сравниваются с табл. 2.8 и делаются выводы о расчетной условной негабаритности груза или о его сверхнегабаритности и даются предложения по способам его перевозки.

## Контрольные вопросы

1. Что называется грузом?
2. Что включает понятие транспортная характеристика груза?
3. На какие обобщенные группы делятся все виды грузов?
4. На какие основные группы делятся тарно-упаковочные и штучные грузы?
5. Какие виды подвижного состава используются для перевозки тарно-упаковочных и штучных грузов?
6. Что такое упаковка грузов и какие основные её составляющие?
7. Какие функции выполняют упаковочные материалы?
8. От каких условий зависит расход полимерной плёнки, используемой для скрепления транспортного пакета?
9. Из каких материалов выполняются амортизирующие подкладки?
10. Какие факты необходимо учитывать при расчёте прочности картонной тары?
11. Чем отличается расчёт прочности деревянной тары от картонной?
12. Каковы основные требования размещения грузовых мест в контейнере? В крытом вагоне?
13. Какие виды условий транспортирования тяжеловесных и крупногабаритных грузов установлены стандартами и чем они отличаются?
14. Какие категории упаковок используются при подготовке крупногабаритных грузов к перевозке?
15. Какие основные условия строповки обеспечивают сохранность крупногабаритных ящиков при выполнении перегрузочных операций кранами?
16. Что является причиной атмосферной и биологической коррозии различных изделий и приборов?
17. Какие используются средства для защиты от атмосферной и биологической коррозии?
18. От каких факторов зависит расход осушителя воздуха – силикагеля при консервации изделий машиностроения?
19. Что такое габарит погрузки? Какие грузы называются негабаритными?
20. Какие виды и степени негабаритности установлены на железных дорогах колеи 1520мм?
21. Что такое индекс негабаритности и в какие документы он вносится?
22. Что такое расчетная негабаритность и когда она должна определяться?

### **3. НАСЫПНЫЕ И НАВАЛОЧНЫЕ ГРУЗЫ**

#### **3.1. Транспортная характеристика. Классификация**

Насыпные и навалочные грузы составляют одну группу по условиям приема их к перевозке железнодорожным транспортом, а именно без счета мест, по массе груза в вагоне. Транспортная характеристика указанных грузов включает следующие свойства: фракционный состав, влажность, сыпучесть, смерзаемость, слеживаемость, сводообразование, коррозионность, абразивность и другие специфические свойства.

Основой для деления на насыпные и навалочные служит фракционный состав грузов, существенно влияющий на условия перевозки.

Насыпными считаются грузы, размеры отдельных частиц которых меняются от пылевидных (менее 1 мм) до 13 мм и класса 0 – 100 мм, если доля частиц с размерами до 13 мм превышает 50%. Номенклатура таких грузов составляет около 400 наименований [1].

Насыпные грузы делятся на следующие подгруппы:

- промышленные грузы, не требующие защиты от атмосферных осадков (руда, уголь, песок, торф и др.) перевозятся на открытом универсальном или специализированном подвижном составе; особенностью грузов этой группы является необходимость профилактики смерзаемости и предупреждение потерь грузов от выдувания и просыпания из вагонов;
- промышленные грузы, требующие защиты от атмосферных осадков (цемент, известь, минеральные удобрения, гипс и др.); для перевозки таких грузов используется закрытый подвижной состав (хопперы, цистерны, специализированные вагоны);
- продовольственные грузы (мука, зерно, семена, отруби и другие виды) требуют защиты от атмосферных осадков и перевозки в специализированном закрытом подвижном составе.

Навалочные грузы в зависимости от транспортной характеристики и специфических свойств делятся на следующие две подгруппы:

- промышленные грузы, не требующие защиты от атмосферных осадков и не относящиеся по своему фракционному составу к насыпным грузам (металлы и металлокомплекты, различные лесоматериалы, камни; брикеты буроугольные, торфяные, коксовые; бой кирпича, стекла, фаянса и другие виды) перевозятся в цельнометаллических полувагонах с люками или на платформах;
- сельскохозяйственные грузы: требующие защиты от атмосферных осадков (отдельные виды бахчевых и овощных культур) могут перевозиться в крытых вагонах; сахарная свекла – в полувагонах.

## **3.2. Профилактика и восстановление сыпучести смерзающихся насыпных грузов**

**3.2.1. Смерзающиеся грузы. Общие понятия.** Смерзающимися грузами называются грузы однородных мелких фракций, которые при перевозке их с влажностью более безопасной в отношении смерзаемости и при температуре ниже 0°C теряют свойства сыпучести.

Отправитель должен перед предъявлением к перевозке смерзающихся грузов в холодное время года принять соответствующие профилактические меры, предупреждающие или значительно снижающие степень промораживания, и указать это в перевозочных документах. Железнодорожная станция может принять к перевозке груз без профилактики, если отправитель имеет письменное согласие грузополучателя на прием перевозимого на таких условиях груза, и возможность обеспечения его своевременной выгрузки, о чем делается отметка в перевозочных документах [1].

Смерзшийся груз представляет собой массу, в которой отдельные частицы скреплены между собой замерзшей влагой - льдом. Чем выше влажность насыпных грузов, тем больше их сопротивление сжатию при той же температуре. Прочность смерзания груза повышается при увеличении его влажности до момента полной влагоемкости. Большинство грузов перевозятся с влажностью менее влагоемкости, с так называемой суммарной влажностью. Значение суммарной влажности изменяется в широких пределах в зависимости от рода груза, способов добычи, условий хранения до отгрузки потребителю, фракционного состава и других факторов. Так, гранитный щебень с фракциями 10-20 мм имеет суммарную влажность 6-7%, а пылевидные глины – 50%.

Суммарная влажность зависит от характера связи воды с твердыми частицами груза, агрегатного ее состояния и подвижности влаги. Она может быть разделена на две категории: свободная и связанная (приграничная и внутренняя). Свободная замерзает при температуре 0°C. Приграничная влага, частично входящая в свободную, называется влагой переменного фазового состояния, и замерзает ниже 0°C, в зависимости от свойств груза в переделах от -0,1 до -3°C, эта температура и считается температурой замерзания груза. Прочно связанная внутренняя влага не замерзает и при температуре до -70°C, но она не влияет на прочность смерзшегося груза. Для профилактики смерзания насыпного груза достаточно удалить свободную и часть приграничной влаги, оставшаяся влага называется безопасной в отношении смерзаемости.

Подготовка смерзающихся грузов к перевозке в холодный период года может производиться на основе следующих принципов: понижение

влажности, промораживание, внесение в массу груза при погрузке специальных профилактических средств.

Правила перевозок смерзающихся грузов на железнодорожном транспорте [1] регламентируют сроки проведения профилактических мероприятий в зависимости от географического расположения отправителя и получателя, а также рекомендуют профилактические средства для конкретных грузов, их массы и способы применения.

**3.2.2. Подготовка к перевозке смерзающегося груза.** На основании заданного преподавателем конкретного наименования груза, маршрута его перевозки и периода года студенты должны описать способы профилактики смерзаемости этого груза, средства профилактики и рассчитать необходимый расход профилактических материалов.

П р и м е р: Определить средства профилактики по предупреждению смерзаемости груза «Глина каолиновая» при перевозке в пределах Свердловской железной дороги.

Р е ш е н и е: Согласно [2] глина каолиновая перевозится в полувагонах с люками; в сухом состоянии в виде коржей, полученных в сушильных агрегатах. При отсутствии сушильных агрегатов у отправителя глина каолиновая должна перевозиться в предварительно промороженном состоянии, в виде кусков с пересыпкой между кусками сухого каолина. Сроки профилактики с 1 октября до 1 апреля.

**3.2.3. Рассчитать основные показатели смерзшегося груза.** Характеристика смерзшегося насыпного груза в пункте назначения и его основные показатели, влияющие на восстановление сыпучести и продолжительности этого процесса зависят от величины отрицательных температур наружного воздуха, теплофизических свойств грузов, продолжительности перевозки и проведения профилактических мероприятий перед погрузкой. Различают следующие виды смерзаемости: корковое, при величине смерзшегося слоя менее 5 см; смерзание груза с талым ядром, окруженным смерзшимся слоем различной величины более 5 см; смерзание в монолит с температурой в центре груза равной или ниже температуры замерзания. Подробные исследования процессов смерзаемости, многочисленных факторов, влияющих на интенсивность смерзаемости, профилактику и восстановление сыпучести изложены в специальной литературе [10,11].

В рамках практических занятий определяются только основные показатели смерзшихся грузов, влияющие на выбор способов восстановления сыпучести и расчета времени разогрева или рыхления. К

таким показателям относятся: глубина смерзшегося слоя, коэффициент смерзаемости, температура поверхности и прочность на сжатие.

Исходные данные для расчетов задаются номером варианта по табл. 3.1 и 3.2, а постоянные теплофизические характеристики – по табл. 3.3.

1. Глубина смерзшегося слоя  $h_{CM}$  находится на основе отношения количества тепла, переданного через этот слой в атмосферу в процессе перевозки, к суммарному количеству тепла, выделенного в процессах: охлаждения талого груза, фазовых переходах из воды в лед и при дальнейшем охлаждении смерзшегося груза

$$h_{CM} = K \sqrt{\frac{2\lambda_{CM} \times (t_K - t_3) \times \tau \times 3,6}{C_T(t_H + t_3) + 2C_\phi(W - W_B) + C_{CM}(t_K - t_3)}},$$

где  $h_{CM}$  – глубина смерзшегося слоя, м;

$K$  – коэффициент конвективного обмена,  $K=1,1$ ;

$\lambda_{CM}$  – коэффициент теплопроводности смерзшегося слоя,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ ;

$\tau$  – продолжительность перевозки, ч;

$C_T$ ,  $C_{CM}$  – объемная теплоемкость талого и смерзшегося груза,  $\text{kДж}/(\text{м}^3\text{°C})$ ;

$C_\phi$  – теплота фазовых переходов,  $C_\phi=335 \cdot 10^3 \text{ кДж}/\text{м}^3$ ;

$t_H$ ,  $t_3$ ,  $t_K$  – соответственно температура груза начальная, замерзания, конечная,  $\text{°C}$  (значения температур в этом выражении принимаются к расчету по модулю);

$W$ ,  $W_B$  – суммарная и безопасная в отношении смерзаемости влажность, доли единицы;

3,6 – коэффициент пропорциональности.

Таблица 3.1

Характеристика груза

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Наименование груза	песок	песок	уголь 0-6 мм	уголь 0-6 мм	руда 0-5 мм	Руда 0-5 мм
Объемная масса $\rho$ , $\text{т}/\text{м}^3$	1,5	1,4	0,9	0,85	1,8	2,0
Суммарная влажность $W, \%$	15,0	10,0	10,0	15,0	12,0	10,0
Начальная температура груза $t_h, \text{°C}$	2	1	2	1	1	2
Прочность на сжатие талого груза $\sigma_t, \text{МПа}$	0,2	0,2	0,15	0,15	0,25	0,25

Таблица 3.2

## Характеристика условий перевозки и выгрузки

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Продолжительность перевозки т, ч	50	45	38	52	48	55
Конечная температура воздуха $t_k$ , °C	-25	-20	-15	-30	-10	-15
Температура замерзания $t_3$ , °C	-1	-1	-2	-2	-2	-2
Код рыхлительной машины	1	2	3	3	2	1
Код тепляка	3	2	1	1	2	3

Таблица 3.3

## Теплофизические характеристики

Объемная масса, $t/m^3$	Суммарная влажность, %	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м °C)		Объемная теплоемкость, кДж/(м³ °C)		Безопасная влажность, %, при температуре, $t_k$ , °C			
		Талого груза	Смерзшегося груза	Талого груза	Смерзшегося груза	-10	-20	-30	
$\rho$		$W$	$\lambda_t$	$\lambda_{cm}$	$C_t$	$C_{cm}$	$W_b$		
КАМЕННЫЙ УГОЛЬ									
0,85	6	0,19	0,26	1770	1681	5,3	4,7	4,4	
	10	0,26	0,34	1860	1701				
	15	0,27	0,36	1927	1542				
0,90	5	0,22	0,26	1768	1600	5,6	5,3	4,9	
	10	0,27	0,33	2007	1701				
	15	0,31	0,42	2300	1714				
РУДА									
1,80	4	0,42	0,52	2191	2041	1,5	1,4	1,2	
	8	0,70	0,90	2493	2191				
	12	1,10	1,60	2795	2761				
2,00	5	0,50	0,60	2518	2351	1,5	1,4	1,3	
	10	0,80	0,95	2937	2518				
	15	1,20	1,60	3356	2728				
ПЕСОК									
1,40	5	0,93	1,01	1257	1131	1,9	1,5	1,3	
	10	1,28	1,42	1550	1165				
	15	1,46	1,60	1852	1425				
1,50	5	1,10	1,22	1362	1215	2,0	1,6	1,4	
	10	1,45	1,59	1647	1362				
	15	1,66	1,90	1969	1508				

2. Коэффициент смерзаемости - это отношение объема смерзшегося груза к полному объему груза в вагоне, который в свою очередь зависит от объемной массы груза и вместимости вагона. Для перевозки принимаем полувагон модели 12-753 [4] с металлическими бортами; грузоподъемность этой модели  $\Gamma=69\text{т}$ , внутренние размеры составляют: длина  $L=12,3\text{ м}$ , ширина  $B=2,9\text{ м}$ , высота борта  $H_B=2,0\text{м}$ .

При полном использовании грузоподъемности полувагона высота груза и его объем в вагоне составят:

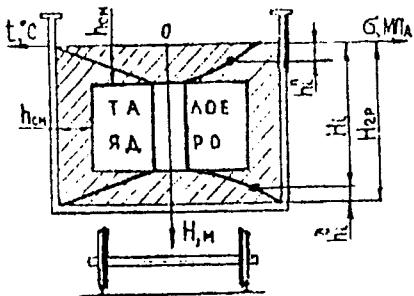


Рис. 3.1. Поперечный разрез полувагона с грузом

$$H_{TP} = \Gamma / (L \times B \times \rho);$$

$$V_{TP} = L \times B \times H_{TP},$$

Объем талого ядра  $V_T$  определяется с достаточной степенью точности, на основе внутренних размеров: длины, ширины вагона и высоты груза в вагоне с уменьшением каждого размера на величину  $2h_{CM}$  (см. рис. 3.1).

Коэффициент смерзаемости составляет:

$$\varphi = (V_{TP} - V_T) / V_{TP},$$

3. Температура поверхности  $t_{\text{пов}}$  смерзшегося груза влияет на продолжительность разогрева или рыхления и зависит в свою очередь от конечной температуры в пункте выгрузки и продолжительности перевозки.

$$t_{\text{пов}} = t_K + (|t_H| + |t_K|) \times e^{-0.04\tau}.$$

Далее вглубь смерзшегося груза температура повышается по мере приближения к талому ядру, где она достигает значения  $t_3$ , остается в ядре постоянной, а потом понижается, приближаясь ко дну полувагона, где достигает значения, близкого к  $t_{\text{пов}}$ , что позволяет в условиях практического занятия считать температуру груза на дне полувагона  $t_{DH} = t_{\text{пов}}$ .

\* Для справок некоторые значения функции  $e^{-x}$

$x$	1,52	1,80	1,92	2,00	2,08	2,20
$e^{-x}$	0,219	0,165	0,147	0,135	0,125	0,111

4. Прочность смерзшего груза определяет выбор типа рыхлителя и используется для определения продолжительности восстановления сыпучести. Для указанных целей используется понятия средняя прочность смерзшего груза в вагоне,  $\sigma_{CP}$ , которая составляет:

$$\sigma_{CP} = 0.25(\sigma_{ПОВ} + \sigma_{ДН} + 2\sigma_T),$$

где  $\sigma_{ПОВ}$ ,  $\sigma_{ДН}$ ,  $\sigma_T$  – соответственно прочность поверхностного слоя груза, прочность слоя на дне полуавтона и прочность талого груза, МПа;

$\sigma_T$  - принимается по заданию (табл. 3.1).

В свою очередь  $\sigma_{ПОВ}$ ,  $\sigma_{ДН}$  зависят от температуры указанных смерзшихся слоев груза, а так же от суммарной влажности, которая в результате миграции влаги вниз возрастает с увеличением глубины залегания расчетного смерзшегося слоя, поэтому  $\sigma_{ПОВ} < \sigma_{ДН}$ .

Прочность поверхностного слоя груза и слоя груза на дне полуавтона находится из выражения:

$$\sigma_{ПОВ(ДН)} = \sigma_T + 8.5\rho(W\gamma_{ПОВ(ДН)} - W_b) \times (|t_{ПОВ(ДН)}| - |t_3|)^{0.5},$$

где  $\gamma_{ПОВ(ДН)}$  – коэффициент изменения суммарной влажности принимается по графику (рис. 3.2) и составляет:  $\gamma_{ПОВ} = \gamma_{MIN}$ ;  $\gamma_{ДН} = \gamma_{MAX}$  в соответствии с родом груза.

**3.2.4. Исследовать зависимость температуры и прочности смерзшихся слоев груза от глубины их залегания внутри вагона.** В процессе смерзания насыпных грузов при перевозке их в холодное время года взаимодействуют три разнородных материальных объекта: насыпной груз, железнодорожный вагон, окружающая среда. Теплообмен между ними происходит в условиях, непрерывно меняющихся от воздействия солнечной радиации, вибрации движущегося вагона и других факторов.

Поверхностный слой груза, стеки вагона, а также его дно наиболее быстро изменяют свою температуру под воздействием внешних разноплановых факторов. Поэтому температура этих поверхностей наиболее близка к температуре воздуха. Внутри промерзшего слоя груза температура менее подвержена влиянию внешних факторов и распределяется, как показали исследования [10], по линейному закону в зависимости от глубины и составляет для каждого слоя  $i$  величину

$$t_i = t_{ПОВ} + (t_3 - t_{ПОВ}) \times (h_i / h_{CM}).$$

Прочность на сжатие смерзшегося гружа зависит, как указано выше, от объемной массы, температуры слоя и суммарной влажности, которая, в свою очередь, состоит из свободной, пограничной и связанной влаги. Свободная влага и часть пограничной мигрирует в зависимости от глубины  $H_i / H_{sp}$ , достигая своего максимального значения при  $H_i = H_{sp}$ .

Прочность на сжатие слоя  $i$  определяется по формуле:

$$\sigma_i = \sigma_T + 8.5\rho(W\gamma_i - W_B) \times (|t_i| - |t_3|)^{0.5},$$

где  $\gamma_i$  – коэффициент изменения влажности слоя  $i$  в зависимости от отношения  $H_i / H_{sp}$  принимается по графику на рис. 3.2.

В данной работе предлагается студентам исследовать зависимость  $t_i = f(H_i)$  и  $\sigma_i = f(H_i)$ . Все исходные данные принимаются по номеру заданного варианта, а основные показатели смерзшегося гружа рассчитаны выше (см. пункт 3.2.3).

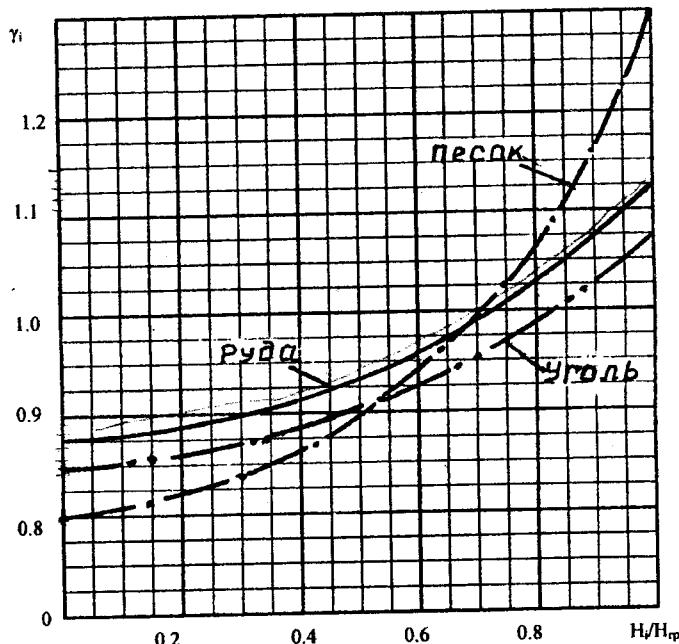


Рис. 3.2. Зависимость коэффициента изменения суммарной влажности от величины  $H_i / H_{sp}$ .

Порядок расчета. Смерзшийся верхний слой условно разбивают на 5 уровней: поверхность груза (первый уровень), верхняя граница талого ядра (пятый уровень) и три уровня между ними с интервалом 0,25  $h_{CM}$ . Затем определяют глубину каждого уровня от поверхности  $h_i^P$ ,  $i = 1, 5$ . Для первого уровня  $h_1^P = 0$ , а для пятого –  $h_5^P = h_{CM}$ .

Нижний смерзшийся слой также разбивается на 5 уровней, причем первый уровень нижняя граница талого ядра, от которой до дна вагона глубина  $h_1^L = h_{CM}$ . Далее эта величина уменьшается с интервалом 0,25  $h_{CM}$ , и на дне  $h_5^L = 0$ .

Величина  $H_i$  для верхнего смерзшегося слоя равна величине  $h_i^P$ , а для нижнего смерзшегося слоя  $H_i = H_{Gr} - h_i^L$ .

Расчеты по распределению температуры и прочности внутри груза можно проводить на ЭВМ или в режиме ручного счета по форме табл. 3.4.

Таблица 3.4

Форма расчета зависимостей  $t_i = f(h_i)$  и  $\sigma_i = f(H_i)$ .

Глубина слоя $i$ до или от талого ядра, м	Температура слоя $i$ , °C	Глубина слоя $i$ от поверхности груза, м	Отношение $H_i / H_{Gr}$	Поправочный коэффициент	Прочность слоя $i$ , МПа
$h_i^P (м)$	$t_i$	$H_i$	-	$\gamma_i$	$\sigma_i$

Всего в табл. 3.4 указываются результаты 10 итераций, из которых 5 для верхней части смерзшегося слоя и 5 для нижней. По итогам расчетов строятся графики зависимости  $t_i = f(h_i)$  и  $\sigma_i = f(H_i)$ , при этом необходимо показать, что в талом ядре температура и прочность остается постоянной.

Графики рекомендуется выполнять на схеме поперечного разреза полувагона с грузом (рис. 3.1) величины  $h_i$  и  $H_i$  указываются по вертикальной оси с началом отсчета на поверхности. Масштаб графиков выбирается студентами, все переменные величины должны оставаться в пределах полувагона.

**3.2.5. Рассчитать продолжительность разогрева смерзшегося груза.** Для выгрузки смерзшегося груза необходимо восстановить его сыпучесть, что достигается разогревом или дроблением (рыхлением). Выбор

способа восстановления сыпучести производится на основе технико-экономических расчетов. В данной работе рассчитываются только технические показатели: продолжительность восстановления сыпучести, что необходимо для расчета простоя вагонов под выгрузкой, и расход энергии. Тип тепляка для размораживания смерзшегося груза задается кодом в соответствии с номером варианта табл. 3.2, а его характеристики принимаются по табл. 3.5.

Таблица 3.5

Расчетная температура поверхности груза (вагона).

Вид устройства	Поверхность груза (вагона)	Temperatura, °C, na поверхности груза (вагона) после окончания разогрева при значении φ							
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1. Конвективный тепляк КПД = 12% $Q_{\text{н}} = 810 \text{ кВт/ваг}$	Люки	40	60	67	80	85	86	86	87
	Поверхность груза:								
	Руда	10	20	30	40	45	50	55	60
	Уголь	20	30	40	50	60	70	80	88
2. Установка ГИИ КПД = 27% $Q_{\text{н}} = 1400 \text{ кВт/ваг}$	Песок	30	40	50	60	70	80	90	95
	Борта вагона	35	50	55	60	65	70	75	80
	Люки	50	100	130	130	130	130	130	130
	Поверхность груза	20	40	60	75	85	95	100	103
3. Установка ВТИ КПД = 15% $Q_{\text{н}} = 1060 \text{ кВт/ваг}$	Борта вагона	35	55	65	70	75	80	80	80
	Люки	40	60	67	80	85	86	87	88
	Поверхность груза	15	25	36	45	55	62	70	75
	Борта вагона	40	55	65	70	75	80	80	80

Устройства для оттаивания (тепляки) смерзшихся грузов целесообразно использовать в основном на крупных предприятиях металлургической, коксохимической промышленности и тепловых электростанциях, получающих сырье и топливо целыми маршрутами.

Разогрев в тепляках может производиться: в конвективных тепляках (конвекционным способом); используя излучение и конвекцию на установках ВТИ; инфракрасным излучением от специальных газовых горелок на установках ГИИ. Температура внутри тепляка во всех случаях

должна обеспечивать разогрев груза, сохранность вагона и его оборудования. Основными факторами, влияющими на процесс разогрева, являются теплофизические свойства груза, вагона и теплоносителя. Расчет времени разогрева ведется при условии, что количество тепла  $Q_1$ , полученное грузом для восстановления сыпучести, равно количеству тепла  $Q_2$ , отданному теплоносителем.

Общее количество тепла на разогрев груза включает:

- тепло, необходимое для нагревания смерзшегося груза от начальной температуры поверхности груза до температуры замерзания;
- тепло, необходимое для фазовых переходов льда в воду;
- тепло, затраченное на перегрев груза от температуры замерзания до конечной температуры после разогрева и нагрева вагона.

Так как после окончания разогрева температуры каждой из обогреваемых поверхностей груза и вагона будут различны (в связи с различными теплофизическими свойствами), необходимо рассчитать средневзвешенную конечную температуру разогрева:

$$t_K^{CP} = (t_K^{TP} S_{TP} + t_K^B S_B + t_K^L S_L) / S_{OB},$$

где  $t_K^{TP}$ ,  $t_K^B$ ,  $t_K^L$  - соответственно допускаемая конечная температура на поверхности груза, бортов (стенок) вагона и выгрузочных люков,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$S_{TP}$ ,  $S_B$ ,  $S_L$  - соответственно площадь верхней поверхности груза, боковой поверхности груза, примыкающей к стенкам (бортам) полувагона, и нижней поверхности груза (люков),  $\text{m}^2$ ;

$S_{OB}$  - суммарная площадь трех указанных выше поверхностей,  $\text{m}^2$ ,

$$S_{OB} = S_{TP} + S_B + S_L.$$

Зная коэффициент смерзаемости, объем груза и его теплофизические характеристики, находим общее количество тепла, кДж, которое необходимо на разогрев одного вагона

$$Q_1 = 0.5\varphi V_{TP} [C_{CM}(|t_{POB}| - |t_3|) + 2C_\varphi(W - W_B) + C_T(|t_K^{CP}| + |t_3|)]$$

Количество тепла, отданного теплоносителем за период разогрева  $\tau_{PAZ}$  (время разогрева начисляется в секундах), с учетом коэффициента полезного действия равно:

$$Q_2 = Q_{yд} \times \tau_{PAZ} \times \eta,$$

где  $Q_{уд}$  – соответственно удельный расход тепла на один вагон, кВт/ваг, и коэффициент полезного действия, доли единицы.

Величины  $Q_{уд}$  и  $\eta$  принимаются в соответствии с типом тепляка (табл. 3.5).

Следовательно, продолжительность разогрева, ч, и расход энергии, кВт, составят:

$$\tau_{РАЗ} = Q_1 / (3600 \times Q_{уд} \eta); \quad W_{ЭН} = \tau_{РАЗ} \times Q_{уд},$$

**3.2.6. Рассчитать продолжительность рыхления смерзшегося груза.** Выбор типа рыхлительных машин и установок производится при проектировании грузовых фронтов или при их переоснащении и зависит от климатических условий, рода груза и его прочности в смерзшемся состоянии.

Существует ряд рыхлительных машин и установок, применение которых целесообразно при прочности смерзшегося груза указанной в скобках: накладной вибратор ( $\sigma_{см} \leq 1\div2$  МПа), бурорыхлительная машина ( $\sigma_{см} = 3\div5$  МПа), виброрыхлительные установки ( $\sigma_{см} = 5\div7$  МПа), виброударные установки ( $\sigma_{см} = 7\div9$  МПа), клиновые установки для пластичных глин и других особо прочно смерзающихся грузов ( $\sigma_{см} > 9$  МПа).

Продолжительность рыхления и затраты энергии на работу рыхлительных машин зависят от глубины и прочности смерзшегося груза. Способы последующей за рыхлением выгрузки груза (через открытые люки или через верх вагона на вагоноопрокидывателе) и дальнейшей передачи его в производство определяют необходимые размеры фракций дробления. Технология рыхления включает две основные части: вертикальная проходка рабочего органа машины и горизонтальная проходка вдоль вагона.

Расчетные формулы продолжительности рыхления и расхода энергии получаются на основе равенства механической работы, необходимой на рыхление смерзшегося груза, работе, выполненной рыхлительной машиной за период рыхления. Механическая работа, необходимая для рыхления, зависит от сопротивления смерзшегося груза сжатию, его объема, необходимых размеров фракций дробления и характеристик рыхлительных машин (табл. 3.6).

В соответствии с технологией рыхления общие затраты времени в часах на восстановление сыпучести груза определяются как сумма продолжительности вертикальной проходки, горизонтальной

проходки и затрат времени на дополнительные технологические операции.

Продолжительность вертикальной проходки:

$$\tau_B = \frac{3 \times V_B \times S' \times H_{TP} \times \varphi \times \sigma_{CP} \times \xi'}{N' \times \sqrt[3]{\beta'} \times 3,6},$$

где  $V_B$  - объем груза, подвергающегося дроблению при вертикальной подходке,  $\text{м}^3$ ;

$$V_B = l' \times B_p \times H_{TP},$$

$l'$  - длина захвата рабочего органа, м; (см. табл. 3.6)

$B_p$  - ширина захвата рабочего органа (равна ширине вагона), м;

$H_{TP}$ ,  $\varphi$ ,  $\sigma_{CP}$  - соответственно высота груза в вагоне, коэффициент смерзаемости и средняя прочность смерзшегося груза (см. п. 3.2.3);

$S'$  - поперечное сечение рабочего органа,  $\text{м}^2$ ;

$\xi'$  - коэффициент изменения сопротивления при вертикальной проходке;

$N'$  - мощность двигателя при вертикальной подходке, кВт;

$\beta'$  - числовое значение фракций груза при вертикальной подходке;

3,6 - коэффициент пропорциональности.

Продолжительность горизонтальной проходки

$$\tau_T = \frac{3 \times (V_{TP} - V_B) \times S'' \times H_{TP} \times \varphi \times \sigma_{CP} \times \xi''}{N'' \times \sqrt[3]{\beta''} \times 3,6},$$

где  $S''$ ,  $\xi''$ ,  $N''$ ,  $\beta''$  - величины аналогичные указанным выше. Затем определяется общая продолжительность рыхления

$$\tau_{РХ} = \tau_B + \tau_T + \tau_{TEХH},$$

где  $\tau_{TEХH}$  - дополнительное время на технологические операции (перестановка рыхлителя), ч;

На основе рассчитанного времени находим затраты энергии  $W_{\Theta H}$  на восстановление сыпучести, кВт/ч,

$$W_{\Theta H} = N' \tau_B + N'' (\tau_T + \tau_{TEХH}).$$

Таблица 3.6

## Характеристики рыхлительных машин

Показатели	Рыхлительные машины и их коды		
	БРМ-110 1	ДП-6С 2	Вибро- ударная 3
Поперечное сечение рабочего органа при вертикальной подходке $S'$ , м <sup>2</sup>	0,4	0,1	0,18
Количество циклов вертикальной проходки	1	1	1
Числовое значение получаемой фракции при вертикальной проходке, $\beta'$ , доли единицы	1/1000	1/125	1/125
Коэффициент $\xi'$ при вертикальной проходке	2,0	1,5	3,0
Мощность рабочего органа при вертикальной проходке $N'$ , кВт	110,0	34,0	28,0
Поперечное сечение рабочего органа при дроблении груза в вагоне, $S''$ , м <sup>2</sup>	0,4	0,1	0,18
Числовое значение получаемой фракции при дроблении груза в вагоне, $\beta''$	1/1000	1/125	1/125
Коэффициент $\xi''$ при дроблении груза в вагоне	1,5	0,5	0,5
Мощность рабочего органа при горизонтальной подходке в вагоне, $N''$ , кВт	110	34	28
Время на дополнительные технологические операции $t_{техн}$ , ч	0,2 $t_f$	0,5 $t_f$	0,3 $t_f$
Длина захвата рабочего органа, $l'$ , м	2,0	2,0	2,5

### **3.3. Обеспечение сохранности насыпных грузов**

**3.3.1. Основные причины потерь насыпных грузов при перевозке.** Наибольшую долю потерь (по массе груза) при перевозке железнодорожным транспортом составляют потери насыпных промышленных грузов, перевозимых как на открытом, так и в закрытом подвижном составе. Кроме прямых материальных и экономичных затрат от потерянных грузов, возникают дополнительные затраты железных дорог в связи с загрязнением балластной призмы и нарушением работы рельсовых электрических сетей, что вызывает необходимость производства ремонтных работ [12].

Возникают дополнительные затраты и в смежных областях по компенсации убытков, т.е. по добыче и перевозке потерянного объема груза. Кроме того, распыление сыпучих грузов в процессе перевозок приводит к загрязнению окружающей среды.

Основными видами потерь сыпучих грузов являются: выдувание мелких фракций воздушными потоками, обтекающими движущийся поезд; течь груза в конструктивные зазоры и неплотности, а также неисправности кузова вагона; осыпание частиц груза при его погрузке с «шапкой».

Величина потерь насыпных грузов зависит от большого количества факторов, из которых наиболее важными являются:

- фракционный состав, зависящий от способов добычи и обогащения полезных ископаемых;
- влажность, объемная масса, водообразование, уплотнение и другие физико-механические свойства;
- конструктивные зазоры вагонов;
- увеличение ходовых скоростей поездов, что увеличивает подъемную силу встречного воздушного потока;
- расстояние перевозки;
- недостаточное использование существующих методов и способов подготовки к перевозке как поверхности груза, так и самого вагона.

Способ размещения насыпных грузов в вагоне зависит от объемной массы, на основании которой все насыпные грузы делятся на 4 группы: легкие (торф, кокс, опилки) с объемной массой менее  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; средние (бурый и каменный уголь) – объемная масса находится в пределах от 600 до  $1100 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; тяжелые (песок, щебень, гравий), объемная масса которых составляет от 1100 до  $2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ , сверхтяжелые (руды, рудные концентраты) – объемная масса более  $2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

С целью наиболее полного использования грузоподъемности вагонов первые две группы насыпных грузов размещаются в полувагоне с «шапкой» (т.е. выше обвязочного пояса бортов полувагона), что увеличивает возможность потерь от выдувания и осыпания.

Для предупреждения потерь от выдувания поверхность груза должна быть разровнена, уплотнена, профиль «шапки» хорошо сформирован, а затем покрыт защитной пленкой. Для выполнения таких операций существуют специальные установки и механизмы: накладные вибраторы, вибростатические установки, совмещающие уплотнение груза катком с одновременным формированием профиля шапки и с нанесением на сформированную поверхность защитной пленки.

Поверхность погруженных тяжелых и сверхтяжелых грузов после погрузки также должна быть разровнена и уплотнена, для чего применяются направляющие рассекатели потока сыпучих грузов под выпускным отверстием бункера и скребковые ровнители поверхности.

Предупредить потери грузов мелких фракций от просыпания в зазоры и дефекты кузова вагонов возможно в результате:

- применения разового уплотнения зазоров и дефектов кузова вагона специальными пастами;
- использование для перевозки сыпучих грузов специализированных вагонов: для небоящихся атмосферных осадков – полувагонов с глухим дном, для требующих защиты от осадков – вагонов типа хоппер или цистерн для порошкообразных грузов (цемент, минеральные удобрения и др.)

**3.3.2. Расчет потерь и эффективность защиты насыпных грузов от выдувания.** Величина потерь навалочных грузов от выдувания при перевозке на заданное расстояние и экономическая эффективность нанесения защитной пленки рассчитывается на примере доставки угля в полувагонах. Исходные данные приведены в табл. 3.7 и 3.8 в зависимости от номера варианта.

Интенсивность выдувания груза в начале пути максимальная, затем постоянно ослабевает. Объясняется это тем, что в пути следования неровная поверхность груза слаживается, принимает обтекаемую форму, груз уплотняется, на поверхности остаются более крупные частицы. Ориентировочный расчет общих потерь груза за весь период перевозки производится на основе однофакторных эмпирических зависимостей.

Потери каменного угля, т/ваг, погруженного с оптимальной влажностью  $W_{оп}=5,5\%$  и оптимальной высотой шапки  $h_{оп}=0,3$  м (такие

параметры дают минимальные потери от выдувания) при перевозке на заданное расстояние  $L_{PER}$  находят из соотношения

$$Q_{L_{PER}} = 0,0089 + 1,3514 \times 10^{-3} \times L_{PER} - 0,7265 \times 10^{-6} \times L^2_{PER} + 0,1439 \times 10^{-9} \times L^3_{PER}$$

В практике часто перевозка угля осуществляется с другой влажностью или высотой шапки. Влияние указанных факторов можно оценить как

$$Q_h = 0.4644 + 4.4126h - 10.740h^2 + 9.424h^3,$$

$$Q_w = 1.9158 - 0.446W + 0.0344W^2.$$

Причем величина  $W$  подставляется в формулу в %, а  $h$  – в м.

Таблица 3.7

Характеристика груза

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Влажность $W$ , %	4,5	6,5	7,0	5,0	5,5	6,0
Высота шапки $h$ , м	0,4	0,3	0,35	0,25	0,55	0,25
Цена груза $\text{Ц}_\text{г}$ , р/т	460	480	450	450	490	480
Угол естественного откоса $\alpha$ , град	20	25	20	25	30	25

Таблица 3.8

Характеристика процесса перевозки

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Скорость поезда $V$ , км/ч	75	70	80	90	80	70
Расстояние перевозки $L_{PER}$ , км	900	1000	1300	1500	2000	2100
Плотность пленки $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	1,24	1,03	1,02	0,89	1,09	1,15
Дополнительные расходы по нанесению пленки $C_{\text{пп}}$ , р/т*	400	350	350	300	380	400
Допускаемое напряжение пленки на разрыв $[\sigma]$ , Н/см <sup>2</sup>	25,0	23,5	23,0	19,0	24,0	24,5
Внутренние размеры полувагона						
длина $L$ , м	12,7	12,1	12,3	12,1	12,7	12,0
ширина $B$ , м	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8

\* Цены условно сопоставимые

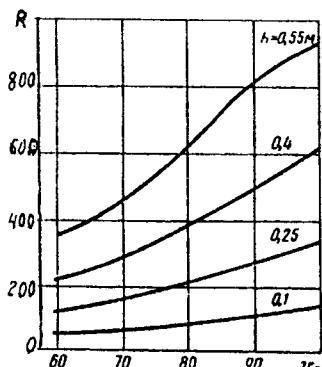


Рис. 3.3. Зависимость разрушающей силы от скорости поезда

груза и при застывании образует прочную пленку способную выдерживать ветровые и динамические нагрузки в процессе движения поезда. По разрушающей силе  $R$  (рис. 3.3) и допускаемому напряжению на разрыв пленки  $[\sigma]$  можно с учетом коэффициента запаса  $K=1,5$  определить толщину пленки  $\delta$  (м).

$$\delta \geq \frac{K \times R}{[\sigma] \times b} \times 10^{-4},$$

где  $b$  – ширина верхней части шапки груза, м;  $b = B - 2h/\tan\alpha$ ;

$\alpha$  – угол естественного откоса.

Экономическая эффективность  $\Delta\mathcal{E}$  применения защитной пленки на 1 вагон с учетом только прямых потерь груза составит

$$\Delta\mathcal{E} = Q_{OB} \times U_{GP} - S_{GP} \times \delta \times \rho_{pl} \times C_{pl},$$

где  $U_{GP}$  – цена груза, р/т;

$\rho_{pl}$  – плотность пленки, т/м<sup>3</sup>;

$C_{pl}$  – эксплуатационные затраты по нанесению пленки на поверхности груза с учетом стоимости материала пленки, р/т;

$S_{GP}$  – площадь поверхности груза, м<sup>2</sup>.

Зная условия перевозки, т.е. расстояние  $L_{PER}$ , влажность  $W$  и высоту шапки  $h$  находим последовательно значения  $Q_{Lncp}$ ,  $Q_{hon}$  и  $Q_h$ ,  $Q_{Won}$  и  $Q_W$ , а затем определяем общие потери для заданных условий из соотношения

$$Q_{OB} = Q_{Lncp} \times (Q_h / Q_{hon}) \times (Q_W / Q_{Won}),$$

Для защиты груза от выдувания наиболее эффективным способом предотвращения потерь является покрытие поверхности груза защитной пленкой. Материал пленки (вязущая смесь) в жидком виде распыляется на поверхность

**3.3.3. Необходимость и эффективность защиты насыпных грузов от просыпания.** В данной работе потери грузов и экономическая эффективность мер по обеспечению сохранности определяются на примере перевозки минеральных удобрений навалом в крытых вагонах. При этом происходят значительные потери груза из-за просыпания в зазоры и неплотности кузова вагона. Большое влияние на потери грузов оказывают такие его свойства как влажность, объемная масса, однородность гранулометрического состава. Повышение влажности груза способствует слипанию, комкованию, усилинию слеживаемости и смерзаемости, что затрудняет выгрузку груза; влажность влияет также на плотность и сопротивление первоначальному сдвигу груза. Поэтому очень важным требованием при приеме груза к перевозке является соблюдение стандартов на влажность. Кроме того, величина потерь груза зависит от таких факторов как расстояние перевозки и размеры дефектов кузова вагона, которые оцениваются длиной и шириной щелей.

Теоретическое исследование на основе натурных наблюдений дают возможность установить величину удельных потерь груза, приходящихся на единицу длины щели:

$$q_i = 298a_i^3 \times \rho^2 \times \sqrt{L_{PER} \times 10^{-3}} / \tau_0,$$

где  $q_i$  – величина удельных потерь, приходящаяся на единицу длины щели типа  $i$  с шириной  $a_i$ , г/см;

$\rho$  – объемная масса груза, г/см<sup>3</sup>;

$L_{PER}$  – расстояние перевозки, км;

$\tau_0$  – начальное сопротивление сдвига.

Величина начального сопротивления сдвига составляет:

$$\tau_0 = 0,524 + 4,266W - 0,342W^2,$$

где  $W$  – влажность груза, %.

Зная величину удельных потерь, можно определить общие потери груза от просыпания через щелевые отверстия кузова вагона

$$P = 10^{-6} \times \sum q_i \cdot l_i,$$

где  $P$  – общие потери, приходящиеся на один вагон, т;

$l_i$  – длина  $i$ -ой щели, см.

Общую величину потерь  $P$  можно рассчитать на ЭВМ или вручную. Так как в расчетной формуле удельных потерь для заданной перевозки

меняются только значения ширины щелей, то указанную выше формулу можно представить в виде

$$q_i = C \times a_i^3; \quad C = (298\rho^2 \times \sqrt{L_{PER} \times 10^{-3}}) / \tau_0$$

Тогда общие потери на вагон при ручном счете удобно проводить по форме табл. 3.9, а исходные данные принимаются по табл. 3.10 и 3.11 в соответствии с номером варианта.

Полученную величину потерь необходимо сравнить с нормой естественной убыли массы груза при железнодорожных перевозках. В результате сравнения студент делает вывод: перевозка груза в данном вагоне допустима (если потери груза находятся в пределах нормы); необходимо провести специальную подготовку подвижного состава к перевозке (если потери больше нормы).

В данной работе студенты рассматривают исправление дефектов вагона путем уплотнения щелей кузова специальными составами (пастами, мастиками), связующими веществами которых являются отходы целлюлозно-бумажной или химической промышленности, а наполнителями мелкие фракции перевозимого груза.

Экономическая эффективность предлагаемого мероприятия может быть определена как разность между экономией от сокращения потерь груза в результате заделки щелей кузова вагона  $\mathcal{E}$  и дополнительными расходами по исправлению дефектов  $D$ .

$$\mathcal{E} = \alpha_D \cdot N_{год} (\Pi - Y) U_{ГР}; \quad D = \alpha_D \times N_{год} \times C_D,$$

где  $\alpha_D$  – доля вагонов с дефектом кузова, доли единицы;

$N_{год}$  – количество вагонов, погруженных за год, ваг/год;

$Y$  – допустимые потери на вагон, т/ваг;  $Y = 0,01H_y \times P_{СР}^{CT}$ ;

$H_y$  – норма естественной убыли %; для калийных удобрений при  $L_{PER}$  до 1000 км –  $H_y = 0,45\%$ , при  $L_{PER}$  от 1001 до 2000 км –  $H_y = 0,65\%$ ;

$U_{ГР}$  – цена груза, р/т;

$C_D$  – расходы на заделку дефектов кузова с учетом стоимости пасты;  
 $C_D = 25$  р/ваг\*.

Таблица 3.9  
Расчет потерь от просыпания

Ширина щели, см $a_i$	$a_i^3$	Удельные потери $q = a^3 C$	Длина щели, см $l_i$	Потери через щель типа i $q_i l_i$

Таблица 3.10  
Характеристика груза

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Наименование груза – калийные удобрения						
Цена груза $\Pi_F$ , р/т*	180	160	175	165	170	185
Объемная масса $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,2	1,17	1,16	1,15	1,18	1,10
Влажность $W$ , %	0,3	0,5	0,6	0,7	0,4	0,5
Расстояние перевозки, $L_{\text{НЕР}}$ , км	950	1200	1400	1500	1700	2000
Объем перевозки, $Q_{\text{год}}$ , тыс. т	400	450	500	480	520	440
Средняя статическая нагрузка, $P_{\text{ст}}^{\text{ср}}$ , т/ваг	60	60	62	60	64	62
Процент дефектных вагонов, $\alpha_n$ , %	20	25	18	30	25	21

Таблица 3.11  
Дефекты кузова вагона

№ варианта	Ширина щели, см	Длина щели, см	№ варианта	Ширина щели, см	Длина щели, см	№ варианта	Ширина щели, см	Длина щели, см
1	0,25	58	3	1,55	44	5	0,15	48
	0,75	63		1,85	40		0,95	38
	1,25	52		0,35	65		0,65	57
	1,70	47		2,65	38		0,25	51
	2,25	65		0,25	58		2,45	45
	2,75	38		1,15	69		2,55	34
	1,25	58		2,80	56		0,55	56
	2,37	42		0,45	65		2,00	103
2	0,45	60	4	2,35	40	6	0,75	56
	0,55	45		1,25	56		1,85	45
	1,65	50		0,35	64		2,35	37
	1,85	66		1,75	45		0,45	38
	1,35	58		1,95	135		0,25	43
	1,45	42		0,45	37		1,92	63
	0,57	43		2,60	48		1,75	52
	1,25	60		0,65	62		2,45	41

\* Цены условно сопоставимые.

### **Контрольные вопросы:**

1. Что общего у насыпных и навалочных грузов и чем они отличаются?
2. Какие основные свойства составляют транспортную характеристику насыпных и навалочных грузов?
3. На какие подгруппы делятся насыпные и навалочные грузы?
4. Какие грузы называются смерзающимися?
5. Назовите условия приема к перевозке смерзающихся грузов в холодное время года.
6. Что такая суммарная и безопасная влажность смерзающихся грузов?
7. Какие профилактические мероприятия предупреждают или снижают степень смерзания?
8. Какие основные показатели характеризуют смерзшийся груз?
9. Какие свойства грузов и условия перевозки влияют на глубину смерзшегося слоя?
10. Как можно восстановить сыпучесть смерзшегося груза.
11. Назовите основные причины потерь сыпучих грузов.
12. Какие факторы влияют на величину потерь сыпучих грузов?
13. Как влияет объёмная масса насыпных грузов на формирование их поверхности в вагоне?
14. На основании каких факторов рассчитывается толщина пленки, защищающей груз от выдувания?
15. Какие свойства и условия перевозок насыпных грузов влияют на величину потерь от просыпания?
16. Какие мероприятия предупреждают или снижают величину потерь насыпных грузов от просыпания?

## 4. НАЛИВНЫЕ ГРУЗЫ

### 4.1. Общая классификация и основные понятия

Наливными считаются грузы, которые согласно Правил перевозок грузов часть 2 [13] разрешается перевозить по железным дорогам в вагонах-цистернах и бункерных полуwagonах. В зависимости от воздействия на окружающую среду и жизнедеятельность человека все наливные грузы делятся на опасные и неопасные. Неопасные грузы перевозятся на общих основаниях, а при перевозке опасных, кроме общих правил и норм, необходимо выполнять специальные требования по обеспечению безопасных перевозок, указанные в Правилах перевозок опасных грузов [14].

Наливные грузы в зависимости от свойств и назначения объединены в три основные группы:

- нефть и нефтепродукты;
- химические грузы (кислоты, щелочи, сжиженные газы);
- пищевые продукты (растительные масла, спирты, патока).

**4.1.1. Нефтепродукты. Виды и назначение.** Нефть и нефтепродукты составляют основную долю объема грузов (более 90%), перевозимых по железной дороге наливом в цистернах и бункерных полуwagonах. На основе специфических свойств и характеристик эти грузы делятся на три подгруппы: нефть сырья, светлые нефтепродукты и темные нефтепродукты.

*Нефть сырья* – горючая масляничная жидкость с характерным запахом и цветом, содержащая парафиновые, нафтеновые и ароматические углевороды, различные органические вещества, сернистые и кислотосодержащие соединения. Нефть сырья перевозится с мест добычи на нефтеперерабатывающие заводы, где после специальных производственных процессов, происходящих при высокой температуре, получают нефтепродукты светлые (выкипающие при температуре до 350°C) и темные (с температурой кипения выше 350°C). К светлым относятся: бензин, керосин, лигроин, а к темным – газойль, мазут и продукты переработки мазута.

*Нефтепродукты* (светлые и темные) делятся на следующие подгруппы: топлива, масла, прочие продукты.

К группе топлива относятся: автомобильные бензины, авиационные керосины, дизельное топливо, топливо для реактивных двигателей и другие виды топлива. Характеристиками моторных бензинов и авиакеросинов

являются: детонационная стойкость, определяемая октановым числом; фракционный состав; малое содержание смолистых веществ и сернистых соединений; высокая теплота сгорания. Важнейшим показателем дизельного топлива является способность к самовоспламенению при впрыскивании его в камеру сгорания, что характеризуется цетановым числом. Для топлива быстроходных дизелей существенное значение имеют такие свойства как: вязкость, температура вспышки и зольность.

В группу масел входят: моторные масла, индустриальные смазочные масла, консистентные смазки, специальные масла и др. Основным свойством смазочных масел является способность образовывать на поверхности трещущихся деталей масляную пленку, прочность которой зависит от вязкости масла, а вязкость в свою очередь от температуры; кроме того масла должны быть стойкими против окисления, обладать антакоррозионными и другими специфическими свойствами.

К группе прочих нефтепродуктов относится большой ассортимент продуктов: растворители, осветительные керосины, нефтяные битумы, гудроны, нефтяной пек и др. К этой же группе относятся нефтепродукты, служащие сырьем для нефтехимической и химической промышленности.

#### *4.1.2. Наливные химические грузы , характеристика и свойства.*

Химические грузы, перевозимые наливом в цистернах (универсальных и специальных). включают следующие группы грузов: кислоты, щелочи, спирты, газы (сжатые и сжиженные), а также красители, лаки и другие вещества.

Кислоты различных видов, составляют основную долю в объеме перевозок жидкых химических продуктов. Они относятся к опасным грузам, а поэтому при организации перевозок таких грузов необходимо выполнять требования, указанные в Правилах перевозок опасных грузов по железным дорогам [14].

Кислоты могут вызывать тяжелые химические ожоги, взрывы и другие аварийные ситуации. Кроме того, кислоты, обладая окисляющими и разъедающими свойствами, могут вызывать коррозию внутренних металлических поверхностей котла цистерны. Условия перевозки конкретных видов кислот зависят от их химико-физических характеристик.

Серная кислота – бесцветная прозрачная маслянистая жидкость, способная растворять металлы. Она гигроскопична, может соединяться с водой в любых пропорциях с выделением большого количества тепла. Перевозится серная кислота только в специальных цистернах. Олеум (серная дымящаяся кислота) перевозится в специальных олеумных утепленных цистернах-термосах, принадлежащих грузоотправителю.

Соляная кислота относится к опасным едким веществам, способна растворять металлы; ее температура замерзания ниже -40°C; перевозится в специальных гуммированных цистернах. Ингибиранная соляная кислота перевозится в сернокислотных цистернах.

Азотная кислота является продуктом окисления аммиака, кипит при температуре +86°C, действует на все металлы, кроме золота, платины, титана, и более слабо на алюминий. Техническая азотная кислота дымит на воздухе при обычной температуре, является сильным окислителем. Азотная кислота перевозится в цистернах с алюминиевым внутренним покрытием котла цистерны, которая имеет с обеих сторон щиты предохраняющие от случайного истечения продукта.

Смесь азотной кислоты с серной – меланж, представляет собой едкую жидкость, перевозится в специальных сернокислотных цистернах. Температура ее налива должна быть не выше +30°C, а в летних условиях не выше +40°C, обладает ядовитыми свойствами. Концентрация и состав наливаемой в цистерну кислоты должны отвечать требованиям действующих стандартов.

Приготовление к наливу меланжа, а также ингибирирование соляной кислоты (добавление веществ, замедляющих течение химических реакций коррозии металла) должно производиться грузоотправителем в специальных емкостях, но категорически запрещается производить эти операции в процессе налива в цистерну.

Цистерны для перевозки кислот, относящихся к опасным грузам, должны иметь соответствующую окраску и предупреждающие трафареты [14].

*Спирты* – как грузы имеют многие свойства присущие светлым нефтепродуктам: огнеопасность, взрывоопасность, способность к накоплению заряда статического электричества, интенсивное испарение, токсичность, наркотические свойства, способность к температурному расширению. Спирты слабо растворяют масла, битумы и воски, но отлично воздействуют на многие смолы и красящие вещества.

Метанол (метиловый спирт) – легковоспламеняющаяся, очень ядовитая бесцветная прозрачная легкоподвижная жидкость; кипит при температуре +66°C, температура вспышки +6°C; с воздухом пары метанола образуют взрывчатую смесь. По цвету, запаху и вкусу метанол напоминает винный спирт, но прием его внутрь вызывает отравление, нередко с потерей зрения и часто с летальным исходом; перевозится в сопровождении военизированной охраны. Метиловый спирт применяют в качестве растворителя антифриза, для синтеза химических веществ, производства

формалина и других продуктов. Для таких же целей используются пропиловый и бутиловый спирты.

Технический этиловый спирт получают сбраживанием гидролизаторов древесины или сульфатных щелоков (отходов производства целлюлозы). Этиловый спирт применяется в производстве синтетического каучука, уксусной кислоты, хлороформа, пороха, синтетических красителей, лаков и т.д.

*Газы природные и попутные* являются важным источником энергетического и химического сырья. Природный газ добывается при разработке газовых месторождений, содержит до 99% метана и незначительную долю примесей (азота, сероводорода, бутана и др.). Попутные газы получают при добыче и переработке нефти. В зависимости от структуры нефти попутные газы содержат метан, пропан, этан в разных количественных соотношениях. Природные и попутные газы используются как топливо и как химическое сырье.

По физическим свойствам и агрегатному состоянию газы делятся на следующие группы: сжатые, сжиженные и растворенные под давлением, сжиженные охлажденные. Все цистерны для перевозки газов, относящихся к опасным, должны иметь соответствующую окраску и трафареты, подробные условия перевозок таких грузов указаны в Правилах перевозок опасных грузов [14].

#### *4.1.3. Наливные пищевые продукты, основные свойства.*

Пищевые, жидкие продукты делятся на следующие группы; растительные масла и жиры, спирты и виноматериалы, плодовоощные соки, патока, молоко.

*Растительные масла* представляют собой продукты, полученные путем экстракции либо прессования семян масличных культур или зернобобовых растений и подразделяются в зависимости от способа обработки на нерафинированные, гидратированные, рафинированные без дезодорации и рафинированные с дезодорацией, а в зависимости от качественных показателей – на пищевые и технические. Масла используются в пищевой, консервной, парфюмерной, лакокрасочной промышленности, для медицинских и технических целей.

Растительные масла являются горючими веществами, выделяют и поглощают запахи, при изменении кондиционных показателей температуры и влажности прогоркают, окисляются и теряют товарные свойства.

Растительные масла имеют следующие специфические свойства: кислотность, йодное число, температура застывания от -27°C (льняное

масло) до +3°C (арахисовое масло); температура вспышки (230-240°C), объемная масса (0,9-0,93 т/м<sup>3</sup>), восприимчивость к запахам.

Кислотность растительного масла характеризуется кислотным числом. а его повышение против нормы свидетельствует о том, что идет процесс гидролитического распада масла или жира и ухудшаются их пищевые качества. Йодное число характеризует чистоту масел и их способность к высыханию.

Растительные масла (подсолнечное, соевое, горчичное, кукурузное и др.) являются вязкими, с условной вязкостью от 16 до 25 градусов Энглера и с температурой застывания от +1 до +15°C, перед сливом разогреваются. к опасным грузам не относятся так как температура вспышки у них высока.

*Жиры* различных животных (китовый, тюлений, рыбий) характеризуются большой вязкостью; наибольшую вязкость имеет технический жир, вязкость которого более 40 градусов Энглера, а температура застывания более 30°C. Эта группа грузов относится к застывающим и требует значительных затрат времени на разогрев перед сливом из цистерны.

К застывающим вязким грузам относятся патока и меласса. Патока, продукт получаемый осахариванием (гидролизом) крахмала, главным образом картофельного и майского, разбавлением его кислотами с последующей фильтрацией и увариванием. Условная вязкость патоки 26 - 40 градусов Энглера, а температура застывания находится в пределах от +16 до +30°C. Патока кондитерская перевозится в специальных цистернах с внутренними стационарными змеевиками, площадь поверхности которых 34 м<sup>2</sup>. Меласса -- отходы свекольных производств, служит как корм в животноводстве, ее свойства с точки зрения влияния на транспортный процесс аналогичны свойствам груза – патока.

*Этиловый спирт* (этанол, винный спирт) – бесцветная легковоспламеняющаяся жидкость с характерным запахом. Этиловый спирт получают сбраживанием растительных материалов, содержащих крахмал и сахар (ржи, пшеницы, картофеля, свеклы, кукурузы) или отходов производства сахарных заводов и кормовой патоки (мелассы). Этиловый спирт с большим содержанием примесей называется сырцом, очищенный – ректификатором. При перевозке винного спирта и других виноматериалов важно обеспечить сохранность и качество (крепость) продукта, т.е. необходимо учитывать такие свойства как температурное расширение и испарение. Рекомендуемая температура налива зимой +8°C, а летом не более +16°C.

**4.1.4. Конструкционные особенности цистерн.** В зависимости от свойств перевозимых грузов цистерны делятся на универсальные (общего назначения) и специальные для отдельных видов грузов.

Универсальные цистерны предназначены в основном для перевозки нефтепродуктов (нефть, мазут, бензин), могут быть четырехосные и восьмиосные, грузоподъемностью от 60 до 120 т. Конструкция котла восьмиосной цистерны имеет уклон к сливному прибору, два верхних люка и универсальный нижний сливной прибор, обеспечивающий герметичность затворов. Однако для предупреждения смешения различных нефтепродуктов и снижения их качества, особенно при наливе светлых нефтепродуктов в цистерны, где ранее перевозились темные (мазут-бензин), необходимо производить промывку и пропарку цистерн. Особо тщательно в подобных случаях готовятся цистерны под налив авиакеросинов.

Специальные цистерны предназначены для перевозки сжиженных газов, высоковязких и застывающих, скропортящихся, порошковых и химических грузов. В зависимости от агрессивных свойств указанных грузов и для обеспечения сохранности цистерн в течение установленного срока службы, котлы специальных цистерн изготавливаются из следующих материалов: углеродистая сталь, низколегированная сталь, двухслойная сталь, коррозионностойкая сталь, алюминиевые сплавы. Для некоторых грузов внутренняя поверхность котла цистерны покрывается специальным защитным слоем: для перевозки соляной и суперфосфорной кислоты необходимо внутреннюю поверхность котла гуммировать; для фенола – защитный слой котла выполняется из цинка толщиной  $0,1 \div 0,15$  мм.

Специальные виды цистерн имеют различные конструкционные особенности и дополнительные устройства для защиты как перевозимых грузов от воздействия окружающей среды, так и окружающую среду от опасных грузов.

Для перевозки хлора, амиака, этиловой жидкости, ацетальдегида необходимы цистерны с теневой защитой. Теневая защита – это металлический выгнутый лист толщиной 1,5 мм, прикрепленный на каркасе над верхней частью котла и защищающий груз от солнечной радиации (перегрева) и связанных с этим явлением потерь груза через предохранительные клапаны, предупреждает создание аварийных ситуаций.

Скропортящиеся грузы (винный спирт, плодовоощные соки, молоко) перевозятся в цистернах с термоизоляцией, что позволяет обеспечить качество груза в процессе перевозки.

Высоковязкие и застывающие наливные грузы перевозятся в цистернах, котлы которых имеют не только термоизоляцию, но и паровую рубашку (кожух), что позволяет сохранить температуру груза и при необходимости

производить подогрев его перед сливом. В таких цистернах перевозятся следующие виды грузов: кондитерская патока, олеум, желтый фосфор и другие.

Термоизоляция с электроподогревом устанавливаются на цистернах для перевозки серы и нефтяного пека, являющихся застывающими грузами с высокой температурой вспышки. Электронагреватель устанавливается под котлом цистерны, но изолирован от непосредственного контакта с дном котла для предупреждения местного перегрева.

Налив груза в цистерны производится открытым или закрытым способом, а слив может производится под давлением (передавливанием или сифонированием) и без давления – самотеком, в зависимости от рода и свойств груза.

Основные показатели процессов налива и слива, т.е. температура и продолжительность для некоторых грузов приводятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные показатели процессов налива и слива некоторых видов груза (по конструкторской документации)\*

Наименование груза	Налив		Слив		
	Темп-ратура, °C	Продолжи-тельность, мин	Темпера-тура, °C	Продолжительность разогрева, ч	слива, мин
1. Бензин	20	100	-	-	95
2. Улучшенная серная кислота	50	30	-	-	95
3. Слабая азотная	10÷50	60	-	-	70
4. Спирт	40	100	-	-	95
5. Патока	50	210	50	до 40 ч	-
6. Вязкие нефтепродукты	50	80	50	до 20 ч	100
7. Желтый фосфор	65	60	60	3÷8 ч	90
8. Олеум	50	30	50	6 ч	100
9. Молоко	4÷6	360	-	-	135
10. Пек	300	70	180	16÷20 ч	90
11. Сера	125÷145	20	120	0÷29 ч	55

\* более подробно см. [16]

## **4.2. Особенности перевозок, условия налива и слива нефтепродуктов**

### **4.2.1. Транспортная характеристика нефтепродуктов.**

Нефтепродукты обладают большим количеством специфических свойств, существенно влияющих на все этапы перевозочного процесса и конструкцию подвижного состава. К таким свойствам относятся; плотность, вязкость, температурные характеристики, испаряемость, упругость насыщенных паров, электризация, коррозионность, токсичность и другие свойства,

Плотность нефтепродуктов зависит от содержания легких (светлых) фракций, изменяется в пределах от 650 до 1060 кг/м<sup>3</sup> и является качественной и количественной характеристикой продуктов переработки нефти. Плотность влияет на использование цистерн по грузоподъемности, на скорость истечения при выполнении операций по наливу и сливу, возможность разогрева вязких нефтепродуктов открытым паром, на продолжительность обезвоживания (отстоя) нефтепродуктов после разогрева и другие процессы связанные с перевозкой и подготовкой подвижного состава к перевозке.

Плотность нефтепродуктов в значительной степени меняется при изменении температуры окружающей среды, поэтому в перевозочных документах указывается плотность определенная при температуре 20°C (паспортная характеристика). Зависимость плотности от температуры (температурное расширение) приводит к изменению объема груза в цистерне. Поэтому для исключения потерь (от выплесков) в пути следования и оптимального использования грузоподъемности цистерн установлены следующие нормы заполнения объема: в теплый период – 98% от полезного объема цистерны, в холодный период – 99%.

Массу нефтепродуктов в цистерне определяет грузовладелец взвешиванием на вагонных весах, а при их отсутствии можно определить массу расчетным путем, на основе замера высоты груза в цистерне по формуле:

$$Q_{fp} = V[\rho_{20} - (t_f - 20)\alpha],$$

где  $Q_{fp}$  - масса груза в цистерне, кг;

$V$  - объем груза в цистерне, дм<sup>3</sup>, который определяется по Таблицам калибровки [15] в зависимости от высоты налива, измеренной метрштоком, и калибровочного типа цистерны, согласно ее трафарету:

$\rho_{20}$  - плотность нефтепродукта при температуре 20° С, г/дм<sup>3</sup>;

$t_\phi$  - фактическая температура груза, определенная одновременно с замером высоты налива, °С;

$\alpha$  - температурная поправка плотности на 1°С, г/дм<sup>3</sup>, которая приводится в [15] в зависимости от стандартной плотности при температуре 20°С.

Примр. Калибровочный тип цистерны 72. Высота налива, определенная метрштоком, 274,6 см. Установить объем жидкости в цистерне.

Решение. Округляя до целого сантиметра, получим высоту налива 275 см. По Таблицам калибровки для цистерны типа 72 этой высоте соответствует объем равный 69191 дм<sup>3</sup>.

Масса нефтепродукта в определенном выше объеме (69191 дм<sup>3</sup>) может быть рассчитана:

1. На основе фактической плотности  $\rho_\phi$ , измеренной денсиметром одновременно с определением высоты налива. Если  $\rho_\phi = 0,7590$  г/дм<sup>3</sup>, то масса  $Q_{Tp}$ , нефтепродукта составит

$$Q_{Tp} = V \times \rho_\phi = 69191 \times 0,7590 = 52516 \text{ кг.}$$

2. На основе фактической температуры груза, определенной в момент замера высоты налива. Если  $t_\phi = 31^\circ\text{C}$ , паспортная плотность  $\rho_{20} = 0,7680$  г/дм<sup>3</sup>, а температурная поправка  $\alpha = 0,000818$  г/дм<sup>3</sup> · 0°C (в соответствии с Таблицами калибровки и паспортной плотностью), то масса груза составит

$$Q = 69191 \cdot [0,7680 - (31 - 20) \cdot 0,000818] = 52516 \text{ кг.}$$

Вязкость определяет текучесть нефтепродуктов и оказывает существенное влияние на условия выполнения операций по сливу и наливу из железнодорожных цистерн. Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость, каждая из которых имеет свои сферы применения. При определении времени на слив и налив нефтепродуктов пользуются понятием – условной вязкости, которая определяется в условных единицах – градусах Энглера (условной вязкости °ВУ). Эта величина показывает отношение времени истечения нефтепродукта в объеме 200 см<sup>3</sup> при температуре 50°C ко времени

истечения дисциллированной воды того же объема при температуре 20°С. По условной вязкости нефтепродукты делятся на 4 группы: в холодное время года продолжительность слива каждой из последующих групп в сравнении с предыдущей увеличивается на два часа, при норме для первой группы – слабовязких – четыре часа [13].

*Температурные характеристики* включают следующие показатели: температура плавления (застывания) для нефтепродуктов изменяется от -80°С (для некоторых бензинов) до +150°С (для битумов и пека); характеризует температурные пределы применения топлива без предварительного подогрева, которые должны быть выше температуры плавления на 10°С;

температура вспышки зависит от химического состава нефтепродуктов и характеризует его пожарную опасность: по температуре вспышки нефтепродукты делятся на две группы: легковоспламеняющиеся (до 45°С) и горючие (более 45°С); температура вспышки определяет предельно допустимую температуру разогрева нефтепродуктов перед производством операций по сливу и наливу, которая должна быть не менее чем на 10°С ниже температуры вспышки;

пределы взываемости определяют минимальное (нижний предел) и максимальное (верхний предел) содержание паров нефтепродуктов в воздухе, способных взорваться при воздействии открытого огня; зона взываемости лежит в пределах 1-10%; пределы взываемости могут определяться также температурой, при которой произойдет взрыв, при этом нижний предел взываемости соответствует температуре вспышки.

*Испаряемость* – способность жидкости переходить в газообразное состояние: наибольшая испаряемость характерна для бензинов. Это свойство определяет размеры потерь при хранении, транспортировке, при наливе и сливе. При этом теряется количество и качество нефтепродуктов.

*Упругость насыщенных паров* – особо важное свойство, которое необходимо учитывать при перекачке нефтепродуктов насосами и при самотечном сливе (на сифонных участках). При высокой упругости паров происходит выкипание жидкости, образующиеся при этом газовые пробки нарушают непрерывность потока (разрыв струи) и препятствуют сливу.

*Электризация* – способность нефти и нефтепродуктов, являющихся диэлектриками, накапливать электрические заряды. Наиболее часто такое явление наблюдается при движении нефтепродуктов по трубопроводам, резиновым наливным шлангам, а также при трении капель или струи нефтепродуктов о воздух. Заряды

статического электричества выносятся вместе с нефтепродуктами в цистерну и там накапливаются; появляется возможность искрового разряда. Для предупреждения возможных взрывов и пожаров необходимо обязательное заземление наливной эстакады.

**Коррозионность** – способность оказывать разрушающее действие на металлы, обуславливается наличием в нефти и нефтепродуктах сернистых соединений, водорастворимых минеральных кислот, щелочей, воды и других агрессивных веществ.

**Токсичность** характеризуется вредным воздействием нефтепродуктов на организм человека, приводит к необходимости ограничения допустимого содержания паров в воздухе рабочей зоны. Превышение нормативной концентрации может привести к острым и хроническим отравлениям.

**4.2.2. Расчет оптимальной температуры налива светлых нефтепродуктов.** Для обеспечения рационального использования грузоподъемности и вместимости цистерны при перевозке ряда светлых нефтепродуктов и особенно автомобильных бензинов и авиационных керосинов, а также для предотвращения аварийных ситуаций необходимо правильно выбирать оптимальную температуру налива.

При расчете оптимальной температуры налива необходимо учитывать:

- свойства нефтепродуктов (плотность, температурное расширение, испарение, взрывоопасность);

- температуру воздуха в пункте налива, в пути следования и в пункте слива;

- характеристику цистерны (наличие предохранительного клапана и удельной объем котла, м<sup>3</sup>/т, (особенно если он больше единицы)).

Температура груза в момент налива в цистерну в пункте отправления достаточно часто превышает 70-90° С (максимально допустимая 100° С), что часто связано с коротким периодом хранения нефтепродуктов после завершения технологических процессов производства.

В процессе перевозки температура груза в цистерне изменяется в зависимости от температуры окружающего воздуха и ее суточных колебаний, а также под воздействием таких климатических факторов как солнечная радиация, сильный ветер, атмосферные осадки. При этом необходимо отметить, что верхняя зона нефтепродуктов в цистерне (около 10% общего объема) нагревается выше максимальной температуры окружающего воздуха на 8-10° С вследствие солнечной

радиации. Нижняя зона (20% от объема) подвержена менее сильным температурным колебаниям, так как на нее оказывает воздействие только наружный воздух. В центральной части (70% от объема) температура меняется незначительно и может быть принята в качестве температурного режима всей массы груза.

Максимальную температуру центральной части нефтепродукта определяют по эмпирической формуле

$$t_{MAX}^B = 0,87 t_{MAX}^B$$

где  $t_{MAX}^B$  - максимальная температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

0,87 - коэффициент, учитывающий климатические условия и дальность перевозки.

Массу груза, налитого в цистерну при начальной температуре  $Q_{OT}$  и при максимальной температуре  $Q_{MAX}$  в пути следования можно определить по формуле

$$Q_{OT(MAX)} = V_{MAX} [\rho_{20} - (t_{OT(MAX)} - 20) \cdot \alpha],$$

где  $V_{MAX}$  - максимально допустимый объем груза в цистерне, зависит от типа цистерны и свойств груза,  $\text{m}^3$ ;

$\rho_{20}$  - плотность нефтепродукта при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{t/m}^3$ ;

$t_{OT(MAX)}$  - соответственно температура налива груза, предложенная отправителем и максимальная температура в пути следования,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha$  - температурная поправка плотности,  $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Экономия погрузочных ресурсов за месяц в результате уменьшения температуры налива груза в пункте отправления составит:

$$\Delta N = (Q_{MEC} / Q_{OT}) - (Q_{MEC} / Q_{MAX}),$$

где  $Q_{MEC}$  - объем отправления груза за месяц, т.

Экономия эксплуатационных расходов железной дороги на перевозку при повышении статической нагрузки цистерны

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta N [L_{PER}(1 + \alpha_{POR}) C_{BKM} + 2\tau_{TP} \times C_{B^Q}],$$

где  $L_{PER}$  - дальность перевозки, км;

$\alpha_{ПОР}$  - коэффициент порожнего пробега цистерны.  $\alpha_{ПОР} = 0,4$ ;

$\tau_{TP}$  - средняя продолжительность простоя цистерны на станции налива или слива, ч;  $\tau_{TP} = 25$  ч;

$C_{BKM}$ ,  $C_{BЧ}$  - условно сопоставимая стоимость одного вагонно-километра и одного вагонно-часа простоя в части зависящей от размера движения.

$$C_{BKM} = 1 \text{ руб/в-км}, C_{BЧ} = 10 \text{ руб/в-ч}.$$

На основании приведенной выше методики необходимо рассчитать технические и экономические показатели перевозки нефтепродуктов с оптимальной температурой. Исходные данные принимаются по табл. 4.2 в соответствии с номером варианта, заданным преподавателем и состоящим из двух цифр, первая из которых относится к характеристике груза, а вторая к характеристике условий налива и перевозки.

Таблица 4.2  
Исходные данные к расчету температуры налива

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Характеристика груза						
Объем отправления, $Q_{МЕС}$ , тыс. т/мес.	50,1	48,4	63,1	65,2	55,4	66,7
Плотность нефтепродукта. $\rho_{20}$ , т/м <sup>3</sup>	0,69	0,75	0,80	0,77	0,81	0,71
Температурная поправка, $\alpha \cdot 10^{-4}$ , т/(м <sup>3</sup> · °C)	9,10	8,31	7,52	7,92	7,25	8,28
Характеристика условий налива и перевозки						
Температура налива при отправлении, $t_{от}$ , °C	80	95	85	75	73	82
Максимальная температура воздуха в пути следования, $t_{MAX}^B$ , °C	43	27	41	38	40	29
Максимальный объем цистерны, $V_{MAX}$ , м <sup>3</sup>	40,5	49,6	50,2	50,3	48,8	50,2
Расстояние перевозки $L_{пер}$ , км	1000	1500	1900	1700	800	950

**4.2.3. Расчет потерь светлых нефтепродуктов от испарения при наливе.** Налив цистерн может производиться следующими способами: открытой струей (патрубок опущен на некоторую часть диаметра котла цистерны), закрытой струей (конец патрубка находится на расстоянии 0,1 м от нижней образующей котла).

Для выбора экономически целесообразного способа налива необходимо произвести расчет потерь нефтепродуктов от испарения. Исходные данные к расчету приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Исходные данные к расчету потерь от испарения

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Характеристика груза						
Паспортное давление насыщенных паров $P_{38} \cdot 10^3$ , Па	62,7	58,1	49,0	58,8	68,6	78,4
Молекулярная масса, $M$ , кг/моль	91	104	110	96	115	100
Условия налива						
Температура налива $t_H$ , °C	17	20	18	25	16	19
Время налива $\tau_H$ , ч	0,5	0,6	0,7	0,55	0,48	0,4
Атмосферное давление $P_I \cdot 10^3$ , Па	101,3	101,3	100,7	101,4	101,6	101,4
Диаметр цистерны $D_u$ , м	2,6	2,8	2,2	2,8	2,6	2,2
Объем груза в цистерне $V_u, \text{м}^3$	49,5	59,0	80,8	60,4	49,7	48,3

Потери от испарения в процессе налива рассчитываются по формуле [18]:

$$P = K \cdot V_u \cdot \rho_P \cdot P_s / P_I,$$

где  $V_u$  – объем налитого продукта,  $\text{м}^3$ ;

$P_s$  – давление насыщенных паров нефтепродукта, зависящее от температуры, Па;

$P_I$  – давление в газовом пространстве (атмосферное давление), Па;

$\rho_P$  – плотность паров нефтепродукта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$K$  – коэффициент, учитывающий условия налива цистерны.

Коэффициент, учитывающий условия налива, определяется при наливе:

$$\text{открытой струей } K_{OT} = (0,7 + \tau_H^{0,33})^{-1};$$

$$\text{закрытой струей } K_{ZAK} = 0,85 \cdot \sqrt{\tau_H} / D_{II},$$

где  $\tau_H$ ,  $D_{II}$  - время налива, ч, диаметр котла цистерны, м.

Давление насыщенных паров нефтепродуктов при температуре налива  $t_H$  и паспортном давлении насыщенных паров  $P_{38}$  (при  $t = 38^0\text{C}$ ) рассчитывается из выражения

$$P_S = 0,98(t_H / 38)^{0,68} \cdot P_{38}.$$

Плотность паров нефтепродуктов составляет

$$\rho_P = MP_T / (\bar{R}T_T),$$

где  $M$  – молекулярная масса нефтепродуктов, кг/моль;

$\bar{R}$  - универсальная газовая постоянная,  $\bar{R} = 8314 \text{ Дж/(кмоль}\cdot\text{К)}$ ;

$T_T$  – абсолютная температура газового пространства, К.

Далее определяются потери при наливе открытой и закрытой струей и делаются выводы.

**4.2.4. Способы и средства подогрева и слива вязких нефтепродуктов.** Наиболее часто для подогрева вязких нефтепродуктов перед сливом из железнодорожных цистерн используются следующие способы: подогрев переносными паровыми трубчатыми подогревателями, подогрев открытым острым паром и циркуляционный подогрев одноименными горячими нефтепродуктами [17]. Другие существующие способы и средства подогрева (вibrationный, электроиндуктивный, с помощью тепловых излучателей) имеют сложную конструкцию, большой расход энергии и высокую стоимость, что делает их неконкурентоспособными.

Переносные трубчатые паровые подогреватели могут быть змеевиковые и гидромеханические, они предназначены для подогрева всей массы нефтепродуктов в цистерне перед сливом.

Змеевиковый трубчатый паровой подогреватель состоит из трех секций, соединенных между собой отрезками гибкого прорезиненного шланга. Центральная секция – прямой вертикальный змеевик, две

боковые секции спиральные змеевики с изгибом оси спирали под углом  $40^{\circ}$  к горизонту. Эти подогреватели имеют большой вес ( $\approx 150$  кг), что обуславливает необходимость установки на сливо-наливной эстакаде специальных средств механизации (кран-укосина с лебедкой) для опускания подогревателя в цистерну и его извлечения после разогрева и слива продукта. Поверхность змеевиков ( $\approx 11,8$  м<sup>2</sup>) и низкий коэффициент теплопередачи требует значительного времени на разогрев, большого расхода тепловой энергии, но не обеспечивает требуемой полноты слива.

После слива необходима промывка цистерны, особенно в случае использования этой цистерны под налив другого вида груза (после мазута – бензин).

Более совершенным типом трубчатого парового подогревателя является паровой гидромеханический подогреватель с четырьмя шnekовыми насосами (П ГМП-4), предназначенный для подогрева вязких нефтепродуктов при сливе из железнодорожных цистерн на пунктах имеющих расход пара 500 кг/ч и более. Такой подогреватель работает на принципе принудительной конвекции подогреваемых нефтепродуктов и позволяет производить слив основной массы жидкости одновременно с подогревом, что сокращает затраты энергии и времяостоя цистерны под сливом по сравнению со змеевиковыми в 2-3 раза. однако погружение установки П ГМП-4 в цистерну является трудоемкой операцией. Существуют и другие модели гидромеханических подогревателей.

Подогрев острый паром с последующей пропаркой цистерны после слива состоит в следующем: пар в цистерну подается через гибкие шланги, перфорированные трубы (прогревы), инжекторы и другие устройства, которые вводятся в цистерну через верхнюю горловину и располагают их преимущественно в центральной части котла, вблизи от сливного отверстия. Подогретый продукт, перемешанный с паром сливается, часть пара выходит на поверхность жидкости, обогревает верхнюю часть котла и уходит в атмосферу. Одновременно происходит пропарка освободившейся части котла. В процессе подогрева нефтепродукта происходит его частичное обводнение (1,5-2,0%), которое требует отстаивания подогретой смеси и слив подтоварной воды.

Сущность циркулярного подогрева вязких нефтепродуктов заключается в том, что часть продукта из цистерны попадает (сливается) в теплообменник, подогревается и через специальные сопловые устройства закачивается снова в цистерну, интенсивно перемешивается с

жидкостью отдавая ей тепло. Существуют различные модификации и устройства для циркулярного подогрева.

**4.2.5. Расчет количества пара для разогрева вязких нефтепродуктов.** Продолжительность слива нефтепродуктов из цистерны зависит от многих факторов и в первую очередь от вязкости сливаляемого продукта и его температуры. При нагреве нефтепродуктов их вязкость понижается, что обеспечивает значительное уменьшение продолжительности слива и минимальные остатки груза в цистерне. Количество пара потребное для разогрева до необходимой температуры и слива груза в заданный период времени зависит от свойств груза, содержания парафина, условий разогрева и температуры окружающей среды, от способности цистерны сохранять полученное тепло. Исходные данные к расчету см. табл. 4.4.

Общее количество тепла ( $D_T$ , кДж) для разогрева нефтепродуктов в одной цистерне определяется из выражения

$$D_T = q_{\pi} \cdot Q + q_{\text{пот}} \cdot \tau_p,$$

где  $q_{\pi}$  - количество тепла, полезно затрачиваемое на разогрев 1 кг нефтепродукта, кДж/кг;

$Q$  - масса груза в цистерне, кг;

$q_{\text{пот}}$  - количество тепла, теряемое при разогреве через поверхность котла, кДж/ч;

$\tau_p$  - продолжительность разогрева, ч.

Количество тепла, полезно затрачиваемого на разогрев 1 кг нефтепродуктов зависит от температуры груза до ( $t_H$ ) и после ( $t_K$ ) разогрева и от содержания парафина в грузе (кДж/кг)

$$q_{\pi} = (t_K - t_H) C_{H\pi} + 0,01a \times C_{\pi\pi},$$

где  $C_{H\pi}$  - теплоемкость нефтепродукта,  $C_{H\pi} = 2,1$  кДж/(кг·°С);

$a$  - содержание парафина в нефтепродукте, %;

$C_{\pi\pi}$  - теплота плавления парафина,  $C_{\pi\pi} = 210$  кДж/кг.

Потери тепла при разогреве определяются площадью поверхности цистерны, температурой окружающего воздуха и коэффициентом теплопередачи (кДж/ч)

$$q_{\text{пот}} = S_{\Pi} \cdot \alpha_{\Pi} (t_{CP} - t_B) \times 3,6,$$

где  $S_{\Pi}$  - охлаждающая поверхность цистерны, м<sup>2</sup>;

$\alpha_{\Pi}$  - коэффициент теплопередачи от нефтепродуктов через стенки цистерны в окружающий воздух, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$t_{CP}, t_B$  - соответственно средняя температура нефтепродукта в течение всего процесса подогрева и температура окружающего воздуха, °C.

При расчетах принимаем  $t_{CP} = (2/3) \times t_K + (1/3) \times t_H$ .

Для подогрева высоковязких и застывших нефтепродуктов используют различные теплоносители: водяной пар, горячие нефтепродукты и электроэнергию. Водяной пар является наиболее удобным и распространенным теплоносителем, т.к. обладает большим теплосодержанием, высоким коэффициентом теплопередачи, обеспечивая необходимую пожаробезопасность.

Расход перегретого пара с температурой 240°C при теплосодержании пара 2850 кДж/кг и конденсата 940 кДж/кг (при разогреве) составит:

при разогреве открытым паром

$$D_{\Pi} = D_T / J,$$

при разогреве с переносными змеевиками

$$D_{\Pi} = D_T / (J - i),$$

где  $J$  – теплосодержание пара,

$i$  – теплосодержание конденсата.

Таблица 4.4

Исходные данные к расчету количества пара

Показатели	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Характеристики груза						
Масса груза $Q \cdot 10^3$ , кг	49,3	56,7	51,8	60,1	45,3	51,5
Содержание парафина, $a$ , %	3,0	3,2	4,0	4,5	5,0	5,4
Температура груза, $t_H$ , $^{\circ}\text{C}$	0	1	-5	-7	2	-9
Температура груза после разогрева $t_K$ , $^{\circ}\text{C}$	48	52	50	50	49	48
Условия разогрева						
Поверхность котла цистерны $S_H$ , $\text{m}^2$	50	50	60	60	50	60
Коэффициент теплопередачи стенок цистерны $\alpha_H$ , $\text{Bt}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$	8,14	8,14	8,14	8,14	8,14	8,14
Температура наружного воздуха $t_B$ , $^{\circ}\text{C}$	-3	5	-10	-12	7	-15
Время разогрева $\tau_P$ , ч	6	5	6	8	4	6

## **Контрольные вопросы**

1. Какие грузы называются наливными и на какие основные группы они делятся ?
2. По какому признаку происходит деление нефтепродуктов на светлые и темные ?
3. Назовите основные группы химических наливных грузов.
4. Каким документом регламентируются правила перевозок опасных грузов?
5. В каком физическом состоянии могут перевозиться грузы, относящиеся к группе «газы» ?
6. Какими специфическими свойствами характеризуются грузы, относящиеся к группе «растительные масла» ?
7. Какие основные свойства характеризуют нефтепродукты и влияют на сохранность груза, вагона и окружающую среду ?
8. Как может быть определена масса нефтепродуктов в цистерне?
9. Какие характеристики нефтепродуктов относятся к температурным и как они влияют на условия использования нефтепродуктов в производственных процессах ?
10. Какое свойство светлых нефтепродуктов значительно влияет на количественные и качественные потери этого груза при транспортировании и хранении ?
11. От каких факторов зависит оптимальная температура налива нефтепродуктов в цистерну ?
12. Назовите основные конструкционные особенности специальных цистерн для перевозки отдельных видов наливных грузов ?
13. Что такое теневая защита и для перевозки каких грузов она необходима ?
14. Назовите основные способы налива и слива нефтепродуктов, а также условия их использования.
15. Какие способы подогрева вязких и застывающих грузов могут быть использованы для сокращения продолжительности их слива из цистерны ?
16. От каких факторов зависит расход пара для разогрева вязких нефтепродуктов ?

## **Список литературы**

1. Сборник правил перевозок грузов на железнодорожном транспорте. Кн.1. М.: Юридическая фирма «Контракт», 2001. 599 с.
2. Прейскурант №10-01
3. Технические условия погрузки и крепления грузов. М.: Транспорт, 1989. 408 с.
4. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Альбом-справочник/МПС РФ, ПКБЦВ. 1998. 238 с.
5. Пашков А.К., Полярин Ю.Н. Пакетирование и перевозка тарно-штучных грузов. М.: Транспорт, 2000. 256 с.
6. Корниачев А.И. Использование аппроксимации экспериментальных динамических характеристик амортизационных материалов для расчета прокладок // Экономические и научно-технические проблемы производства и использования тары: сб. науч. тр./НИИМС. 1981. Вып. XVIII. С.97-105
7. Данилевский В.А. Картонная и бумажная тара. М.: Лесная промышленность, 1979. 215 с.
8. Павлов А.Н., Цыганова В.Н. Упаковка, транспортирование, хранение машин и оборудования. М.: Машиностроение, 1984. 151 с.
9. Инструкция по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств-участников СНГ, Латвийской республики. Литовской республики, Эстонской республики. М.: Желдоркнига, 2001. 192 с.
10. Лепнев М.К., Северинова О.П. Грузы и мороз. М.: Транспорт, 1988. 144 с.
11. Перевозка смерзающихся грузов. Справочник / Под ред. Ю.А. Носкова. М.: Транспорт. 1988. 206 с.
12. Грузоведение, сохранность и крепление грузов. / Под ред. А.А. Смехова. М.: Транспорт. 1989. 247 с.
13. Правила перевозок грузов. Часть 2. М.: Транспорт. 1976. 192 с.
14. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам. М.: Транспорт. 1996. 254 с.
15. Таблицы калибровки железнодорожных цистерн. М.: Транспорт - Трансинфо, 1997, 112 с.
16. Цистерны: Устройство. Эксплуатация. Ремонт. Справочное пособие. М.: Транспорт. 1990. 152 с.
17. Способы и средства налива (слива) нефтепродуктов в железнодорожные и автомобильные цистерны (Серия транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья) М.: 1985. 69 с.
18. Борьба с потерями нефти нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Ф.Ф. Арбузова, Н.С. Бронштейн, В.Ф. Новосёлов и др. М.:Недра, 1981. 248 с

# **СОДЕРЖАНИЕ**

Предисловие .....	3
-------------------	---

## **1. Основные понятия о грузах**

1.1. Транспортная характеристика груза. Обобщенная классификация грузов.....	4
1.2. Нормативные документы, регламентирующие основные правила и условия перевозок грузов.....	5

## **2. Тарно-упаковочные и штучные грузы**

2.1. Основные понятия. Способы перевозок .....	8
2.1.1. Классификация тарно-упаковочных и штучных грузов .....	8
2.1.2. Упаковка грузов .....	8
2.1.3. Пакетирование тарно-упаковочных и штучных грузов .....	10
2.1.4. <i>Рассчитать схему укладки грузов в транспортный пакет на поддоне и его скрепление.</i> .....	11
2.2. Подготовка к перевозке и размещение тарно-упаковочных грузов в контейнерах и крытых вагонах....	14
2.2.1. Выбор материалов и расчет амортизирующих прокладок.....	14
2.2.2. Картонная транспортная тара. Расчет прочности ..	17
2.2.3. <i>Разработать схему размещения непакетированных грузов в контейнере.</i> .....	19
2.2.4. <i>Разработать схему размещения непакетированных грузов в крытом вагоне .....</i>	23
2.3. Подготовка к перевозке и обеспечение сохранности тяжеловесных тарно-штучных грузов.....	28
2.3.1. Условия перевозок, хранения и категории упаковок.....	28

2.3.2.	Крупногабаритная транспортная тара, особенности конструкции, условия строповки.....	29
2.3.3.	Способы и средства консервации.....	31
2.4.	Негабаритные грузы .....	34
2.4.1.	Общие положения.....	34
2.4.2.	<i>Определение зоны и степени негабаритности груза.....</i>	35
2.4.3.	<i>Определение расчетной негабаритности.....</i>	38

### **3. Насыпные и навалочные грузы**

3.1.	Транспортная характеристика. Классификация .....	43
3.2.	Профилактика и восстановление сыпучести смерзающихся грузов .....	44
3.2.1.	Смерзающиеся грузы. Общие понятия .....	44
3.2.2.	Подготовка к перевозке смерзающегося груза .....	45
3.2.3.	<i>Рассчитать показатели смерзшегося груза.....</i>	45
3.2.4.	<i>Исследовать зависимость температуры и прочности смерзшихся слоев груза от глубины их заст-гания внутри вагона .....</i>	49
3.2.5.	<i>Рассчитать продолжительность разогрева смерзшегося груза .....</i>	51
3.2.6.	<i>Рассчитать продолжительность рыхления смерзшегося груза.....</i>	54
3.3.	Обеспечение сохранности насыпных грузов .....	57
3.3.1.	Основные причины потерь насыпных грузов при перевозке.....	57
3.3.2.	<i>Расчет потерь и эффективности защиты насыпных грузов от выдувания .....</i>	58
3.3.3.	<i>Необходимость и эффективность защиты насыпных грузов от просыпания.....</i>	61

### **4. Наливные грузы**

4.1.	Общая классификация и основные понятия .....	65
4.1.1.	Нефтепродукты. Виды и назначения .....	65

4.1.2. Наливные химические грузы, характеристика и свойства .....	66
4.1.3. Наливные пищевые продукты, основные свойства .....	68
4.1.4. Конструкционные особенности цистерн.....	70
4.2. Особенности перевозок, условия налива и слива нефтепродуктов .....	72
4.2.1. Транспортная характеристика нефтепродуктов ....	72
4.2.2. Расчёт оптимальной температуры налива светлых нефтепродуктов .....	77
4.2.3. Расчет потерь светлых нефтепродуктов от испарения при наливе .....	80
4.2.4. Способы и средства подогрева и слива вязких нефтепродуктов.....	81
4.2.5. Расчет количества пара для разогрева вязких нефтепродуктов.....	83
Список литературы .....	85

Св. план 2003г., поз. 92

Татьяна Викторовна Демянкова

Грузоведение  
(Учебное пособие)

---

Подписано в печать - 0.06.03 Формат 60x84/16 Тираж 200 эк.

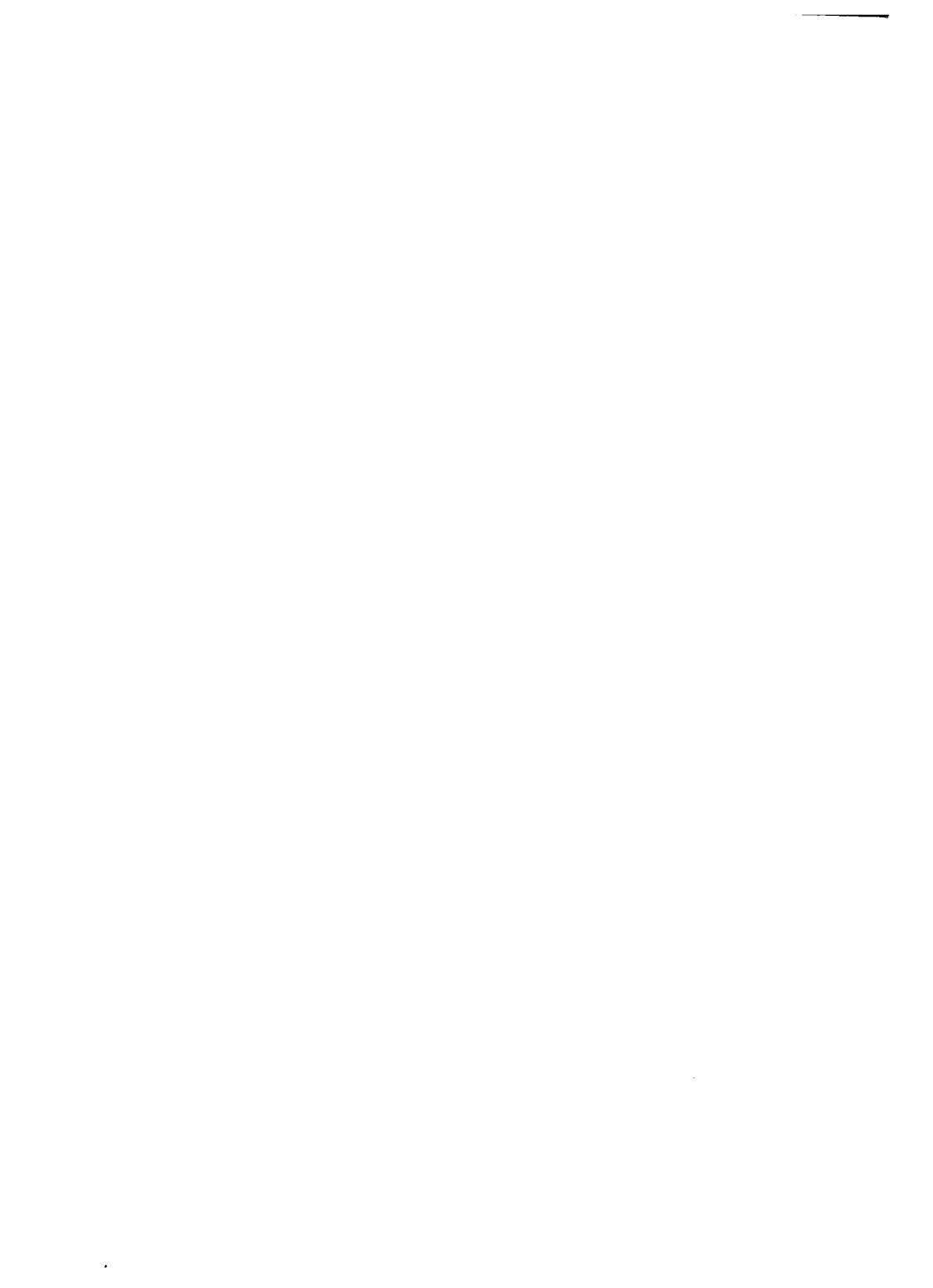
Усл. печ.л 5,5

Цена – 35 руб. 50 коп.

Заказ - 623.

---

127994, Москва, ул. Образцова, 15. Типография МИИТа



**Цена – 35 руб. 50 коп.**  
**(по себестоимости)**