

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

**П.В. КОВАЛЕНКО
В.К. ЛИПСКИЙ
З.С. ТЕРЯЕВА**

**УПАКОВЫВАНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ
ВЫСОКОЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Новополоцк
ПГУ
2008

УДК [655:622.692.4.052] 519.865

ББК 35.514

К56

Одобрено и рекомендовано к изданию советом учреждения образования
«Полоцкий государственный университет» (протокол № 6 от 29.02.2008)

Рецензенты:

Е.В. КОРОБКО, доктор технических наук, профессор

зав. лабораторией реофизики и макрокинетики

ГНУ «Институт тепло-массопереноса им. А.В. Лыкова» НАН Б;

П.Л. ФАЛЮШИН, доктор технических наук, профессор

ГНУ «Институт проблем использования природных ресурсов и экологии» НАН Б

Коваленко, П. В.

К56 Упаковывание и транспортирование высокозастывающих нефтепродуктов / П. В. Коваленко, В. К. Липский, З.С. Теряева. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – 172 с.

ISBN 978-985-418-535-4.

Рассмотрены свойства и область применения высокозастывающих нефтепродуктов. Приведена классификация высокозастывающих нефтепродуктов, в том числе по их участию в транспортном процессе. Освещены вопросы по материалам, используемым для упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов, технологическим схемам и оборудования для их упаковывания.

Показаны пути повышения эффективности работы оборудования для упаковывания, транспортирования высокозастывающих нефтепродуктов и минимизации экологического воздействия их на окружающую среду.

Книга предназначена для инженерно-технических работников нефтехимического комплекса.

УДК [655:622.692.4.052] 519.865

ББК 35.514

ISBN 978-985-418-535-4

© Коваленко П.В., Липский В.К., Теряева З.С., 2008

© УО «Полоцкий государственный университет», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений	5
Введение.....	7
Глава 1. Свойства высокозастывающих нефтепродуктов	11
1.1. Классификация высокозастывающих нефтепродуктов.....	11
1.2. Состав, физико-химические свойства и область применения высокозастывающих нефтепродуктов	17
1.2.1. Битумы.....	18
1.2.2. Парафины	25
1.2.3. Церезины	27
1.2.4. Вазелины	30
1.2.5. Петролатум.....	31
1.2.6. Воски.....	31
1.2.7. Заливочные и прошпарочные композиции.....	37
1.2.8. Мазуты.....	37
Глава 2. Упаковывание высокозастывающих нефтепродуктов	39
2.1. Упаковочные материалы и тара для высокозастывающих нефтепродуктов	39
2.2. Основные схемы упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов.....	40
2.3. Промышленные технологии и оборудование для упаковывания битумов.....	48
2.4. Промышленные технологии и оборудование для упаковывания парафинов.....	63
Глава 3. Транспортирование высокозастывающих нефтепродуктов....	67
3.1. Проблемы транспортирования битумов и парафинов.....	67
3.2. Транспортный процесс нефтепродуктов	76
Глава 4. Экологические аспекты упаковывания битумов	81
4.1. Экологические проблемы упаковывания и транспортирования твердых высокозастывающих нефтепродуктов.....	81
4.2. Выбросы бенз-а-пирена от битумных установок.....	83
4.2.1. Выбросы бенз-а-пирена от печей дожига битумных установок	83
4.2.2. Выбросы бенз-а-пирена от сливных устройств битумной установки	87
4.3. Экологические проблемы при использовании полиэтиленовой пленки для упаковывания битумов.....	89
4.4. Оценка загрязнения воздушной среды при использовании бумажной и полиэтиленовой тары для упаковывания битума	91

Глава 5. Исследование процессов охлаждения битума при упаковывании в полиэтиленовую пленку	95
5.1. Обоснование выбора технологии упаковывания битума в полиэтиленовую пленку	95
5.2. Определение времени охлаждения битума, упакованного в полиэтиленовую пленку, до заданной температуры.....	100
5.3. Оборудование и методика экспериментальных исследований процесса охлаждения битума.....	108
5.4. Обработка данных экспериментальных исследований	117
5.5. Разработка метода расчета параметров опытно-промышленной установки по упаковыванию битума в полиэтиленовую пленку	124
Глава 6. Исследование свойств битумно-полимерных композиций ...	129
6.1. Исследование композиций на основе строительного битума.....	130
6.2. Анализ свойств модифицированного битума марки БН 90/10	132
6.3. Исследование композиций на основе дорожных битумов ..	134
6.4. Реологические свойства битумно-полимерных композиций	138
6.5. Расчет размеров полиэтиленовой оболочки, брюкета битума и расхода полиэтиленовой пленки.....	142
Глава 7. Разработка технологий и оборудования для упаковывания битума и парафина в полиэтиленовую пленку	145
7.1. Технологические схемы упаковывания битума и парафина в полиэтиленовую пленку	145
7.2. Оптимальные параметры установок по упаковыванию битума в рукавную полиэтиленовую пленку	153
Заключение	162
Литература	164

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВЗНП	—	высокозастывающие нефтепродукты
ТВЗНП	—	твердые высокозастывающие нефтепродукты
ПЭВД	—	полиэтилен высокого давления
НГЗ	—	нефтеперерабатывающие заводы
НХК	—	нефтехимические комбинаты
КТГТ	—	контейнерный трубопроводный гидротранспорт
ТПКС	—	трубопроводные поточно-контейнерные системы
КПТ	—	контейнерный пневмотранспорт
ЖД	—	железнодорожный транспорт
АТ	—	автомобильный транспорт
ТТ	—	трубопроводный транспорт
ВД	—	водный транспорт
ТП	—	транспортный процесс;
ГСМ	—	горюче-смазочный материал
ПАУ	—	полициклические ароматические углеводороды
ПДК	—	предельно допустимая концентрация
БП	—	бенз- α -пирен
ACEA	—	Ассоциация европейских изготовителей автомобилей
API	—	Американский институт нефти
ASTM	—	Американская ассоциация испытаний и материалов
ATC	—	Технический комитет изготовителей присадок к нефтепродуктам в Европе
ATIEL	—	Техническая ассоциация европейских производителей смазочных материалов
SEC	—	Европейский координационный Совет по разработке мето- дов испытаний смазочных материалов и топлив для двигате- лей (Европейский координационный совет)
CCMC	—	Комитет изготовителей автомобилей общего рынка (в на- стоящее время – ACEA)
DIN	—	Немецкие промышленные нормы
ILSAC	—	Международный комитет по стандартизации и одобрению смазочных материалов
ISO	—	Международная ассоциация по стандартизации
IP	—	Институт нефти (Англия)
NLGI	—	Национальный институт смазок (США)
SAE	—	Общество инженеров-автомобилистов

c	—	удельная теплоемкость, Дж/кг·К
ρ	—	плотность материала, кг/м ³
α	—	коэффициент температуропроводности, м ² /с
λ	—	коэффициент теплопроводности, Вт/м·К
a	—	коэффициент теплоотдачи, Вт/м ² ·К
x	—	текущая координата, м
R	—	координаты поверхности, м
δ	—	толщина упаковочной пленки, м
δ_{cl}	—	толщина слоя затвердевшего битума, м
t	—	текущая температура, °С
t_0	—	начальная температура, °С
t_s	—	температура застывания битума, °С
t_c	—	температура охлаждающей среды, °С
τ	—	время, с
θ	—	относительная температура;
F_{ox}	—	критерий Фурье при начале координат на поверхности
Bi	—	критерий Био
μ_n	—	корни характеристического уравнения
Nu	—	критерий теплоотдачи Нуссельта
C_r	—	критерий подъемной силы Грасгофа
Pr	—	критерий физических свойств Прандтля
Re	—	критерий Рейнольдса
ν	—	кинематическая вязкость, м ² /с
μ	—	динамическая вязкость, Па·с

ВВЕДЕНИЕ

В развитии многих отраслей промышленности: химической, машиностроительной, строительной, пищевой и других, важную роль играют высокозастывающие нефтепродукты (ВЗНП).

Высокозастывающими называются нефтепродукты, у которых температура размягчения (застывания) значительно выше температуры окружающей среды. К ним относятся:

- битумы и их модификации с различными добавками;
- твёрдые нефтяные парафины и их композиции с церезинами и восками;
- мазуты;
- некоторые сорта сырой нефти.

Высокозастывающие нефтепродукты представляют собой сложные коллоидные (дисперсные) системы. В зависимости от температуры нагрева ВЗНП резко меняют свои структурно-механические свойства и реологические характеристики.

Все ВЗНП получают и потребляют при высоких температурах в горячем жидким виде; перевозят их как в жидком, так и твердом состоянии. Для транспортирования ВЗНП используется трубопроводный, железнодорожный, автомобильный и водный транспорт.

Транспортирование ВЗНП в жидком виде осуществляется с использованием специализированных транспортных средств – железнодорожных и автомобильных цистерн с терmostатированием и обогревом.

Транспортирование ВЗНП при температуре окружающей среды в твердом состоянии осуществляется с использованием различных упаковочных материалов и тары.

Во всех случаях, как в производстве ВЗНП, так и на стадии их транспортирования и применения, определяющими для организации транспортного процесса таких нефтепродуктов в твердом состоянии являются процессы образования твердой фазы, связанные с формированием пространственной дисперсной структуры.

Для обеспечения транспортного процесса ВЗНП в твёрдом состоянии необходимо осуществить их формование в виде определённого конечного объёма. При этом любые схемы формования включают в себя теплообменные процессы, направленные на охлаждение продуктов до температуры, обеспечивающей их переход в твёрдое состояние и необходимые условия транспортирования. Исследование этих процессов важно для оптимизации конструктивных и режимных параметров работы оборудования, для усовершенствования технологий хранения, транспортирования и потребления, направленных на ресурсо- и энергосбережение, охрану окружающей среды.

Для транспортирования битума были предприняты попытки использовать и контейнерный трубопроводный гидротранспорт (КТГТ). В настоящее время этот вид транспорта ВЗНП не находит применения.

Перекачка высокозастывающих нефтепродуктов по трубопроводам в горячем состоянии на небольшие расстояния в стационарных условиях осуществляется на нефтеперерабатывающих заводах и нефтехимических комбинатах, а также на предприятиях, изготавливающих рулонные материалы, и асфальтобетонных заводах.

При транспортировании ВЗНП на большие расстояния (экспортные поставки, доставка в отдаленные районы с перевалкой с одного вида транспорта на другой), а также для многочисленных мелких и сезонных потребителей необходимы упакованные и зачастую мелкорасфасованные продукты.

Как правило, упаковывание ВЗНП осуществляется в горячем виде в бумажную тару, бочки, контейнеры и т.д. Используемые в настоящее время виды тары создают большое число проблем на всех стадиях транспортного процесса. Например, при упаковывании битума в бумажную тару в процессе налива может произойти ее разрыв, горячий продукт разливается, создавая опасность для персонала и окружающей среды. При подготовке битума к использованию от него плохо отделяется упаковочная бумага, а её остатки, попадая в битумоплавильные котлы, ухудшают качество битума и мастика. Кроме этого, операции по упаковыванию битума произво-

дятся в условиях вредных испарений, что негативно влияет на здоровье обслуживающего персонала. Процессы упаковывания битумов в бумагу, освобождения их от тары плохо поддаются механизации, поэтому требуют больших затрат ручного труда. Отходы бумаги, битума и вредные испарения служат источником загрязнения окружающей среды.

Металлические бочки применяют, как правило, для перевозки битумов в отдалённые районы Севера и битумов, идущих на экспорт. Утилизация этой тары или её возврат практически невозможны, в то же время её цена превышает стоимость продукта. При сравнительно небольших объёмах битума, перевозимого в бочках, их использование приводит к большим потерям металла и образованию в экологически уязвимых районах бесчисленных свалок использованных бочек.

Потери битума из-за несовершенства используемой тары в странах СНГ достигают 15 %, рубракса – до 40 %.

Упаковывание парафина производится в виде плит, крошки или гранул, т. е. после его охлаждения и затвердевания.

Установки для охлаждения и упаковывания парафина имеют высокую энерго- и металлоёмкость, громоздки и занимают большие производственные площади. При упаковывании сыпучего парафина увеличивается расход тары, происходит слипание частиц при хранении.

Несовершенство используемых в промышленности способов упаковывания и перевозки этих продуктов обусловлено применяемой тарой, которая не удовлетворяет современным требованиям к энергосбережению и защите окружающей среды.

Особую привлекательность в качестве упаковочного материала для упаковывания ВЗНП представляют полимерные материалы, в частности полиэтиленовая пленка – её использование позволяет решить многие из перечисленных выше проблем. Например, при потреблении битум можно закладывать в котёл вместе с тарой, так как добавка полиэтилена улучшает качество битумных мастик, при этом практически исключается загрязнение окружающей среды вреднымиарами и твердыми отходами, отсутствуют потери битума на всех стадиях транспортного процесса, значительно снижаются затраты ручного труда.

Следует заметить, что и в отечественной, и в зарубежной литературе работы, посвященные технологиям и оборудованию для упаковывания ВЗНП, имеются в небольшом количестве и не раскрывают в полной мере сложный вопрос упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов. Эта проблема имеет много специфических аспектов, которые и рассмотрены в предлагаемой монографии.

В книге обобщены материалы разрозненных публикаций и патентных источников, представлен анализ существующего положения дел в области разработки и использования упаковочной техники для ВЗНП, а также перспектив ее развития. Особое внимание удалено энергосбережению и защите окружающей среды. Приведены результаты разработок, выполненных в Полоцком государственном университете (Новополоцкий политехнический институт), по упаковыванию битумов и парафинов в полимерную, в частности полиэтиленовую, пленочную тару. Описан опыт промышленного использования технологии упаковывания строительных битумов в полиэтиленовую пленку.

Глава 1

СВОЙСТВА ВЫСОКОЗАСТАВЛЯЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЫСОКОЗАСТАВЛЯЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Развитие промышленности, транспорта и строительства, рост объемов производства сопровождаются увеличением количества и ассортимента используемых во всех сферах деятельности человека нефтепродуктов, которых в настоящее время насчитывается более тысячи наименований. Из-за большой номенклатуры наименований, широкого спектра физико-химических характеристик и разнообразия областей применения для классификации нефтепродуктов используется широкий ряд разнообразных признаков.

Существует *условное деление* товарных нефтепродуктов на светлые, темные, пластичные смазки и нефтехимические продукты [1]. К светлым нефтепродуктам относят: бензины, керосины, топлива для реактивных и дизельных двигателей; к темным – различные масла, мазуты, битумы.

По *товарной номенклатуре* в зависимости от *назначения* нефтепродуктов различают: топлива, растворители, смазочные масла, пластичные (консистентные) смазки и прочие [2].

По *условиям применения* все товарные нефтепродукты могут быть подразделены на следующие группы: топлива, осветительные керосины и растворители, смазочные материалы и другие [2].

Существует *деление нефтепродуктов по объему их производства и назначению* на топлива, масла, смазки и прочие нефтепродукты [3]. Под понятием прочие (разные) объединяется большой ассортимент нефтепродуктов, не вошедших по своему назначению и физико-химическим характеристикам в группу топлив, масел и смазок. Важнейшими из них, имеющими промышленную значимость, являются битумы, парафины, церезины, вазелины, коксы нефтяные, кислоты нефтяные [3].

Основной состав группы прочих (разных) нефтепродуктов составляют твердые нефтепродукты, к которым относятся нефтяные битумы, коксы, парафины, церезины, вазелины, воски, восковые составы и композиции [4].

Проблемы классификации нефтепродуктов настолько важны, что в рамках технического комитета (ТК 28) Международной организации по стандартизации по этой теме работает отдельный подкомитет (ПК 4) [4].

В международной практике критерием для установления классификации нефтепродуктов принята область применения продукции, а при оп-

ределенных обстоятельствах, когда этот критерий нельзя применить, классификацию проводят по видам продукции [4].

В классах устанавливают наиболее общие свойства, которые моделируют поведение топлив и смазочных материалов в реальных условиях.

В США военные учреждения используют военные спецификации MIL как основы для заказов [4].

Международная классификация, как правило, базируется на национальных классификациях следующих организаций: ACEA, API, ASTM, ATC, ATIEL, CEC, CCMC, DIN, ILSAC, ISO, IP, NLGI, SAE [4].

Международный стандарт ИСО 8681 отражает общую классификацию нефтепродуктов и смазочных материалов (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Общая классификация нефтепродуктов и родственных продуктов по ИСО 8681

Класс	Продукт
F	Топлива
S	Растворители и сырье для химической промышленности
L	Смазочные материалы, индустриальные масла и родственные продукты
W	Парафины
B	Битумы

Системы классификаций, применяемых по каждому классу продуктов, устанавливают в соответствующих международных стандартах [4].

Несмотря на то, что способы транспортирования нефтепродуктов в настоящее время уже во многих случаях отработаны, общезвестные классификации не рассматривают классификацию нефтепродуктов по признаку, характеризующему их участие в транспортном процессе, одной из основных стадий которого является транспортирование нефтепродуктов потребителю. Отдельные попытки сгруппировать нефтепродукты по способам их транспортирования предпринимались [3], однако создание исчерпывающей классификации, учитывающей все факторы транспортного процесса, осталось не завершенным. Отсутствие такой классификации связано с тем, что на выбор способа транспортирования конкретного вида нефтепродукта оказывает влияние большое число разнолановых факторов, имеющих разную природу.

В число основных факторов, влияющих на характер транспортного процесса для всего спектра выпускаемых нефтепродуктов, входят:

- соотношение температуры застывания нефтепродуктов и температуры окружающей среды; температура, при которой нефтепродукты находятся в процессе транспортирования и, как следствие этого, агрегатное состояние, в котором они находятся в процессе транспортирования;
- вид используемого подвижного состава, тары и упаковки;
- вид транспорта, которым транспортируется нефтепродукт.

Анализ факторов, влияющих на транспортный процесс нефтепродуктов, позволяет условно объединить все нефтепродукты в три группы по такому признаку, как их участие в транспортном процессе (табл. 1.2):

I. Нефтепродукты с температурой застывания существенно ниже температуры окружающей среды и транспортируемые только в жидким виде.

II. Нефтепродукты с температурой застывания (размягчения, каплепадения) незначительно выше температуры окружающей среды, которые можно условно именовать низкозастывающими нефтепродуктами. Они транспортируются в жидком виде с температурой, равной температуре окружающей среды, либо с температурой, превышающей температуру окружающей среды (в разогретом состоянии). К этой группе можно отнести и нефтепродукты, транспортируемые в вязкопластичном виде с температурой окружающей среды.

III. Нефтепродукты с температурой застывания, существенно превышающей температуру окружающей среды, которые условно можно именовать высокозастывающими нефтепродуктами (ВЗНП). По агрегатному состоянию транспортируемых нефтепродуктов их можно разделить на высокозастывающие жидкые нефтепродукты, транспортируемые в жидком виде с температурой, превышающей температуру их застывания, и высокозастывающие твёрдые нефтепродукты, транспортируемые в твёрдом виде в таре или упаковке при температуре окружающей среды.

Классификация нефтепродуктов, выполненная с учётом указанных факторов, необходима для детальной разработки и правильной организации транспортного процесса нефтепродуктов.

Нефтеперерабатывающая промышленность Беларуси, как и других стран СНГ, осуществляет крупнотоннажное производство широкого ассортимента нефтепродуктов, часть из которых поставляется на экспорт.

К нефтепродуктам, поставляемым на экспорт, предъявляются повышенные требования по их качеству, которые должны обеспечиваться на всех стадиях транспортного процесса. Это является еще одной из причин необходимости научного подхода к разработке и организации транспортного процесса нефтепродуктов.

Таблица 1.2 – Классификация нефтепродуктов по участию в транспортном процессе

1		2		3		4		5		6		7	
I		Бензины Керосины Дизельные топлива Топлива для реактивных двигателей		< 0		Температура окружающей среды		Жидкое		Без тары или упаковки		8	
II		Масла		< 0		«--»		«--»		Бочки, канистры, бидоны, барабаны, цистерны, танки		+	
III		Мазуты		-5...+42		+15...+60		«--»		Без тары или упаковки		-	
IV		Пластичные (консистентные) смазки		> 0		Температура окружающей среды		Вязко-пластичное		Цистерны, танки, контейнеры специальные		+	
V		Бочки, банки, бидоны, барабаны								Бочки, канистры, бидоны, барабаны, цистерны, танки		+	
VI		Бочки, канистры, бидоны, барабаны								Бочки, канистры, бидоны, барабаны		+	

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Твердые нефтяные парафины	+42...+62	«--»	Твердое	Бочки, ящики, банки, барабаны, мешки бумажные или полимерные	+	+	+	+	-	-
Воски, восковые композиции и составы, черезины	+50...+135	Выше температуры плавления	Жидкое	Цистерны, танки, бидоны	+	+	+	+	-	-
Вазелины	+37...+70	Температура окружающей среды	Твердое	Цистерны, бочки, танки, ящики, бидоны, барабаны, мешки бумажные или полимерные	+	+	+	+	-	-
Битумы дорожные	+35...+56	«--»	«--»	Цистерны, бочки, танки, ящики, бидоны, банки, барабаны, мешки бумажные или полимерные	+	+	+	+	-	-
Битумы строительные	+50...+105	Выше температуры плавления	Жидкое	Цистерны, вагоны для битума, бочки, барабаны, мешки бумажные или полимерные	+	+	+	+	-	-

Bisokosactributne nefteprodukti

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Битумы кровельные	+37...+95		Температура окружающей среды	Твердое	Вагоны для битума, бочки, барабаны, мешки бу- мажные или полимерные					
			Выше температуры изменения	Жидкое						
Битумы изоляционные	+65...+100		Температура окружающей среды	Твердое	Вагоны для битума, бочки, барабаны, мешки бу- мажные или полимерные, контейнеры специальные					
Битумы для заливки аккуму- ляторных мастик	+105...+115			«--»		«--»				
Хрупкие битумы	+100...+135		«--»	«--»		«--»				
Рубраксы	+125...+135		«--»	«--»		«--»				

БИСКОВАСТРАВОНЕ НЕФТЕПОДЪЯКТИ

1.2. СОСТАВ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЗАСТАВЫЩАЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Свойства нефтепродуктов – объективные особенности продукции, которые проявляются при ее производстве и использовании и подразделяются на физико-химические, эксплуатационные и технические [3].

Свойства нефтепродуктов регламентируются государственными стандартами (ГОСТами), отраслевыми стандартами (ОСТами), республиканскими стандартами (РСТ) и техническими условиями (ТУ). В перспективе ряд этих документов должны быть заменены техническими нормативно-правовыми актами различного уровня, разработанными и принятыми в соответствии с Законом Республики Беларусь «О техническом регулировании и стандартизации» [5].

К *физико-химическим* свойствам относятся такие, которые характеризуют состояние нефтепродуктов и их состав [3]: плотность; вязкость; теплопроводность; теплоемкость; теплопроводность; поверхностное натяжение; электрическая проводимость; диэлектрическая проницаемость; фракционный и групповой химический состав; температура размягчения, плавления и каплепадения.

К *эксплуатационным* относятся свойства, характеризующие полезный эффект от использования продукта. Эксплуатационные свойства обеспечивают надежность и экономичность эксплуатации двигателей, машин, механизмов и учитывают испаряемость, воспламеняемость, горючесть, прокачиваемость, образование отложений, коррозионную активность, совместимость с материалами, защитную способность, противозносность, охлаждающую способность, экологические свойства и др. [3].

Технические свойства проявляются при транспортировании и хранении нефтепродуктов и подразделяются на две группы [3].

Первая группа объединяет свойства, которые определяют сохранность качества нефтепродуктов в процессах их транспортирования и хранения. Все свойства этой группы могут быть отнесены к трем видам: химическая и физическая стабильность, биологическая стойкость. Понятие физическая стабильность включает склонность к потерям от испарения, к расслаиванию, гигроскопичность, загрязненность и т.п. Под химической стабильностью понимают способность нефтепродукта (углеводородов, неуглеводородных примесей и присадок) противостоять окисляющему действию кислорода воздуха и другим химическим воздействиям среды. Биологическая стойкость подразумевает защищенность нефтепродуктов от воздействия плесени, грибков и бактерий.

Вторую группу составляют технические свойства, определяющие токсичность, пожароопасность и склонность к электризации. Понятие ток-

сичность включает степень вредности нефтепродукта для человека и окружающей среды и влияние качества нефтепродукта на состав отработанных газов двигателей и др. Пожароопасность определяет пределы воспламеняемости смеси паров нефтепродуктов с воздухом, температуры вспышки, самовоспламенения и т.д. Склонность к электризации (электризуемость) определяет взрывоопасное свойство нефтепродуктов накапливать электрический заряд при его перекачке, прохождении через различные среды.

1.2.1. Битумы. Под термином *битум* понимают жидкие, полутвердые и твердые соединения углерода и водорода с небольшим количеством кислород-, серо-, азотсодержащих веществ, металлов и значительным содержанием смолисто-асфальтеновых веществ, хорошо растворимых в сероуглероде, хлороформе и других органических растворителях [6].

Битумы в зависимости от происхождения подразделяются на природные (органические) и искусственные (нефтяные) [4, 6, 7].

Природные битумы в виде твердых веществ или вязких жидкостей встречаются в чистом виде или извлекаются из асфальтовых горных пород. Они являются продуктом полимеризации и конденсации нефти в природных условиях [6, 7].

Нефтяные битумы получают при переработке нефти, торфа, углей и сланцев [6]. Для производства нефтяных битумов используют три основных способа:

1) концентрирование нефтяных остатков путем перегонки их в вакууме при присутствии водяного пара или инертного газа (при переработке тяжелых смолисто-асфальтеновых нефтей остаточные битумы получают атмосферной перегонкой);

2) окисление кислородом воздуха различных нефтяных остатков (мазутов, гудронов, полугудронов, асфальтов деасфальтизации, экстрактов селективной очистки масел, крекинг-остатков или их смесей) при температуре 180...300 °C;

3) компаундирование (смешение) различных нефтяных остатков с дистиллятами и с окисленными или остаточными битумами и др.

Существуют и сочетания указанных выше способов.

Товарные битумы получают как непосредственный продукт того или иного процесса, так и компаундированием продуктов разных процессов [6].

Битум с давних пор является наиболее известным и важным строительным материалом. Благодаря своим адгезионным и гидрофобным свойствам он находит широкое применение в дорожном строительстве, изготовлении кровельных материалов, при строительстве фундаментов зданий и сооружений, прокладке трубопроводов.

Битум представляет собой сложную смесь углеводородов и гетероорганических соединений разнообразного строения, в основном не выкипающую при температурах перегонки нефти. Идентификация всех составляющих битум соединений невозможна, но для решения многих задач оказывается достаточным определить содержание отдельных классов и групп веществ.

Общепризнанным является разделение веществ по их отношению к растворителям и адсорбентам. В соответствии с этим битум состоит: из асфальтенов – соединений, нерастворимых в алканах C_5 – C_7 ; смол – соединений, растворимых в алканах и десорбируемых с поверхности силикагеля бензолом или его смесью со спиртом, но не десорбируемых алканами; масел – соединений, растворимых в алканах и десорбируемых элюентами. Среди масел различают соединения парафиновой, нафтеновой и ароматической основы.

Групповой состав битума предопределяет его коллоидную структуру и реологическое поведение, тем самым предопределяет технические свойства, которые характеризуются условными показателями качества, определяемыми в стандартных условиях. Среди этих показателей важнейшими являются: *пенетрация* – глубина проникновения иглы в битум; *температуры размягчения и хрупкости, дуктность (растяжимость)* – способность битума растягиваться в нить. Некоторые показатели определяют как для исходного битума, так и для битума после прогрева, который имитирует процесс старения. Стандартами задаются определенные значения показателей качества, что отражает оптимальный состав битума. Этот состав может быть различным для разных областей применения битумов.

Задача технологии производства битумов – правильный выбор исходной нефти и процессов переработки.

Для производства окисленных дорожных битумов предложено классифицировать нефти по содержанию (%, мас. доля) в них асфальтенов (A), смол (C) и твердых парафинов (P) [6]. Нефть считается пригодной, если выполняется условие:

$$A + C - 2,5P \geq 0 \text{ при } A + C > 6.$$

Предложена также классификационная зависимость [6], основанная на содержании (%, мас. доля) в нефти общей серы (S) и твердых парафинов и позволяющая не только судить о пригодности нефти для производства дорожных битумов окислением остатка перегонки, но и определять требования к остатку – к температуре (t , °C) начала кипения остатка по истинной температуре кипения (ИТК) нефти:

$$t = 520e^{-0.075S} \text{ при } 350 \text{ °C} < t < 500 \text{ °C} \text{ и } P \geq 1 \text{ %.}$$

Малосернистые высокопарафинистые нефти не соответствуют этим условиям, поэтому гудроны этих нефтей не могут дать качественные окисленные битумы. При $P < 1$ требования к глубине перегонки снижаются, и битумы могут быть получены даже из нефтей, практически не содержащих серы.

Вакуумную перегонку мазута используют для получения остаточных битумов или гудрона для последующего окисления воздухом с целью производства окисленных битумов. В процессе деасфальтизации гудрона пропаном получают осажденные битумы, которые могут использоваться и как товарный продукт, и как сырье для последующего окисления.

С углублением перегонки возрастает содержание в остатке асфальтенов и смол и уменьшается содержание масел. В процессе деасфальтизации в асфальте-битуме концентрируются смолисто-асфальтеновые вещества. При этом в масляной части асфальта увеличивается доля ароматических структур. Процесс окисления характеризуется переходом легких ароматических соединений в тяжелые и далее – в смолы и асфальтены.

Увеличение отношения *асфальтены : смолы* в битуме и уменьшение доли ароматических соединений в масляной части битума приводят к повышению температуры размягчения, увеличению пенетрации при 0 °C и уменьшению дуктильности при 25 °C для битумов с одинаковой пенетрацией при 25 °C.

Таким образом, при переработке определенного вида нефти получают окисленные, остаточные или осажденные битумы или путем компаундирования компонентов сырья и битумов.

Отечественной промышленностью вырабатывается широкий ассортимент битумов: дорожных, строительных (индустриальных) и специальных высокоплавких.

Дорожные битумы разделяют на вязкие и жидкие.

Вязкие битумы используют в качестве вяжущего материала при строительстве и ремонте дорожных покрытий. Основное количество таких битумов вырабатывается в соответствии с требованиями ГОСТ 22245-90 (табл. 1.3).

В соответствии с ГОСТ 22245-90 вырабатываются вязкие битумы двух типов: БНД и БН.

Все битумы маркируются по пенетрации при 25 °C. При равной пенетрации при 25 °C битумы БНД имеют более высокую температуру размягчения, более низкую температуру хрупкости и большие значения пенетрации при 0 °C, чем битумы БН. Для битумов БНД устанавливаются требования и по дуктильности при 0 °C. При 25 °C требования по дуктиль-

ности менее строгие в сравнении с битумами марки БН, а требования к термостабильности – более жесткие.

Таблица 1.3 – Характеристики вязких дорожных битумов (ГОСТ 22245-90)

Показатели	БНД 200/300	БНД 130/200	БНД 90/130	БНД 60/90	БНД 40/60	БН 200/300	БН 130/200	БН 90/130	БН 60/90
	Пенетрация, × 0,1 мм при температуре:								
25 °C	201...300	131...200	91...130	61...90	40...60	201...300	131...200	91...130	60...90
0 °C, не менее	45	35	28	20	13	24	18	15	10
Temperatura, °C									
Размягчения, не ниже	35	40	43	47	51	33	38	41	45
Хрупкости, не выше	-20	-18	-17	-15	-12	-14	-12	-10	-6
Вспышки, не ниже	220	220	230	230	230	220	230	240	240
Дуктильность, см, не менее, при температуре:									
25 °C	-	70	65	55	45	-	80	80	70
0 °C, не менее	20	6,0	4,0	3,5	-	-	-	-	-
Изменение температу- ры размяг- чения после прогрева, °C, не более	7	6	5	5	5	8	7	6	6
Индекс пенетрации	от -1,0 до +1,0				от -1,5 до +1,0				

Рекомендации по применению зависят от типа битумов и их пенетрации при 25 °C:

- в первой дорожно-климатической зоне (среднемесячная температура наиболее холодного времени года не выше -20 °C) рекомендуется использовать битумы: БНД 200/300, БНД 130/200, БНД 90/130;
- во второй и третьей зонах (температура -10...-20 °C) – БНД 200/300, БНД 130/200, БНД 90/130, БНД 60/90;
- во второй, третьей и четвертой зонах (температура -5...-10 °C) – БН 200/300, БН 130/200, БН 90/130, БНД 130/200, БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60;
- в четвертой и пятой климатических зонах (температура не ниже +5 °C) – битумы БН 90/130, БН 60/90, БНД 90/130, БНД 60/90, БНД, 40/60.

Некоторое количество вязких битумов вырабатывается на отдельных заводах по техническим условиям, часто имеющим конъюнктурный характер. Битумы, вырабатываемые по ТУ 38.1011356-91 (табл. 1.4), пользуются большим спросом у иностранных фирм для строительства ответственных объектов как в Беларуси, так и за рубежом.

Таблица 1.4 – Характеристики вязких дорожных битумов (ТУ 38.1011356-91)

Показатели	БДУ 130/200	БДУ 100/130	БДУ 70/100	БДУ 50/70
Пенетрация при 25 °C, × 0,1 мм	131...200	101...130	71...100	50...70
Температура, °C, не ниже:				
– размягчения	40	43	47	51
– вспышки	220	230	230	230
Дуктильность при 25 °C, см, не менее	100	100	100	100
После подогрева:				
Изменение массы, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,3
Пенетрация при 25 °C, % от исходной, не менее	50	65	65	60
Дуктильность при 25 °C, см, не менее	100	100	100	65
Температура хрупкости, °C, не выше	-20	-17	-15	-12

В то же время на внутреннем рынке предлагаются и пользуются спросом импортные битумы, вырабатываемые по спецификации Neste (табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Характеристики вязких дорожных битумов по спецификациям Neste

Показатели	BIT 500	BIT 200	BIT 120	BIT 80	BIT 65	BIT 45
1	2	3	4	5	6	7
Пенетрация, × 0,1 мм, при температуре:						
25 °C	–	145...210	100...145	70...100	50...70	35...50
15 °C	120...260	–	–	–	–	–
Температура размягчения, °C,	31	40	44	48	52	56
Вязкость при 60 °C, Па·с, не менее	12	25	40	80	160	280
Вязкость при 135 °C, мм ² /с, не менее	110	135	170	225	280	340
Температура вспышки, °C, не менее	180	200	200	200	230	230

Окончание таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7
После подогрева						
Потеря массы, %, не более	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Остаточная пенетрация, %, не менее	–	60	65	65	70	75
Вязкость при 60 °C, Па·с, не более	100	350	500	800	1300	2000
Температура хрупкости, °C, не более	-22	-16	-14	-12	-10	-5
Дуктильность при 25 °C, см, не менее	100	100	75	50	25	15

Жидкие битумы предназначены для удлинения сезона дорожного строительства. В соответствии с ГОСТ 11955-82 их получают смешением вязких битумов БНД с дистиллятными фракциями – разжижителями. После укладки покрытия разжижитель постепенно испаряется. Применение жидких дорожных битумов не удовлетворяет современным требованиям к энергосбережению и защите окружающей среды, кроме того, низкая температура вспышки предопределяет их пожароопасность.

Строительные битумы (табл. 1.6) применяют при выполнении различных строительных работ, в частности для гидроизоляции фундаментов зданий.

Таблица 1.6 – Характеристики строительных битумов (ГОСТ 6617-76)

Показатели	БН 50/50	БН 70/30	БН 90/10
Пенетрация при 25 °C, × 0,1 мм	41...60	21...40	5...20
Температура, °C:			
– размягчения	50...60	70...80	90...105
– вспышки, не ниже	230	240	240
Дуктильность при 25 °C, см, не ниже	40	3,0	1,0

Кровельные битумы (табл. 1.7) применяют для производства кровельных материалов. Их разделяют на пропиточные (для пропитки основы) и покровные (для получения покровного слоя).

Таблица 1.7 – Характеристики кровельных битумов (ГОСТ 9548-74)

Показатели	БНК 40/180	БНК 45/190	БНК 90/30
Пенетрация при 25 °C, × 0,1 мм	160...210	160...220	25...35
Температура, °C: – размягчения – хрупкости, не выше	37...44 –	40...50 –	80...95 –10
После подогрева			
Изменение массы, %, не более	0,8	0,8	0,5
Пенетрация при 25 °C, % от исходной, не менее	60	60	70

Изоляционные битумы (табл. 1.8) используют для изоляции трубопроводов с целью защиты их от коррозии.

Таблица 1.8 – Характеристики изоляционных битумов (ГОСТ 9812-74)

Показатели	БНИ IV-3	БНИ IV	БНИ V
Пенетрация, × 0,1 мм, при температуре: 25 °C 0 °C, не менее	30...50 15	25...40 12	20...40 9
Температура размягчения °C	65...75	75...85	90...100

К высокоплавким битумам относят битумы с температурой размягчения выше 100 °C. Такие битумы и маркируют в зависимости от температуры размягчения, в отличие от вышеописанных битумов, в основу маркировки которых положена пенетрация при 25 °C. Известно несколько сортов высокоплавких битумов: битумы для аккумуляторных мастик; хрупкие битумы; битумы – высокоплавкие (рубраксы). Все эти битумы получают глубоким окислением остатков перегонки нефти.

Хрупкие битумы (ГОСТ 21822-87) предназначены для использования в лакокрасочной, шинной и электротехнической промышленности; представляют собой твердое вещество черного цвета без запаха; выпускают двух марок: Б и Г (табл. 1.9).

Таблица 1.9 – Характеристики хрупких битумов

Показатели	Марка битумов	
	Б	Г
Температура размягчения, °C	100...110	125...135
Пенетрация при 25 °C, × 0,1 мм, не более	2...10	0...5
Температура вспышки, °C, не ниже	240	260

Битумы – высокоплавкие (рубраксы) (ГОСТ 781-78) производят для резинотехнической и шинной промышленности. В зависимости от глубины проникновения иглы устанавливаются две марки битума: А-10 и А-30 (табл. 1.10).

Таблица 1.10 – Характеристики высокоплавких битумов

Показатели	Марка битумов			
	А-30		А-10	
	высший сорт	первый сорт	высший сорт	первый сорт
Температура размягчения, °С	125...135	125...135	125...135	125...135
Пенетрация при 25 °С, × 0,1 мм	30...40	26...40	8...13	5...19

Все битумы используют обычно в чистом виде. Однако достаточно часто в битумы вводят компоненты, улучшающие их потребительские свойства. Так, в дорожные битумы перед применением вводят адгезионные добавки, улучшающие сцепление битума с каменным материалом. Для модификации реологических параметров в дорожные и кровельные битумы вводят полимеры разного строения, например, стирол-бутадиенстирольные каучуки, полиэтилен и т.д.

1.2.2. Парафины. Парафин – вещество белого цвета кристаллического строения с молекулярной массой 300...450, в расплавленном состоянии обладает малой вязкостью. Твердые нефтяные парафины являются горючими веществами с температурой вспышки не ниже 160 °С и температурой самовоспламенения не ниже 300 °С.

К твердым парафиновым нефтепродуктам относятся товарные и опытные образцы парафинов, церезинов и восков, представляющих собой смеси твердых при обычных температурах углеводородов, в том числе предельного ряда и изоалканов, а также наftenовых и ароматических с длинными алкильными радикалами. Химический состав парафиновых нефтепродуктов зависит от фракционного и химического состава сырья, из которого они выделяются [4], а также технологии их получения [8].

Парафины, полученные из нефти различных месторождений, состоят из 50...90 % концентратов Н-алканов [4, 8], представляющих собой углеводороды от Н–C₁₉H₄₀ до Н–C₃₄H₇₀, а в некоторых случаях более широкой фракции – до C₃₆H₆₆ с температурой плавления 45...65 °С.

Парафины инертны к большинству химических реагентов. Они окисляются азотной кислотой, кислородом воздуха (при 140 °С) и некоторыми

другими окислителями с образованием различных жирных кислот, аналогичных жирным кислотам, содержащимся в жирах растительного и животного происхождения. Синтетические жирные кислоты, получаемые окислением парафина, применяют вместо жиров растительного и животного происхождения в парфюмерной промышленности, при производстве смазок, моющих веществ и других продуктов.

Парафины реагируют с хлором с образованием хлорпроизводных парафинов, являющихся сырьем для производства присадок к маслам.

Получают парафины преимущественно путем депарафинизации и обезмасливания дистиллятного масляного сырья с использованием кетон-ароматических растворителей. В меньших масштабах твердые парафины производят обезмасливанием без растворителей – фильтр-прессованием охлажденного сырья с последующим «потением» полученного газа. Для получения товарных продуктов обезмасленные парафины подвергают очистке: сернокислотной, контактной, перколяционной, гидрогенизационной.

Твердые нефтяные парафины изготавливают по ГОСТ 23683-89.

В зависимости от степени очистки и области применения устанавливают следующие марки твердых парафинов:

– П-1 – высокоочищенный парафин: применяют при изготовлении тары и упаковочных материалов жесткой конструкции, имеющих соприкосновение с пищевыми продуктами и применяемых при повышенных температурах, косметических препаратов и в фармацевтической промышленности;

– П-2 – высокоочищенный парафин, применяют для пропитки и покрытия гибкой упаковки пищевых продуктов, сохраняющей эластичность при пониженных температурах, а также в качестве компонентов сплавов для покрытия деревянных, бетонных, металлических емкостей, предназначенных для хранения пищевых продуктов, в производстве различных восковых составов, изделий медицинской техники и косметических препаратов;

– В₂, В₃, В₄, В₅ – высокоочищенные, глубокообезмасленные парафины: применяют в различных областях промышленности, где предъявляются особые требования к чистоте изделий;

– Т-2 применяют в химической, нефтехимической промышленности и других отраслях народного хозяйства;

– Т-3 предназначены для пропитки и покрытий технических сортов бумаги, картона, деревянных и металлических поверхностей и др.;

– С применяют в нефтехимической промышленности для производства синтетических жирных кислот.

Характеристики нефтяных парафинов приведены в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Характеристики твердых нефтяных парафинов

Показатели	П-1	П-2	В2	В3	В4	В5	Т-1	Т-2	Т-3	С
Внешний вид	Кристаллическая масса белого цвета						Кристаллическая масса белого цвета, допускаются оттенки серого и желтого			
Температура плавления, °C	≥ 54	≥ 52	52...54	54...56	56...58	58...62	52...58	52...56	50...56	45...52
Массовая доля масла, %, не более	0,45	0,80	0,45	0,45	0,45	0,45	1,80	2,30	3,00	2,20
Цвет, условные марки, не более	3	4	3	3	3	3	11	12	12	12
Запах	Отсутствие						–	–	–	–
Содержание бенз- α -пирена	Отсутствие		–	–	–	–	–	–	–	–
Пенетрация иглой при 25 °C, × 0,1 мм, не более	–	–	16	14	13	12	–	–	–	–

Прошпарочные и заливочные массы для кабелей связи представляют собой композиции нефтяных парафинов (ТУ 38.101329-78), индустриального масла и канифоли с добавками или без добавок пчелиного воска и низкомолекулярного полизобутилена.

Для монтажа кабелей связи (телефон, телеграф, радио) применяют две марки: МКП и МКС-6.

Масса МКП предназначена для прошпарки бумажной изоляции жил, ее применяют при монтаже или исправлении повреждений кабеля связи.

Масса МКС-6 предназначена для заливки газонепроницаемых муфт на кабелях с кордельно-бумажной, воздушно-бумажной и хлопчатобумажной изоляцией.

1.2.3. Церезины. Церезины представляют собой смесь парафиновых углеводородов изомерного и нормального строения с числом атомов углерода в молекуле в основном от 35 до 55, температурой каплепадения 55...100 °C (может быть и выше) и молекулярной массой 500...700.

На 50...70 % церезины состоят из би- и трициклических нафтеновых углеводородов с боковыми цепями и с некоторым преимуществом цепей изостроения.

В отличие от парафинов церезины обладают большей вязкостью и способностью эффективно загущать масло.

При добавлении церезина в парафины улучшаются загущающие свойства последних, что позволяет использовать их смеси в производстве смазок, вазелинов, кремов, копировальной бумаги и как изоляционный ма-

териал в электро- и радиотехнике, гальванопластике для предохранения от разъедания емкостей кислотами и щелочами.

Церезины получают путем обезмасливания и очистки петролатумов, природных озокеритов и парафиновой пробки, а также синтезом оксида углерода и водорода.

В настоящее время промышленностью выпускается нефтяные церезины по ТУ 38.401218-94, церезины – по ГОСТ 2488-79, синтетические церезины – по ГОСТ 7658-74, церезин для терморегуляторов – по ТУ 38.101261-79, церезиновые композиции – по ГОСТ 3677-76.

Нефтяные церезины применяют для приготовления смазок и восковых составов.

Характеристики нефтяных церезинов представлены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Характеристики нефтяных церезинов

Показатели	65Н	70Н	80Н
Температура каплепадения, °С	65...70	70...75	80...85
Пенетрация иглой при 25 °С, × 0,1 мм, не более	30	25	12
Массовая доля, %, не более:			
– механических примесей	0,1	0,1	0,1
– воды	0,3	0,3	0,3
– золы	0,03	0,03	0,3
– серы	0,4	0,4	0,3
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,1	0,1	0,1

Церезин (ГОСТ 2488-79) предназначен для получения смазок, восковых сплавов, изоляционных материалов и продукции предприятий электронной промышленности. В зависимости от температуры каплепадения и области применения промышленность выпускает пять марок церезина: 65, 70, 75, 80, 80Э. Церезин марки 80Э предназначен для предприятий электронной промышленности.

Синтетический высокоплавкий церезин представляет собой смесь твердых углеводородов метанового ряда преимущественно нормального строения. Используется в электронной промышленности, в восковых составах для литья по высокоплавким моделям, а также в качестве загустителей смазок и других продуктов.

Синтетический церезин для терморегуляторов выпускают трех марок; применяют для терморегуляторов, автоматически регулирующих тепловое состояние двигателей внутреннего сгорания в интервале температур 70...93 °С.

Характеристики синтетического церезина для терморегуляторов представлены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Характеристики синтетического церезина для терморегуляторов

Показатели	Норма для марки		
	I	II	III
Рабочая температура регулирования, °C	70...83	75...88	80...93
Объемное расширение в пределах температур:			
62...72 °C, %, не более	2,5	—	—
73...77 °C, %, не менее	—	1	—
78...82 °C, %, не более	—	—	2,5
72...85 °C, %, не менее	11	—	—
77...90 °C, %, не менее	—	10,5	—
82...95 °C, %, не менее	—	—	10,5
50...68 °C, %, не более	3	—	—
50...73 °C, %, не более	—	4	—
50...78 °C, %, не более	—	—	5
Температура конца рабочей характеристики расширения при нагреве, °C	83	88	93

Церезиновая композиция – сплав церезина и парафина; применяют при изготовлении мастик, свечей, для пропитки бумаги и других целей.

Характеристики церезинов и церезиновой композиции приведены в таблице 1.14.

Таблица 1.14 – Характеристики церезинов и церезиновой композиции

Показатели	Церезин					Церезино- вая компо- зация	
	65	70	75	80	80Э		
Внешний вид	Однородная масса без заметных посторонних включений от светло-желтого до темно-желтого цвета	Однородная масса от белого до светло-желтого цвета	Однородная масса светло-желтого цвета	Однородная масса светло-желтого цвета	Однородная масса светло-желтого цвета	—	
Температура каплепадения, °C	65...70	70...75	75...80	80...85	80...85	≥ 100	56...66
Пенетрация иглой при 25 °C, × 0,1 мм, не более	30	25	18	16	16	4	25

Заливочный вакуумный состав (ТУ 38.401168-90) – композиция церезина с сосновой канифолью – предназначен для скрепления и герметизации редко разбираемых соединений вакуумных установок.

1.2.4. Вазелины. Вазелины представляют собой смеси парафина, церезина, петролатума и минерального масла. Получают сплавлением парафина, церезина, петролатума и их смесей в масле или парафинистом дистилляте. Применяют в медицине, ветеринарии и электротехнике. По внешнему виду вазелины – однородные мазеобразные вещества со следующими особенностями: медицинский – от белого до желтого цвета, без запаха, тянется нитями; ветеринарный – от белого до светло-коричневого цвета, без комков; конденсаторный – от белого до светло-желтого цвета.

Характеристики вазелинов приведены в таблице 1.15.

Таблица 1.15 – Характеристики вазелинов

Показатели	Вазелин		
	медицинский	ветеринарный	конденсаторный
Температура каплепадения, °С	37...50	37...50	50...60
Вязкость при 60 °С:			
– кинематическая, м ² /с, не менее	16·10 ⁻⁶	–	28·10 ⁻⁶
– условная (ВУ), условные градусы, не менее	2,5	–	3,95
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,1	0,1	0,05
Массовая доля золы, %, не более	0,02	0,01	0,004

Медицинский вазелин (ГОСТ 3582-84) получают сплавлением очищенного церезина, парафина, петролатума или их смесей с глубокоочищенным нефтяным маслом. Применяют в чистом виде для предохранения от коррозии хирургических инструментов, а также в качестве составной части кремов, паст, мазей для кожи, гrimов, помад и других продуктов.

Ветеринарный вазелин (ГОСТ 13037-84) получают сплавлением в любых соотношениях церезина, парафина, очищенного петролатума или их смесей с очищенным нефтяным маслом. Применяют для смазывания вымени, при искусственном осеменении животных.

Конденсаторный вазелин (ГОСТ 5774-76) – продукт глубокой сернокислотно-контактной очистки смеси парафина, церезина и минерального масла. Применяют для пропитки и заливки конденсаторов.

1.2.5. Петролатум. Петролатум (ТУ 38.401166-90) получают при де-парафинизации остаточных масел селективной очистки. Область применения – получение церезина, углеводородных смазок, вазелинов, сушка дре-весины и др. В зависимости от перерабатываемого сырья и температуры каплепадения различают пять марок петролатума (табл. 1.16).

Из сернистого сырья получают петролатум марки ПСс; из малосернистого – ПС, ПС-55, ПС-60, ПС-65. Петролатумы – продукты светло-коричневого цвета с температурой каплепадения от 55 до 70 °С и темпера-турой вспышки 230...255 °С.

Таблица 1.16 – Характеристики петролатумов

Показатели	Марки петролатума				
	ПСс	ПС	ПС-55	ПС-60	ПС-65
Цвет	от светло-коричневого до коричневого	светло-коричневый			
Температура каплепадения, °С	≥ 55	≥ 55	55...60	60...65	65...70
Пенетрация конусом, × 0,1 мм, не более	90	70	70	70	70

1.2.6. Воски. Получают путем фракционирования парафинов и цере-зинов либо обезмасливанием специально подобранных парафиносодержа-щего сырья, а также путем компаундирования парафинов, церезинов, пет-ролатумов или их смесей с полимерными, смоляными и другими добавками для усиления или придания композициям определенных функциональных свойств. К числу восковых продуктов относят: воски для терморегуляторов; для резин; для покрытия сыров; для литья по выплавляемым моделям; для прессового производства; заливочные и прошпарочные массы; защитные восковые и вводно-восковые составы различного назначения.

Воски для терморегуляторов – узкие фракции парафинов, церези-нов и их смесей – применяют в датчиках температуры, реагирующих на изменение объема воска при его плавлении и кристаллизации.

Специальные воски для датчиков температуры (ТУ 38.40102-81) представляют собой специально подобранные смеси твердых углеводоро-дов, получаемых путем глубоковакуумного и холодного фракционирова-ния парафинов и церезинов. Применяют для терморегуляторов, обеспе-чивающих автоматическое поддержание заданных температур различных те-пловых систем в интервале 15...102 °С.

Характеристики специальных восков для датчиков температуры при-веденены в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Характеристики специальных восков для датчиков температуры

Показатели	Норма для марки												
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	И-1	К	Л	М
Рабочий диапазон регулирования, °С	15...32	18...26	30...42	45...57	60...72	95...107	35...47	50...62	65...77	62...73	55...67	85...97	90...102
Пределы температур, °С, объемное расширение:													
– не менее 0,8 %	–	–	–	41...45	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– не менее 1 %	11...15	14...18	26...30	...	56...60	91...95	31...35	46...50	61...65	58...62	51...55	81...85	86...90
– не менее 5 %	–	18...26	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– не менее 6 %	–	–	30...42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– не менее 7 %	15...32	–	–	45...57	60...72	–	35...47	50...62	–	62...73	55...67	–	–
– не менее 8 %	–	–	–	–	–	97...107	–	–	65...77	–	–	85...97	90...102
– не более 2 %	1...11	4...14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– не более 3 %	–	–	5...26	–	–	–	10...31	–	–	–	–	–	–
– не более 5 %	–	–	–	20...41	–	–	–	25...46	–	–	–	60...81	–
– не более 5,5 %	–	–	–	–	35...56	70...91	–	–	40...61	37...58	30...51	–	65..86
Температура конца активного расширения, °С, выше которой коэффициент объемного расширения не превышает 0,08 % на 1 °C, с допуском ± 2 °C	32	26	42	57	72	107	47	62	77	73	67	97	102

Воски для резин. Применяют для защиты резин от отрицательных атмосферных воздействий, теплового, светового и озонового старения, в качестве мягчителей резин.

В процессе эксплуатации резин как в статически, так и в динамически нагруженном состоянии воски, выпотевая на поверхность резин, препятствуют разрушающему воздействию света и озона, увеличивая срок годности резиновых изделий.

В настоящее время промышленность выпускает:

- защитный воск Паралайт-17 (ТУ 38.1011042-85);
- защитный воск ЗВП (ТУ 38.1011290-90);
- защитный воск ЗВ-ПФ (ТУ 38.401212-93);
- сплав АФ-1 (ТУ 38.101595-81).
- мягчитель ПП для резины (ТУ 38.1011194-82).

Характеристики восков для резин приведены в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Характеристики восков для резин

Показатели	Защитные воски				Мягчи- тель ПП
	Паралайт-17	ЗВП	ЗВ-ПФ	АФ-1	
Внешний вид	Однородная масса от светло-желтого до коричневого цвета				–
Температура, °С:					
– плавления	60...68	62...67	62...67	–	–
– каплепадения	–	–	–	64...73	50
Кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$, при температуре не более:					
70 °C	–	–	–	–	13...16
100 °C	4,5...6,5	5,5...7,0	5,5...7,0	5	–

Для защиты сычужных сыров от высыхания и плесневения в период их вызревания и хранения применяют глубокоочищенные воски:

- восковой сплав СДС 13М – для сыров (ТУ 38.101225-94);
- воск ВН-2 (ТУ 38.401210-93).

Характеристики восков представлены в таблице 1.19.

Таблица 1.19 – Характеристики воска ВН-2 и сплава СДС 13М
для покрытия сыров

Показатели	Виды восков	
	ВН-2	СДС-13М
Внешний вид	Однородная масса от желтого до коричневого цвета	Однородная масса от светло-желтого до темно-желтого, красного цвета
Температура плавления, °С	59...62	55...65
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	7,0...8,5	15...25

Модельные восковые составы применяют на предприятиях машиностроения для точного стального литья. Существует более 200 рецептур восковых составов для стального литья, но практическое использование нашли лишь единицы.

Характеристики по двум модельным восковым составам (МВС-3А; МВС-15) представлены в таблице 1.20. По данным характеристикам организовано централизованное производство.

Таблица 1.20 – Характеристики модельных восковых составов

Показатели	МВС-3А	МВС-15
Температура плавления, °С	75...80	75...80
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с, не более	10	9

Модельный восковой состав МВС-3А (ТУ 38.101516-76) представляет собой композицию глубокообезмасленного парафина и высокоплавкого нефтяного церезина с полимерной добавкой, предназначен для точно-го стального литья по выплавляемым моделям.

Модельный восковой состав МВС-15 (ТУ 38.1011044-85) – композиция высокоплавкого церезина с техническим парафином и полимерной добавкой. Этот восковый состав предназначен для стального литья по выплавляемым моделям в цехах точного литья заводов тракторного и сельскохозяйственного машиностроения.

Пропиточные восковые составы применяют для придания пропитываемым изделиям влагопрочности, огнестойкости, электроизоляционных и бактерицидных свойств (табл. 1.21).

Таблица 1.21 – Характеристики пропиточных восковых составов

Показатели	Тип пропиточных восковых составов		
	ЭВК-4НМу	для проводов и кабелей	для бумажных патронов
Внешний вид	Чешуйки или монолит в форме тары от светло-желтого до коричневого цвета	Масса черного цвета	–
Температура каплепадения, °С	105	60...70	45...55
Пенетрация при 25 °С, × 0,1 мм	–	25...45	16...32
Вязкость условная на ВЗ-4, с	15	–	–

Восковая электроизоляционная композиция ЭВК-4НМу – церезино-полимерная композиция (ТУ 38.1011178-88) с добавлением антипиренов; предназначена для пропитки и герметизации телевизионных трансформаторов строчной развертки. Подлежат нормированию такие характеристики, как удельное объемное электрическое сопротивление при 20 °С – не менее $1 \cdot 10^{14}$ Ом·см; тангенс угла диэлектрических потерь при 20 °С и 10^6 Гц – не более 0,003; диэлектрическая проницаемость при 20 °С и 10^6 Гц не более 2,5.

Пропиточный состав для проводов и кабелей (ТУ 38.1011201-89) представляет собой композицию парафина, нефтяного и синтетического церезинов, петролатума с добавлением битума и антисептика; предназначен для пропитки хлопчатобумажной оплетки проводов, кабельной пряжи и кабельной бумаги для предохранения их от гниения.

Пропиточный состав для бумажных патронов (ТУ 38.101533-75) – композиция парафина с сосновой канифолью; предназначен для пропитки бумажных патронов, применяемых в текстильной промышленности.

Защитные восковые составы применяют для защиты изделий машиностроения от коррозии, атмосферных и других воздействий.

В настоящее время НПЗ производят следующие защитные восковые составы: предохранительный состав ПП 95/5, выпускаемый по ГОСТ 4113-80;

защитный восковой состав ПЭВ-74 – по ТУ 38.101103-77; флегматизаторный состав СФ-ЛП – по ТУ 38.1011046-85.

Характеристики восковых составов приведены в таблице 1.22.

Таблица 1.22 – Характеристики защитных восковых составов

Показатели	СФ-ЛП	ПП-95/5	ПЭВ-74
Внешний вид	Однородный сплав без включений от светло-желтого до коричневого цвета	Однородная масса светло-коричневого цвета	Суспензия от белого до светло-желтого цвета
Температура каплепадения, °C	85...95	≥ 57	–
Кинематическая вязкость при 100 °C, мм ² /с	20...30	–	–
Вязкость условная на ВЗ-246 (сопло 2), с	–	–	40...60
Неиспаряющийся остаток, %	–	–	13...15
Температура каплепадения неиспаряющегося остатка, °C	–	–	75...78

Водно-восковые составы получают диспергированием расплава восков в водном растворе поверхностно-активных веществ (ПАВ) – эмульгаторов воска и стабилизаторов дисперсий.

Водно-восковая дисперсия ВВД-2М (ТУ 38.101676-82) – дисперсия парафина в водном растворе. Водно-восковая дисперсия предназначена для применения в качестве пластификатора, лубриканта и связки шихты корундовой керамики, используемой для изготовления автотракторных запальных свечей.

Водно-восковый ингибиционный состав ИВВС-706М представляет собой дисперсию нефтяного воска с добавками ингибиторов коррозии в водном растворе ПАВ (ТУ 38.1011165-88); предназначен для временной консервации от атмосферной коррозии сельскохозяйственных машин, их узлов, деталей, для защиты оборудования и машин, работающих в агрессивных средах животноводческих помещений, дождевальных и поливных машин.

Характеристики водно-восковой дисперсии ВВД-2М и водно-воскового ингибиционного состава ИВВС-706М представлены в таблице 1.23.

Таблица 1.23 – Характеристики водно-восковой дисперсии ВВД-2М и ингибионного водно-воскового состава ИВВС-706М

Показатели	ВВД-2М	ИВВС-706М
Внешний вид	Однородная жидкость белого цвета без комков	Однородная жидкость без комков от белого до светло-желтого цвета
Содержание сухого остатка, % (мас. доля)	41...46	20...26
Вязкость условная по ВЗ-246 (сопло 2), с, не более	20	30

1.2.7. Заливочные и прошпарочные композиции. Заливочные и прошпарочные композиции (табл. 1.24) применяют для герметизации разъемных соединений, заливки кабельных муфт и прошпарки кабельной изоляции.

Таблица 1.24 – Характеристики заливочных и прошпарочных композиций

Показатели	Заливочный вакуумный состав	Прошпарочная и заливочная массы	
		МКП	МКС-6
Внешний вид	Однородная твердая масса от светло-желтого до коричневого цвета		
Температура каплепадения, °С	≤ 65	40...55	40...60
Вязкость условная при 140 °С	–	≤ 0,5	–
Пенетрация при 25 °С, × 0,1 мм	≤ 2	–	–

1.2.8. Мазуты. Мазуты относятся к группе топлив. В настоящее время промышленность выпускает котельные, тяжелые моторные, газотурбинные, судовые и печные топлива.

Котельные топлива – топочные мазуты марок 40 и 100, вырабатываемые по ГОСТ 10585-75.

Тяжелые моторные топлива – флотские мазуты Ф-5 и Ф-12 (ГОСТ 10585-75), моторные топлива ДТ и ДМ (ГОСТ 1667-68).

Судовые топлива – дистилятное топливо ТМС (ТУ 38.101567-87) и остаточные топлива СВТ, СВЛ, СВС (ТУ 38.1011314-90).

В общем балансе перечисленных топлив основное место занимают мазуты нефтяного происхождения.

Жидкие котельные топлива из сланцев, получаемые на установках полукоксования горючих сланцев и угля, – продукты коксохимической промышленности – составляют лишь небольшую долю общего объема производства топлив.

Котельное топливо применяют в стационарных паровых котлах и в промышленных печах.

Тяжелые моторные и судовые топлива используют в судовых энергетических установках.

Некоторые химические характеристики этих мазутов представлены в таблице 1.25.

Таблица 1.25 – Характеристики мазута

Показатели	Марка топлива			
	Ф-5	Ф-12	40	100
Вязкость при 50 °С, не более:				
- условная, °ВУ	5,0	12,0	–	–
- соответствующая ей кинематическая, мм ² /с	36,2	89,0	–	–
Вязкость при 80 °С, не более:				
- условная, °ВУ	–	–	8,0	16,0
- соответствующая ей кинематическая, мм ² /с	–	–	59,0	118,0
Температура застывания, °С, не выше	–5	–8	10; 25	25; 42
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	955	960	–	–

Глава 2

УПАКОВЫВАНИЕ ВЫСОКОЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

2.1. УПАКОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТАРА ДЛЯ ВЫСОКОЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Выбор упаковочного материала и вида тары для того или иного продукта – ответственная процедура, которая определяет технологию процессов упаковывания, хранения, перевозки и потребления продукта и влияет на их экономические и экологические показатели.

Упаковочный материал должен прежде всего обеспечить сохранность продукта и его качество при перевозке и хранении. Для этого требуется достаточная прочность при воздействии транспортной вибрации и ударных нагрузок, атмосферных осадков, повышенной температуры и солнечной инсоляции.

Кроме этого, упаковочный материал должен быть химически нейтрален по отношению к продукту, а тара легко и без потерь должна освобождаться от последнего.

Невозвратную тару следует утилизировать после удаления из нее продукта. Многооборотная тара должна быть легкой, складной или вкладываться одна в другую, сохраняя при этом форму и прочность.

Необходимо, чтобы форма и размеры тары согласовывались с внутренними размерами транспортных средств, используемых для перевозки продукта.

Очевидно, что одновременное удовлетворение всем этим требованиям чрезвычайно затруднительно.

Сведения о различных видах тары и упаковочных материалов приведены в [9]. Для упаковывания ВЗНП применяют лишь некоторые из них.

Наибольшей прочностью обладает металлическая тара. Битумы упаковывают в стальные бочки вместительностью 100...275 л по ГОСТ 6247-79, битумные кабельные составы – в банки из белой жести емкостью 20 л по ГОСТ 12120-73, 5981-71 и ГОСТ 6128-75.

Для изготовления нестандартной тары для битума используют мешочную бумагу по ГОСТ 2228-81.

Битум, расфасованный по 50 кг, и парафин упаковывают в многослойные бумажные мешки по ГОСТ 2228-81 (для пищевого парафина бумага должна быть ламинирована полиэтиленом).

Для высокоплавких битумов разработана многооборотная тара, срок службы которой составляет 5 лет. Это складные резинотканевые контейнеры по ГОСТ 21045-75 вместимостью 1 и 1,5 м³.

По сравнению с бумажной и металлической тарой преимуществами обладает тара из полимерных материалов. Полимеры имеют высокую химическую и коррозионную стойкость в широком диапазоне температур, блестящую поверхность, противодействующую воздействию солнечной инсоляции, и привлекательный внешний вид. Выпускают термоусадочные и растягивающиеся полимерные пленки, что позволяет формировать транспортные пакеты без поддонов.

Теплофизические свойства некоторых полимерных упаковочных материалов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Теплофизические свойства полимерных упаковочных материалов

Свойства	Полиэтилен низкой плотности	Полиэтилен высокой плотности	Полипропилен	Полиэтилен терефталат	Целлофан (вискозная пленка)
Плотность, ρ , кг/м ³	900...939	951...952	900...910	1390...1400	1490...1530
Теплопроводность, λ , Вт/м·К	0,3...0,36	0,35...0,45	0,16...0,22	0,19	0,226
Теплоемкость, с, кДж/кг·К	2,8...3,0	2,5...3,0	1,93	1,32...1,99	1,4
Температуропроводность, $\alpha \cdot 10^7$, м ² /с,	1,2	1,5		0,68...1,03	1,05...1,08
Температура плавления, °C	103...110		160...168	260	Не плавится, разлагается при 175...205 °C
Температура теплостойкости, °C	77	127	140...145		150
Температура хрупкости, °C			+5 ...-15		

2.2. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ УПАКОВЫВАНИЯ ВЫСОКОЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Производители высокозастывающих нефтепродуктов, организаторы транспортных процессов и потребители предъявляют к методу упаковывания ВЗНП разные требования, что вызывает сложности в получении оптимального варианта, удовлетворяющего каждую сторону в отдельности.

Разнообразие способов упаковывания битумов, парафинов, восков, церезинов и композиций на их основе связано также и со специфическими свойствами этих продуктов. Высокая адгезионная способность ко всем материалам, низкая теплопроводность, высокая вязкость и высокая температура застывания при многотоннажности производства затрудняют их охлаждение в типовом теплообменном оборудовании, ограничивают выбор упаковочных материалов [10].

На основании имеющихся материалов известные технологии сгруппированы по общим наиболее важным признакам. Приведенная на схеме (рис. 2.1) классификация в дальнейшем может быть уточнена по мере выявления новых решений и разработок в различных областях упаковочной техники.



Рисунок 2.1 – Способы упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов

Упаковывание твердых высокозастывающих нефтепродуктов возможно по двум принципиально разным схемам:

- размещение твердого продукта в таре после предварительного его охлаждения до затвердевания;
- заливка жидкого горячего продукта непосредственно в тару.

Каждая из этих схем может быть реализована различными методами с использованием разнообразного оборудования и упаковочных материалов и тары. Представляет интерес рассмотрение основных достоинств и недостатков, присущих этим схемам упаковывания ВЗНП.

Упаковывание твердых ВЗНП путём *размещения в таре после предварительного охлаждения (до затвердевания)* реализовано на целом ряде оборудования.

Упаковывание твердых ВЗНП *в виде плит* может производиться в картонные коробки, мешки или термоусадочную пленку [11, 12]. Автоматизированные линии для осуществления этого способа довольно сложны, включают большое число механизмов. Однако наиболее серьезный недостаток проявляется на стадии охлаждения при получении плит. Вследствие низкой теплопроводности битумов, парафинов и композиций на их основе время затвердевания составляет несколько часов при относительно небольшой толщине плит. На конвейере малой длины невозможно обеспечить высокую производительность, если толщина охлаждаемого слоя продукта или плиты не превышает 10...15 мм. После охлаждения слоя продукта малой толщины его необходимо разрезать на плиты, которые затем штабелируют, что усложняет процесс и требует дополнительное оборудование для его выполнения. Механизированные установки, реализующие этот способ, имеют высокую металло- и энергоемкость, большие габариты, они сложны и дорогостоящи. Кроме того, для надежной работы лент или форм, где происходит охлаждение слоя битума, требуется антиадгезионные смазочные материалы или покрытия.

Достоинством такого оборудования является хороший внешний вид и правильная форма плит, низкий удельный расход упаковочного материала, так как может использоваться упаковочная пленка очень малой толщины [13 – 15].

В большинстве реализованных способов упаковывания нефтепродуктов их охлаждение (до затвердевания) производится воздухом при прямом контакте. Однако интенсивность воздушного охлаждения чрезвычайно мала. Поэтому эту проблему часто решают за счёт увеличения поверхности теплообмена, например, путём диспергирования или охлаждения нефтепродуктов в тонком слое, с последующими операциями разрезания или дробления и получением *твердого сыпучего продукта в виде крошки, гранул или таблеток* [16 – 19].

Дозирование такого материала осуществляется с помощью автоматических весов или роторных питателей. В качестве тары используются

тканевые, полимерные или бумажные мешки, а также резинотканевые контейнеры. Верх заполненных мешков зашивают на швейных головках, размещенных над транспортерами. При использовании клапанных мешков эта операция не требуется. Достоинство этого способа – простота и универсальность оборудования.

Основной недостаток упаковывания продукта в виде мелких частиц – низкий коэффициент использования объема тары (около 60 %) и, следовательно, её повышенный расход. При хранении частицы продукта могут слипаться. Практически непреодолимым недостатком диспергирования является унос мелких частиц, обусловливающий потери продукта и загрязнение окружающей среды. Значительное загрязнение воздуха происходит и при охлаждении битума в тонком слое вследствие развитой поверхности испарения вредных веществ.

Многочисленные попытки использовать более интенсивное водяное охлаждение при непосредственном взаимодействии воды с диспергированным продуктом в конечном итоге отвергались из-за обводнения продукта (битума и парафина) [17, 20, 21].

В некоторых технологиях производится охлаждение слоя материала водой через стенку: в барабанных машинах; на конвейере фирмы Sandvik; рамных машинах для отливки плит парафина [22, 23].

Однако осуществить охлаждение водой через стенку с двух сторон слоя затруднительно при его малой толщине, при одностороннем же теплоотводе через стенку эффективность использования воды снижается.

Заливка продукта в тару в горячем текучем состоянии при использовании металлической, многослойной бумажной или картонной тары осуществляется на примитивном оборудовании и требует использования ручного труда [10, 24 – 27].

Металлическая тара обеспечивает надежную сохранность продукта и его качества при перевозках, перевалках и хранении [10]. Этот способ упаковывания и хранения не требует энергозатрат и времени на охлаждение продукта. Недостатки – высокий расход тары; трудность извлечения продукта из нее, как следствие, потери неизвлеченного из тары продукта; невозможность утилизации тары; загрязнение окружающей среды твердыми отходами.

Эти же недостатки характеризуют и упаковывание в *бумажную тару*, однако стоимость и удельный расход ее ниже, чем металлической. Кроме того, при большой массе упаковки потребителю необходимо ее дробить, что сопряжено с потерями продукта [10, 25 – 27].

При упаковывании в бумажную тару требуется охлаждение продукта до полного затвердевания, так как тара не обладает жесткостью. Для этого необходимы большие производственные площади – время охлаждения составляет от 3 до 5 суток.

Заливка горячего продукта в *полимерную тару* может осуществляться при воздушном охлаждении, если температура теплостойкости полимера выше температуры продукта [11, 12, 20, 21, 28 – 40]. К таким упаковочным материалам относятся: полипропиленовая, полиэтилентерефталатная, ацетатная пленки.

Имеется целый ряд способов, основанных на горячей заливке в полимерные мешки, в картонные коробки с вкладышами, в формы на конвейере, непосредственно на пленку и т.д., с последующим воздушным охлаждением залитого продукта. Однако эти способы обладают рядом недостатков. Например, извлечение продукта из форм возможно только после его полного затвердевания, а при низкой интенсивности воздушного охлаждения требуется конвейер большой длины для обеспечения даже небольшой производительности [23].

Использование водяного охлаждения позволяет заливать горячий продукт с температурой, превышающей температуру теплостойкости и даже температуру плавления полимерной тары. Скорость охлаждения в воде значительно выше, чем на воздухе. Появляется возможность добиваться полного затвердевания продукта, если отдельные упаковки запечатаны после его заливки. За счет этого существенно сокращаются время охлаждения и связанные с ним энергозатраты [41].

Специфической проблемой водяного охлаждения пленочной полимерной тары является ее сдавливание водой и выдавливание из нее заливаемого продукта, так как плотность продукта в горячем состоянии меньше плотности воды.

Большим преимуществом полимерной (в частности полиэтиленовой) тары является возможность ее утилизации вместе с такими продуктами, как битум и его композиции. Это позволяет сократить затраты труда на освобождение продукта от тары при его использовании у потребителя, исключить загрязнение окружающей среды твердыми отходами.

Известны способы [11, 12, 20, 21, 28 – 40], предусматривающие упаковывание битумов в полиэтиленовую пленочную тару путем заливки горячего продукта в мешок или рукав из пленки, охлаждаемый снаружи водой.

Основной проблемой при упаковывании битумов, мастик и других нефтепродуктов в полиэтиленовую пленку является обеспечение ее целостности, поскольку температура упаковываемого продукта составляет 140...170 °С, а температура плавления полиэтилена около 100 °С.

Предлагается способ и установка для упаковывания битума в полипропиленовые мешки, размещенные в формах вертикально-замкнутого транспортера (охлаждение битума проводится естественным путем, на воздухе) [11, 30, 31], а также способ упаковывания битума в картонные коробки с вкладышами из пленки [12].

В ряде стран используется способ и устройство для упаковывания битумов в полиэтиленовую пленку [20, 32, 33]. Предусматривается охлаждение битума до затвердевания в металлических формах с откидывающимися днищами, защищенными от налипания битума антиадгезионным покрытием на силиконовой основе. Полученные бруски битума заворачиваются в полиэтиленовую пленку.

Представляет интерес и способ упаковывания твердых и полутвердых материалов, таких как битум, парафин, сера и другие [34]. Упаковывание производится в полимерную пленку из полиэтилена (для парафина), полипропилена (для битума), поливинилхлорида, полистирола, целлофана и т.п.

Известен способ и установка для упаковывания полутвердых материалов типа битума в мешки из синтетической пленки [21, 35 – 38]. В качестве упаковочного материала могут использоваться сополимеры винилацетата или полиэтилен низкой плотности. Установка предназначена для заливки в мешки по 20 кг битума.

Предлагается горячие продукты (битум, парафин) заливать в горизонтальную открытую сверху форму, выложенную пленкой [39, 40]. Продукт охлаждается в форме и в затвердевшем виде извлекается из неё.

Способ упаковывания битумов в полиэтиленовую пленку с использованием червячного пресса предложен М.В. Спицыным и др. [42, 43].

На основании анализа известных технологий затаривания ВЗНП в полимерную тару можно сделать вывод о том, что конструкции машин для их реализации зависят не только от свойств таких нефтепродуктов, но и от типа применяемого полимера и способа охлаждения.

Сравнительный анализ различных способов упаковывания ВЗНП по основным показателям представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Сравнительная характеристика способов упаковывания битумов и парафинов

Показатели	Битум			Парафин			Битум, парафин, полиэтиленовая пленка ПГУ	
	Бумажная тара	Металлические бочки	Жестяные банки	Бумажные мешки		Плиты в картонных коробках АЛРУП, ЯЛП		
				Полиэтиленовая пленка Sandvik	Крошка с барaban'a			
Масса упаковки, кг	200...250	10	200	20	25	20	25 (5×5) (7×3,6)	
Ориентировочный расход тары на 1 т продукта, кг	6...8	23	150	–	6	100	55	
Сохранность качества продукта при перевозке	нет	да	да	да	да	да	да	
Потери продукта, %	15	10	6	9	нет	нет	нет	
Утилизация тары	нет	нет	нет	да, используется вместе с битумом	возможна	да	да	
Экология:	Незначительное количество			Незначительное количество			Незначительное количество	
– вредные пары,	да	да	да	да	да	да	да	
– твердые отходы	да	да	да	нет	нет	нет	нет	

Высоковязкие нефтепродукты, содержащие парафины и асфальтосмолистые вещества, в большинстве случаев относятся к неньютоновским жидкостям. Отклонение от закона Ньютона при течении ВЗНП по трубопроводу было впервые установлено в 20-х годах прошлого столетия [44].

Изучением течения неньютоновских нефей по трубопроводам занимались Г.И. Фукс [45], В.И. Черникин [46, 47], В.Е. Губин и В.В. Губин [48], Ю.В. Скрипников [49], С. Cawley [50], В.М. Агапкин и В.А. Юфин [51], Б.В. Веденеев и Н.В. Михайлов [52] и др.

При расчетах течения неньютоновских жидкостей (битумов, нефей, мазутов) по трубопроводам различного назначения использовались реологические модели нелинейно-вязких жидкостей Шведова – Бингама [53, 54]:

$$\tau^* = \tau_0 + \mu\gamma, \quad (2.1)$$

где τ^* – время, с; τ_0 – напряжение сдвига; μ – динамическая вязкость, Па·с; γ – скорость сдвига, с^{-1} .

Уравнение (2.1) хорошо описывает течение нефей с высоким содержанием парафина.

Для нефей с преобладанием асфальтосмолистых структур, приводящих зависимость τ от градиента скорости к нелинейной, характерной для полимерных жидкостей, используют модель Бакли – Гершеля [55, 56]:

$$\tau^* = \tau_0 + \kappa\gamma^m, \quad (2.2)$$

При наличии в нефти парафинов и асфальтосмолистых отложений кривая течения таких жидкостей аппроксимируется моделью Шульмана [57], являющейся обобщением моделей Шведова – Бингама и Бакли – Гершеля:

$$\frac{1}{\tau^n} = \frac{1}{\tau_0^n} + (\eta_p\gamma)^{\frac{1}{m}}. \quad (2.3)$$

Описанные зависимости позволяют рассчитать течение твердых ВЗНП в подогретом состоянии по технологическим трубопроводам упаковочных установок.

Главной проблемой при использовании полимерных упаковочных материалов для горячих продуктов является температура плавления пленок и охлаждение их в процессе заполнения продуктом (разработка методов), имеющим температуру выше температуры плавления пленки. При разработке необходимой технологии и оборудования для упаковывания большое влияние на обеспечение производительности установки оказывает выбор температурного режима.

Вопросы охлаждения битумов и нефей в трубопроводах и транспортных емкостях рассматривались в работах В.И. Черникова [46, 58],

В.Е. Губина [48], Б.В. Веденеева [52]. При охлаждении до температуры застывания битум начинает образовывать корку на стенках трубопровода, что увеличивает его сопротивление и время слива продукта, это в свою очередь снижает производительность установок по упаковыванию ВЗНП.

2.3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УПАКОВЫВАНИЯ БИТУМОВ

Поиски рациональных методов упаковывания битумов ведутся в течение многих лет специалистами разных стран. Предложен целый ряд разнообразных вариантов охлаждения и упаковывания битумов.

Основную часть строительных битумов и все высокоплавкие (применяемые при производстве лаков, рубраксы и др.) перевозят упакованными в твердом виде [1, 7, 9, 13, 24].

В качестве тары, как правило, используются бумажные мешки стандартные вместимостью 50 кг и нестандартные, изготовленные на месте, вместимостью 200...250 кг. Чаще применяются мешки большей вместимости, что обеспечивает более высокую производительность труда.

Применяются два метода упаковывания в бумажные мешки [7]:

1) *с использованием поддонов*. На металлический поддон устанавливают обрешетку и вкладывают в нее 6...8 мешков. Поддон подвозят авто- или электропогрузчиком под разливочное устройство и одновременно заполняют битумом все мешки;

2) *бесподдонный*. Способ более экономичен и производителен, чем предыдущий. Битум заливают в бункер-дозатор, установленный на автопогрузчике и подвозят его к мешкам, установленным в обрешетке на площадке без поддонов. Бункер поднимают над мешками, водитель погрузчика открывает его клапаны при помощи гидропривода и битум заливается в мешки из секций бункера. Мешки с битумом нельзя перемещать с места на место до полного остывания битума. Поэтому необходим навес над всей площадкой охлаждения для защиты от атмосферных осадков.

На ряде НПЗ над площадкой для охлаждения битумов смонтированы закольцованные битумопроводы с отводами и поворотными шарнирными звеньями. Битум циркулирует по кольцу, в нужном месте оператор открывает кран и разливает битум в группу мешков, установленных на поддонах, при помощи ближайшего разливочного устройства. При таком методе разлива, как и при бесподдоном способе, мешки с горячим битумом не подвергаются транспортной тряске, что уменьшает потери от разрыва мешков. Однако мешки заполняются поочередно, а не группами по 6...8 мешков, что снижает производительность труда.

Разлив битума в стандартные мешки вместимостью 40...50 кг производится с использованием поддонов. Мешки устанавливают рядами, которые заполняются поочередно. Заливщики расправляют и направляют их под заливочное устройство.

Технология разлива в стандартные мешки мало отличается от разлива в мешки вместимостью 200...250 кг, но производительность труда при этом ниже, а удельный расход бумаги выше.

Вследствие малой скорости естественного охлаждения битум остывает до затвердевания в течение 3...8 суток, что вызывает потребность в больших производственных площадях для размещения обрешеток с мешками.

При высокой температуре заливаемого битума (160...190 °С) и большой открытой поверхности его в мешках происходит значительное загрязнение воздуха вредными парами [59 – 64]. В процессе упаковывания занято примерно всего 2/3 персонала установки, а затраты составляют около 50 % стоимости производства битума без стоимости сырья [25, 65].

Для замены и ремонта поддонов и обрешеток расходуется металл. На установке производительностью 100 тыс. т/год строительного битума в обороте находятся 1000...1200 комплектов поддонов с обрешетками. Средний расход металла на поддон составляет 70 кг, на обрешетку – 15 кг [25].

Существует проблема с определением массы отгружаемого битума, так как дозирование его крайне неточно. Битум неравномерно распределяется по заливочным патрубкам заливочного устройства и секциям дозатора, вследствие этого масса битума в мешках может существенно различаться.

Отгрузку битумов в автомашины производят по общей массе, взвешиванием на автоворесах. Но весами для взвешивания железнодорожных вагонов большинство нефтеперерабатывающих заводов не располагает, поэтому количество отгруженного битума рассчитывается приблизительно, по условной средней массе битума в мешке, что невыгодно предприятию.

Высокоплавкие битумы (температура затвердевания 130 °С и выше) сначала охлаждают в котлованах, затем дробят и засыпают в стандартные мешки (50 кг) или резинотканевые контейнеры объемом 1,0 или 1,5 м³ [7]. Например, на Ухтинском НПЗ лаковый битум из куба сливают самотеком при температуре 260...270 °С по открытому лотку в металлический котлован. Битум охлаждается до затвердевания в течение 3...5 суток, а затем его выгребают из котлована бульдозером. Чтобы битум при охлаждении не загрязнялся и не обводнялся, котлован должен быть защищен от воздействия атмосферных осадков.

Недостатки этого способа: необходимость больших производственных помещений; загрязнение воздуха вредными парами и пылью при выгрузке битума из котлована, дроблении и упаковывании.

Небольшая часть битумов (около 1 %) упаковывается в металлические бочки. В бочках битум перевозят в районы Крайнего Севера и Дальнего Востока, а также поставляют на экспорт. Заливка производится из гибкого шланга при визуальном наблюдении за объемом битума.

Для более точного дозирования битума бочку устанавливают на площадку весов, находящихся под заливочным патрубком.

Металлические бочки являются невозвратной, неутилизируемой и дорогостоящей тарой – цена бочки превышает цену перевозимого в ней битума.

Для уменьшения расхода металла и трудоемкости упаковывания крупным постоянным потребителям поставляют битум в металлических возвратных контейнерах. Имеются сведения об использовании контейнеров для перевозки битума: на Омском заводе – в Норильск, Хабаровском заводе – на Камчатку. Недостатками использования контейнеров являются: дополнительные затраты на возврат порожней тары; трудность слива из них битума и обратной перевозки из отдаленных районов.

Металлическая тара – банки из белой жести вместимостью 20 кг – используется для упаковывания битумных кабельных составов, которые практически не отличаются от строительных битумов.

Однако такая мелкая для нефтеперерабатывающего завода фасовка является слишком крупной для потребителей, так как для кабельной промышленности требуется фасовка по 2, 3, 5, 7, 9, 10 кг. При отсутствии автоматизированного оборудования мелкая фасовка битума является дорогостоящей.

Битумные составы, предназначенные для заливки муфт кабелей на напряжения до 10 кВ, должны обладать хорошими диэлектрическими свойствами, не иметь посторонних включений и загрязнений. Эти свойства составы должны сохранять в процессе хранения и транспортировки, причем гарантийный срок хранения составляет 2 года, эксплуатации муфт – 4...5 лет, срок службы линий – 25 лет.

Нефтеперерабатывающим предприятиям экономически невыгодно заниматься мелкой фасовкой из-за отсутствия высокопроизводительного упаковочного оборудования. В связи с этим кабельным заводам поставляют битум в болванках массой 200...250 кг в бумажной таре. Кабельные предприятия вынуждены сами заниматься мелкой фасовкой и повторным упаковыванием. Болванка битума вручную дробится на мелкие куски, из них набирают и взвешивают нужную порцию, которую укладывают в по-

лиэтиленовый пакет. Пакет герметизируют термосклейванием. Очевидно, что затраты на повторное упаковывание одного и того же продукта нецелесообразны. Кроме того, эта процедура сопровождается значительными потерями битума. Однако наиболее нежелательным (опасным) следствием является снижение надежности работы кабельных муфт вследствие ухудшения качества битума при перевозке в бумажной таре и повторном упаковывании. Мелкой фасовке по 6, 10 и 15 кг подвергают также битум, реализуемый населению. Мелкая фасовка битума на разных заводах производится путем заливки в бумажные мешки или картонные коробки. При наличии всех недостатков упаковывания в бумагу появляется еще один – очень низкая производительность и высокая стоимость упаковывания, большие затраты ручного труда.

За рубежом также производится упаковывание в металлические бочки и бумажные мешки [24]. Внутренний слой бумажного мешка вместимостью 50 л имеет антиадгезионное силиконовое покрытие. Мешки вставляют в шесть гнезд контейнера, представляющего собой узкий металлический ящик. Контейнер на роликовом транспортере подводится вручную к разливочному устройству. Налив осуществляется одновременно в два мешка из двух обогреваемых паром пробковых кранов. Контейнер с наполненными мешками по роликам отодвигается от разливочного устройства. На верхний край мешка с двух сторон прикладывают картонные накладки и зашивают мешок металлическими скрепками. После этого контейнер снимается автопогрузчиком с транспортера и перевозится на открытую бетонированную площадку. Здесь контейнер с помощью рычагов автопогрузчика отклоняется от вертикали на 45°, дно контейнера открывается, и при заднем ходе погрузчика мешки с битумом выгружаются на площадку для охлаждения.

Бочки для упаковывания битумов за рубежом изготавливают обычно из тонкого гофрированного листа толщиной 0,3...0,8 мм. Узел изготовления бочек располагают около узла упаковывания битума. Бочки подают на поддоне к разливочному устройству или заливают битум с платформы, движущейся над бочками [24].

Японской фирмой «Тайсей Машинери» создана высокомеханизированная установка упаковывания битумов в многослойные бумажные мешки с антиадгезионным силиконовым покрытием внутреннего слоя и водонепроницаемым наружным слоем [36].

Упаковывание производится следующим образом. Мешки вручную вставляют в металлические формы, установленные на конвейере. Горячий жидкий битум заливают в открытый мешок, зашивают его верх на пере-

движной швейной машине. Затем форму опрокидывают вращением ее кольцевой опоры, и мешок с еще жидким битумом съезжает на инвентарный металлический поддон.

Поддоны перемещают конвейерами на многоярусный механизированный склад, где на стеллажах происходит естественное охлаждение битума до затвердевания. После этого мешки толкателями перемещаются с инвентарных на стандартные поддоны, на которых из нескольких мешков формируются транспортные пакеты. Эта установка обеспечивает высокую производительность и культуру производства, однако имеет высокую металло- и энергоемкость. Экологические проблемы, присущие использованию бумажной тары, тоже не решены.

В связи с несовершенством описанных способов упаковывания, в течение многих лет ведется поиск новых технологий. Наиболее перспективной является замена существующих видов тары полимерной, в частности, пленочной тарой.

В 50-е годы XX века в промышленности и в быту началось повсеместное использование полиэтилена, особенно в качестве упаковочного материала. Разработка технологий упаковывания битумов с использованием различных полимерных пленок, в первую очередь полиэтиленовых, стала основным направлением поисковых работ в этой области. Главным достоинством полиэтиленовой пленки в качестве тары для битумов является возможность ее утилизации вместе с продуктом.

Благодаря этому исключаются загрязнение окружающей среды твердыми отходами и потери битума при подготовке к потреблению. Кроме того, добавка полиэтилена несколько улучшает свойства битумных мастик, исключается потребность в ручном труде для освобождения битума от тары.

При перевозке битума в герметичной полиэтиленовой пленочной таре отсутствуют проблемы слипания битума, ухудшение его качества и возгорания.

Исследования по упаковыванию битума в полимерную пленку, подтвержденные патентами, по характеру предлагаемых способов можно объединить в несколько групп (см. рис. 2.1).

Первая группа предусматривает охлаждение распыленного битума воздухом перед или в процессе его упаковывания в пленку, а затем охлаждение до затвердевания.

Венгерскими авторами [21] предлагается охлаждать диспергированный битум воздухом, а затем дозировать его в формы с вкладышами из полиэтиленовой пленки (рис. 2.2).

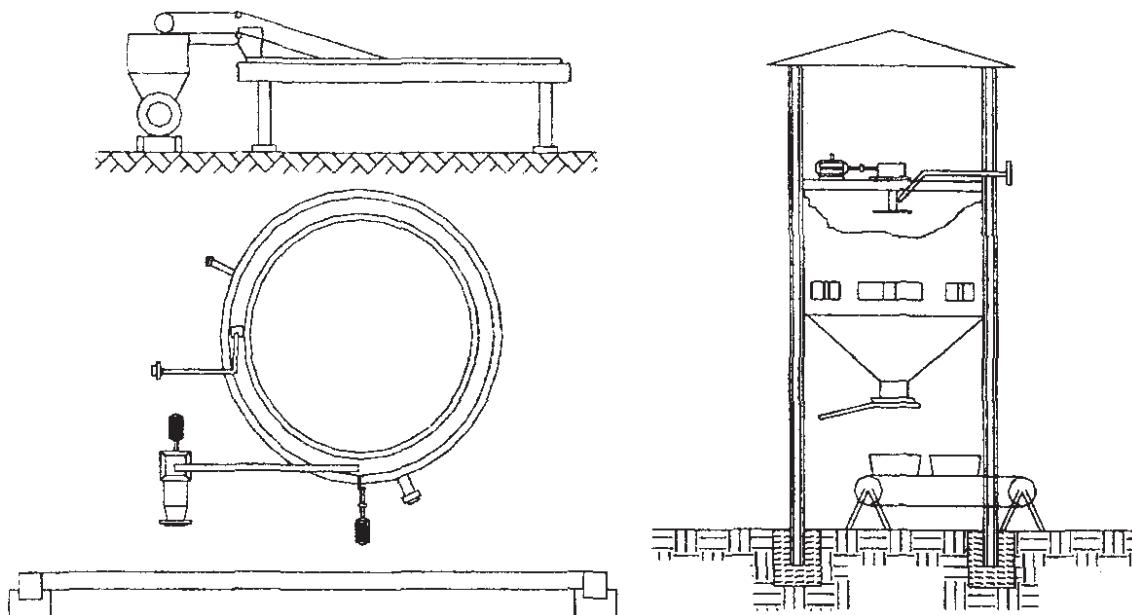


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема установки охлаждения распылением и брикетирования с водяным охлаждением

Распыление предусмотрено с помощью вращающегося диска или перфорированной чаши. Распылитель битума установлен вверху колоны, а снизу в нее подается воздух. В качестве дозатора охлажденного до пластичного состояния битума рекомендуется экструдер. Доохлаждение битума до полного затвердевания производится в кольцевом бассейне с водой, по которому перемещаются формы. Недостатками этого решения являются загрязнение воздушной среды и потери битума вследствие уноса мелких частиц, ненадежность работы распылителя и экструдера из-за налипания битума на стенках колонны после остановок.

Способы упаковывания битумов (патенты Полоцкого государственного университета [65, 66]) предусматривают охлаждение битума воздухом при подаче его пневматическим распылителем на пленку,ложенную в формы, которые размещены на конвейере. После затвердевания битума половины брикета из двух форм укладываются друг на друга (как закрывается книга), в результате получается брикет битума в пленке.

Благодаря распылению достигается высокая скорость охлаждения битума, однако общий недостаток способов упаковывания этой группы – унос мелких частиц битума и, как следствие, его потери и загрязнение окружающей среды.

Во второй группе жидкий битум охлаждают до затвердевания, а затем упаковывают его в обычную или термоусадочную пленку.

В ряде стран [32, 33, 67] используют способ, при котором предусматривается охлаждение битума до затвердевания в металлических формах с

откидывающимися днищами. От налипания битума стенки формы внутри смазывают силиконовым покрытием, а снаружи охлаждаются водой. После извлечения из формы брикеты битума заворачивают в полиэтиленовую пленку. Недостаток – длительность охлаждения, ненадежность антиадгезионной защиты.

Способ, предложенный в Швеции [23], предусматривает охлаждение битума на ленте конвейера в тонком слое. Затем битум снимают ножом, разрезают на куски и укладывают их друг на друга, далее обворачивают полученный брикет пленкой.

Битум на ленту наливается в несколько приемов, а его охлаждение производится орошением ленты конвейера снизу водой и наливанием тонкой пленки воды на поверхность битума. Затем битум сушат, обдувая его на конвейере воздухом.

Для предотвращения налипания битума на ленту конвейера наносят антиадгезионную смазку. Для штабелирования кусков битума используют вакуумный захват, поворачиваемый шарнирным устройством на 90°.

Недостатками способа являются обводнение битума и дополнительные энергозатраты на его сушку, сложный механизм штабелирования, многостадийность процесса.

Наиболее прогрессивной, из известных технологий упаковывания битума в полиэтиленовую пленку, является технология, разработанная фирмой «Nynas» (Швеция) [22]. Фирма «Sandvik» (Германия) по лицензии фирмы «Nynas» разработала и выпускает автоматизированную установку для упаковывания битума в полиэтиленовую пленку, основанную на способе его охлаждения до затвердевания перед размещением в таре [23]. Такая установка эксплуатируется с 1972 года на НПЗ в г. Гетеборге (Швеция), а также работает на Саратовском НПЗ (Россия). Схема установки фирмы «Sandvik» приведена на рисунке 2.3.

Процесс осуществляется следующим способом. Жидкий битум с температурой 120...180 °C подается непрерывно на стальную ленту конвейера. Лента шириной 1200 мм разделена на 3 дорожки четырьмя резиновыми продольными перегородками высотой 15 мм, вулканизация которых производится непосредственно на ленте конвейера.

Толщина слоя битума на ленте около 9 мм, при этом время охлаждения до полного затвердевания составляет 5 минут.

Охлаждение производится в первой зоне водой или смесью воды с гликолем, имеющие температуру около 20 °C. Длина первой зоны составляет примерно 70 % общей длины конвейера. Во второй зоне используется тот же хладагент с температурой 4 °C, который циркулирует через холодильную машину. Охлаждающая жидкость разбрызгивается на нижнюю

поверхность ленты конвейера. Сверху слой битума охлаждается воздухом, подаваемым вентилятором.

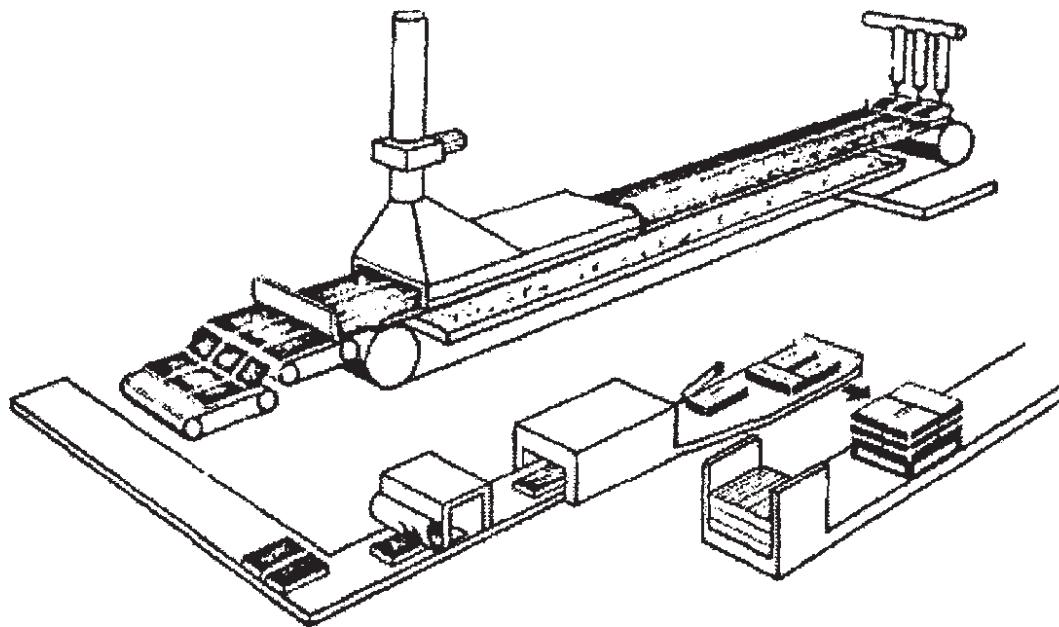


Рисунок 2.3 – Установка фирмы «Sandvik»

Перед подачей битума стальная лента смазывается антиадгезионным средством – мыльным раствором или силиконовым маслом. Это облегчает снятие затвердевшего битума с ленты.

Полосы затвердевшего битума разрезаются нагретым ножом на куски длиной 800 мм, которые затем укладываются друг на друга, образуя блок. Блоки упаковываются в термоусадочную пленку, укладываются на поддоны вручную, автоматически или полуавтоматически. Масса битумных блоков – 25 кг, толщина пленки 0,07 мм.

Охлаждение битума до полного затвердевания, снятие его слоя с ленты конвейера и резка на куски, использование холодильной машины, нагрев пленки в термоусадочной камере, транспортные операции требуют значительного расхода энергии.

Кроме того, большое количество довольно сложного оборудования обуславливает высокую металлоемкость, стоимость и большие габариты установки. Для надежной работы установки требуются антиадгезионные материалы. Производительность установки при односменной работе составляет 4000 кг/ч, установленная мощность электрооборудования около 290 кВт, размер занимаемой площади – 45 × 1,2 м.

Описанная технология рекомендуется разработчиками и для упаковывания битумов марок: 85/40; 85/25; 95/30.

Недостатками этого способа являются:

- потребность в большом количестве сложного оборудования, включая холодильную машину, что делает установку чрезвычайно дорогой;
- высокая энергоемкость установки (≈ 70 кВт·ч на 1 т упакованного материала);
- потребность в больших производственных площадях;
- потребность в антиадгезионных материалах, необходимых для изготовления ленты;
- увеличение загрязнения воздуха парами битума даже по сравнению с упаковыванием в бумагу, так как испарение происходит с большой свободной поверхности.

Высокая энергоемкость способов, объединенных в эту группу, обусловлена необходимостью отвода большого количества тепла при охлаждении до полного затвердевания битума.

Третья группа исследований предполагает заливку горячего битума в формы с вкладышами из полимерной пленки и охлаждение на воздухе.

Исследователи ФРГ предлагают горячие продукты типа битума и парафина заливать в горизонтальную открытую сверху форму в виде желоба, выложенную пленкой [11]. Затем в слой продукта в форме вставляются вертикальные разделительные пластины, обернутые пленкой, и продукт охлаждается на воздухе (рис. 2.4).

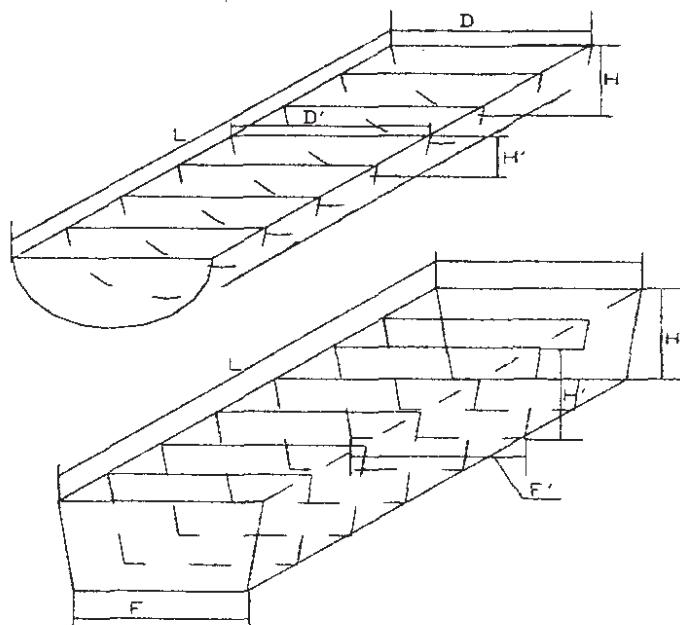


Рисунок 2.4 – Брикетирование в желобе с разделительными вставками

После затвердевания продукта пластины удаляют и извлекают брикеты, разделенные пленочными вставками.

Рекомендуется разделительные пластины изготавливать из пластмассы или металла высотой, в 2 раза большей высоты желоба.

Поперечное сечение желоба должно быть полукруглой, трапециевидной или треугольной конфигурации, что облегчает извлечение брикетов при переворачивании формы и их штабелирование на поддонах. Преимуществом этой технологии является высокая производительность, простота аппаратурного оформления, низкие энергозатраты, отсутствие дозатора. Недостатки – ручная работа, вредные испарения, длительность воздушного охлаждения, периодичность процесса.

В Бельгии [30], Франции [31] и ФРГ [11] запатентованы способ и установка для упаковывания битума в полипропиленовые мешки белого цвета, размещенные в формах вертикально-замкнутого транспортера (рис. 2.5).

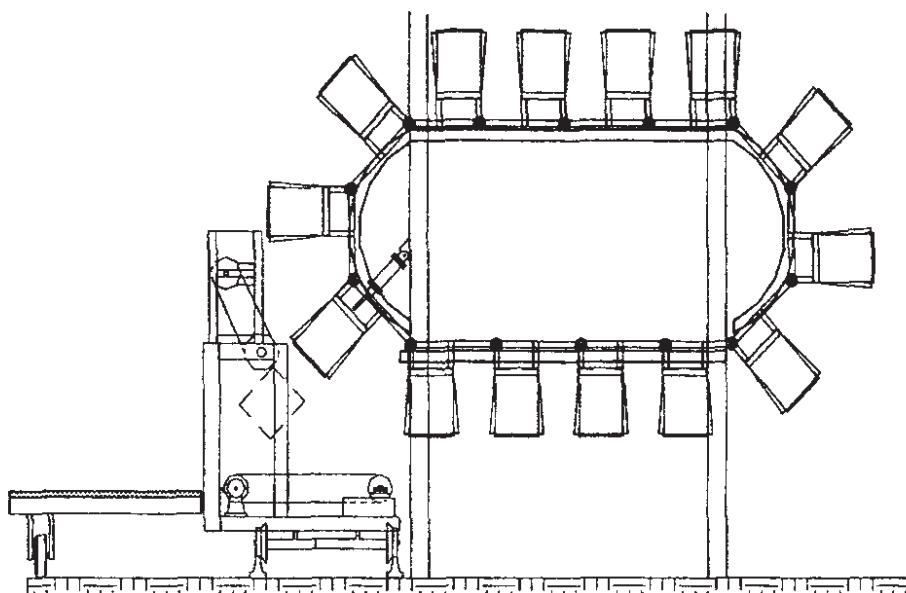


Рисунок 2.5 – Установка упаковывания битума в полипропиленовые мешки

Благодаря высокой температуре плавления полипропилена, гарантируется сохранность тары при контакте с битумом, заливаемым при температуре 150...160 °С. Охлаждение битума проводится естественным путем на воздухе при движении форм по верхней и нижней ветвям транспортера. После затвердевания битума мешок выталкивается из формы в пункте разгрузки. Для осуществления этой операции в днище имеется отверстие, закрытое пластиной. Через отверстие в днище перевернутой формы вводится шток гидроцилиндра, который воздействует на пластину и через нее на блок битума. Для облегчения выталкивания блока из формы через шток гидроцилиндра в форму подается сжатый воздух. Извлеченный из формы блок падает на приемный транспортер.

Белый цвет полипропилена предохраняет битум при хранении от расплавления под воздействием солнечной инсоляции.

Недостатком данного способа и установки является ручная укладка и закрепление мешков в формах, опасность заклинивания блоков в вертикальных формах. Низкая эффективность воздушного охлаждения обуславливает большую длину транспортера. Верх мешков не запечатывается, следовательно, упаковка оказывается негерметичной, что вызывает загрязнение воздуха парами вредных для здоровья веществ при заливке и не исключает возможность загрязнения битума при транспортировке. Кроме того, из-за высокой температуры плавления полипропилена возникают проблемы при его смешивании с битумом в процессе расплавления тары вместе с битумом перед использованием.

В США предлагается способ упаковывания битума в картонные коробки с вкладышами из пленки толщиной 0,05...0,075 мм [12]. Материал вкладыша должен выдерживать температуру горячего битума. Коробки и

вкладыши имеют прямоугольную форму. Упаковывание производится следующим образом (рис. 2.6).

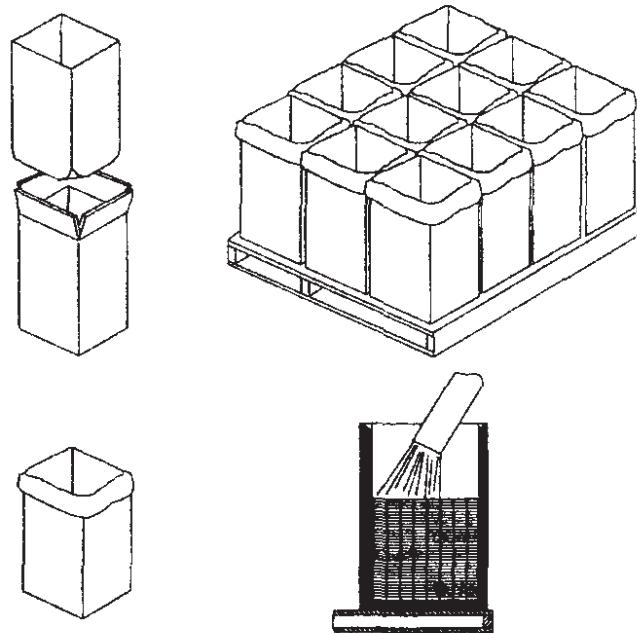


Рисунок 2.6 – Упаковывание в картонные коробки с вкладышами из пленки

На плоском поддоне вручную устанавливают несколько картонных коробок, помещают в них вкладыши из пленки. Верхнюю часть вкладышей отворачивают на верх коробок, и из гибкого переносного заливочного устройства поочередно заливают в них битум. После заполнения всех коробок заворачивают внутрь края пленочных вкладышей, закрывают и запечатывают скобками крышки коробок.

Затем на первый ряд устанавливают второй ряд коробок и т.д. Число рядов коробок зависит от грузоподъемности поддона. Сформированный пакет обвязывают лентой. Вместо нескольких коробок можно использовать одну многосекционную. Ручная работа в атмосфере вредных испарений, длительность охлаждения битума при его большой массе в коробках, повышенные затраты на двойную тару ограничивают применимость этой

технологии малыми производительностями. Недостатки способа – двойная тара, ручная работа, длительность охлаждения

Четвертая группа патентов основана на заливке битума в горячем жидким виде в пленку и применении эффективного водяного охлаждения.

Известен способ упаковывания твердых и полутвердых материалов, таких как битум, парафин, сера и других в полимерную пленочную тару [34]. Тара представляет собой мешок, изготовленный путем отрезания куска от рукавной пленки, на нижний конец которого наложен зажим. Рукав можно получать с помощью экструдера, либо из ленты пленки. Материал вводится в рукав через головку экструдера или через рукавообразователь. Конец рукава заваривается и опускается в форму, в него вводится доза расплавленного продукта, затем над продуктом накладывается попечерный шов. После заполнения мешка продуктом и его запечатывания днище формы открывается, и мешок соскальзывает в ванну с водой для доохлаждения. После охлаждения битума до затвердевания мешки извлекают из воды и отправляют на склад.

Недостатки этого способа: ручные операции, сдавливание мешка водой и выдавливание битума при заливке, так как его плотность в горячем состоянии меньше плотности воды. Кроме того, мешки можно заполнять только последовательно, что не обеспечивает высокой производительности. После снятия зажимов упаковки либо остаются негерметичными, либо требуется заваривание открытых концов мешка.

Институтом Ростгипронефтехим предложен способ упаковывания битумов в полиэтиленовую пленку с использованием червячного пресса [42, 43]. Горячий битум вводится в полиэтиленовый рукав в процессе его изготовления, для чего в угловой головке червячного экструдера размещен битумопровод. Наружные стенки рукава охлаждаются водой, подаваемой в калибрующее устройство. Битум в пленке при помощи тянуще-отрезного устройства по направляющим роликам протягивается через ванну с водой и затем сматывается в бухту или разрезается на порции.

Апробация установки на Новополоцком НПЗ не дала положительных результатов: происходило всплытие рукава с битумом, расплавление пленки и вытекание битума в ванну. Во избежание проплавления пленки разрезать рукав с битумом на отдельные упаковки (порции) или сматывать его в бухту можно лишь после полного затвердевания битума в рукаве, для чего требуется длительное пребывание его в охлаждающей воде. При этом охлаждающее устройство получается громоздким, имеет большую металлоемкость. Требуется большой расход энергии на протягивание рукава с битумом и на циркуляцию воды.

Кроме того, сварка отрезанных концов рукава невозможна, так как битум препятствует контакту свариваемых слоев пленки. Таким образом, упаковки битума оказываются открытыми с двух сторон (в местах резки), что делает их непригодными для хранения и транспортирования, так как битум будет выдавливаться под воздействием веса вышерасположенных упаковок при складировании и вытекать под воздействием солнечной инсоляции и повышенной температуры воздуха.

Японскими авторами в Великобритании [35], Японии [36], Франции [21], ФРГ [37], США [38] запатентованы способы и установки для упаковывания полутвердых материалов типа битума в мешки из синтетической пленки. В качестве упаковочного материала могут использоваться сополимеры винилацетата или полиэтилен низкой плотности. Установка предназначена для заливки в мешки по 20 кг битума.

Установка по упаковыванию твердых продуктов (рис. 2.7) состоит из следующих компонентов: устройства предварительного охлаждения битума; шестеренчатого насоса для его подачи; поршневого дозатора; механизмов вакуумного захвата и раскрытия мешков; устройств для закрепления, перемещения и термосклейивания мешков; устройства водяного охлаждения мешков во время заливки битума; ванны с водой для окончательного охлаждения битума до затвердевания и транспортера с толкателем для извлечения мешков с битумом из ванны.

Упаковывание производится следующим образом. Горячий битум предварительно охлаждается до такой температуры, при которой он сохраняет достаточную текучесть. Порция битума заливается в открытый мешок из пленки, наружные стенки которого охлаждаются водой. Затем верх мешка запечатывается термосваркой и мешок опускается в ванну с водой, в которой он охлаждается на плаву. После затвердевания битума мешок извлекают из воды и транспортируют на склад.

Устройство предварительного охлаждения битума представляет собой емкость с рубашкой и вращающимися змеевиками, в которые подается охлаждающая вода через полый вал.

Механизм захвата совершает движение сложной траектории, забирая мешок из стопки и переводя его в вертикальное положение. Для раскрытия мешка предусмотрены вакуумные захваты, подводимые к мешку с противоположных сторон, и патрубки подачи сжатого воздуха внутрь мешка через открытый его верх. Устройства закрепления и перемещения мешков включают два цепных конвейера с зажимами и два параллельных ленточных конвейера.

Стенки мешков сжатым воздухом прижимаются к вертикальным лентам конвейеров, сверху удерживаются зажимами и таким образом перемещаются под заливочный патрубок дозатора и затем к ванне с водой.

Устройство водяного охлаждения мешков состоит из оросителей, размещенных с двух сторон ленточных конвейеров, и канала с водой.

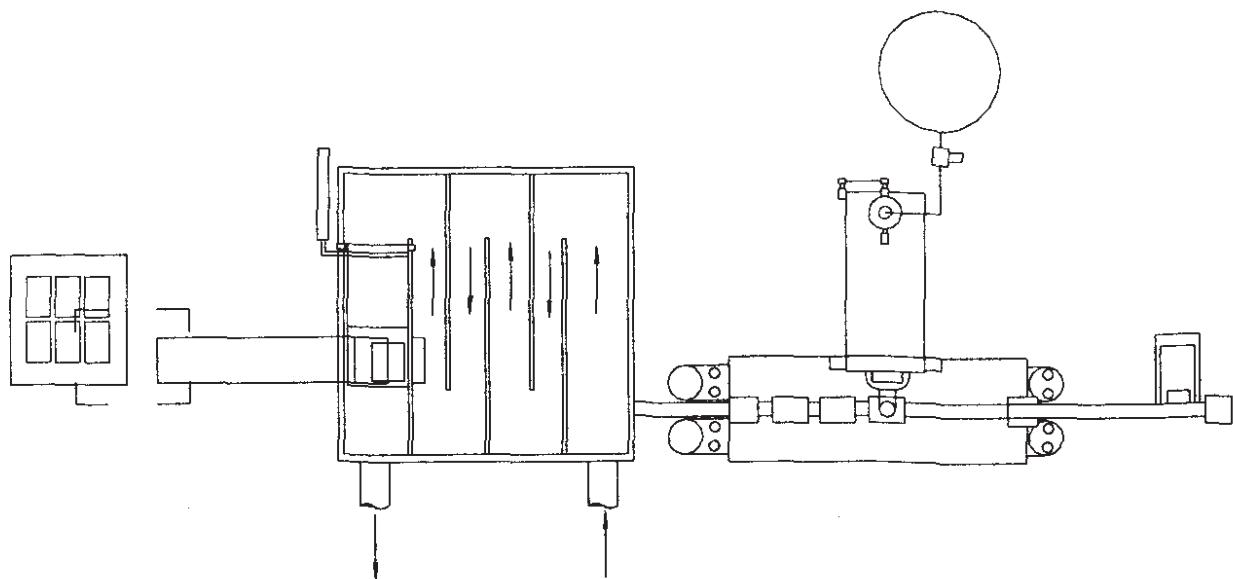


Рисунок 2.7 – Принципиальная схема установки
по упаковыванию твердых продуктов

Описанный способ и установка характеризуются следующими недостатками. Процесс упаковывания включает большое число вспомогательных операций: захват и поворот мешка, его раскрытие, закрепление верха мешка в зажимах, ввод воздуха внутрь мешка, перемещение наполненного горячим битумом мешка и освобождение его от зажимов.

Перемещение мешков лентами конвейеров связано с риском разрыва днища мешков за счет деформации пленки под воздействием высокой температуры и гидростатического давления залитого битума, так как днище мешка не опирается на поверхность канала, а находится над ней на некотором расстоянии. В случае касания днища движущегося мешка о поверхность канала возможен разрыв пленки за счет трения. Таким образом, надежность проведения процесса не гарантирована.

Предварительное охлаждение битума требует дополнительного расхода энергии на его подачу – на работу шестеренчатого насоса и поршневого дозатора. Как и в большинстве имеющихся предложений, заливка битума сопровождается загрязнением воздушной среды.

Установка сложна и металлоемка, наличие вращающихся в битуме змеевиков и других элементов снижает надежность в работе. Сведений о промышленном использовании данной технологии не выявлено.

В патенте [40] упаковывание битума производится следующим образом. На форму, размещенную на конвейере, укладывается полимерная пленка таким образом, чтобы она провисала внутрь формы. Затем на нее наливается из емкости доза битума. Пленка под действием веса и высокой температуры битума прижимается к стенкам формы. Битум охлаждается в форме в течение 5...10 часов в зависимости от температуры окружающей среды. Затвердевший битум извлекают из формы в виде блока с прилипшей к его поверхности пленкой. Масса блока составляет 25 кг. Во избежание проплавления пленки при заливке горячего битума его температура должна быть ниже температуры плавления материала пленки.

Установка упаковывания, включает в себя конвейер с весовым роликовым рольгангом в пункте заливки. Над рольгангом устанавливается емкость с битумом, на заливочном патрубке которой стоит клапан с пневмо-приводом с автоматическим управлением от весов. Рядом с весовой секцией рольганга по разные стороны от него размещены рулон с пленкой и механизм протяжки пленки. Зажимные пластины этого механизма совершают возвратно-поступательное движение поперек конвейера к рулону с пленкой. Около рулона находится нагревательная проволока для отрезания куска от пленки. Для извлечения блока битума из формы в ее днище помещена пластина намагничиваемого материала, а в днище формы имеется 6 равномерно расположенных отверстий диаметром 100 мм. На разгрузочной станции размещены 6 пневмоцилиндров, на штоках которых закреплены электромагниты диаметром 80 мм. На разгрузочной станции форма ориентируется стопорами и в отверстия формы вводятся электромагниты, поднимая вверх пластину с расположенным на ней блоком битума. Затем блок сдвигается с пластины с помощью горизонтального пневмоцилиндра на другой транспортер. Пластина в это время удерживается на месте электромагнитами. Можно вынимать блоки из формы и другим способом, например, путем ее переворачивания.

Недостатком описанного способа является значительная толщина пленки 0,6...1,0 мм. Однако и при такой толщине стоимость упаковочного материала почти в 2 раза меньше стоимости картонных коробок и металлических банок, которые используются в качестве тары.

Кроме того, большая продолжительность охлаждения битума до 10 часов требует либо большой длины конвейера, либо малой производительности. При заливке горячего битума происходит выделение вредных паров в атмосферу.

2.4. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УПАКОВЫВАНИЯ ПАРАФИНОВ

Основное количество вырабатываемых парафинов разливается в железнодорожные цистерны и в них транспортируется крупным потребителям.

Для мелких потребителей и экспорта производится мелкая фасовка парафина и упаковывание в бумажную, картонную тару и мешки из ткани.

Наиболее примитивным и малопроизводительным является разлив в различные лотки (противни) и другую инвентарную или случайную тару. При этом расплавленный парафин заливают в тару, установленную на стеллажах в не отапливаемом помещении. Парафин охлаждается естественным путем на воздухе до затвердевания. Длительность охлаждения – 10...12 часов в зимнее время и 18...24 часа в летнее [68]. Все операции (заливка, выемка плит парафина из лотков и их упаковывание) производятся вручную. При такой технологии требуются большие производственные площади и затраты тяжелого ручного труда.

Этот способ вынуждены использовать многие нефтебазы и мелкие потребители из-за отсутствия специализированного фасовочного оборудования малой производительности и по доступной цене.

На некоторых нефтеперерабатывающих заводах сохранились и иногда еще используются рамные машины с разборными формами. Эти машины состоят из большого числа камер-форм, установленных на двух горизонтальных направляющих. Камеры прижимаются друг к другу при помощи гидравлического пресса. Его плунжер давит на подвижную плиту и прижимает камеры к неподвижной плите. В камеры, через одну, заливают парафин, а в оставшиеся подают охлаждающую воду. Время охлаждения парафина до затвердевания зависит от температуры охлаждающей воды и составляет около 6 часов. После затвердевания парафина камеры раздвигают и извлекают плиты парафина. Суточная производительность машины до 15 т, толщина плит 50 мм. Эти машины громоздки и металлоемки, обслуживаются вручную, причем от рабочих требуется большая физическая сила. Применяются для охлаждения парафина машины барабанного типа [16 – 19]. Такая машина состоит из врачающегося барабана, погруженного в ванну с расплавленным парафином. Барабан изнутри охлаждается водой или рассолом. Слой парафина, затвердевшего на поверхности барабана, снимается и разрезается ножом на мелкие частицы. Парафиновой крошкой заполняют бумажные мешки, верх которых застрачивают на зашивочной головке, и

затем подают их транспортером на склад. Недостатком данного способа является слипание частиц парафина при хранении, повышенный расход тары, так как коэффициент использования ее объема составляет около 60 %. Кроме того, барабанные машины имеют малую производительность.

Наиболее распространены на заводах в странах СНГ и за рубежом машины конвейерного типа для отливки плит парафина, например, автоматическая линия АЛРУП, разработанная НИПИ Нефтехимавтомат (Сумгаит). Схема машины представлена на рисунке 2.8.

Внутри холодильной камеры размещен 8-ярусный цепной конвейер с тележками, на которых закреплены формы. В формы заливают жидкий парфин при помощи дозатора. С одного яруса на другой тележки переводятся подъемно-поворотным устройством, причем при подъеме тележек их горизонтальное положение сохраняется. Формы имеют антиадгезионное покрытие. Охлаждение парафина производится воздухом в аммиачной холодильной машине. Температура в холодильной камере от минус 4 до 0°C.

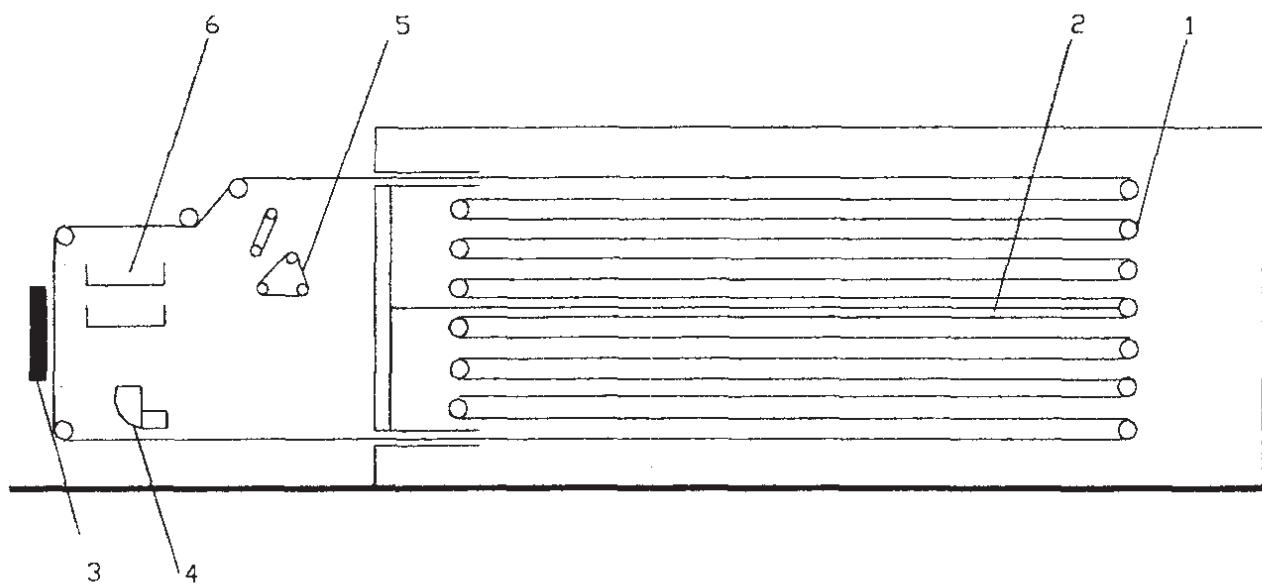


Рисунок 2.8 – Схема конвейерной автоматической установки непрерывного разлива парафина:

- 1 – цепной конвейер с формами;
- 2 – холодильная камера;
- 3 – электроподогреватель;
- 4 – устройство для дозирования парафина в формы;
- 5 – конвейер для транспортировки плит на упаковочный автомат

Для извлечения плит парафина из форм тележки опрокидывают кулачковым механизмом, плиты ленточным транспортером перемещаются на рольганг автоматической линии упаковки в картонные коробки.

Техническая характеристика установки АЛРУП:

- производительность 2000 кг/ч;
- масса плит парафина 5 кг;
- размеры плиты $350 \times 350 \times 36$ мм;
- время пребывания формы с парафином в холодильной камере 2,5...3 ч;
- установленная мощность электрооборудования 23,4 кВт;
- холодопроизводительность холодильной машины 210 кВт;
- габариты установки $26,6 \times 4,5 \times 3,2$ м.

В состав упаковочной машины входят автомат укладки плит парафина в картонные короба, устройство обвязки стальной лентой (в бумажные и тканевые мешки плиты укладываются вручную).

Техническая характеристика упаковочной линии:

- производительность 80 коробов/ч;
- размеры короба $355 \times 260 \times 355$ мм;
- номинальная масса плит в коробе 25 кг;
- установленная мощность 5,2 кВт;
- габариты $11,67 \times 3,2 \times 1,75$ м.

Из представленных здесь данных видно, что установки эти сложны, громоздки, имеют высокую металло- и энергоемкость, большие габариты. Эти недостатки связаны с длительностью неэффективного воздушного охлаждения и необходимостью охлаждать продукт до затвердевания из-за использования тканевой и бумажной тары.

Достоинством является высокая степень механизации и автоматизации, хороший внешний вид и правильная форма плит парафина.

За рубежом установки аналогичного принципа действия выпускают фирмы: «Концимер» (Италия); «Иточу» (Япония); «Отто и Олерт», «Фердетехник», «Вазелин-Верке» (Германия); «Гриер» (Англия) [16 – 19, 68].

Многих исследователей привлекает возможность интенсивного охлаждения диспергированного парафина. Такие работы проводились на испытательной станции в институте Гипронефтемаш [17].

Парафин распыляется механическими форсунками в пустотелой колонне с восходящим потоком воздуха. Парафин подают в форсунки насосом под давлением 0,05...0,8 МПа. Частицы распыленного парафина охлаждаются воздухом до пластичного состояния и попадают в нижнюю часть колонны, где поддерживается кипящий слой. Затем гранулы твердого па-

рафина выгружают из колонны на транспортер и прессуют в плиты массой 0,2 кг или упаковывают в мешки.

Однако эта технология не была внедрена в промышленность вследствие высоких энергозатрат на подачу воздуха [17]. Аналогичный способ был запатентован в ГДР [20].

Преимуществом охлаждения диспергированного парафина является большая скорость теплоотвода от мелких частиц. Однако в связи с тем, что в описанных способах воздух и частицы парафина движутся противотоком, скорость воздуха должна быть небольшой, в противном случае происходит унос частиц парафина, как следствие, приводит к его потерям и загрязнению окружающей среды.

За рубежом распылительное охлаждение парафина используется в промышленности, например, в Польше (нефтеперерабатывающий завод г. Тжебиня). Парафиновую крошку упаковывают в тканевые мешки.

Сопоставление описанных технологий показывает, что их общим недостатком является высокая энергоемкость. Кроме того, имеются и специфические для каждого способа недостатки.

Глава 3

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ВЫСОКОЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

3.1. ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БИТУМОВ И ПАРАФИНОВ

Транспортный процесс ВЗНП зависит от многих факторов, в том числе и от их физико-химических свойств.

Особенностью транспортирования ВЗНП является то, что они могут участвовать в транспортном процессе, находясь в различных агрегатных состояниях:

- в жидком виде – требуется предварительный подогрев продукта и поддержание его температуры в заданных пределах;
- в твердом виде – охлаждение до температуры окружающей среды.

Транспортирование ВЗНП в жидком виде осуществляется: в железнодорожных бункерах; автомобильным транспортом – в битумовозах; танкерах, имеющих теплоизоляцию и оборудованных средствами обогрева; трубопроводным транспортом («горячими»): битумопроводы, мастикопроводы.

За рубежом до 90 % таких нефтепродуктов транспортируется в горячем жидкому состоянии автобитумовозами и танкерами [24]. В ФРГ до 95 % битумов перевозят автотранспортом [69], во Франции преимущественно используются танкеры и баржи. Доля железнодорожного транспорта при перевозке битума в зарубежных странах невелика.

«Горячим» способом в странах СНГ перевозится около 20 % строительных и высокоплавких битумов, все дорожные битумы и большая часть парафинов.

Для транспортирования твердых нефтепродуктов в жидкому виде в странах СНГ используется в основном железнодорожный, автомобильный и речной транспорт. При этом железнодорожным транспортом в жидкому виде перевозится около 70 % всех ВЗНП.

При перевозке битумов на расстояние до 100 км экономичнее использовать автомобильный транспорт, а при больших расстояниях – железнодорожный [70].

Достоинства транспортирования ВЗНП в жидкому виде:

- из транспортного процесса исключается стадия подготовки их к физическому перемещению;
- у потребителя значительно снижаются затраты, связанные с их хранением, разогревом и утилизацией тары; у производителя – за счет отсутствия операции охлаждения.

В то же время транспортирование таких нефтепродуктов имеет и серьезные недостатки. Прежде всего, это необходимость использования специализированной транспортной тары, имеющей теплоизоляцию и оборудованной средствами обогрева. Однако даже при наличии таких средств для транспортирования высокозастывающих нефтепродуктов на этой операции их транспортного процесса возникает ряд проблем. Например, при поставке битумов в бункерных полувагонах или в железнодорожных цистернах партиями массой 40...50 т. Ковши бункеров имеют рубашку, в которую на станции назначения подается водяной пар для расплавления битума у стенки ковша перед выгрузкой. Зачастую из-за отсутствия пара или его низкого давления битум из бункеров извлекают вручную, с помощью ломов. Применение этого запрещенного приема приводит к повреждению стенок бункеров. При заполнении поврежденного бункера битум попадает в рубашку и застывает в ней. Разогреть и извлечь битум из рубашки практически невозможно. Бункеры с поврежденной рубашкой не подлежат ремонту и непригодны для дальнейшей эксплуатации.

Вследствие нехватки бункеров делались попытки перевозить битум в летнее время в цистернах из-под мазута. Однако этот опыт оказался неудачным – происходило застывание битума в сливном клапане, разогреть и открыть который зачастую было невозможно. При этом велика металлоемкость – на 1 т битума приходится 1 т тары.

К недостаткам транспортирования ВЗНП в жидком виде можно отнести и значительные затраты, связанные с порожним пробегом тары. При средних расстояниях перевозки в странах СНГ, составляющих около 1500 км, затраты на порожний пробег тары превышают затраты на разогрев нефтепродуктов. Кроме того, при перевалке груза с одного вида транспорта на другой и при перевозке на большие расстояния транспортирование «горячим» способом становится практически невозможным.

В тех случаях, когда транспортирование ВЗНП в жидком виде невозможно, их перевозят в твердом состоянии, упакованными либо размещенными в тару, например, в металлические емкости по 200 л.

Нефтепродукты с температурой застывания выше 60 °С – *твёрдые ВЗНП* – транспортируются в основном в твердом состоянии железнодорожным, автомобильным, речным, морским транспортом, а также контейнерным трубопроводным гидротранспортом (КТГТ) [13].

Контейнерный трубопроводный гидротранспорт – новый метод транспортирования различных грузов в контейнерах потоком перекачиваемой по трубопроводу жидкости. Возможность использования магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов для КТГТ появляется при неполной загрузке

трубопроводов или уменьшении ее с течением времени, например, при падении добычи нефти [10, 25 – 27, 72 – 75].

В разработке КТГТ совместно с Московским СКБ «Транснефтеавтоматика» [65, 71] участвовал и Полоцкий университет [10, 25 – 27, 72 – 75].

При разработке системы КТГТ изучалась возможность перевозки нефтяных битумов в контейнерах из полиэтилена. Жесткие цилиндрические контейнеры с битумом предполагалось транспортировать в потоке дизельного топлива или другой жидкости по магистральному нефтепродуктопроводу [10, 25 – 27, 72 – 75].

Выбор полиэтилена для изготовления контейнеров обусловлен его доступностью, невысокой стоимостью, устойчивостью к углеводородной среде, достаточной механической прочностью и легкостью изготовления контейнеров из них.

Экспериментально установлено: полиэтилен может совмещаться с битумом; устойчив к бензину, дизельному топливу и мазуту [26, 27].

Серия испытаний на магистральных нефтепродуктопроводах показала возможность многоразового использования контейнеров из полиэтилена для КТГТ [13]. Согласно расчетам [13], КТГТ не эффективен для транспортирования твердых нефтепродуктов на расстояния до 100 км, по сравнению с автомобильным, железнодорожным транспортом, трубопроводными, поточно-контейнерными системами и контейнерным пневмотранспортом. Однако при расстояниях свыше 100 км и при величине грузопотока не менее 150 тыс. тонн в год КТГТ является достаточно эффективным видом транспорта.

Наличие только транзитных нефтепроводов и территориальные особенности размещения нефтеперерабатывающих заводов не позволяют применять систему КТГТ в Беларуси.

Основные виды транспорта твердых нефтепродуктов в странах СНГ – железнодорожный, автомобильный и водный. Доставка твердых ВЗНП этими видами транспорта производится с использованием специальной тары [7, 9]. В настоящее время в качестве такой тары используются: полимерная, крафт-бумажные мешки, резинотканевые емкости, металлические бочки, картонные коробки [9].

До 85 % строительных и высокоплавких битумов в странах СНГ транспортируются упакованными в бумажные мешки. В Республике Беларусь все твердые битумы, а это около 50 тыс. тонн в год, перевозятся в крафт-бумажной таре. Такое широкое использование крафт-бумажной тары для упаковывания твердых битумов в странах СНГ обусловлено тем, что она позволяет обеспечивать высокую производительность при про-

стой технологии налива. Одновременно может заливаться до 2 т битума, т.е. 6...8 мешков по 200...250 кг. Это единственное достоинство использования крафт-бумаги в качестве тары для твердых битумов. На операциях же хранения и транспортирования твердых битумов, упакованных в крафт-бумажную тару, возникают большие проблемы.

Хранение твердых битумов, упакованных в крафт-бумажную тару, предполагает наличие больших складских помещений или площадок на заводах и перевалочных нефтебазах, поскольку его складирование производится в один ярус.

Для их перевозки используют железнодорожные полувагоны общего назначения. Битум в мешках грузят навалом или упорядоченно в 2...3 яруса. Загрузка полувагона составляет 40 т, т.е. используется примерно 70 % его грузоподъемности, так как болванки битума имеют неправильную цилиндрическую форму. Во избежание слипания мешков с битумом между ярусами укладывают доски, что увеличивает затраты на материалы и трудоемкость погрузки.

Опыт использования двухтонных контейнеров ПО «Ангарскнефтеоргсинтез» оказался неудачным в связи с тем, что болванки битума из-за неправильной цилиндрической формы трудно захватить подъемными механизмами при разгрузке. Для облегчения этой операции в каждый мешок вставляли металлический штырь с крючком, который закреплялся в битуме при его затвердевании.

Бумажная тара является одной из причин пожаров на железнодорожном транспорте, приносящих значительные убытки. Для предохранения от возгорания должна применяться установка для опрыскивания полувагонов с битумом в мешках водным раствором аммония [7, 24]. Однако большинство заводов такую обработку битума не производят.

Несмотря на предложение железнодорожного ведомства о запрещении использования бумажной тары для перевозки битума по железной дороге, такая упаковка продолжает использоваться и в настоящее время.

При перевозке битума в бумажной таре в летнее время болванки зачастую слипаются в монолитную массу, которую для выгрузки приходится дробить вручную, как следствие, продолжительность разгрузки превышает нормативы вдвое, увеличивается простой вагонов, происходят потери битума.

Крупные болванки битума в бумажной таре крайне неудобны и для потребителей. Перед закладкой в плавильные котлы их приходится дробить вручную (рубят топором) и освобождать от бумаги, которая плохо отделяется от битума, а ее остатки извлекают из котлов вручную, в результате бумага все же попадает в битумные покрытия, ухудшая их качество и снижая срок службы.

Общие потери битума при упаковывании, перевозке и подготовке к потреблению достигают 15 %. Эти потери приводят к загрязнению окружающей среды твердыми отходами. Кроме того, безвозвратно теряется до 8 кг бумаги на 1 т битума.

В бумажных мешках битум перевозят также в бортовых машинах и на самосвалах.

Ценные высокоплавкие битумы типа лаковых, рубраксов перевозят в крытых вагонах или полувагонах с использованием резинотканевых контейнеров объемом 1,5 м³ [76].

Небольшую часть битумов и парафинов перевозят в отдаленные районы смешанным железнодорожно-водным транспортом в металлических бочках. Утилизация этой тары или ее возврат практически невозможны, в то же время ее цена превышает стоимость продукта. Для перевозки 1 т битума требуется 6 бочек по 200 л, при этом расход металла составляет примерно около 200 кг.

Для устранения перечисленных недостатков, связанных с использованием бочек для перевозки битума, предпринимались попытки его транспортирования в контейнерах. Так, институтом ПромтрансНИИпроект выполнено технико-экономическое обоснование контейнеризации доставки нефтебитума железнодорожно-морским сообщением [77]. Предложено использовать контейнер типа СК-6-10 вместимостью 10 т. Недостатком использования таких контейнеров является сложность извлечения из них битума, из-за отсутствия обогрева. Кроме того, неэффективно используется грузоподъемность железнодорожных платформ при возврате порожних контейнеров, так как их можно размещать лишь в один ярус.

Мелкорасфасованный (по 10...15 кг) битум перевозят в крытых вагонах навалом. Погрузка и разгрузка производятся вручную, что требует больших трудозатрат и продолжительногоостояния вагонов.

Парафины производят в значительно меньших количествах, чем битумы, и проблемы их упаковывания и перевозки в значительной степени решены. Парафин для пищевой промышленности упаковывают только в многослойные бумажные (ламированные полиэтиленом) или бязевые мешки, которые в крытые вагоны грусят также навалом. Картонные коробки вместимостью 25 кг с плитами парафина формируют в транспортные пакеты на поддонах и скрепляют их стальной лентой.

Существенный недостаток применения бумажной тары, мешков, бочек и других видов – это нетехнологичность при использовании и опасность возгорания упаковок при железнодорожных и автомобильных поставках, а также отсутствие товарного вида и, как следствие, снижение конкурентоспособности на мировом рынке.

С нашей точки зрения, многие из перечисленных проблем, возникающих при транспортировании ВЗНП, могут быть решены путем использования полимерных материалов в качестве упаковочной тары.

Транспортирование ВЗНП с использованием полимерных материалов позволяет:

- механизировать погрузочно-разгрузочные и складские операции и освободить рабочих от тяжелой и трудоемкой ручной работы;
- обеспечить сохранность и качество продукции; снизить простой транспорта.

При выборе размеров транспортного пакета и единичной упаковки битума необходимо учитывать несходство требований производителя, потребителя и перевозчика битума.

Так, с увеличением размеров упаковки растет производительность процесса упаковывания и производительность труда заливщиков. Однако при этом увеличиваются продолжительность охлаждения битума и габариты установки для упаковывания, кроме того, потребителю битума приходится его дробить, что сопровождается потерями.

Увеличение массы грузовой единицы уменьшает время погрузки-выгрузки при наличии необходимого подъемно-транспортного оборудования.

Наиболее рациональной считается единица с габаритными размерами $800 \times 1200 \times 1150$ мм и массой 1 т. Модульный размер отдельной упаковки груза Международная организация по стандартизации ISO рекомендует принимать равным 400×600 мм [78].

Возможные разделения модульного размера представлены на рисунке 3.1. При этом можно достичь максимального коэффициента использования площади стандартного поддона.

Пакет с размерами 800×1200 мм можно сформировать из двух упаковок 800×600 мм или из трех 400×800 мм в одном ряду.

Пакет из упаковок 400×800 мм будет более устойчивым при транспортной тряске благодаря чередованию продольных и поперечных упаковок в соседних рядах по высоте пакета (рис. 3.2).

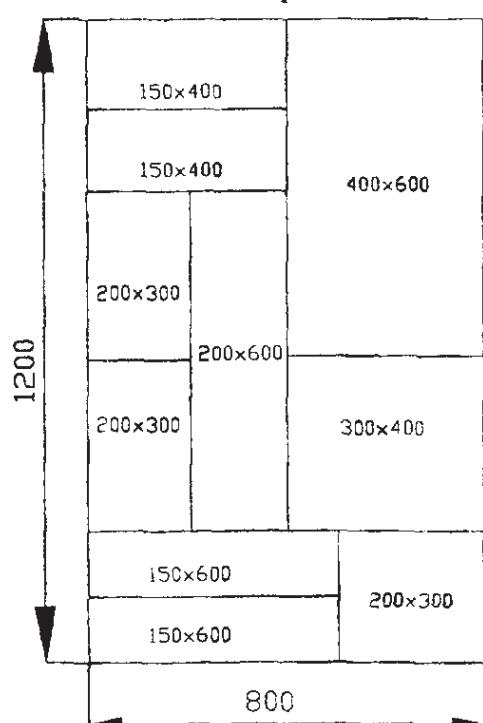


Рисунок 3.1 – Возможные разделения модульного размера

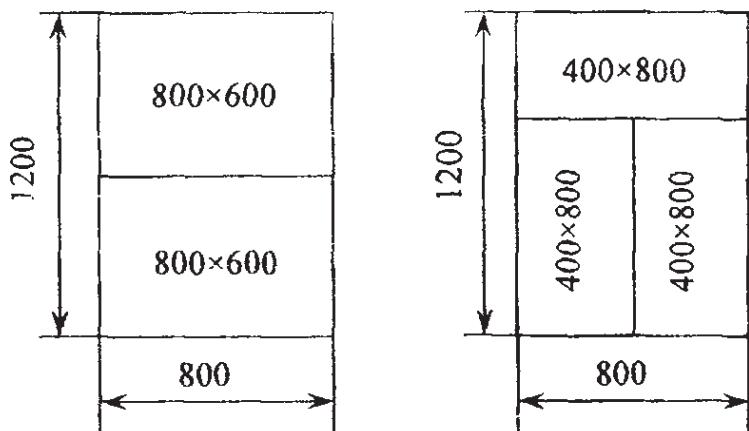


Рисунок 3.2 – Схема возможной укладки упаковок на стандартный поддон

В результате проведенных испытаний установлено, что высота транспортных пакетов при перевозке по железной дороге не должна превышать величин, приведенных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Высота пакетов при перевозке в вагонах

Объем вагона	Высота пакетов при укладке, мм		
	в один ярус	в два яруса	в три яруса
90 м ³	1800	1150	770
120 м ³	1800	1350	900

Существуют следующие способы пакетирования – формирования укрупненных грузовых единиц (транспортного пакета) из мелких упаковок:

- 1) укладка без поддона, обвязывание лентой, проволокой или другим материалом;
- 2) укладка на плоский поддон с обвязыванием;
- 3) укладка в стоечный (ящичный) поддон;
- 4) укладка на плоский поддон и скрепление растягивающейся пленкой;
- 5) укладка без поддона и скрепление термоусадочной пленкой.

Выбор способа пакетирования зависит от формы, размеров упаковки и способности продукта сопротивляться термическим и механическим воздействиям.

Любой из перечисленных способов формирования транспортных пакетов, состоит из двух операций: 1) укладки – формирования пакета и 2) его скрепления.

При выборе способа пакетирования следует учитывать следующие обстоятельства. Использование ящичных поддонов и любых вариантов

пакетирования с термоусадочной пленкой позволяет получить пакет высокой прочности, который невозможно разрушить при транспортировании (тряской) и погрузочно-разгрузочных операциях. Однако эти варианты требуют больших затрат на транспортную тару и возврат поддонов в случае их использования.

Вероятно, наиболее экономичным способом формирования укрупненной грузовой единицы из более мелких упаковок (брикетов) битума в полиэтиленовой пленке является использование термоусадочной пленки без применения поддонов. Термоусадочная пленка практически не изменяет массы битума, обеспечивает его сохранность от возгорания, атмосферных осадков и загрязнения. Загрузку-выгрузку транспортных пакетов в термоусадочной пленке можно производить с помощью кранов, вилочных погрузчиков и других подъемных механизмов. При отсутствии последних в отдаленных пунктах назначения пакет легко расформировать, разрезав пленку, и произвести выгрузку брикетов вручную. Кроме того, в отличие от бумажной тары, полиэтиленовая пленочная упаковка является герметичной, благодаря чему под воздействием высокой температуры и солнечных лучей брикеты битума и транспортные пакеты сохраняют свою форму.

Пакеты можно формировать и на поддонах, что в ряде случаев надежнее и удобнее, однако такой способ является более дорогостоящим.

Авторами была подтверждена возможность формирования транспортных пакетов битума в термоусадочной пленке, при этом кратковременное воздействие высокой температуры в термоусадочной камере не привело к деформации и расплавлению мешков с битумом [10, 14, 25]. Стандартные объемные полиэтиленовые мешки вместимостью 50 л были заполнены битумом по разработанной технологии. Транспортный пакет формировали на стандартном деревянном поддоне. Мешки укладывались рядами по известной схеме: 2 мешка – вдоль, один – поперек.

Опытно-промышленная упаковка была получена на установке ОАО «Полимир» (Беларусь), предназначеннной для формирования транспортных пакетов из мешков с гранулированным полиэтиленом.

Способ упаковывания ВЗНП в рукавную пленку предусматривает возможность пакетирования мелкорасфасованного продукта (разработка Полоцкого государственного университета). Для этого используется блочная тара, имеющая вид подушек, соединенных друг с другом термосварными швами. После заливки продукта и охлаждения в воде до затвердевания наружного слоя блоки укладываются в несколько рядов на поддон упрощенной конструкции и обвязывают полимерной лентой, как показано на рисунках 3.3 и 3.4. Твердый ВЗНП хорошо сохраняет форму, нет необхо-

димости использовать поддон со сплошным настилом. Упрощенный поддон имеет меньший вес, что снижает его стоимость и затраты на перевозку. Надежная фиксация блоков с продуктом в пакете обеспечивается тем, что обвязочная лента укладывается в углубления между отдельными упаковками верхнего блока.

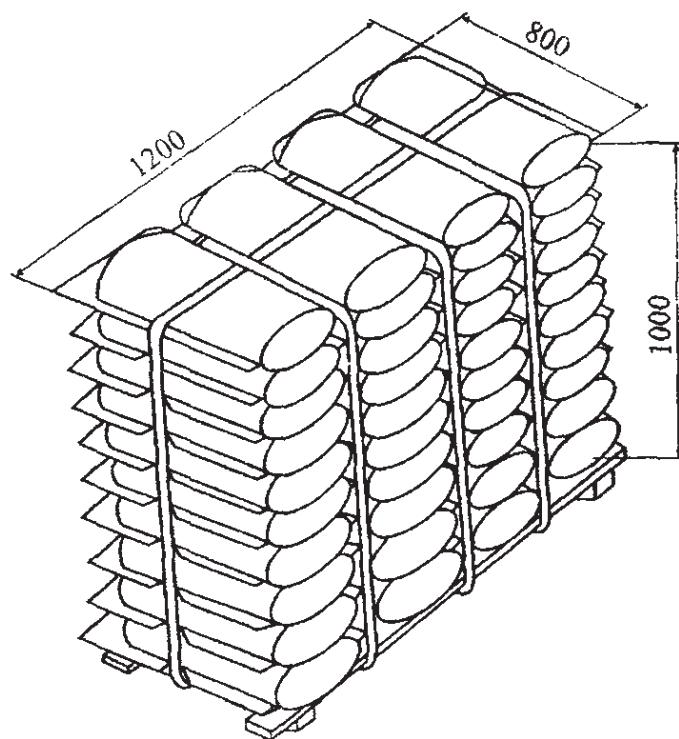


Рисунок 3.3 – Транспортный пакет из блоков ВЗНП на упрощенном поддоне

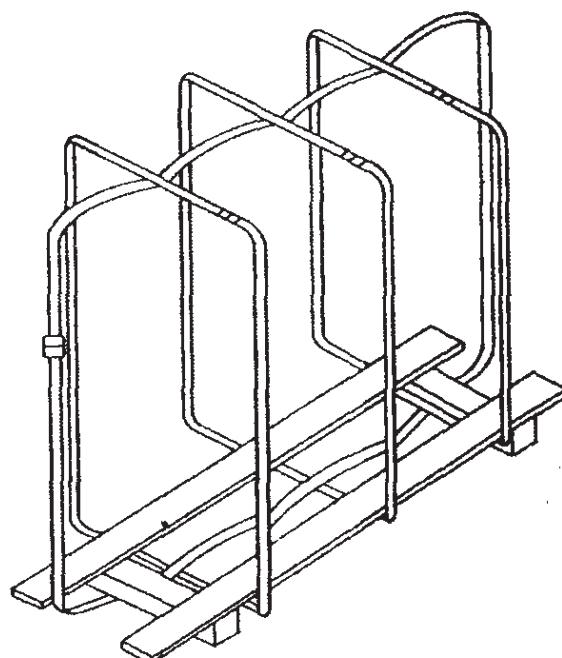


Рисунок 3.4 – Схема упрощенного поддона с обвязкой лентой транспортного пакета

3.2. ТРАНСПОРТНЫЙ ПРОЦЕСС НЕФТЕПРОДУКТОВ

Для каждой из выделенных групп нефтепродуктов (см. табл. 1.2) транспортный процесс [79] имеет свои характерные особенности [14, 62].

Наиболее важная стадия любого транспортного процесса – физическое перемещение груза.

Транспортирование *нефтепродуктов I группы*, к которым в основном относятся светлые нефтепродукты, может осуществляться по магистральным трубопроводам, автомобильным, железнодорожным и водными видами транспорта [1 – 3, 7, 9, 14, 24, 62].

В отдельных (редких) случаях светлые нефтепродукты могут транспортироваться в металлических бочках различными видами транспорта (в том числе воздушным – в отдаленные и неосвоенные районы) [1 – 3, 7, 9, 24]. На организацию транспортного процесса этой группы нефтепродуктов наибольшее влияние оказывают вязкость, характеризующая величину потери напора при транспортировании их по трубопроводам, и температура испарения, определяющая потерю нефтепродукта при транспортировании наземными видами транспорта и при хранении на складах, в результате чего может иметь место загрязнение окружающей среды.

Для снижения негативного влияния этих свойств могут проводиться различные технические мероприятия, направленные на уменьшение сопротивления в трубопроводе (например, введение присадок при транспортировании) или использование специального оборудования для предотвращения потерь нефтепродуктов от испарения при их хранении, от «больших» и «малых» дыханий резервуаров.

Транспортный процесс этой группы нефтепродуктов состоит из трех стадий (рис. 3.5).

Нужно отметить, что технологии транспортирования светлых нефтепродуктов всеми видами транспорта достаточно совершенны. Физико-химические свойства всех светлых нефтепродуктов находятся в сравнительно узком диапазоне значений. Существующие отличия не оказывают влияние на их транспортный процесс.

Нефтепродукты II группы обладают физико-химическими свойствами, находящимися в более широком диапазоне значений, что оказывает существенное влияние на характер транспортного процесса.

К *низкозастывающим нефтепродуктам* в основном можно отнести нефтепродукты, температура застывания которых не превышает 42 °С (см. табл. 1.2, группа II). В эту группу входят масла, мазуты и вязко-пластичные нефтепродукты.

Транспортирование масел и мазутов осуществляется в жидком состоянии при температуре окружающей среды в специализированном подвижном составе железнодорожным, автомобильным, водным, а также трубопроводным транспортом [1 – 3, 7, 9, 24].



Рисунок 3.5 – Транспортный процесс светлых нефтепродуктов

В зависимости от потребителя масла могут поставляться как крупными партиями в железнодорожных, автомобильных цистернах и танкерах, так и в таре малой емкости. Поставка масел трубопроводным транспортом потребителю практически не осуществляется, за исключением случаев, когда НПЗ и нефте базы находятся на расстоянии 1,5...2 км. Перекачка масел по трубопроводам реализуется, как правило, для транспортирования их с технологических установок в резервуарный парк, а при необходимости – в цех мелкой фасовки.

В странах бывшего СССР основными потребителями мазута являлись крупные тепловые электростанции (более 45 %). В этой связи рассматривались варианты сооружения магистральных мазутопроводов. Преимущество трубопроводного транспорта мазута – исключение трудоемких операций в начальном (производитель) и конечном (потребитель) пунктах [80]. Это значительно повышает культуру производства, позволяет подавать продукт непосредственно на технологические установки, так же как и принимать готовую продукцию перерабатывающих предприятий, минуя промежуточное хранение. Хранилища сохраняют свое значение только как регуляторы асинхронности производства и потребления.

Доставка грузов по трубопроводам отличается высокой надежностью, малыми потерями, отсутствием порожних пробегов и перевалок, экологической нейтральностью.

Аналогично мазутам в разогретом состоянии транспортируются сырые высокопарафинистые нефти [3, 80, 81].

Расчеты, выполненные в работе [80], показали, что железнодорожный транспорт мазута целесообразен при дальности перевозок свыше 500 км (рис. 3.6). Его эффективность повышается при неравномерном в годовом разрезе графике поставок мазута и заметно зависит от грузонапряженности железнодорожных сетей.

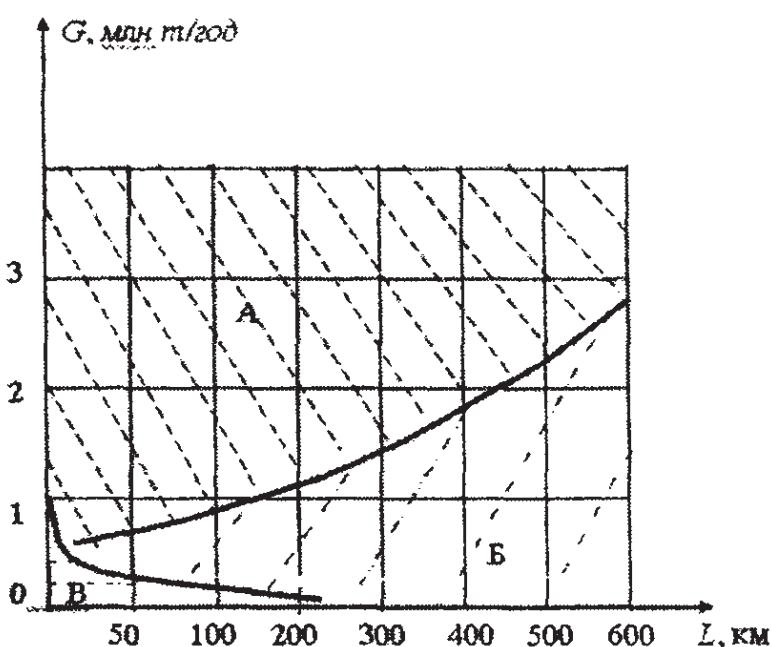


Рисунок 3.6 – Рациональная область применения различных видов транспорта мазута:

А – трубопроводного; Б – железнодорожного; В – автомобильного

При расстояниях доставки свыше 300...500 км эффективен речной транспорт. Автомобильные перевозки целесообразны при относительно малых объемах поставок и радиусе перевозок 50...60 км, причем с уменьшением грузопотока предельная дальность перевозок повышается. Трубопроводный транспорт мазута эффективен при объемах транспортировки, как правило, более 1,0...1,5 млн. т/год, (см. рис. 3.6). Для Республики Беларусь при наличии двух нефтеперерабатывающих заводов транспорт мазута по магистральному трубопроводу, безусловно, невыгоден.

Нефтепродукты, к которым относятся и различные смазки [3, 4], при транспортировании находятся в вязкопластичном состоянии и имеют тем-

пературу окружающей среды. Вязкопластичные нефтепродукты транспортируются в расфасованном виде в таре различных размеров.

Особенностью транспортного процесса нефтепродуктов II группы является то, что для жидких низкозастывающих нефтепродуктов он состоит из трех стадий, а для вязкопластичных и мелкофасованных – из четырех. Транспортный процесс вязкопластичных и мелкофасованных нефтепродуктов представлен на рисунке 3.7.

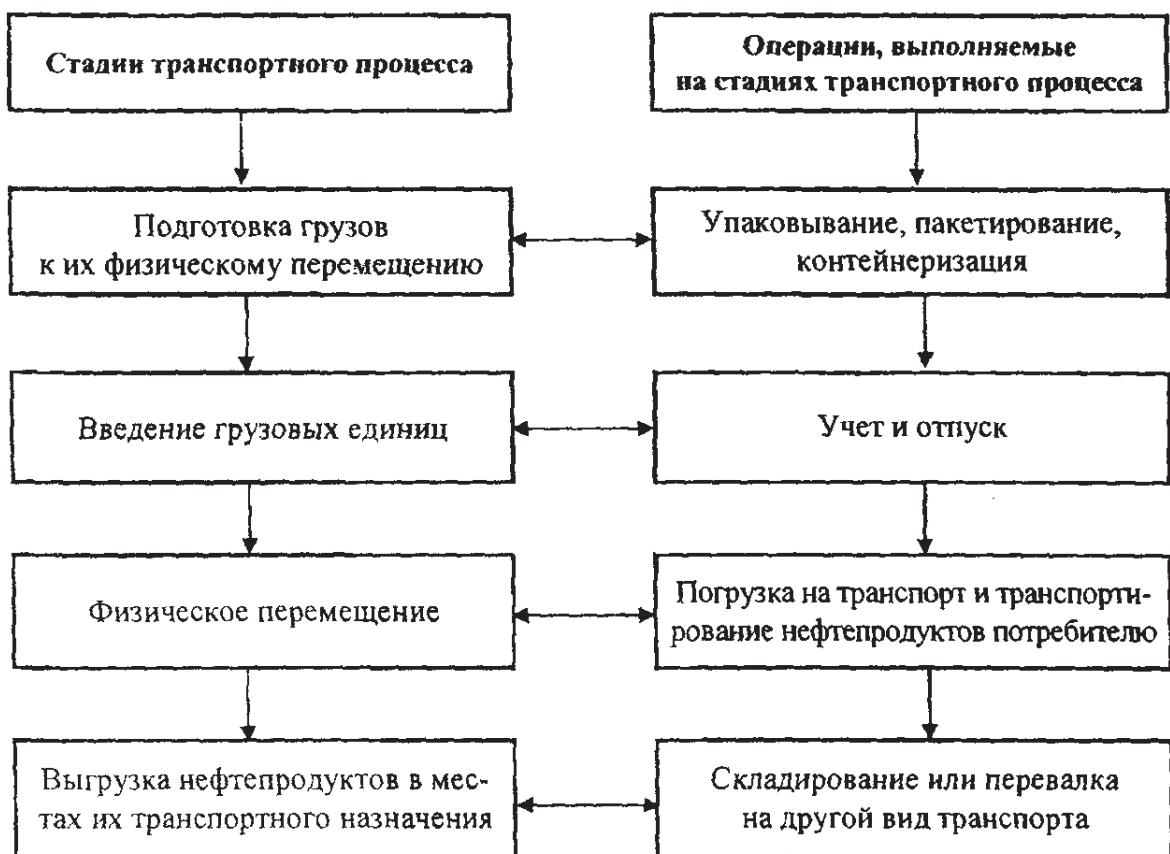


Рисунок 3.7 – Транспортный процесс вязкопластичных и мелкофасованных нефтепродуктов

К *высокозастывающим нефтепродуктам* (см. табл. 1.2, группа III) относятся нефтепродукты, температура застывания которых не выше 40 °С.

Отличительным признаком нефтепродуктов, входящих в эту группу, является то, что при температуре окружающей среды они находятся в твердом состоянии, а в жидкое состояние переходят при температурах, превышающих температуру их размягчения.

Некоторые виды высокозастывающих нефтепродуктов транспортируются в жидком состоянии, а другие – в твёрдом.

К высокозастывающим жидким нефтепродуктам условно можно отнести нефтепродукты с температурой размягчения от 42 до 60 °С (дорожные битумы, некоторые марки строительных, кровельных битумов, парафинов, восков, вазелинов). К высокозастывающим твердым нефтепродуктам – нефтепродукты с температурой размягчения выше 60 °С, транспортируемые в твердом состоянии (строительные, кровельные, изоляционные, специальные битумы и др.).

На организацию транспортного процесса твёрдых ВЗНП основное влияние оказывают следующие физико-химические свойства: температура размягчения, температура каплепадения, температура плавления, пенетрация. Это обусловлено тем, что такие нефтепродукты представляют собой сложные коллоидные (дисперсные) структуры, которые в зависимости от температуры нагрева (охлаждения) меняют структурно-механические свойства и реологические характеристики, поэтому создают наибольшее количество проблем на всех стадиях их транспортного процесса. Схема транспортного процесса твердых ВЗНП представлена на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Транспортный процесс твердых высокозастывающих нефтепродуктов

Глава 4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПАКОВЫВАНИЯ БИТУМОВ

4.1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УПАКОВЫВАНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ВЫСОКОЗАСТАВЛЯЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Существующие технологии упаковывания и транспортирования битумов несовершены с точки зрения требований экологии, так как приводят к загрязнению окружающей среды вредными парами и твердыми отходами.

Для перевозки битумов в районы Крайнего Севера, Дальнего Востока и при экспортных поставках используют, как правило, металлические бочки вместимостью 200 л. В связи с большим числом перевалок на пути следования, сезонностью работы транспорта, дефицитом и высокой стоимостью рабочей силы возврат бочек не производится, так как экономически не оправдан. Утилизировать их на месте крайне затруднительно. Поэтому значительное количество бочек, поставляемых в районы Крайнего Севера и Дальнего Востока, с остатками различных продуктов выбрасывается, загрязняя окружающую среду. По данным ПромтрансНИИпроект [77], при поставке 74 тыс. тонн битума в год поступает 444 тыс. бочек (масса каждой от 26 до 37 кг, т.е. около 15 тыс. тонн металла). Загрязнение этих районов неутилизируемой тарой и остатками несливаемого из бочек битума (около 4...6 %) превратилось в серьезную экологическую проблему.

Вышедшие из строя бункерные полувагоны, используемые для перевозки битума, не находят применения, а утилизировать их металл из-за остатков битума практически невозможно, что также ведет к загрязнению окружающей среды твердыми отходами [77].

Использование бумажной тары также порождает целый ряд проблем. При перевозке горячего битума в пределах установки мешки иногда разрываются, происходит разлив продукта, что приводит к его потерям и загрязнению рабочей площадки. Технология упаковывания битума в такую тару требует больших затрат ручного труда.

При перевозке в летнее время болванок битума, упакованных в бумагу, происходит их слипание, образуя монолит, который при выгрузке дробят вручную, что приводит к загрязнению окружающей среды и его потерям. Кроме этого, бумажная тара, как отмечалось выше, является одной из причин пожаров при перевозке битума по железной дороге.

Потребитель болванки битума перед закладкой в плавильные котлы должен освобождать от бумаги и дробить на мелкие куски, при этом вместе с неутилизируемой бумажной тарой в отходы уходит прилипший к ней битум и образовавшаяся при дроблении крошка, что также приводит к

потерям битума и загрязнению окружающей среды твердыми отходами. Общие потери битума при упаковывании, перевозке и подготовке к потреблению достигают 15 % [6, 7, 76]. Кроме того, безвозвратно теряется около 8 кг бумаги на 1 т битума.

При существующих технологиях упаковывания битума битумные установки нефтеперерабатывающих заводов выбрасывают наибольшее количество вредных (после установок коксования) веществ в атмосферу [59, 63, 64, 82, 83].

По данным исследований [61, 64], выделяющиеся из горячих битумов пары содержат парафинонафтеновые и полициклические ароматические углеводороды, а также гетероциклические соединения, среди которых наиболее канцерогенен 3,4-бензпирен (бенз-а-пирен).

Проведенные ВНИИУС обследования битумных установок показали, что концентрация бенз-а-пирена (БП) в парах, выделяющихся при заливке горячего битума в бумажные мешки, бочки, бункера и битумовозы, колеблется от 0,2 до 125 мг/м³ [64].

По данным Национального управления по безопасности и охране здоровья (США) контакт с битумом может привести к онкологическим заболеваниям [83]; предельно допустимую концентрацию паров битумов предложено установить равной 0,2 мг/м³.

По данным ВНИИТБ [60] при сливе рубракса в котлован содержание паров углеводородов на расстоянии 20 м от котлована превышает предельно допустимую концентрацию в 4 раза.

При использовании бумажной тары температура заливаемого в нее битума составляет 160...190 °С; продукт остается на площадках в течение 3...8 суток до его полного затвердевания.

Поскольку на битумных установках площадки охлаждения занимают большую территорию, то воздушная среда интенсивно загрязняется, так как вредные пары выделяются с большой открытой поверхности залитого в мешки горячего битума.

Определение группового состава паров битума различными методами [69, 73] показало наличие в них всех групп углеводородов (табл. 4.1).

В то же время содержание этих углеводородов в битумных парах составляет около 35...50 % (см. табл. 4). Таким образом, основная и наиболее опасная часть вредных выбросов не учитывается при текущем контроле над воздушной средой битумных установок.

К сожалению, в нормативной литературе отсутствуют специализированные методики определения и расчета выбросов вредных веществ для битумных производств.

Таблица 4.1 – Групповой химический состав битумных паров

Тип битума, условия нагрева	Содержание, % масс.					
	Парафино- нафтеновые	Ароматические углеводороды			Смолы I	Смолы II
		легкие	средние	тяжелые		
Битум строительный, 180 °C, 2 ч	30,2	7,1	7,3	5,9	4,9	44,6
Битум строительный, 200 °C, 1 ч	44,5	7,3	6,6	7,2	5,2	29,2
Битум дорожный, 80 °C, 2 ч	30,6	2,8	2,7	3,3	10,1	50,5

В нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности широко используются методики газохроматографического определения суммарного содержания предельных углеводородов С–С и ароматических, бензольной группы, неприемлемых [82] для отбора и анализа паров, выделяющихся при сливе битума, так как используемые индикаторные трубы газоанализатора УГ-2 предназначены для определения углеводородов во фракциях, которые не тяжелее керосиновых.

4.2. ВЫБРОСЫ БЕНЗ- α -ПИРЕНА ОТ БИТУМНЫХ УСТАНОВОК

4.2.1. Выбросы бенз- α -пирена от печей дожига битумных установок. В настоящее время нефтеперерабатывающие заводы не имеют данных о размерах выбросов бенз- α -пирена. Во-первых, существующие методики определения БП требуют уникальных приборов, высокой квалификации персонала при отборе проб и выполнении анализа. Время анализа составляет 4...5 суток, что неприемлемо для заводских условий. В этой связи инвентаризация выбросов БП инструментальным методом связана с повышенными трудовыми затратами и может быть осуществлена в полном объеме для нефтеперерабатывающих заводов средней мощности в течение не менее 3 лет [64]. Во-вторых, если даже будет разработана доступная для предприятий методика определения бенз- α -пирена в промышленных выбросах, это не решает проблему экологической безопасности воздействия на окружающую среду.

Главной проблемой при использовании инструментальных методов инвентаризации источников бенз- α -пирена остается отбор проб, требующий определенных навыков. Именно от этого зависит достоверность анализов, которые сами по себе являются лишь промежуточным результатом.

В зависимости от места и температуры отбора проб, результаты анализов на содержание бенз-а-пирена от источника выброса отличаются в 100 и более раз [64].

В-третьих, сама концентрация бенз-а-пирена в промышленных выбросах нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий в течение года колеблется в чрезвычайно широких пределах (в сотни раз), что делает невозможным установление его годовых выбросов путем единовременной инвентаризации. Многолетний опыт исследований, проводимых ВНИИУС, подтверждает, что для определения валовых выбросов бенз-а-пирена лучше всего использовать расчетные методы. В связи с этим валовые выбросы бенз-а-пирена рекомендовано рассчитывать по уравнению [84]:

$$P = P_b C C_{БП} \cdot 10^{-6}, \text{ г/год}, \quad (4.1)$$

где P – валовые выбросы бенз-а-пирена, г/год; P_b – количество сливающегося битума, т/год; C – количество выделяемых битумных паров, м³/т (для строительных битумов, сливающихся при 160...180 °C, оно равно 0,81 м³/т; для дорожных битумов, сливаемых при 150...160 °C, – 0,62 м³/т); $C_{БП}$ – концентрация бенз-а-пирена.

В уравнении (4.1) не учитываются различные условия заливки битума на заводах. Так, на некоторых установках посты заливки располагаются в закрытых помещениях, а не на открытых площадках с большой скоростью движения воздуха.

Одним из самых существенных источников загрязнения атмосферного воздуха токсичными компонентами нефтеперерабатывающей промышленности являются выбросные газы битумных производств. Содержание бенз-а-пирена в битумах различных марок приведено в таблице 4.2 [64].

Таблица 4.2 – Содержание бенз-а-пирена в битумах

Название НПЗ	Исследуемый образец	Количество БП, мкг/100 м ³
Новоуфимский	БН-3 (битум нефтяной)	1349
Рязанский	БН-3	1342
	БН-5 ГОСТ 1544-52	2663
Московский	БНД-40/60 (или БН-3)	1745
	БН-3,5	1220
Новоярославский	БН-3	1275

Основным источником загрязнения атмосферы бенз-а-пиреном является газ окисления битумной установки, количество которого зависит от температуры размягчения битума [64].

Температура размягчения битума, T_p , °C	Выход газа окисления, % масс., от товарного битума
50...60	2,0
80...90	8,0
120...140	16,0

Содержание индикатора канцерогенной опасности БП в газах окисления достигает 4,75...400 мкг/м³ [64], что во много раз превышает предельно допустимую концентрацию ПДК этого вещества. При нормальной эксплуатации концентрация 3,4-БП на территории битумной установки обычно колеблется в пределах 1...16 мкг/м³ [64].

В последние годы ВНИИУСом был обследован ряд битумных установок нефтеперерабатывающих заводов [64].

В таблице 4.3 представлены результаты определения содержания бенз-а-пирена до и после различных печей дожига, а также среднее значение эффективности обезвреживания с учетом разбавления.

Таблица 4.3 – Эффективность обезвреживания газов окисления битумных производств от бенз-а-пирена

Название НПЗ	Тип печи	Содержание БП, мкг/м ³	
		до очистки	после очистки
		<u>min-max</u> среднее	<u>min-max</u> среднее
Киришский	19/10-Камерная	<u>46,25...125,11</u> 83,24	<u>0,24...4,21</u> 1,85
Новополоцкий	1-Циклонная	<u>0,2576...3,600</u> 1,663	<u>0,779...2,136</u> 1,256
	90-Камерная	<u>0,465...0,480</u> 0,473	<u>0,604...1,343</u> 0,883
Сызранский	Циклонная	<u>0,680...1,792</u> 1,043	<u>0,112...0,262</u> 0,186
Московский	Циклонная	<u>0,177...0,969</u> 0,573	<u>0,029...0,122</u> 0,075
Новокуйбышевский	15/2-Скруббер	<u>1,889...2,969</u> 2,429	<u>0,554...0,77</u> 0,662
	19/1-Скруббер	<u>3,48...28,52</u> 15,99	<u>0,19...6,01</u> 2,44
	19/2-Технологическая печь	<u>0,15...1,490</u> 0,769	<u>0,087...1,640</u> 0,291

Как видно из таблицы 4.3, колебания величин эффективности обезвреживания значительны. Четкую зависимость между аппаратурным оформлением печей дожига и величинами эффективности проследить крайне трудно, что в большей степени связано с нарушением технологически регламентированных температурных режимов эксплуатации печей.

Низкие значения эффективности обезвреживания бенз- α -пирена в технологических печах НПЗ закономерны, поскольку невысокие температуры в камере сгорания ($500\ldots750$ °С на перевале) диктуются необходимостью подогрева гудрона. Повышение ее до $1000\ldots1100$ °С повлечет за собой ненужный перегрев исходного сырья и быстрое разрушение материала трубопровода. В этой связи рассматривать возможность повышения эффективности обезвреживания бенз- α -пирена в технологических печах НПЗ вряд ли целесообразно.

Эффективность обезвреживания в циклонных печах благодаря их конструктивному замыслу намного выше, чем в камерных. Однако на практике иногда наблюдается обратная картина: максимальная эффективность для отдельных камерных печей составляет 94,5 %, а для некоторых циклонных – лишь 59,9 %. Причина этого заключается в сложной связи суперпозиционных факторов, связанных с видом топлива и содержанием в нем углеводородов различных классов (в том числе бенз- α -пирена), с количеством черного соляра в газах окисления, температурой в печи и расположением зоны ее максимума, с величиной теплонапряжения в камере сгорания, аэродинамической «обстановкой» – пересечением тепловоздушных труб и пламени горелок и др.

Данные таблицы 4.3 показывают, что в отходящих дымовых газах печей дожига битумных установок концентрации бенз- α -пирена в течение года колеблются в довольно широком диапазоне. Как подтверждают многолетние обследования, выполненные ВНИИУС, в свою очередь диапазоны колебания концентраций сильно отличаются и по годам. Поэтому величина выброса бенз- α -пирена, установленная в результате единовременной инвентаризации, не может быть принята как достоверная. В зависимости от режима работы печей дожига в период инвентаризации она может быть как минимальной, так и максимальной.

В этой связи выбросы бенз- α -пирена от печей дожига определяются исходя из среднеотраслевых значений, полученных в течение нескольких лет, по целому ряду НПЗ (см. табл. 4.3). Как видно, среднегодовая концентрация бенз- α -пирена в дымовых газах печей дожига камерного типа колеблется в пределах $0,9\ldots1,85$ мкг/м³ и составляет по отрасли $1,37$ мкг/м³. Для печей дожига циклонного типа эти значения находятся в пределах $0,08\ldots1,3$ мкг/м³ и составляют в среднем по отрасли $0,5$ мкг/м³. Следова-

тельно, при определении выбросов бенз-а-пирена от печей дожига битумных установок НПЗ концентрацию его в дымовых газах печей камерного типа необходимо принимать на уровне $1,37 \text{ мкг}/\text{м}^3$, а для циклонных печей – $0,5 \text{ мкг}/\text{м}^3$.

Оценка выбросов бенз-а-пирена с дымовыми газами печей дожига битумных установок рассчитывается по формуле:

$$P_{БП} = P_{\text{дын.газ.}} \cdot C_{БП}, \text{ г/год,} \quad (4.2)$$

где $P_{\text{дын.газ.}}$ – дымовые газы печей дожига битумных установок, $\text{м}^3/\text{год}$; $C_{БП}$ – концентрация бенз-а-пирена в дымовых газах, $\text{г}/\text{м}^3$.

Значение $C_{БП}$ определяется как среднеотраслевая величина:

- для печей камерного типа – $1,37 \cdot 10^{-6} \text{ г}/\text{м}^3$;
- для печей циклонного типа – $5 \cdot 10^{-7} \text{ г}/\text{м}^3$.

На Мозырском НПЗ эксплуатируется битумная установка 19/6, с печью дожига камерного типа. Количество газов окисления, определяемых по [84], равно $1314\ 131\ 760 \text{ м}^3/\text{год}$.

Валовые выбросы бенз-а-пирена от печей дожига составят:

$$P_{БП} = 180,062 \text{ г/год} = 6,2210 \cdot 10^{-6} \text{ г/с.}$$

4.2.2. Выбросы бенз-а-пирена от сливных устройств битумной установки. Сливные устройства битумной установки являются достаточно крупными источниками загрязнения атмосферы. Пары, выделяющиеся при наливе горячего битума в крафт-мешки и битумовозы, являются по существу остаточными газами окисления.

Проведенные обследования показывают, что в зависимости от режима окисления концентрация бенз-а-пирена в газах, выделяющихся при разливе битума, может колебаться в широком диапазоне: $0,2\dots125,0 \text{ мкг}/\text{м}^3$ [64]. Поэтому установить среднегодовую величину выброса на основе единовременной инвентаризации невозможно. При определении этой величины лучше всего пользоваться среднеотраслевыми данными.

Концентрация бенз-а-пирена в газах, выделяющихся при сливе горячего битума, зависит от температуры разлива битума, принимается по данным рисунка 4.1 [64].

Валовые выбросы бенз-а-пирена при сливе горячего битума определяются по формуле (4.1):

$$P_{БП_{смр.}} = 249057 \cdot 0,81 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 2,42034 \text{ г/год} = 0,14524 \cdot 10^{-6} (\text{г/с});$$

$$P_{БП_{дор.}} = 378484 \cdot 0,62 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 2,81592 \text{ (г/год)} = 0,16894 \cdot 10^{-6} \text{ (г/с).}$$

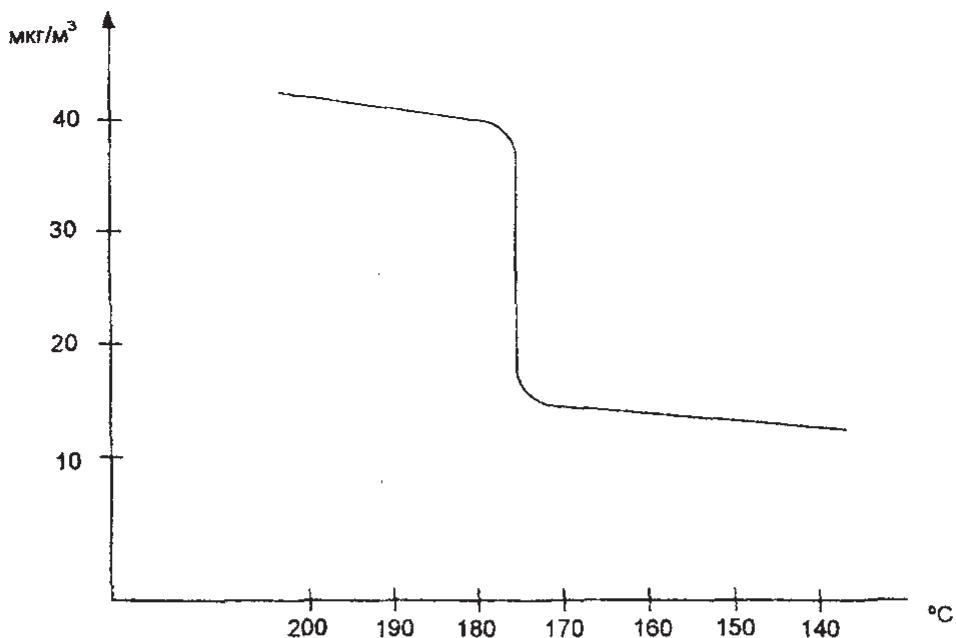


Рисунок 4.1 – Зависимость выделения бенз-а-пирена от температуры налива битума

Таким образом, битумное производство вносит немалый вклад в загрязнение окружающей среды вреднымиарами и твердыми отходами.

Решить многие экологические проблемы, возникающие на стадии упаковывания и транспортирования ВЗНП, можно путем применения новых схем упаковывания с использованием новых упаковочных материалов.

При мелкой фасовке битумов их можно упаковывать в полиэтиленовую пленку. При этом твердые отходы не образуются, так как исключается необходимость дробления битума, а тара утилизируется вместе с продуктом. Попутно может быть получен дополнительный эффект утилизации отходов полиэтилена – в качестве упаковочного материала для битума вполне пригодна пленка из вторичного полиэтилена, т.е. из отходов.

В то же время обстановка с загрязнением воздушной среды при переходе на новые технологии упаковывания битума может в ряде случаев даже ухудшиться. В частности, если технология предусматривает охлаждение горячего битума в тонком слое (на конвейере, барабане и др.) или диспергирование, то по сравнению с существующим способом розлива битума в крафт-бумажную тару поверхность свободного испарения и выделение вредных паров значительно увеличиваются [59].

4.3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ УПАКОВЫВАНИЯ БИТУМОВ

Технология упаковывания битума в полиэтиленовую плёнку также не лишена недостатков, наиболее серьезное из них — загрязнение воздушной среды.

Количество вредных паров, выделяющихся при охлаждении битума, зависит от его температуры и пропорционально площади открытой поверхности. При охлаждении битума на ленте конвейера перед упаковыванием в полиэтиленовую пленку поверхность, приходящаяся на единицу массы битума, значительно больше, чем при упаковывании в бумажную тару.

Нами выполнен сравнительный расчет количества паров битума, выделяющихся при его охлаждении, для бумажного мешка диаметром 600 мм, вместимостью 200 кг и конвейера с лентой длиной 42 м, шириной 1,2 м и слоем битума толщиной 9 мм. Средняя плотность битума на конвейере принята равной 1000 кг/м³.

Сопоставление этих величин и соответствующих им выбросов приведено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Количество паров, выделяющихся
при охлаждении битумов БН-70/30 и БН-90/10

Поверхность испарения, м ²	Масса битума, кг	Удельная поверхность, м ² /кг	Количество паров				Охлаждение	
			с единицы поверхности, мг/см ²		на единицу массы битума, мг/кг			
			при 100 °C	при 180 °C	при 100 °C	при 180 °C		
0,283	200	0,0014	0,02	0,48 (0,7)	0,28	6,72 (9,8)	В бумажных мешках	
50,4	453,6	0,1111	0,02	0,48 (0,7)	22,22	533,28 (777,7)	На ленте конвейера	

Примечание. В скобках показаны данные Новоуфимского НПЗ для битума БН-90/10.

Количество паров, выделяющихся с единицы поверхности битума, для обеих технологий принято одинаковым. Однако на конвейере такое же выделение паров из битума, как и из бумажных мешков, происходит на значительном участке, пока охлаждение водой снизу не начнет влиять на температуру верхней пленки битума.

При этом необходимо учитывать различные условия охлаждения на верхней и нижней поверхностях слоя битума, поскольку коэффициент теплоотдачи к воде существенно больше, чем к воздуху.

Были рассчитаны критерии Био (Bi) и Фурье (Fo) для ряда значений x толщины пленки и времени τ охлаждения при допущении постоянства коэффициентов теплопроводности (λ) и температуропроводности (a) битума.

Относительная температура θ в битуме на расстоянии x от поверхности – снизу и сверху – определена по графикам, приведенным в монографии А.В. Лыкова [85]. Теплопроводность битума принята $0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, температуропроводность составляет $6\cdot10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ [85].

Результаты расчетов приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Температура битума в зависимости от условий охлаждения

Охлаждающая среда	Коэффициент теплоотдачи, $a, \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	Критерий		$Bi_x \sqrt{Fo_x}$	$\frac{1}{2\sqrt{Fo_x}}$	Относительная температура $\theta = \frac{t - t_c}{t_0 - t_c}$	Temperatura, °C		
		$Bi_x = ax/\lambda$	$Fo_x = at/x^2$				битума начальная, t_0	охлаждающей среды, t_c	битума на расстоянии x от поверхности
$x = 0,12 \text{ мм}; \tau = 120 \text{ с}$									
Вода	100	0,1	500	2,24	0,022	0,237	180	20	58
Воздух	10	0,01	500	0,224	0,022	0,87	180	20	160
$x = 1,2 \text{ мм}; \tau = 120 \text{ с}$									
Вода	100	1	5	2,24	0,22	0,38	180	20	81
Воздух	10	0,1	5	0,224	0,22	0,97	180	20	175
$x = 4 \text{ мм}; \tau = 120 \text{ с}$									
Воздух	100	3,33	0,45	2,23	0,74	0,81	180	20	150
Вода	1000	33,3	0,45	22,3	0,74	0,72	180	20	135

Как видно, за 2 минуты температура битума в слое толщиной $0,12 \text{ мм}$ со стороны воздуха практически не изменяется, т.е. теплоотвод является односторонним. За это же время в середине слоя битума на ленте конвейе-

ра температура остается довольно высокой, даже при увеличении интенсивности внешнего теплоотвода.

Увеличение интенсивности внешнего теплоотвода за счет повышения коэффициента теплоотдачи α до $1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ мало влияет на распределение температур в слое охлаждаемого битума, так как при $Bi_x \sqrt{Fo_x} > 20$ процесс можно считать автомодельным по этой величине.

Данные таблиц 4.4 и 4.5 показывают, что в течение двух минут (из 5 минут охлаждения битума на ленте конвейера) происходит выделение вредных паров при температуре $150\ldots175^\circ\text{C}$. При этом поверхность испарения составляет около 40 % от общей площади поверхности битума на конвейере, т.е. $20,16 \text{ м}^2$.

С учетом этой поправки количество паров, выделяющихся из битума на конвейере, составит около $311 \text{ мг}/\text{кг}$, т.е. $0,4 \cdot 777,7$ (где 0,4 – доля общей поверхности битума на конвейере; 777,7 – выделения со всей поверхности, $\text{мг}/\text{кг}$). Это примерно в 30 раз больше количества паров, выделяющихся из битума в мешках.

Таким образом, внедрение технологии и автоматизированного оборудования для упаковывания битума (например, фирмы «Sandvik») может привести к ухудшению экологической ситуации, т.е. к значительно большему загрязнению воздушной среды, чем при упаковывании в крафт-бумажную тару.

На основании анализа полученных результатов возникла необходимость в проведении расчетов по определению выбросов и оценке экологической ситуации при использовании разработанной технологии упаковывания битума в полиэтиленовую пленку с существующей технологией упаковывания в крафт-бумажную тару.

4.4. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БУМАЖНОЙ И ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ТАРЫ ДЛЯ УПАКОВЫВАНИЯ БИТУМА

В тех способах, где после заливки горячего битума тара немедленно герметизируется [28, 29, 65, 66, 86 – 88], загрязнение воздушной среды сводится к минимуму.

В предлагаемой технологии упаковывания битума в полиэтиленовую пленку во время заливки горячего битума заливочные патрубки находятся внутри герметичной тары. Объем вытесняемого из тары воздуха равен объему залитого битума, т.е. он невелик.

Обследование битумных установок, использующих бумажную и полиэтиленовую тару для упаковывания битума, проведены на ОАО «Нафтан» с привлечением специалистов и оборудования центральной экологической лаборатории завода. К сожалению, не было возможности определить концентрации бенз- α -пирена. Поэтому были определены концентрации в воздухе окиси углерода (СО) и суммарно углеводородов группы СН.

Для определения концентрации СО и суммарно углеводородов группы СН (Σ СН) использовали газовую хроматографию по следующей методике.

Стеклянным шприцем отбирали пробу воздуха сразу после заливки битума в бумагу или полиэтиленовую тару. Из шприца пробу вводили в хроматограф. В качестве газа-носителя использовали водород. В колонке на никелевом катализаторе происходила конверсия СО в метан. Состав смеси определяли с помощью пламенно-ионизационного детектора.

Схема обвязки хроматографа для определения углеводородов представлена на рисунке 4.2.

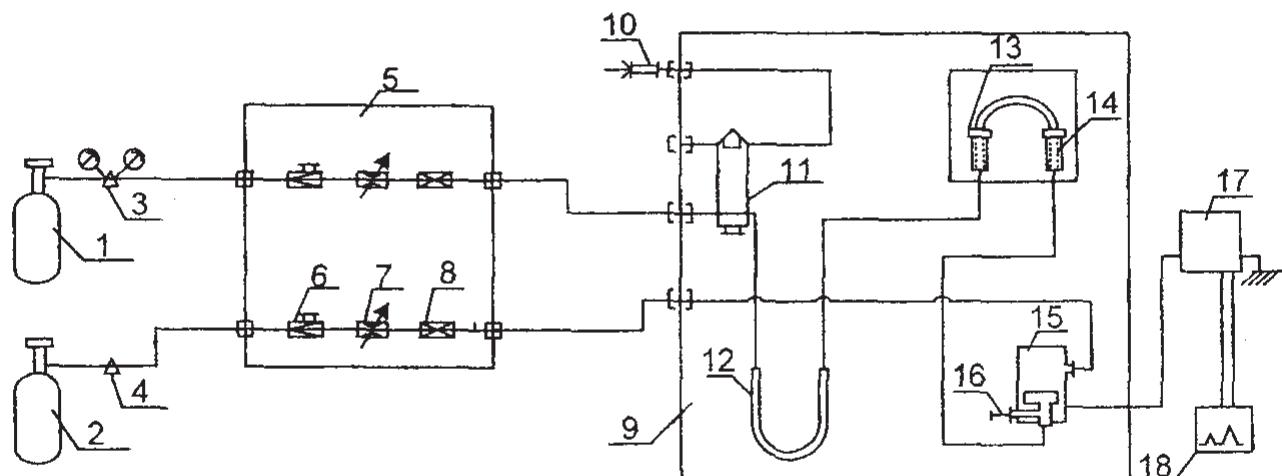


Рисунок 4.2 – Схема обвязки хроматографа
для определения окиси углерода в воздухе:

- 1, 2 – баллоны с водородом и сжатым воздухом соответственно;
- 3, 4 – редукторы; 5 – блок подготовки газов; 6 – регулятор давления;
- 7 – дроссель; 8 – фильтр; 9 – блок анализатора; 10 – патрон фильтрующий;
- 11 – кран-дозатор; 12 – хроматографическая колонка; 13 – испаритель;
- 14 – реактор; 15 – детектор; 16 – заглушка; 17 – усилитель; 18 – регистратор

В качестве сорбента использовали цветохром 3К с нанесенным на него трипропионитрилом. Газом-носителем служил каталитически очищенный воздух. Катализатор – окись никеля на цветохром-3К.

В схеме предусмотрены фильтрующие патроны для улавливания непредельных и ароматических углеводородов из газоанализатора УГ-2 и патрон с хлорнокислым магнием для улавливания кислородсодержащих соединений.

Градуировка хроматографа производилась с помощью градуировочных смесей метана с воздухом с разным содержанием метана.

Применялся метод реакционной газовой хроматографии, который включает:

- отделение метана и окиси углерода от воздуха на колонке с цеолитами;
- конверсию окиси углерода до метана на никелевом катализаторе;
- детектирование пламенно-ионизационным детектором.

Катализатор конверсии окиси углерода – никромовая проволока марки Х20Н80; сорбент – цеолит СаА; газ-носитель – водород.

Для градуировки хроматографа использовали аттестованные градуировочные смеси.

Концентрации вредных выбросов рассчитаны по площадям пиков на хроматограммах.

Результаты расчетов проведенных анализов представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Концентрации вредных веществ в воздухе при заливке битума

Вид тары	Фоновые концентрации, мг/м ³		Концентрации при заливке битума, мг/м ³	
	ΣСН	СО	ΣСН	СО
Бумажные мешки	1,4	0,3	11,1	10,6
Полиэтиленовая блочная тара	1,1	0,4	1,6	1,3

Средние за время τ концентрации рассчитывали по площадям под кинетическими кривыми.

Затем находили валовые выбросы по следующему уравнению:

$$P = \omega_{cp} S c_{cp} \tau, \text{ т/год}, \quad (4.3)$$

где ω_{cp} – средняя скорость испарения, м/с; S – площадь поверхности испарения для крафт-бумажного мешка, м²; c_{cp} – средняя концентрация вредных веществ в воздухе, мг\м³; τ – время до достижения фоновой концентрации, с.

В расчетах использовали следующие значения величин:

– $\omega_{cp} = 0,6$ м/с;

– $\tau = 300$ с;

– $S = \frac{\pi d^2}{4}$ – площадь поверхности испарения для крафт-бумажного мешка при $d = 0,6$ м.

Удельные валовые выбросы рассчитаны из соотношения:

$$q = \frac{P}{m}, \quad (4.4)$$

где m – масса залитого битума, кг; P – валовые выбросы, кг.

Использование разработанной технологии с применением полиэтиленовой тары для упаковывания битумов в 8 раз снижает концентрации вредных веществ СН и СО в воздухе по сравнению с бумажной, что следует из данных таблицы 4.6.

Проведенные исследования по сопоставлению результатов загрязнения воздушной среды при заливке битума по существующей технологии (в бумажную тару) и разработанной по экологическим показателям пре-восходят имеющиеся в настоящее время технические решения.

Глава 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ БИТУМА ПРИ УПАКОВЫВАНИИ В ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ

Одна из стадий транспортного процесса ВЗНП – подготовка грузов к их физическому перемещению, включающая операцию упаковывания.

Упаковывание битумов в полиэтиленовую пленку состоит из следующих основных этапов:

- перекачка битума из емкостей готовой продукции по технологическим трубопроводам в дозатор;
- изготовление тары из полиэтиленовой пленки;
- подача битума из дозатора в тару;
- охлаждение тары с битумом;
- формирование транспортного пакета.

Наиболее важный этап упаковывания битума в полиэтиленовую пленку – процесс охлаждения тары в момент ее наполнения горячим продуктом, обеспечивающий сохранность тары от проплавления и определяющий, в конечном счете, производительность оборудования.

5.1. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ УПАКОВЫВАНИЯ БИТУМА В ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ

Битумы получают в жидком состоянии при высоких температурах и откачивают в продуктовые емкости, затем (температура 160...190 °С) упаковывают в различную тару. Как уже известно, упаковывание битумов сопровождается их охлаждением. В качестве хладагента применяют, как правило, воздух или воду. При использовании металлической или бумажной тары не возникает потребности в расчете теплового процесса, так как охлаждение производится естественным путем и не связано с энергозатратами на подачу хладагента.

Во всех других случаях (при охлаждении на ленте конвейера, в заливочной форме, на поверхности барабана или в полиэтиленовой таре) для проектирования оборудования и выбора оптимального технологического режима необходимо выполнять теплотехнические расчеты процессов охлаждения битума. В литературе сведений по методам проведения таких расчётов не выявлено, а опубликованные результаты немногочисленных экспериментальных исследований не дают достаточной информации для их обобщения и практического использования.

Процессы охлаждения битумов и других горячеп текучих материалов являются неустановившимися, т.е. их температура и теплофизические свой-

ства изменяются во времени. Кроме того, они меняют свое агрегатное со-
стояние – переходят из жидкого в твердое.

Известен ряд патентов, предусматривающих упаковывание битумов в полиэтиленовую пленочную тару путем заливки горячего продукта в мешки или рукав из пленки, охлаждаемые снаружи водой. При этом охла-
ждение битума производится до его полного затвердевания.

По технологии, разработанной в Полоцком государственном университе-
тете [28, 29, 65, 66, 86 – 88, 105], охлаждение тары с битумом происхо-
дит в две стадии: при заливке в форму и при доохлаждении в ванне.

На *первой стадии*, во время заливки, пленочная тара с горячим жид-
ким продуктом размещается вертикально в разъемной металлической фор-
ме, где в течение нескольких минут ее поверхность охлаждается водой. На
этой стадии основной задачей является создание необходимых условий,
обеспечивающих сохранность полиэтиленовой пленки с момента начала на-
полнения тары горячим битумом до момента попадания ее в ванну. Это свя-
зано с тем, что температура заливающегося продукта на первой стадии состав-
ляет 140...170 °C, а температура плавления полимера – примерно 100 °C.
Для решения этой задачи требуется знать распределение температуры в
слое битума, скорость формирования защитного слоя битума на внутрен-
ней поверхности тары и его минимальную толщину, обеспечивающую со-
хранность полиэтиленовой пленки.

На *второй стадии*, во время доохлаждения в ванне, тара с битумом
расположена горизонтально и перемещается в воде на плаву, так как у
жидкого битума плотность меньше, чем у воды. Для этой стадии основная
задача теплотехнического расчета – определение времени пребывания та-
ры с битумом в воде, необходимого для формирования твердого слоя би-
тума с толщиной, достаточной для выполнения последующих операций
технологического процесса. При этом возникает вопрос об учете тепла
криSTALLизации. Исследования микроструктуры битума, выполненные раз-
ными авторами, показывают, что этот материал в твердой фазе представля-
ет собой многокомпонентную систему, содержащую лишь небольшую долю
вещества в кристаллической форме. Основная часть битума находится
в аморфном состоянии. В диапазоне температур 0...150 °C теплоемкость
битума изменяется по закону, приближенному к линейному. Таким обра-
зом, теплом фазового перехода при плавлении/затвердевании данного ма-
териала можно пренебречь.

В связи с тем, что битумы представляют собой сложную смесь боль-
шого числа различных компонентов, не имеющих постоянную температу-
ру кристаллизации, их затвердевание следует рассматривать как потерю
текучести вследствие резкого возрастания вязкости при охлаждении, т.е. в

в этом процессе внутренний источник тепла отсутствует. С другой стороны, с учетом высокой вязкости битумов закономерно предположение о том, что интенсивность конвективного переноса тепла пренебрежимо мала.

Высказанные предположения должны быть проверены, а полученные результаты использованы при разработке методики для расчета процесса охлаждения битума, упакованного в полиэтиленовую пленку.

Для подтверждения предположения об отсутствии конвективного переноса тепла в лаборатории кафедры трубопроводного транспорта Полоцкого государственного университета совместно с фирмой «Haake» (ФРГ) [106] были исследованы реологические характеристики битумов марки БН-70/30 ОАО «Нафтан» и битума марки БН-90/10, полученного из Каражанбасской нефти.

Паспортные характеристики исследованных образцов битума приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Характеристики образцов битума

Наименование	Величины параметров		
	Битум БН 70/30 ОАО «Нафтан» (Новополоцк)	Битумы из Каражанбасской нефти	
	№ 3	№ 2	№ 1
Температура размягчения по КиШ, °С	73	77	85
Глубина проникновения иглы при 25 °С, ×0,1 мм	29	22	13
Растяжимость при 25 °С, см	4	3,5	3

Образцы битума из Каражанбасской нефти № 1, 2 были предоставлены Институтом органической химии Академии наук Казахстана.

Известно, что битумы являются высоковязкими материалами, причем вязкость битума существенно зависит от его происхождения, т.е. от нефти, из которой он получен.

Была исследована вязкость трех образцов битума на ротационном вискозиметре фирмы «Haake» (ФРГ).

Для измерений использовали следующий набор инструментов:

- ротационный вискозиметр типа RV 20;
- измерительная головка M5 Searle;
- датчик конус-диск системы RK 100 с конусом типа Y и углом 1°.

Использование датчика конус-диск (требуется небольшой образец – несколько граммов) оказалось возможным благодаря тому, что образцы не содержали даже небольшое количество твердых частиц.

На рисунках 5.1 – 5.4 представлены реологические характеристики битумов, полученные на вискозиметре и с помощью решения уравнения (5.1), описывающего зависимость напряжения сдвига (τ^*) от температуры:

$$y = a \cdot \exp(bx), \quad (5.1)$$

где $a = 1,027 \cdot 10^6$; $b = -0,06204$.

Эти данные свидетельствуют о том, что при охлаждении до 150 °C битум уже становится ненейтоновской жидкостью.

Таким образом, при отсутствии усилия сдвига, что характерно для условий охлаждения битума в заливочной форме, влияние конвективного переноса на теплоотвод, вероятно, будет несущественным.

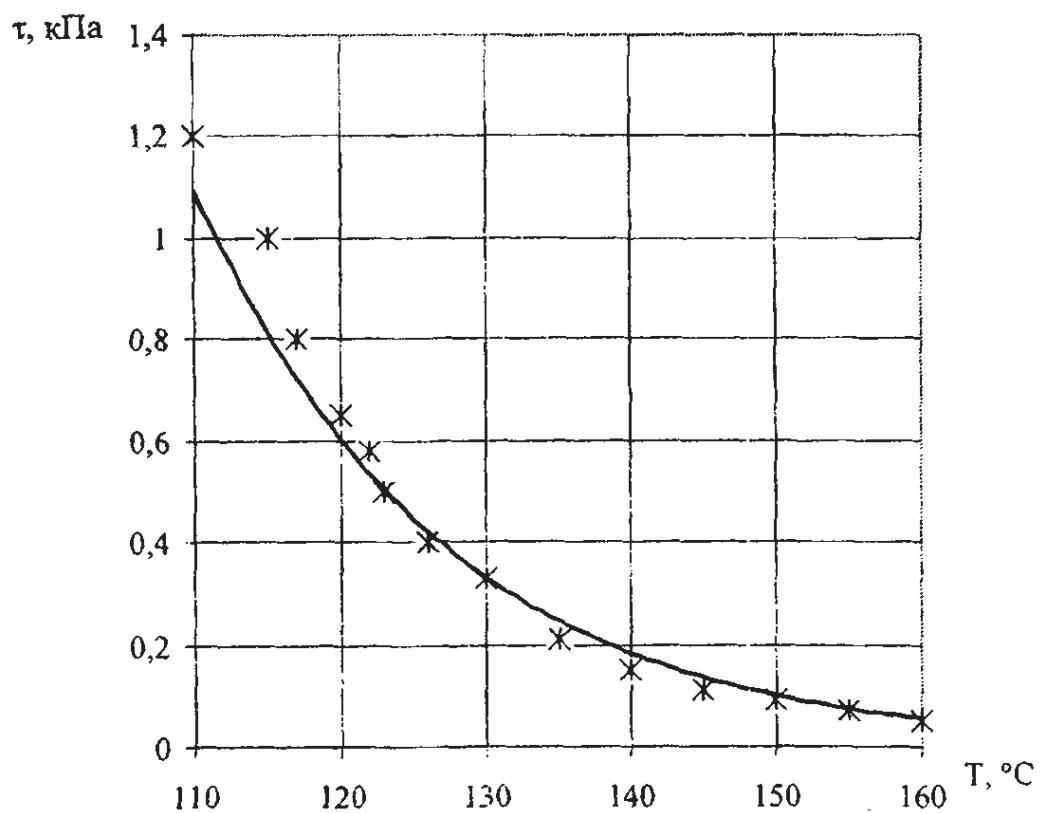


Рисунок 5.1 – Зависимость напряжения сдвига от температуры для образца № 2:

* – экспериментальные значения;

— – кривая, соответствующая уравнению (5.1)

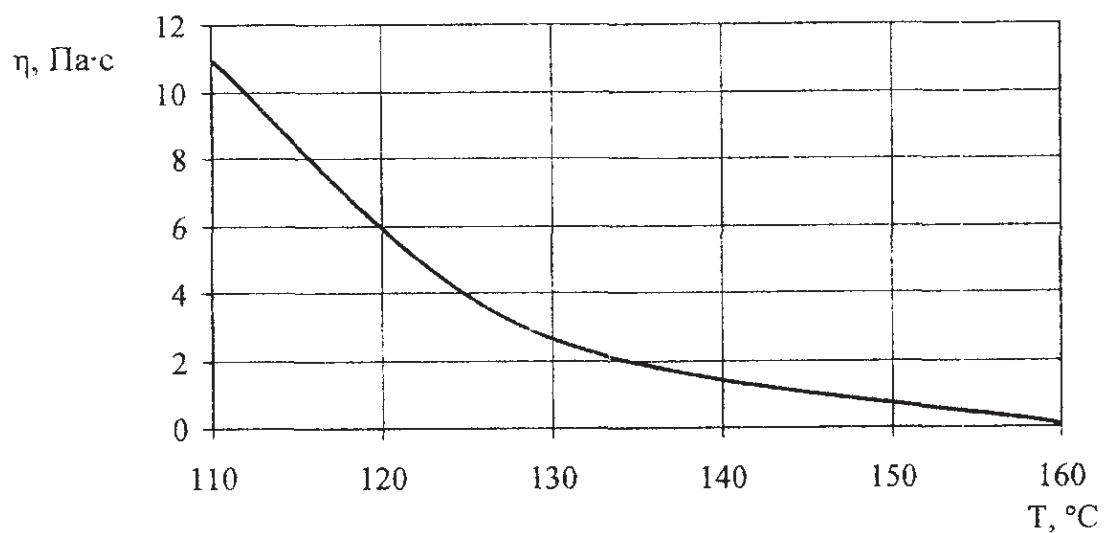


Рисунок 5.2 – Динамическая вязкость образца № 2
в зависимости от температуры

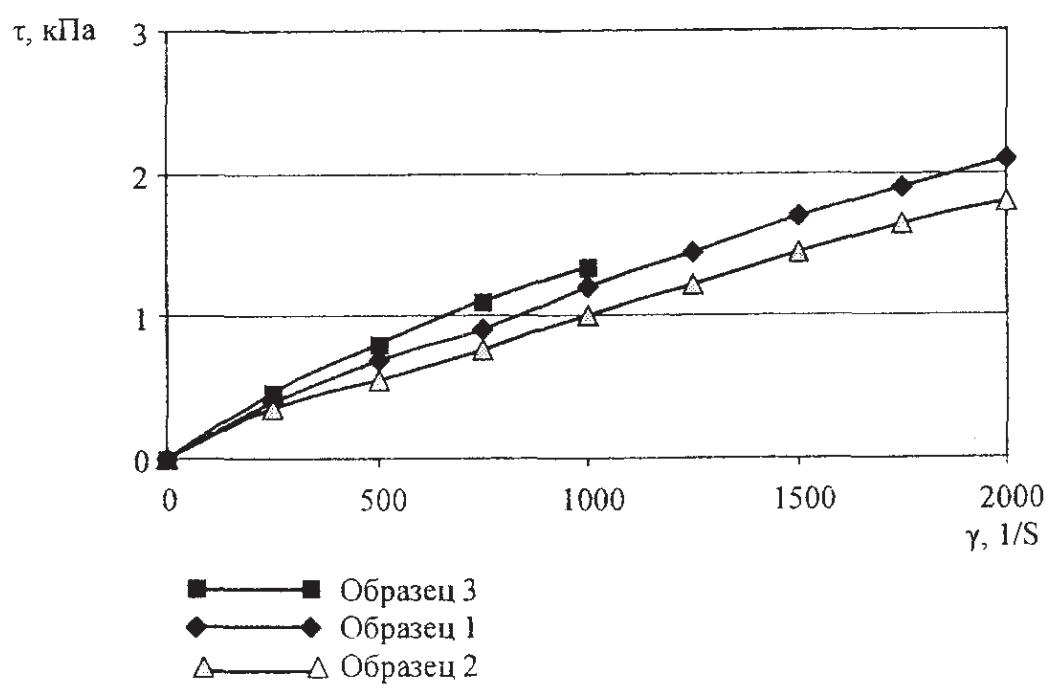


Рисунок 5.3 – Зависимость напряжения сдвига образцов битума № 1 – 3
от градиента скорости при температуре 150 °C

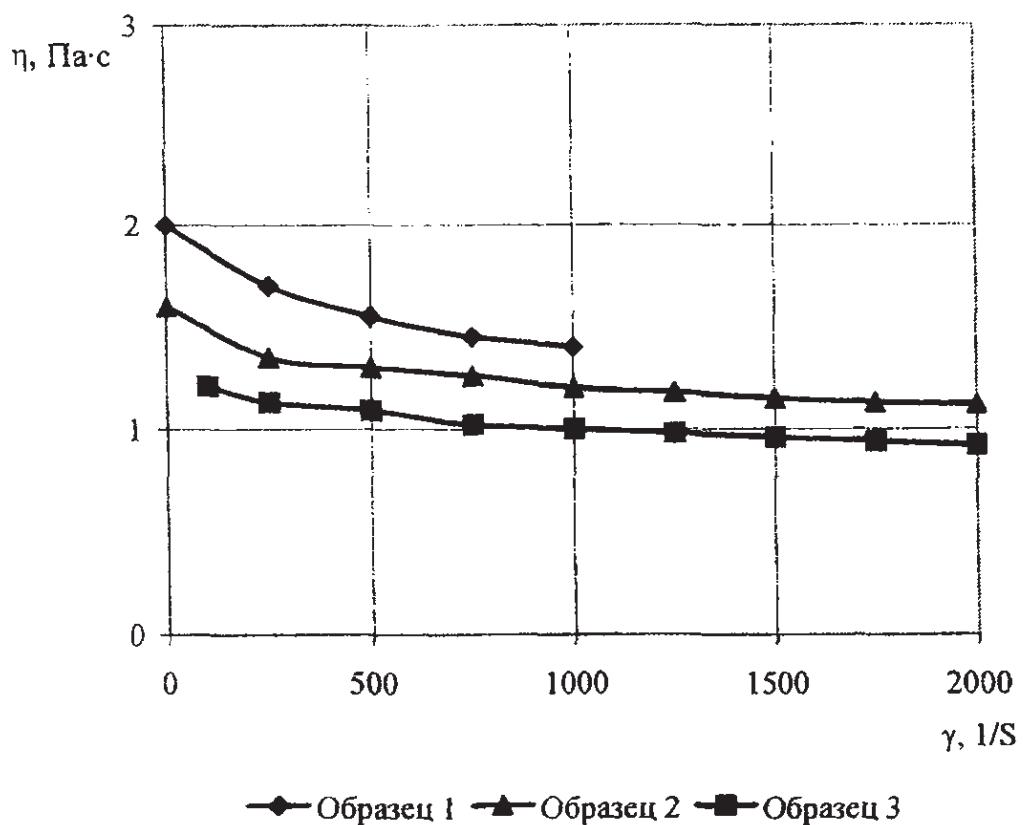


Рисунок 5.4 – Вязкость образцов битума № 1 – 3 при температуре 150 °C
в зависимости от градиента скорости

5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОХЛАЖДЕНИЯ БИТУМА, УПАКОВАННОГО В ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ, ДО ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

В соответствии с предлагаемой технологией [29, 65, 66, 86 – 88, 105] на первой стадии охлаждения упаковка с битумом должна находиться в форме до момента формирования в ней защитного слоя затвердевшего битума необходимой толщины, обеспечивающего сохранность тары до перемещения брикета в ванну.

Таким образом, основным фактором, оказывающим влияние на обеспечение сохранности тары, при заливке битума является время образования защитного слоя затвердевшего битума, которое зависит от свойств битума, его начальной температуры и температуры хладагента.

Продолжительность охлаждения на этой стадии должна обеспечивать сохранность тары от разрушения, что влияет на производительность оборудования.

На второй стадии, нахождение брикета с битумом в ванне, время охлаждения определяет геометрические параметры установки по упаковыванию битума в полиэтиленовую пленку. Поэтому для проектирования оборудования и определения его оптимальных технологических параметров необходимо получить зависимости для расчета процесса охлаждения битума при упаковывании в полиэтиленовую пленку, устанавливающего зависимость скорости формирования защитного слоя битума на полиэтиленовой пленке от его свойств, начальной температуры и температуры хладагента [15, 41].

По разработанной технологии для упаковывания битума используются полиэтиленовые мешки или блочная тара из рукава, что позволяет иметь конфигурацию брикета битума, близкую к прямоугольной. Ширина брикета значительно меньше его длины и высоты. Это позволяет при разработке метода расчёта рассматривать битум, залитый в пленочную тару, орошающую водой, как систему двух пластин затвердевающего битума, находящихся в тепловом контакте [89, 90, 107, 108]. Расчетная схема процесса охлаждения битума, упакованного в полиэтиленовую пленку, представлена на рисунке 5.5.

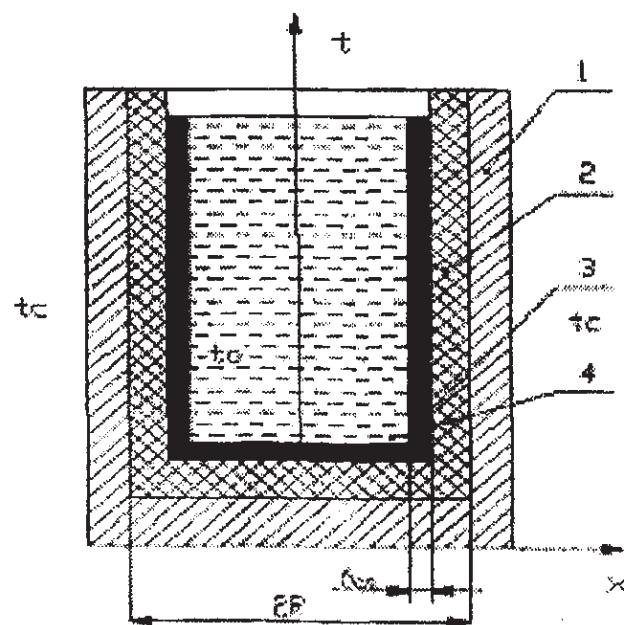


Рисунок 5.5 – Расчетная схема процесса охлаждения битума:

- 1 – форма;
- 2 – полиэтиленовая пленка;
- 3 – слой затвердевшего битума;
- 4 – жидкий битум

Таким образом, для стадии заливки имеем симметричную задачу нестационарного процесса охлаждения при свободном движении жидкости в ограниченном объеме (жидкий битум в таре).

Найдем закон распределения температуры в битуме, упакованном в полиэтиленовую пленку, скорость изменения толщины слоя застывающего битума, необходимую толщину защитного твердого слоя битума, обеспечивающего сохранность тары, от времени его охлаждения.

Распределение температуры внутри жидкости при допущении постоянства теплофизических свойств описывается следующим уравнением [85]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (5.2)$$

С учетом допущений об одномерном переносе тепла (т.е. только по толщине слоя) и малости конвективных потоков уравнение упрощается:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (5.3)$$

С учетом изменения теплофизических свойств битума уравнение (5.3) может быть записано в следующем виде:

$$\rho(t)C(t) \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \right). \quad (5.4)$$

Толщина пленочной тары (δ) составляет от 60 до 200 мкм, т.е. она пренебрежимо мала по сравнению с толщиной брикета битума ($2R$), которая по разработанной технологии равна 80...100 мм. В то же время теплопроводность полиэтилена почти в 3 раза превышает теплопроводность битума. Таким образом, термическое сопротивление полиэтиленовой пленки (δ/λ) невелико и его наличие практически не изменяет температуру у поверхности упаковки.

В связи с этим граничные условия 4-го рода [91], задающие условия сопряжения тепловых потоков и температур соприкасающихся сред на границе раздела (между битумом и пленкой) при начальных условиях, имеющие вид:

$$q_{zp-o} = q_{zp+o} \cdot T_{zp-o} = T_{zp+o}, \quad (5.5)$$

допустимо заменить условиями 3-го рода теплообмена между битумом и водой:

$$-\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} = \alpha_c [t(R, \tau) - t_c]. \quad (5.6)$$

Определить характер распределения температуры в битуме можно, оценив величину критерия Био:

$$Bi = \frac{\alpha_c R}{\lambda}, \quad (5.7)$$

где α_c – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К; R – расстояние от поверхности, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Приняв для воды значение $\alpha_c = 250$ Вт/м²·К [92, 109], для битума $\lambda = 0,12$ Вт/м·К [93] и $R = 0,05$ м, имеем $Bi = 104$.

При $Bi > 100$ температура на поверхности сразу после заливки битума становится практически равной температуре охлаждающей воды вследствие высокой интенсивности теплоотвода водой и малой теплопроводности битума [94]. Тогда граничные условия третьего рода переходят в условия первого рода – постоянство температуры на поверхности:

$$t(x, \tau) = t_c \text{ при } \tau = 0 \text{ и } x = 0, \quad (5.8)$$

где $t(x, \tau)$ – текущая температура битума, °С; t_c – температура охлаждающей среды, °С; τ – время, с; x – текущая координата, м.

С учетом этих допущений и постоянства теплофизических свойств поставленная задача преобразуется в классическую задачу нестационарной теплопроводности с граничными условиями первого рода, решение которой для бесконечной пластины имеет следующий вид [85, 93, 94]:

$$\theta = \frac{t(x, \tau) - t_c}{t_0 - t_c} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\mu_n, \frac{x}{R}\right) \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (5.9)$$

где θ – относительная, избыточная температура; t_0 – начальная температура битума, °С; A_n , μ_n – коэффициенты уравнения; $Fo = \frac{\alpha \tau}{R^2}$ – критерий Фурье (α – коэффициент температуропроводности, м²/с).

Для стадии заливки время охлаждения тары с битумом составляет 2...3 мин, при этом величина критерия Фурье мала, т.е. $Fo \ll 0,3$.

При малых значениях Fo расчет относительной избыточной температуры как функции относительной координаты x/R и числа Фурье может быть выполнен по следующему уравнению [85, 93, 94]:

$$\theta = \frac{t(x, \tau) - t_c}{t_0 - t_c} = erf\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha \tau}}\right) = erf\left(\frac{1}{2\sqrt{Fo_x}}\right), \quad (5.10)$$

где erf – функция, называемая интегралом вероятности, или интегралом ошибок.

Для инженерных расчетов функция erf может быть аппроксимирована следующим выражением [95]:

$$erf\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) = \sqrt{1 - \exp\left[-1,26\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right)^2\right]}. \quad (5.11)$$

Расчетные значения температуры могут быть найдены по уравнению:

$$t_p = \theta(t_0 - t_c) + t_c, \quad (5.12)$$

где t_p – расчетная температура битума, °С.

А.В. Лыковым показано, что охлаждение в первые моменты времени происходит аналогично охлаждению полуограниченного тела, а когда начало координат находится на поверхности, число Фурье рассчитывается по следующему уравнению [85]:

$$Fo_x = \alpha t / x^2. \quad (5.13)$$

Температурное поле битума, упакованного в полиэтиленовую пленку, при охлаждении водой, рассчитанное по уравнениям (5.10) и (5.12), представлено на рисунках 5.6 и 5.7.

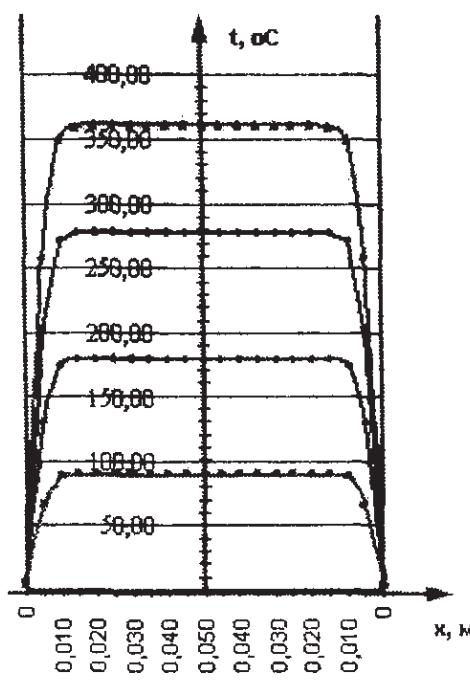


Рисунок 5.6 – Распределение температур в упаковке битума при $t_c = 14,5$ °С

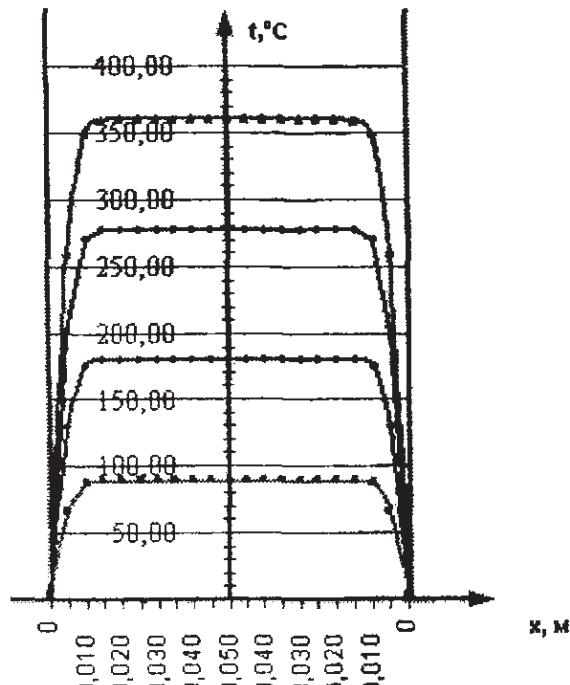


Рисунок 5.7 – Распределение температур в упаковке битума при $t_c = 5$ °С

Для получения уравнения, определяющего скорость формирования защитного слоя твердого битума на первом этапе охлаждения, примем

$t(x, \tau) = t_3(\delta, \tau)$, $\alpha x = \delta_{ci}$ в уравнении (5.10) и найдем зависимость толщины формирования слоя твердого битума на внутренней поверхности тары от времени его охлаждения:

$$\frac{t_3(\delta, \tau) - t_c}{t_0 - t_c} = \operatorname{erf}\left(\frac{\delta_{ci}}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right), \quad (5.14)$$

где t_3 – температура застывания битума, $^{\circ}\text{C}$; δ_{ci} – толщина слоя твердого битума, м.

Графики изменения толщины слоя твердого битума вблизи поверхности охлаждения от времени, полученные на основании уравнения (5.14), приведены на рисунках 5.8 – 5.11.

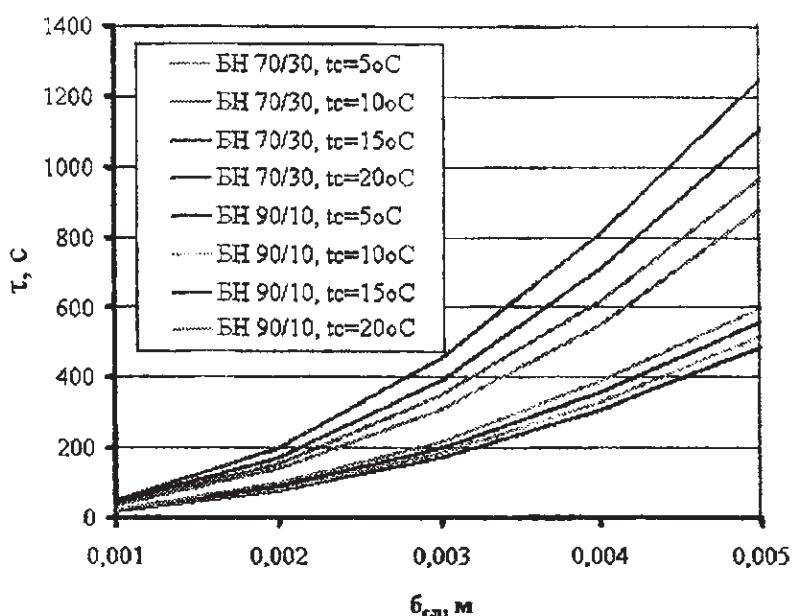


Рисунок 5.8 – Скорость формирования слоя твердого битума при $t_0 = 180 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

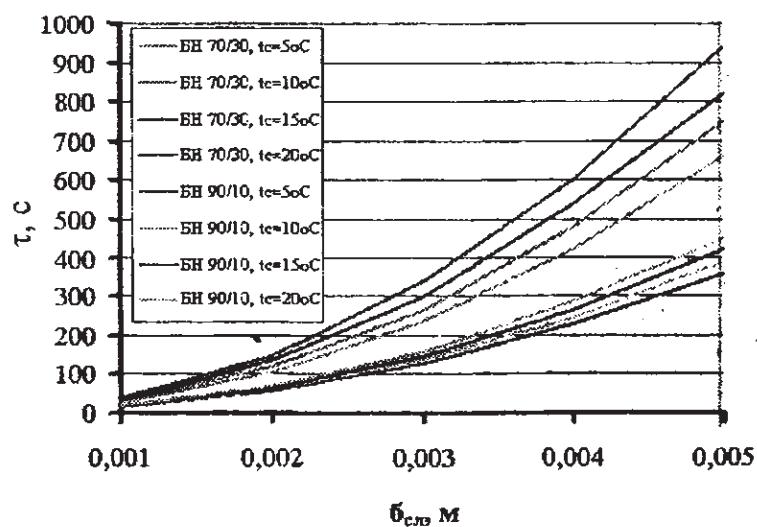


Рисунок 5.9 – Скорость формирования слоя твердого битума при $t_0 = 160 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

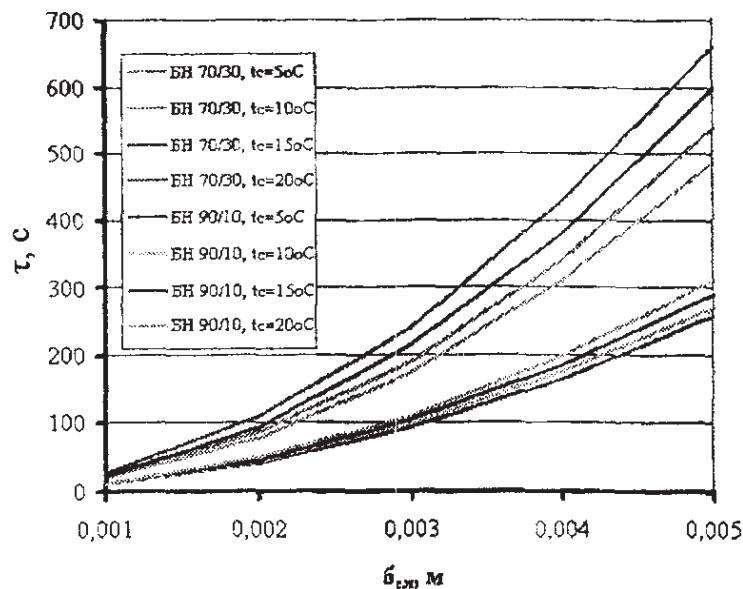


Рисунок 5.10 – Скорость формирования слоя твердого битума при $t_0 = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$

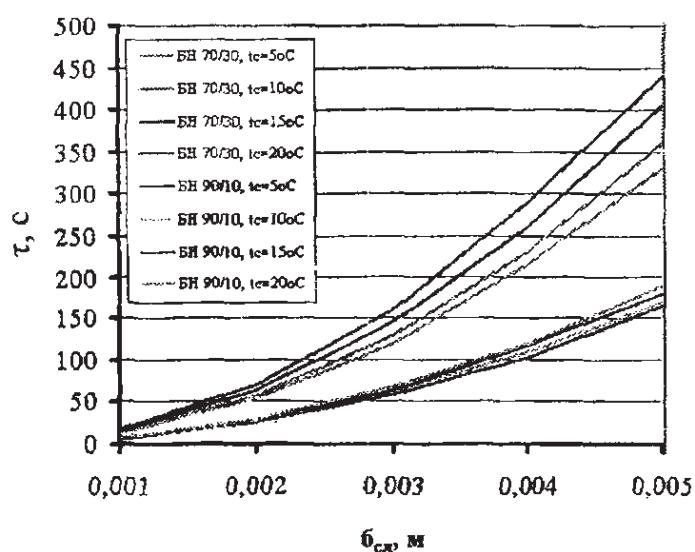


Рисунок 5.11 – Скорость формирования слоя твердого битума при $t_0 = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На основании анализа полученных графиков можно сделать следующие выводы:

- скорость формирования защитного твердого слоя битума зависит от его свойств, в частности от температуры застывания (по КИШ): чем выше температура застывания битума, тем быстрее формируется защитный слой;

- формирование защитного твердого слоя битума происходит быстрее при более низких температурах хладагента и битума;

- для начальной стадии охлаждения имеем линейную зависимость изменения δ_c , от t , т.е. можно считать режим охлаждения регулярным.

Как известно, регулярный режим характеризуется постоянством темпа охлаждения для всех точек твердого тела.

Темп охлаждения определяется величиной m [93, 94]:

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (5.15)$$

где m – темп охлаждения, $1/\text{с}$; ϑ_1 – разность температур в данной точке тела и охлаждающей среды (избыточная температура) в момент времени τ_1 , $^{\circ}\text{C}$; ϑ_2 – то же в момент времени τ_2 , $^{\circ}\text{C}$.

В условиях интенсивного внешнего теплоотвода, в частности при охлаждении водой (при $Bi > 100$), темп охлаждения зависит только от теплофизических свойств тела, его конфигурации и размеров [93, 94]:

$$m = \frac{a}{\kappa}, \quad (5.16)$$

где κ – коэффициент пропорциональности, зависящий от геометрической формы и размеров тела, м.

Для бесконечной пластины толщиной $2R$

$$\kappa = \left(\frac{2R}{\pi} \right)^2. \quad (5.17)$$

Полученные уравнения в зависимости от свойств битума, его температуры и температуры хладагента позволяют:

- получить распределение температуры в упаковке битума в любой момент времени;
- рассчитать время и скорость формирования защитного твердого слоя битума;
- определить необходимую толщину слоя твердого битума, обеспечивающую безопасную эксплуатацию оборудования;
- определить производительность оборудования по упаковыванию битума в полиэтиленовую пленку;
- определить необходимое количество хладагента;
- определить на стадии проектирования оптимальные технологические и конструкционные параметры оборудования;
- автоматизировать на стадии эксплуатации процесс упаковывания битума в полиэтиленовую пленку.

Для подтверждения возможности использования полученных уравнений необходимо провести экспериментальные исследования. Если сходимость результатов не будет превышать 5 %, то полученные уравнения

могут быть использованы для разработки инженерной методики расчета оборудования и технологического процесса охлаждения битума при упаковывании в полиэтиленовую пленку.

5.3. ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ БИТУМА

Экспериментальные исследования процесса охлаждения битума при упаковывании в полиэтиленовую пленку проводились с целью подтверждения возможности использования полученных уравнений для его описания. Для проведения опытов использовались окисленные битумы, полученные на ОАО «Нафтан», некоторые свойства которых представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Свойства исследованных образцов битума

Наименование показателей	Марка битума	
	БН 70/30	БН 90/10
Глубина проникновения иглы при 25 °C, ×0,1 мм	23	13
Температура размягчения по Кипп, °C	71	95
Растяжимость при 25 °C, мм	4	4

Реологические свойства битумов довольно хорошо изучены. По структуре битумы делят на три типа: 1 – золь; 2 – золь-гель; 3 – гель [6].

Битумы первого типа подчиняются закону Ньютона при температурах 160...200 °C, у битумов 2 и 3 типов наблюдается неильтоновское течение.

Битумы ведут себя как ньютоновские жидкости, когда их вязкость снижается до 10...100 Па·с [6].

Согласно [6], в интервале температур 140...180 °C вязкость битумов изменяется прямолинейно для дорожных и тугоплавких битумов всех марок, полученных разными способами. При более низких температурах битумы подобны структурированным жидкостям.

Мнения разных авторов о теплофизических свойствах битумов противоречивы. Так, в [96] указывается, что теплопроводность битума при затвердевании резко снижается, а согласно [6] теплоемкость и теплопроводность не зависят от марки битума и незначительно изменяются с изменением температуры. Сведения о теплофизических свойствах битумов из [10, 82] приведены в таблице 5.3.

Результаты обработки имеющихся экспериментальных данных по теплофизическими свойствам битумов позволили рассчитать параметры модели, описывающей зависимость теплоемкости (c), теплопроводности (λ)

и температуропроводности (α) битумов от их температуры, и получить следующие уравнения:

$$c(t) = 1670 + 2,8t, \text{Дж/(кг }^{\circ}\text{C}); \quad (5.18)$$

$$\lambda(t) = 0,208t^{-0,1064}, \text{Вт/(м }^{\circ}\text{C}); \quad (5.19)$$

$$\alpha(t) = 850 - 1,47t, \text{Вт/(м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}); \quad (5.20)$$

$$\rho(T) = 1042 - 0,6t, \text{кг/м}^3. \quad (5.21)$$

Таблица 5.3 – Значения теплофизических свойств битумов марок БН-70/30 и БН-90/10 [10, 82]

Свойства	Temperatura bitumov BN-70/30 i BN-90/10, t °C								
	0	20	40	100	160	170	180	190	200
Плотность, ρ, кг/м³	–	1010... 1070	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	943	939	933	929	923
Теплопроводность, λ, Вт/м·град	0,151... ...0,168	0,145... ...0,157	0,140... ...0,150	–	–	–	–	–	–
				–	0,120	0,120	0,119	0,119	0,119
Теплоемкость, с, кДж/кг·град	1,67	–	–	1,88	–	–	–	–	–
					2,090... ...2,110	2,140	2,178	2,219	2,256
Температуропроводность, α·10⁸, м²/с	8,5	–	7,55	–	6,0	5,94	5,83	5,75	5,69

Значения теплофизических характеристик битумов марок БН 70/30 и БН 90/10, рассчитанные по уравнениям (5.18) – (5.21), представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчетные значения теплофизических свойств битумов марок БН-70/30 и БН-90/10

Свойства	Temperatura bituma, °C										
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Плотность, ρ, кг/м³	–	1030	1018	1006	994	982	970	958	946	934	922
Теплопроводность, λ, Вт/м·град	0,154	0,146	0,14	0,135	0,130	0,127	0,125	0,123	0,121	0,12	0,118
Теплоемкость, с, кДж/кг·град	1,67	1,7	1,75	1,8	1,84	1,88	1,92	1,96	2,1	2,178	2,256
Температуропроводность, α·10⁸, м²/с	8,5	8,206	7,912	7,618	7,324	7,03	6,736	6,442	6,148	5,854	5,56

Рисунки 5.12 – 5.14 иллюстрируют зависимости c , λ и α от температуры. Представленные графики построены по литературным данным и полученным уравнениям (5.18) – (5.20).

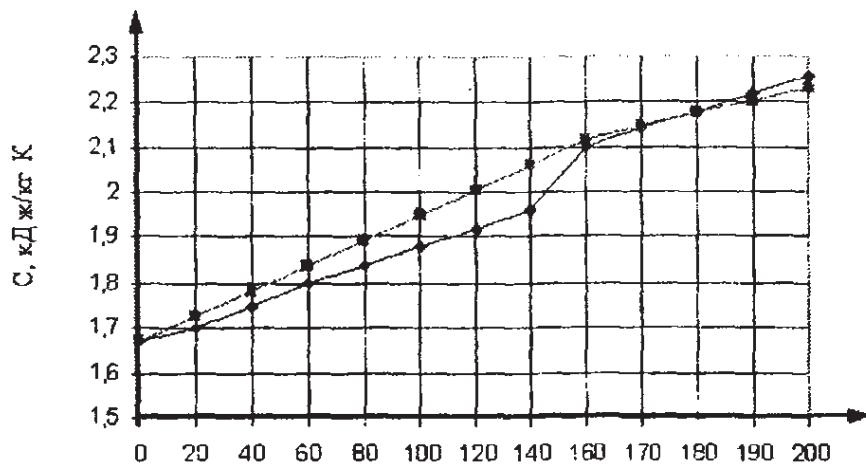


Рисунок 5.12 – Зависимость теплоемкости битума от температуры:
—◆— по экспериментальным данным; —— по уравнению (5.18)

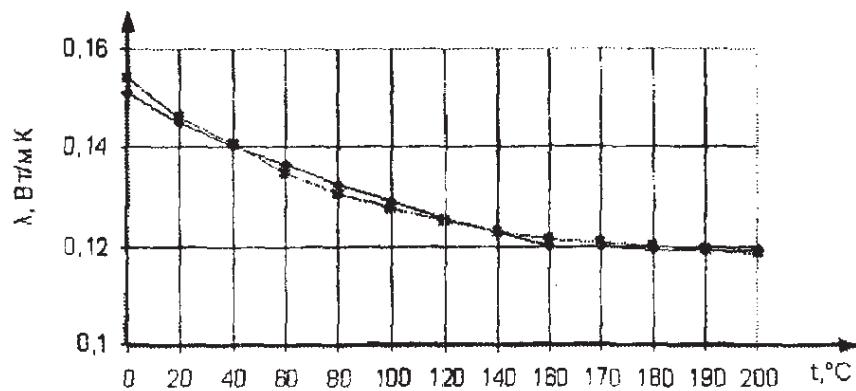


Рисунок 5.13 – Зависимость температуропроводности битума от температуры:
—◆— по экспериментальным данным; —— по уравнению (5.19)

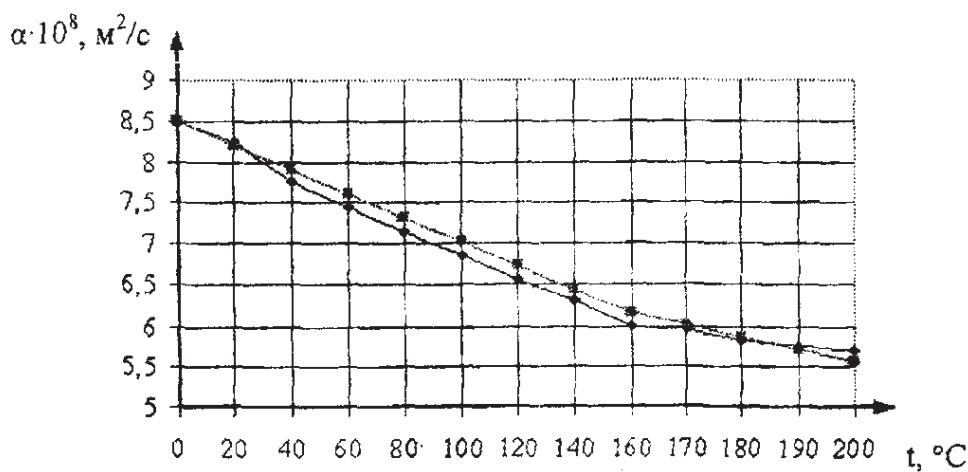


Рисунок 5.14 – Зависимость температуропроводности битума от температуры:
—◆— по экспериментальным данным; —— по уравнению (5.20)

Анализ результатов, представленных на графиках, показывает, что погрешность значений теплофизических свойств битумов, полученных по уравнениям (5.18) – (5.20), не превышает 1,5 % от имеющихся литературных данных. Следовательно, полученные уравнения могут быть использованы для расчета теплофизических свойств битумов марок БН-70/30 и БН-90/10 в диапазоне температур 20...200 °C.

При проведении экспериментов по изучению температурных полей необходимо установить зависимость изменения температуры битума на различных расстояниях от поверхности охлаждения, времени охлаждения и температуры охлаждающей среды, т.е. $t = f(x, \tau, t_c)$. При этом x изменяется в диапазоне от 0 до 100 мм, τ – от 0 до 480 с; t_c – от 5 до 20 °C.

Для определения скорости изменения толщины слоя застывающего битума необходимо установить зависимость: $\delta_{\text{сл}} = f(t_3, t_0, t_c, a, \tau)$. При этом t_3 для используемых битумов составляет 70 и 90 °C; t_0 – 206, 234, 260 и 277 °C; a изменяется в диапазоне от $5,5 \cdot 10^{-8}$ до $6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 / \text{s}$; τ – от 0 до 480 с.

Для изучения температурных полей в слое охлаждаемого жидкого битума, скорости и толщины формирования защитного слоя вблизи тары были разработаны лабораторная и пилотная установки. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 5.15.

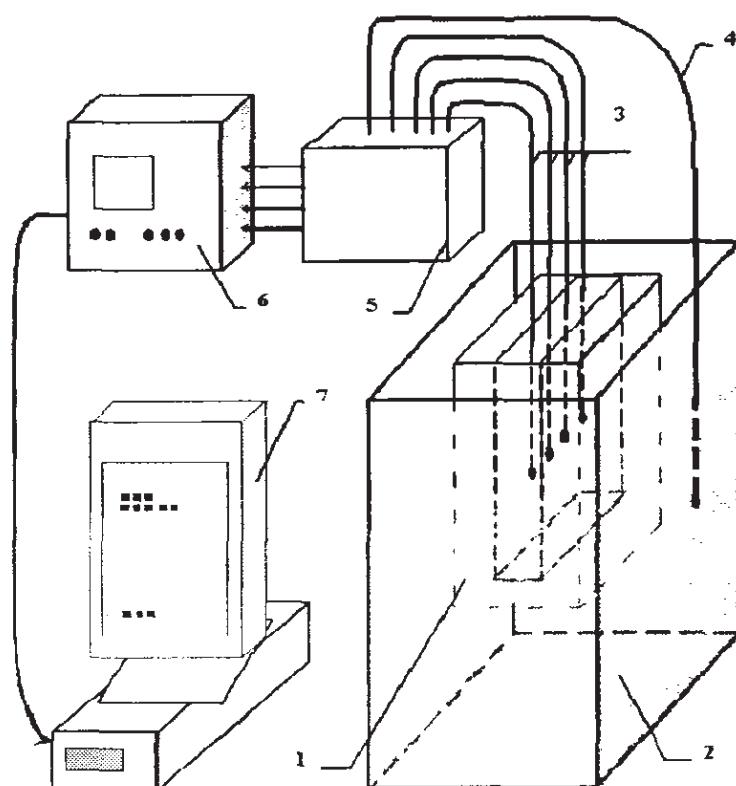


Рисунок 5.15 – Схема лабораторной установки

Установка (см. рис. 5.15) состоит из прямоугольной металлической емкости 1, помещенной в термостат 2. Две боковые стенки и днище емкости 1 термоизолированы. Внутренние размеры емкости $40 \times 100 \times 260$ мм. Толщина стенки 0,5 мм, материал – оцинкованная жесть. В центре емкости 1 по ее оси на определенном расстоянии друг от друга закреплены термопары 3 для измерения температур в битуме. Термопара 4, установленная в термостате 2, служит для измерения температуры охлаждающей воды. Для измерения температур использованы термопары типа хромель-копель диаметром 1 мм. Все термопары через соединительный блок 5 и аналогоцифровой преобразователь 6 связаны с ЭВМ 7.

Исследование температурных полей на установке проводилось следующим образом. Перед началом проведения опытов выполнялась работа по тестированию установки на горячей воде, основной целью которого являлась проверка точности показания термопар. Для этого термопары и ртутный термометр размещали в емкость с горячей водой и при различных температурах воды снимали их показания. Значения показаний термопар фиксировались на ЭВМ, показания ртутного термометра – визуально. Полученные результаты по каждой термопаре сравнивали с показаниями ртутного термометра и калибровочными таблицами для хромель-копелевых термопар. Было установлено, что среднее отклонение показаний термопар от калибровочных значений составляет 0,5 %. После этого в термостате 2 размещали емкость 1 с термопарами 3. Для поддержания постоянной температуры среды в термостате осуществлялась непрерывная циркуляция водопроводной воды, температура которой измерялась термопарой 4. Температуру горячего битума перед заливкой в емкость 1 измеряли ртутным термометром. Разогретый до определенной температуры битум заливали в емкость 1 и при постоянной температуре охлаждающей воды фиксировали температуру в слое битума в течение определенного времени.

Координаты термопар, установленных на лабораторной установке, представлены в таблице 5.5, схема их размещения – на рисунке 5.16.

Таблица 5.5 – Координаты термопар

№ термопары	1	2	3	4	5	6
Расстояние от стенки емкости, x , мм	3	8	18	28	38	50
	4	14	24	34	44	54

Для проверки влияния геометрических параметров установки на процесс охлаждения битума при наливе его в тару была разработана и смонтирована пилотная установка, в которой форма выполнена аналогично форме опытно-промышленной установки. Схема установки представлена на рисунке 5.17. Установка состоит из емкости 1 с электронагревателями 2, заливочного патрубка 3 с вентилем 4. Соосно с заливочным патрубком размещена форма 5. Форма имеет вертикальный разъем, каждая половина формы выполнена с двойными стенками, внутренние стенки полуформы перфорированы, отверстия расположены в шахматном порядке. В полость между ними через нижние патрубки 6 подается вода.

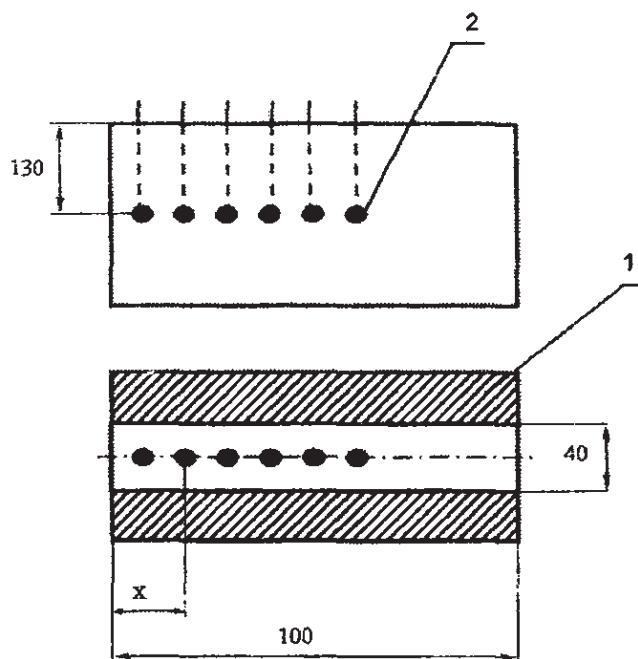


Рисунок 5.16 – Схема размещения термопар в битуме:
1 – емкость; 2 – термопары

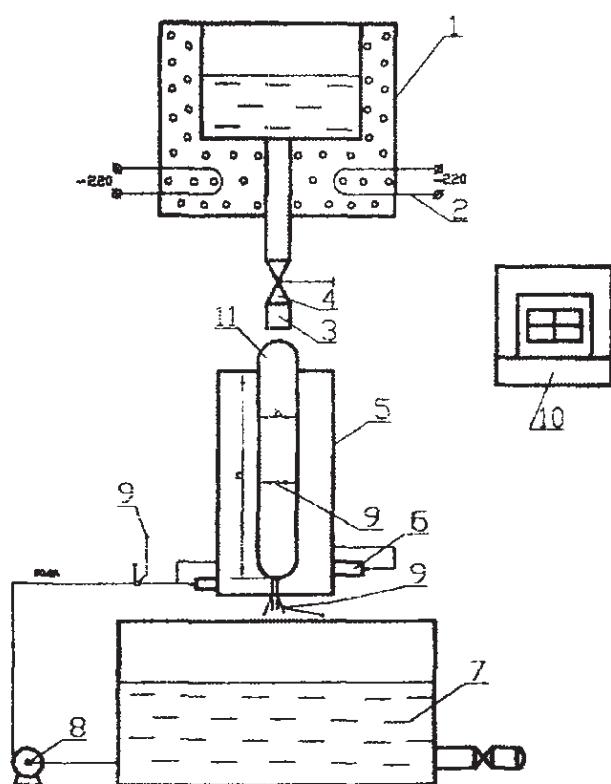


Рисунок 5.17 – Схема экспериментальной установки

Между полуформами при полном их смыкании в нижней части образуется зазор, ширина которого достаточна для свободного вытекания всей воды, подаваемой для орошения полиэтиленового пакета 11. Таким образом, вода стекает по поверхности пакета в виде тонкой пленки. Толщина пленки воды меньше ширины зазора между пакетом и стенкой формы, так что уровень воды в этом зазоре отсутствует, и гидростатическое давление не создается. Благодаря этому пакет не сдавливается водой, чему способствует также и надувание его воздухом перед заливкой битума.

Геометрические характеристики заливочной формы приведены в таблице 5.6. Под формой установлена ванна 7 с водой. Для подачи воды в форму используется насос 8. Расход воды измеряется при помощи турбинного счетчика. Для измерения и регистрации температуры битума и воды использовали термопары 9 типа хромель-копель в комплекте с потенциометрами 10 типа КСП-2 и КСП-4. Внутри формы закрепляли полиэтиленовый пакет 11. В середине полиэтиленового пакета перпендикулярно стенкам формы устанавливали гребенку с 8-ю термопарами для снятия поля температур в слое битума.

Таблица 5.6 – Параметры заливочной формы

Наименование параметров, ед. изм.	Величины параметров
Высота, H , мм	430
Ширина, δ , мм	100
Длина, l , мм	280
Число отверстий в полуформе, n , шт.	162
Диаметр отверстий, d , мм	1,2
Шаг между отверстиями, h , мм	20
Масса формы, m , кг	3,2
Наружная поверхность формы, F , м ²	0,48
Внутренний диаметр патрубков для подачи воды в полости формы, D , мм	16
Объем битума, заливаемого в тару, размещенную в форме, V , л	10...11

Схема размещения термопар в слое битума на пилотной установке изображена на рисунке 5.18; в таблице 5.7 приведены расстояния от стенки формы до термопар.

С помощью одноточечных потенциометров фиксировались показания термопар № 1 – 3. На 12-ти точечном – № 4 – 8. Кроме того, на 12-ти точечном потенциометре фиксировались: температура воздуха; температура би-

тума на выходе из емкости (в заливочном патрубке); температура битума в емкости; температура на внутренней стенке формы; температура воды на входе в форму; температура воды на выходе из формы.

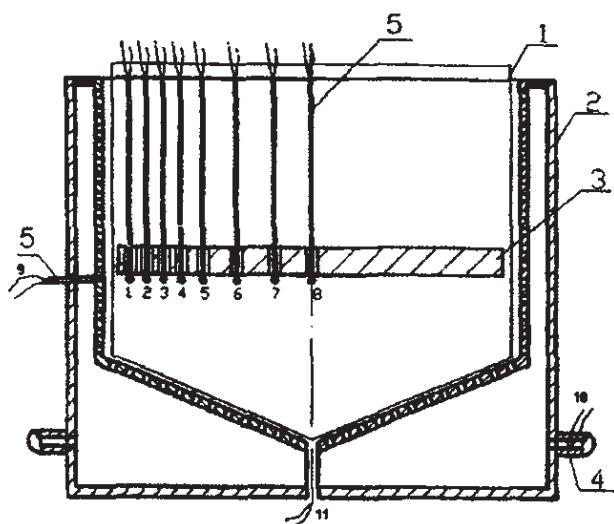


Рисунок 5.18 – Схема размещения термопар в слое битума:
 1 – полиэтиленовый пакет; 2 – форма;
 3 – держатель термопар; 4 – патрубок подачи воды;
 5 – термопары (№ 1 – 11)

Таблица 5.7 – Расстояние от стенки формы до термопар

№ термопары	1	2	3	4	5	6	7	8
Расстояние от стенки пакета до термопар, мм	2	5	9	14	23	32	41	50

Опыты проводили следующим образом (см. рис. 5.17). Твердый битум загружали в емкость 1, включали электронагреватели 2, расплавляли битум и нагревали его до заданной температуры. Время разогрева битума составляло около 3 часов.

Полиэтиленовый пакет помещали в форму, зажимая его края между стыковочными поверхностями полуформ, внутрь пакета вставляли гребенку с термопарами. Ванну 7 наполняли водой из водопровода, включали насос 8 и устанавливали такой расход воды, чтобы она поднималась до самых верхних отверстий формы и, вытекая, орошала стенки полиэтиленового пакета. Затем наливали в пакет битум и измеряли его температуру в заливочном патрубке и по толщине слоя. В это же время измерялась и тем-

пература воды на входе и выходе из формы. После полного затвердевания битума проверяли размеры брикета и его массу. Толщину полиэтиленовой пленки измеряли микрометром, она составляла 0,15...0,2 мм.

Для проверки допущения о пренебрежимо малом влиянии упаковочного материала на поле температур в слое битума выполнена серия опытов с полиэтиленовой тарой. Использовали «толстостенную» тару из полиэтилена низкой плотности толщиной 3 мм и полиэтиленовую пленку толщиной 0,12 мм. Для этого полиэтиленовые сосуды и оболочки цилиндрической формы помещали в металлическую емкость с охлаждающей водой и заполняли горячим битумом. Измерение температуры производилось с помощью хромель-копелевых термопар и потенциометра ЭПП-09. Термопары были установлены на разном расстоянии (по радиусу) от центра и погружены в битум на середине высоты сосуда.

В результате опытов было установлено, что полиэтиленовая пленка практически не оказывает влияние на изменение температуры в битуме.

Толщину защитного слоя битума, предохраняющего тару от температурного разрушения, определяли на основании опытов. Для этого использовали полиэтилен толщиной 0,12...0,2 мм, 2, 3 и 5 мм, высокой и низкой плотности, с наполнителем и без наполнителя, с температурой теплостойкости 127 и 77 °С соответственно. На внутреннюю поверхность полиэтиленовой тары, или пленки, размещенной в форме, наносили слой битума толщиной 1, 2, 3, 4 мм. При этом наружная сторона тары орошалась водой. После того как слой битума затвердевал, воду отключали, а толщину слоя измеряли штангенциркулем. Затем снова включали воду, во внутрь тары заливали битум с температурой 180...200 °С. После заполнения тары битумом, ее охлаждение прекращали и упаковку с битумом извлекали из формы. Если после этого (спустя некоторое время) тара не расплавлялась и не деформировалась, значит, толщина защитного слоя битума была достаточной.

В результате проведенных опытов было установлено, что защитный слой затвердевшего битума толщиной 2...3 мм, образующийся в течение двух-трех минут, достаточен для предохранения полиэтиленовой тары или пленки от разрушения. Контрольные заливки битума в тех же условиях, без предварительного нанесения предохранительного слоя битума приводили к расплавлению полиэтиленовой тары.

5.4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью экспериментальных исследований являлись проверка адекватности полученных уравнений и подтверждение выводов теоретических исследований.

Экспериментальные значения температур в битуме на различных расстояниях от охлаждающей стенки, полученные на лабораторной и пилотной установках, представлены в таблицах 5.8 и 5.9.

Таблица 5.8 – Экспериментальные значения температур (t) в слое битума, полученные на лабораторной установке для битумов марок БН-90/10 и БН-70/30

$\tau, \text{ с}$	t_c	$t, {}^\circ\text{C}$, при $\delta, \text{ м}$						Марка битума
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	
		0,003	0,008	0,018	0,028	0,038	0,05	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		277	277	277	277	277	277	БН-90/10
60		187	277	277	277	277	277	
120		159	269	277	277	277	277	
180		142	256	277	277	277	277	
240		128	243	277	277	277	277	
300		116	230	277	277	277	277	
360		103	219	276	277	277	277	
420		100	209	275	277	277	277	
480		95	201	274	277	277	277	
	14,5	0,003	0,008	0,018	0,028	0,038	0,05	БН-90/10
0		206	206	206	206	206	206	
60		155	206	206	206	206	206	
120		122	201	206	206	206	206	
180		105	191	206	206	206	206	
240		93	181	206	206	206	206	
360		86	172	206	206	206	206	
360		80	163	205	206	206	206	
420		75	156	204	206	206	206	
480		71	150	203	206	206	206	

Окончание таблицы 5.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	17,8	0,004	0,014	0,024	0,034	0,044	0,054	
0		206	206	206	206	206	206	
60		148	206	206	206	206	206	
120		141	206	206	206	206	206	
180		133	206	206	206	206	206	
240		123	205	206	206	206	206	
300		113	203	206	206	206	206	
360		107	201	206	206	206	206	
420		101	198	206	206	206	206	
480		94	195	206	206	206	206	

БН-70/30

Таблица 5.9 – Экспериментальные значения температур в слое битума, полученные на пилотной установке для битума марки БН-90/10

$\tau, \text{с}$	t_c	$t, {}^\circ\text{C}$, при $\delta, \text{м}$								Марка битума
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	
		0,002	0,005	0,009	0,014	0,023	0,032	0,041	0,05	
1	11	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		260	260	260	260	260	260	260	260	БН-90/10
60		132	246	260	260	260	260	260	260	
120		113	214	256	260	260	260	260	260	
180		101	190	248	260	260	260	260	260	
240		93	173	238	258	260	260	260	260	
300		85	159	228	256	260	260	260	260	
360		79	149	218	253	260	260	260	260	
420		66	140	210	249	260	260	260	260	
480		63	133	202	245	260	260	260	260	
	11	0,002	0,005	0,009	0,014	0,023	0,032	0,041	0,05	БН-90/10
0		234	234	234	234	234	234	234	234	
60		132	221	234	234	234	234	234	234	
120		100	193	225	234	234	234	234	234	
180		85	171	207	234	234	234	234	234	
240		76	156	199	232	234	234	234	234	
300		69	144	196	230	234	234	234	234	
360		64	134	190	228	234	234	234	234	
420		60	127	189	224	234	234	234	234	
480		57	120	182	221	234	234	234	234	

На рисунках 5.19 – 5.21 представлены графики распределения температур в битуме, упакованном в полиэтиленовую пленку, через 3 минуты после начала охлаждения водой.

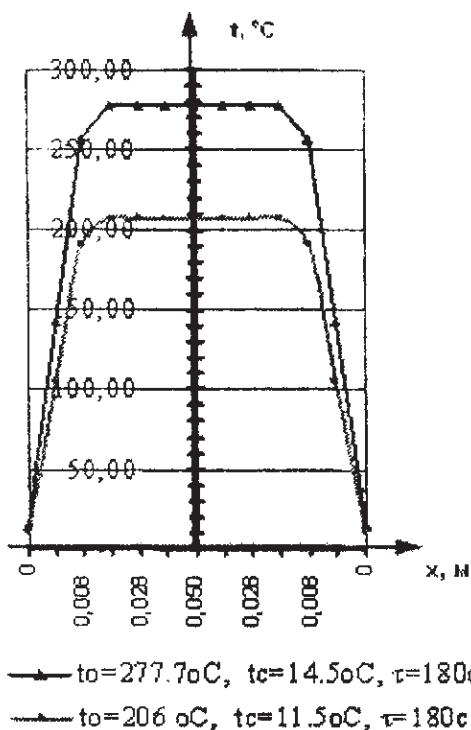


Рисунок 5.19 – Распределение температур в слое битума марки БН-90/10, полученное на лабораторной установке

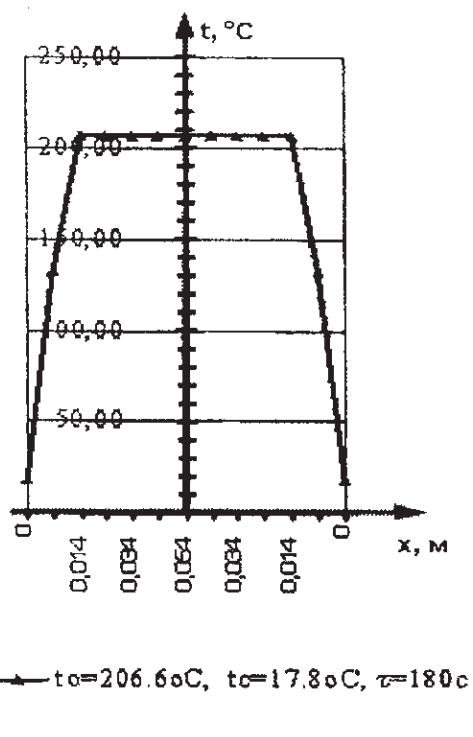


Рисунок 5.20 – Распределение температур в слое битума марки БН-70/30, полученное на лабораторной установке

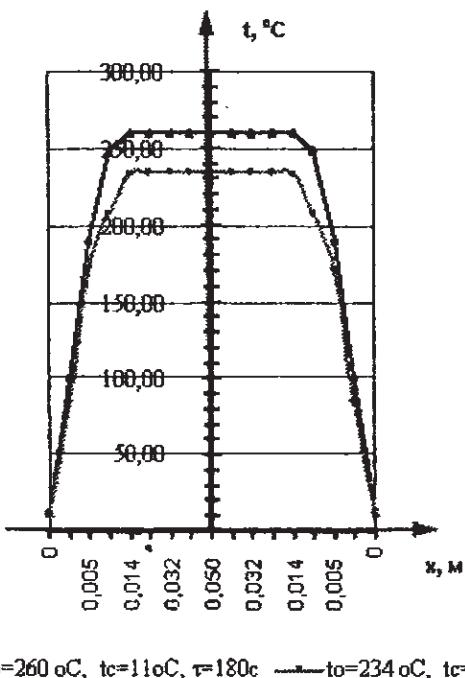


Рисунок 5.21 – Распределение температур в слое битума марки БН-90/10, полученное на пилотной установке

На рисунке 5.22 представлены зависимости изменения температуры битума от времени его охлаждения на различных расстояниях от охлаждающей стенки, полученные на лабораторной и пилотной установках.

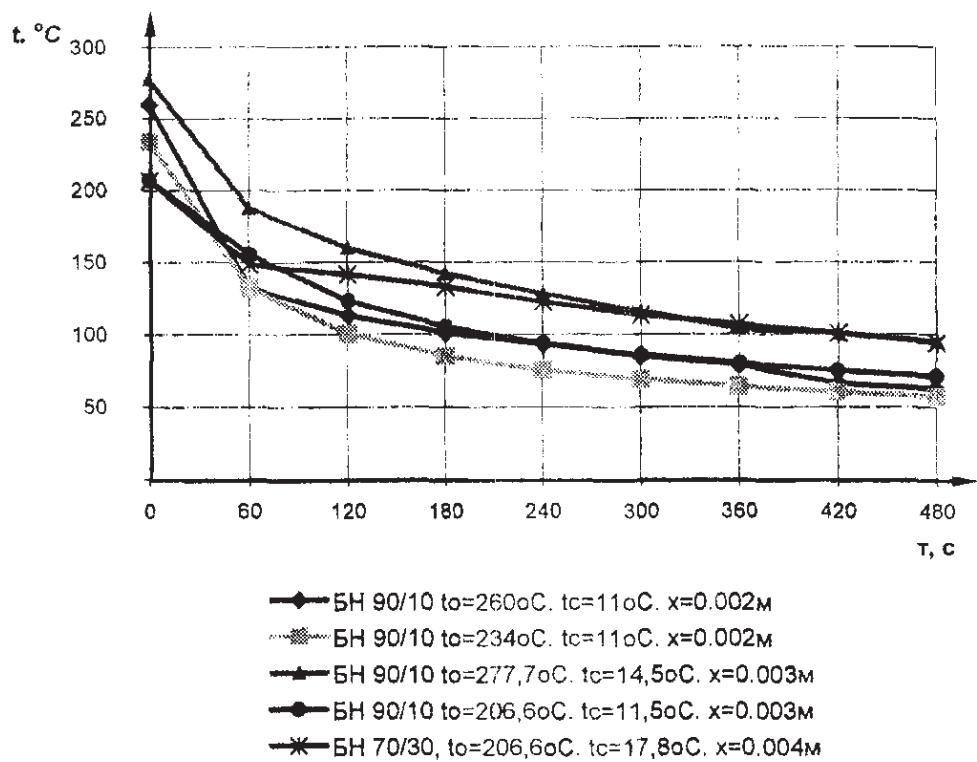


Рисунок 5.22 – Изменение температуры в поверхностном слое битума

В таблицах 5.9 и 5.10 приведены результаты расчетных значений температур в слое битума с использованием ранее полученных уравнений.

Таблица 5.10 – Расчетные значения температур в слое битума

$\tau, \text{с}$	t_c	$t, {}^{\circ}\text{C}$ при $\delta, \text{м}$						Марка битума
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	
0	14,5	277,70	277,70	277,70	277,70	277,70	277,70	БН-90/10
60		215,13	277,63	277,70	277,70	277,70	277,70	
120		163,85	274,43	277,70	277,70	277,70	277,70	
180		137,20	265,07	277,70	277,70	277,70	277,70	
240		120,67	252,56	277,69	277,70	277,70	277,70	
300		109,24	239,60	277,64	277,70	277,70	277,70	
360		100,76	227,39	277,48	277,70	277,70	277,70	
420		94,17	216,29	277,14	277,70	277,70	277,70	
480		88,85	206,36	276,56	277,70	277,70	277,70	

Окончание таблицы 5.10

	0,003	0,008	0,018	0,028	0,038	0,05	
11,5	0	206,60	206,60	206,60	206,60	206,60	БН-90/10
	60	153,87	206,39	206,60	206,60	206,60	
	120	117,89	201,81	206,60	206,60	206,60	
	180	99,34	192,44	206,60	206,60	206,60	
	240	87,79	181,87	206,56	206,60	206,60	
	300	79,76	171,81	206,41	206,60	206,60	
	360	73,79	162,73	206,05	206,60	206,60	
	420	69,12	154,71	205,43	206,60	206,60	
	480	65,35	147,62	204,54	206,59	206,60	
	0,004	0,014	0,024	0,034	0,044	0,054	
17,8	0	206,60	206,60	206,60	206,60	206,60	БН-70/30
	60	182,75	206,60	206,60	206,60	206,60	
	120	149,73	206,59	206,60	206,60	206,60	
	180	129,20	206,42	206,60	206,60	206,60	
	240	115,55	205,73	206,60	206,60	206,60	
	300	105,75	204,34	206,60	206,60	206,60	
	360	98,33	202,27	206,59	206,60	206,60	
	420	92,46	199,68	206,57	206,60	206,60	
	480	87,68	196,73	206,51	206,60	206,60	

Таблица 5.11 – Расчетные значения температур в слое битума марки БН-90/10

$\tau, \text{с}$	t_c	$t, {}^\circ\text{C}$ при $\delta, \text{м}$								Марка битума
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	
		0,002	0,005	0,009	0,014	0,023	0,032	0,041	0,05	
11	11	260	260	260	260	260	260	260	260	БН 90/10
		132	251	260	260	260	260	260	260	
		113	220	259	260	260	260	260	260	
		101	193	253	260	260	260	260	260	
		93	173	245	259	260	260	260	260	
		85	158	235	258	260	260	260	260	
		79	146	225	257	260	260	260	260	
		60	136	215	254	260	260	260	260	
		57	128	207	251	260	260	260	260	

Окончание таблицы 5.11

		0,002	0,005	0,009	0,014	0,023	0,032	0,041	0,05	
0	11	234	234	234	234	234	234	234	234	БН-90/10
60		128	225	234	234	234	234	234	234	
120		94	196	225	234	234	234	234	234	
180		79	172	207	234	234	234	234	234	
240		69	154	199	233	234	234	234	234	
300		63	140	196	232	234	234	234	234	
360		58	130	190	230	234	234	234	234	
420		55	122	191	227	234	234	234	234	
480		52	115	184	224	234	234	234	234	

Графики сравнения экспериментальных и расчетных значений температур битума в поверхностном слое приведены на рисунках 5.23 – 5.26.

Как видно из графиков и таблиц, погрешность полученных результатов составляет в среднем 2...4 %.

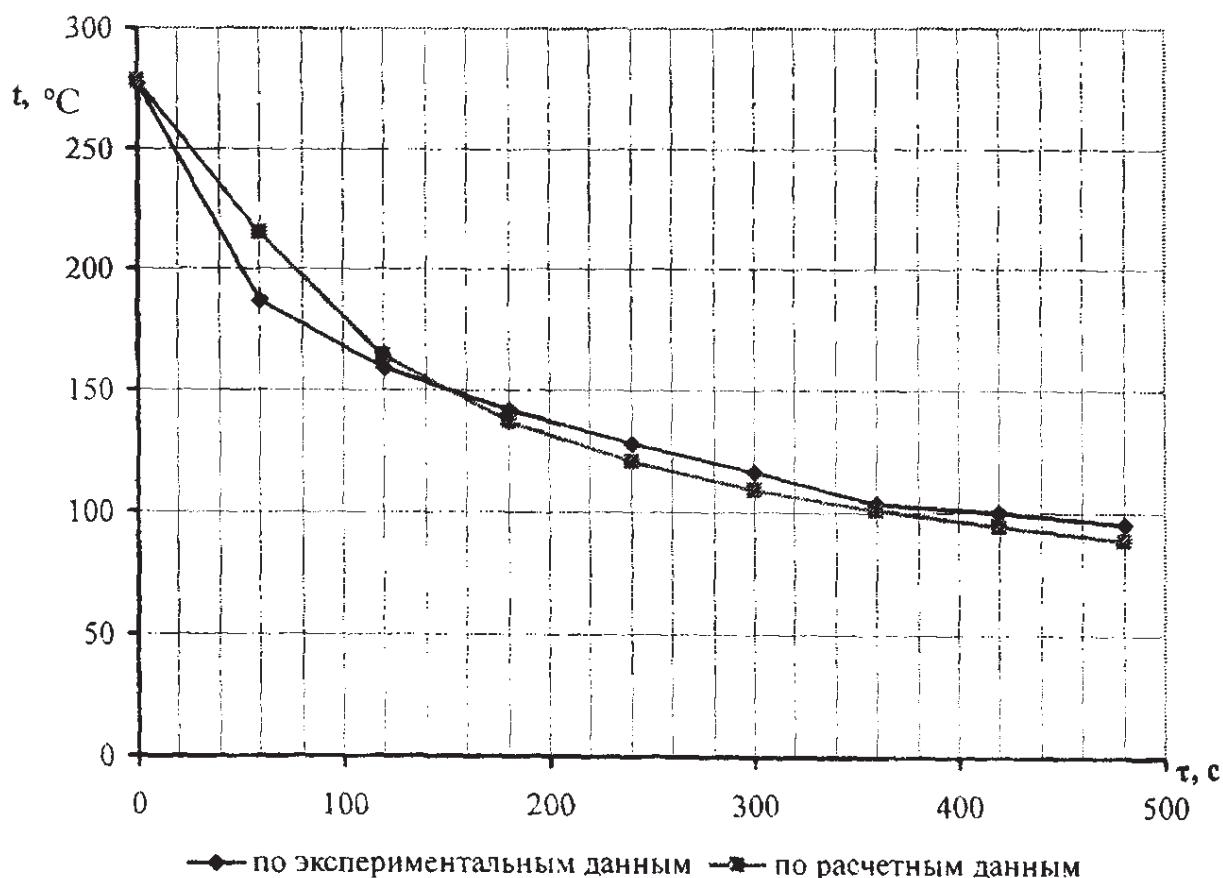


Рисунок 5.23 – Изменения температуры битума БН-90/10
на расстоянии $x = 3$ мм, при $t_0 = 277$ °C, $t_c = 14,5$ °C

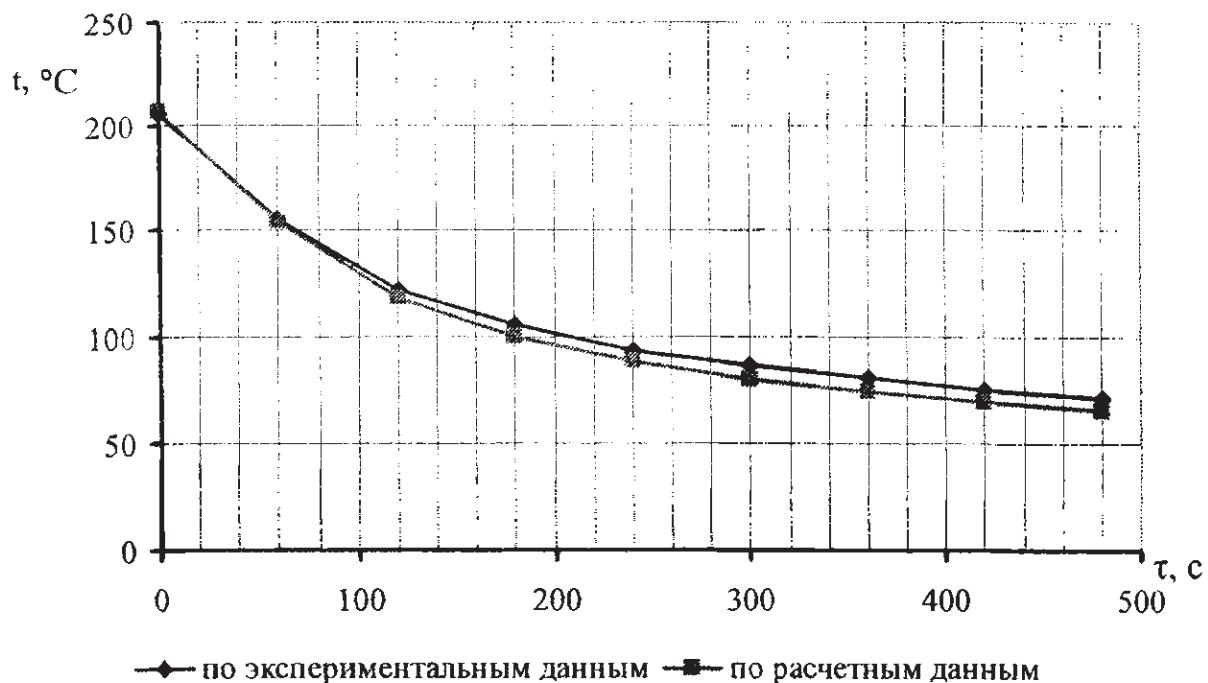


Рисунок 5.24 – График изменения температуры битума БН-90/10
на расстоянии $x = 3$ мм, при $t_0 = 206$ °C, $t_c = 11,5$ °C

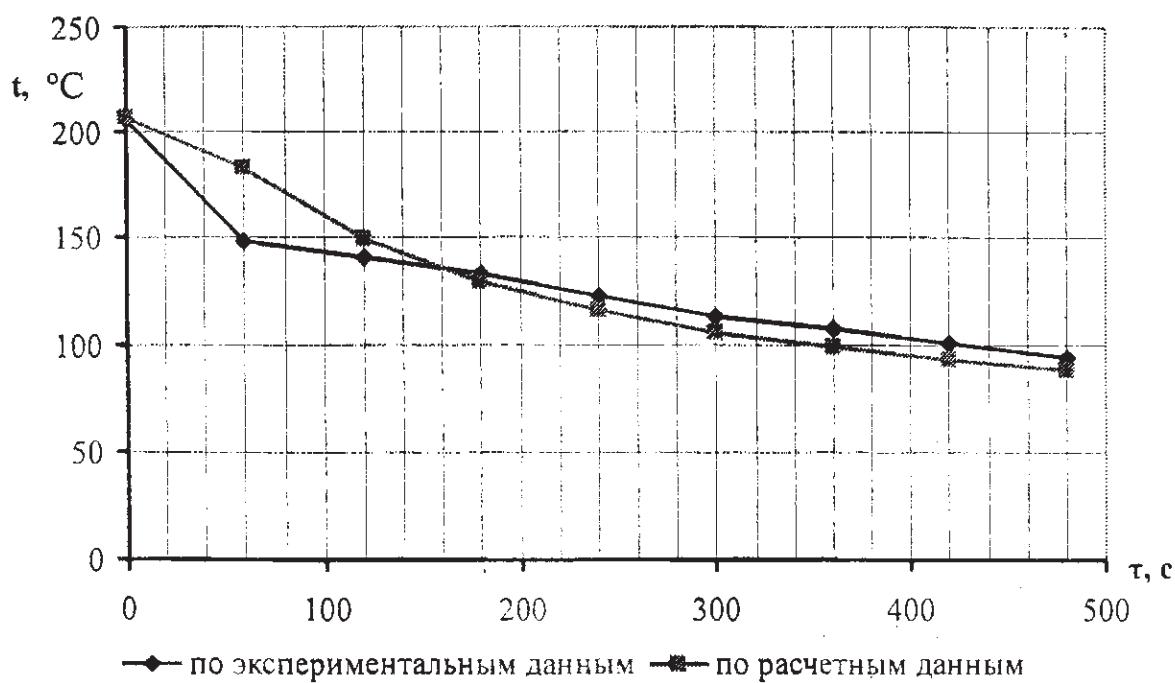


Рисунок 5.25 – График изменения температуры битума БН-70/30
на расстоянии $x = 4$ мм, при $t_0 = 206$ °C, $t_c = 17,8$ °C

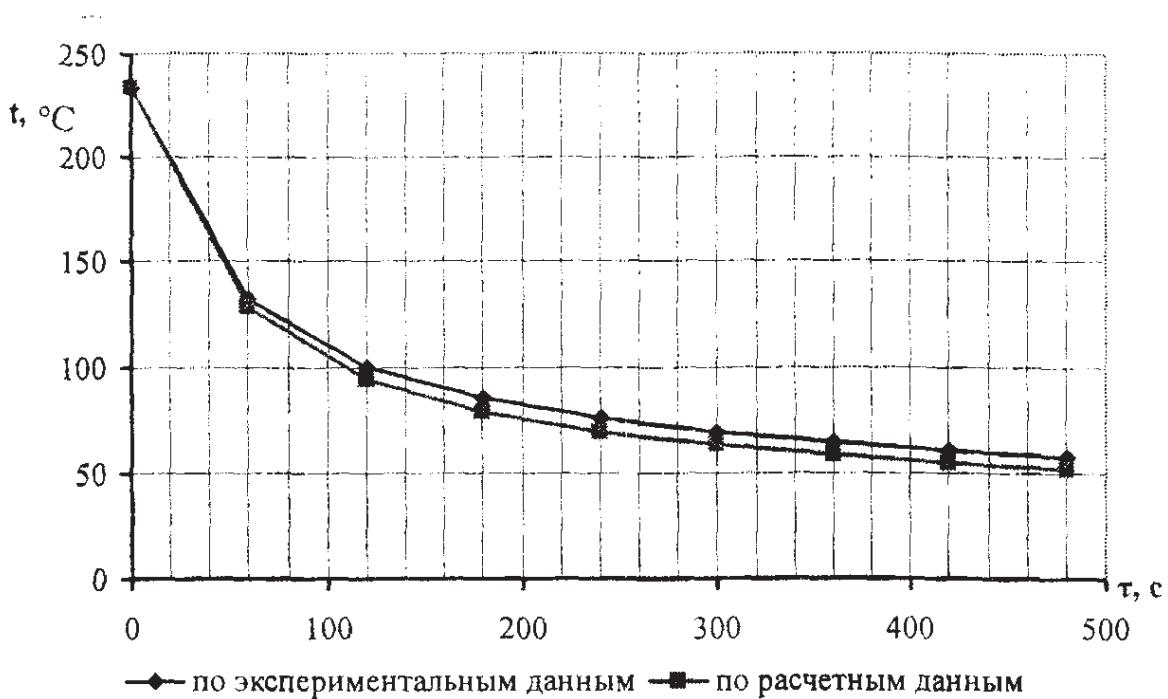


Рисунок 5.26 – График изменения температуры битума БН 90/10 на расстоянии $x = 2$ мм, при $t_0 = 234$ °С, $t_c = 11$ °С

Опыты, результаты которых приведены в таблицах 5.8 и 5.9, и расчетные значения температур, представленные в таблицах 5.10, 5.11, выполнены при высокой начальной температуре битума (206...277 °С). В этих условиях вязкость битума относительно невелика, и битум является ньютоновской жидкостью.

Допущение об отсутствии конвективного переноса тепла в битуме даже для этих условий позволяет с достаточной точностью выполнять расчеты процесса его охлаждения.

5.5. РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ПО УПАКОВЫВАНИЮ БИТУМА В ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ

При упаковывании горячего битума в тонкую пленочную тару ее помещают в жесткую металлическую форму и в процессе заливки охлаждают водой для обеспечения сохранности пленки. При этом все параметры проектируемого оборудования могут быть рассчитаны по полученным уравнениям.

Однако при проектировании оборудования невозможно учесть ситуацию, связанную с вероятностью возникновения неравномерного распределения воды по поверхности пленки и с разнотолщинностью плёнки, которая практически не поддаются контролю. Вследствие этого в некоторых точках поверхности тары существует опасность проплавления пленки при высоких температурах заливаемого битума.

В ходе проведения опытов было установлено, что наибольшая вероятность разрушения пленки может происходить в нижней части тары. Это связано с воздействием на дно тары одновременно двух факторов: температуры и гидростатического давления, создаваемого жидким битумом.

Данная проблема была решена путем использования технологии поэтапной заливки битума [87]:

- первый этап – малая доза заливки битума – производится в течение 3...5 с. Такая порция битума быстро охлаждается, и на дне пленочной тары образуется предварительный защитный «теплоизоляционный» слой малой толщины;
- второй этап – заливка остального, основного, объема битума с производительностью, позволяющей формироваться твердому защитному слою битума толщиной 2...3 мм. При такой технологии налива и охлаждения битума проплавления пленки не происходит.

С учетом приведенных обстоятельств **порядок расчета оборудования** следующий.

Исходными данными для выполнения расчетов являются:

- начальная и конечная температура битума;
- температура охлаждающей воды;
- свойства битумов и полиэтиленовых пленок.

1. *Расход воды на орошение пленочной тары* рассчитывается исходя из условия, что коэффициент теплоотдачи воды α должен составлять не менее $250...300 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$, чтобы обеспечить $Bi \geq 100$.

Расчет проводится по известным критериальным уравнениям теплоотдачи для вынужденного движения жидкости в каналах.

Размеры канала назначаются в соответствии с размерами тары и заливочной формы.

Скорость воды в канале-зазоре между тарой и формой принимается $1...2,5 \text{ м}/\text{с}$ [85].

2. *Относительная избыточная температура на границе защитного слоя битума* по известным начальной температуре битума t_0 , температуре

охлаждающей воды t_c и температуре теплостойкости (плавления) материала пленки t определяется по следующему уравнению:

$$\theta = \frac{t - t_c}{t_0 - t_c}. \quad (5.21)$$

3. Величина критерия Fo_x рассчитывается по уравнению:

$$\theta = \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2\sqrt{Fo_x}} \right). \quad (5.22)$$

4. Определяется время пребывания тары с залитым битумом в форме для формирования слоя битума толщиной 3...5 мм:

$$\tau = \frac{Fo \cdot x^2}{\alpha}. \quad (5.23)$$

5. Рассчитывается коэффициент формы с учетом размеров упаковки битума. Принимаем, что упаковка имеет форму параллелепипеда с размерами $l_1 \times l_2 \times l_3$, тогда

$$K = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{l_2}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{l_3}\right)^2}. \quad (5.24)$$

6. Находится темп охлаждения битума в поверхностном слое:

$$m_\infty = \frac{a}{K}. \quad (5.25)$$

7. Для заданной конечной температуры битума в упаковке t_k определяется необходимое время пребывания ее в ванне с водой:

$$\tau = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{m_\infty}, \quad (5.26)$$

где $\vartheta_1 = t_0 - t_c$; $\vartheta_2 = t_k - t_c$.

8. С учетом способа перемещения упаковок в ванне рассчитывается длина ванны. Например, если упаковки перемещаются на плаву со скоростью w , то длина ванны

$$L = \varphi w \tau, \quad (5.27)$$

где φ – коэффициент, учитывающий расстояние между плавущими упаковками.

Пример расчета

Таблица 5.12 – Исходные данные

Наименование параметров, ед. изм.	Величины параметров
Начальная температура заливаемого битума, t_0 , °C	180
Температура охлаждающей воды, t_c , °C	14,5
Конечная температура битума в центре брикета (при охлаждении до температуры теплостойкости полиэтилена), t_k , °C	$t_k = 127$ °C
Размер брикета массой 10 кг, м	$0,54 \times 0,21 \times 0,1$
Температура теплостойкости полиэтилена высокой плотности, t , °C	127

1. Определяем относительную избыточную температуру на границе защитного слоя битума по уравнению (5.21):

$$\theta = \frac{127 - 14,5}{180 - 14,5} = 0,679.$$

2. Определяем значение критерия Fo по уравнению (5.22):

$$Fo = 0,5.$$

3. Определяем время пребывания тары с залитым битумом в форме для формирования слоя битума толщиной 3 мм по уравнению (5.23):

$$\tau = \frac{0,5 \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2}{6 \cdot 10^{-8}} = 75 \text{ (с).}$$

4. Рассчитывается коэффициент формы по уравнению (5.24):

$$K = \frac{1}{\left(\frac{3,14}{0,54}\right)^2 + \left(\frac{3,14}{0,21}\right)^2 + \left(\frac{3,14}{0,1}\right)^2} = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}.$$

5. Находим темп охлаждения битума в поверхностном слое по уравнению (5.25):

$$m_{\infty} = \frac{6 \cdot 10^{-8}}{8,04 \cdot 10^{-4}} = 7,46 \cdot 10^{-5} \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

6. Определяем время пребывания брикета битума в воде по уравнению (5.26):

$$\tau = \frac{\ln(180 - 14,5) - \ln(127 - 14,5)}{7,46 \cdot 10^{-5}} = 1,4 \text{ (ч)}.$$

7. Определяем необходимую длину охладительной ванны по уравнению (5.27). Поскольку технологический цикл упаковывания битума составляет 4 минуты, а время пребывания брикета битума в воде 1,4 часа, то количество упаковок, которые будут находиться в ванне в течение этого времени, равно 21 шт. При ширине упаковки 0,54 м длина ванны (L) будет составлять примерно 12 м.

$$L = 21 \cdot 0,54 + 0,5 \approx 12 \text{ (м)}.$$

Глава 6

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Прочность и долговечность инженерных сооружений, требующих применения нефтяных битумов (дорожные покрытия, изоляция нефте- и газопроводов, кровельные материалы), в значительной степени зависят от качества [97, 98] битумов. Особенно важными являются следующие свойства битумов:

- теплостойкость, обеспечивающая сохранение необходимой прочности сооружений и изделий летом и предохраняющая их от волнобразования, сдвигов, наплывов и т.д.;
- упругие свойства (деформативность), обеспечивающие сохранение достаточной пластичности и эластичности при низкой температуре, предотвращающие разрывы, растрескивание покрытия, выкрашивание, шелушение;
- комплекс вязкостно-упругих свойств, обеспечивающих технологические условия применения при использовании различных материалов;
- длительная стабильность важнейших свойств под воздействием климатических и других факторов;
- прочное и устойчивое сцепление с сухой и влажной поверхностью различных материалов (адгезия), особенно при строительстве дорожных покрытий.

Эти основные свойства находят отражение при разработке новых и пересмотре действующих ГОСТов на них.

Для повышения эксплуатационной надежности битумных материалов уже свыше 100 лет используют каучуковые модификаторы. Абрахэм приводит 116 ссылок на патенты и научно-технологические статьи, посвященные этому вопросу и опубликованные до 1943 года [99].

В связи с ужесточением требований к качеству битумных материалов интерес к вопросам модификации битумов становится все более актуальным. В качестве модифицирующих добавок используют полимеры с линейной и трехмерной структурой: полизобутилен, полиэтилен высокого и низкого давления, полипропилен, сополимеры этилена и пропилена и др.

Полученные композиции используются для изоляции подземных металлических сооружений, в асфальтовых покрытиях, для производства битумных мастик, герметиков и т.д. Новые материалы отличаются от «чистых» улучшенными реологическими и механическими свойствами (повышенная пластичность, гибкость, упругость, адгезия и когезия, тепловые свойства), ингибируют старение, увеличивают их пластичность и стабильность при повышенных температурах [97].

В сведениях, имеющих преимущественно патентный характер, содержатся указания на изменение физических и реологических свойств битумов, модифицированных полимерами [100, 101]. Однако остается неясным существенное различие степени изменения физических свойств битумов, полученных из сырья различного происхождения, влияние полимерных добавок на свойства остаточных и окисленных битумов из одного и того же сырья. Недостаточно изучены методы смешения битумов с полимерами, а также способ введения полимера (пластины, листы, куски, крошка или гранулы).

В технологии смешения полимеров и битумов большое значение имеет метод введения полимера в битум. Полиолефин можно вводить на любой стадии получения готовой смеси: либо непосредственно в гудронатор [102], либо смешением компонентов в реакторе с мощной мешалкой [103].

Очевидно, что стандартные методы, а именно: определение пенетрации, температуры размягчения, дуктильности, обычный метод измерения вязкости, не дают возможности изучить все явления, которые возникают в битумных материалах, содержащих полимеры. Специальные методы определения свойств таких материалов разработаны недостаточно.

В целом сведения по вопросу модифицирования битумов полимерными материалами носят в основном информационный и патентный характер, в которых указаны общий класс полиолефиновых добавок [104], общие направления изменения свойств новых материалов. Систематических же исследований, проведенных в этом направлении, немного.

Решая актуальную проблему высокопроизводительного разлива, затаривания и транспортировки битумов, представляется целесообразным использовать в качестве тары полимерные материалы с последующим расплавлением битума вместе с тарой, которая выполняла бы роль модифицирующей добавки к материалу. Это открывает возможности регулирования основных структурно-механических и адгезионных свойств битумов, поскольку полимерно-битумная композиция может совмещать в себе качества, присущие полимерам (высокая эластичность, прочность, теплоустойчивость и т.д.) и битумам.

6.1. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНОГО БИТУМА

С целью оценки возможности использования полиэтиленовой тары в качестве пластифицирующей добавки к битуму [25] были проведены предварительные опыты, в которых пакет битума расплавлялся вместе с полиэтиленовой плёнкой, выполненной из полиэтилена высокого давления (ПЭВД)

служившей тарой, при температуре 120 ± 10 °С в металлической емкости без перемешивания. Образовывалась смесь, при охлаждении которой наблюдалось расслоение. Масса тары из полиэтилена высокого давления составляла 5 % от массы битума. Наибольшее количество полиэтилена содержал верхний слой смеси, наименьшее – нижний.

Как показали лабораторные исследования, выполненные в центральной лаборатории Новополоцкого нефтеперерабатывающего завода, с увеличением количества полимера в слое смеси повышается температура размягчения битума, снижаются пенетрация, растворимость в бензоле и растворимость (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Совмещение битума БН-90/10 с полиэтиленом высокого давления

Показатели	Исходный битум	Нижний слой расплава	Верхний слой расплава	Середина расплава (данные ОАО «Нафтан»)	Требования ГОСТ 6617-76
Температура размягчения, °С	88,7	90,17	93,2	95	Не ниже 90
Пенетрация при 25 °С, ×0,1 мм	10,01	7,7	5,9	6	5...20
Содержание водорастворимых соединений, % масс.	2,46	4,5	5,2	–	Не более 0,3
Содержание воды, % масс.	0,04	Нет	Нет	–	Не содержится
Изменение массы, % масс.	Нет	Нет	Нет	–	–
Растворимость в бензоле, CHCl_3 , % масс.	98,62	98,47	95,73	–	Не менее 99
Растяжимость при 25 °С, см	4	–	–	3,2	Не менее 1
Температура вспышки, °С	270	–	–	294	Не ниже 240

Эти результаты свидетельствуют о том, что полиэтилен инертен по отношению к битуму, действие полиолефинов на битумные материалы – явление скорее физическое, чем химическое. По-видимому, набухший в битуме полимер создает в массе битума пространственную структуру, определяющую свойства композиции. Для облегчения равномерного дисперсирования полимера в битуме необходимо тщательное перемешивание.

В дальнейших опытах гомогенизацию смеси осуществляли в реакторе с мешалкой при температуре 200 ± 5 °С в течение 30 минут. Полиэтилен в виде небольших пластин вводили в битум в количестве 1, 3, 5, 8 % от массы битума.

6.2. АНАЛИЗ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА МАРКИ БН-90/10

Битум БН-90/10, выбранный в качестве объекта исследования, анализировали стандартными методами по следующим показателям:

1. Температура размягчения

Рисунок 6.1 иллюстрирует зависимость температуры размягчения битума от содержания ПЭВД и пенетрации от количества полимера.

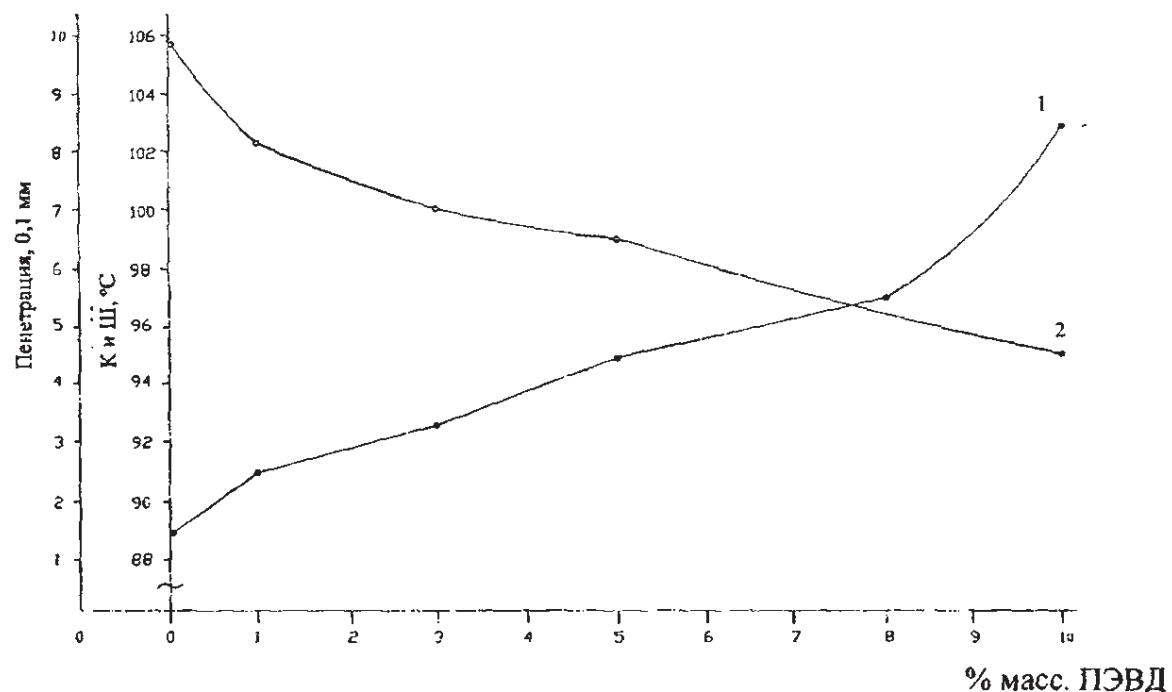


Рисунок 6.1 – Зависимости температуры размягчения от количества ПЭВД (1) и пенетрации от количества ПЭВД (2)

Как видно из графика, увеличение количества полиэтилена приводит к возрастанию температуры размягчения.

2. Пенетрация

Исследовалась зависимость изменения пенетрации от количества полимера. С увеличением содержания полимера возрастает сопротивление погружению стальной иглы. Наименьшее влияние оказывает введение 1...3 % полимера (см. рис. 6.1).

3. Хрупкость при низких температурах

Влияние полимеров на морозостойкость битумов показано на рисунке 6.2.

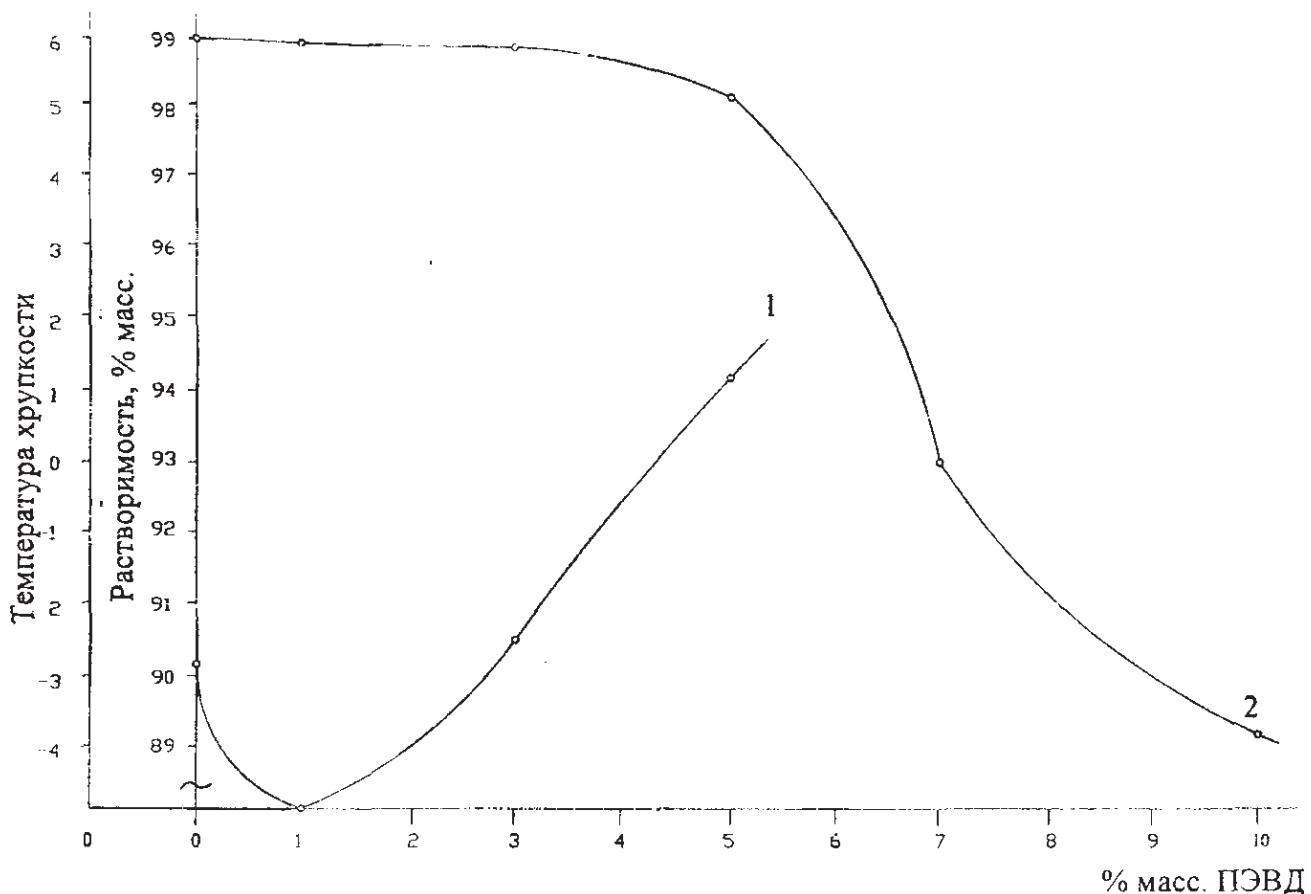


Рисунок 6.2 – Зависимость хрупкости (1) и растворимости (2) от количества ПЭВД

Добавление полиолефина ($\leq 1\%$) способствует снижению хрупкости при низкой температуре, выше 1% – хрупкость увеличивается. В литературе имеются сведения, свидетельствующие о снижении хрупкости битумов при добавлении $7\dots 10\%$ полимера.

4. Растворимость битумов в бензole или хлороформе (см. рис. 6.2) резко снижается с увеличением добавки полимера более 3% .

Анализ зависимостей показал, что требованиям ГОСТ 6614-36 отвечает материал, содержащий 1% полиолефина по отношению к массе битума. Более того, эта композиция имеет интервал пластичности выше, чем исходный битум. При большем содержании полимера смесь, как правило, неоднородна и свойства битума ухудшаются. При совмещении битума с полиэтиленом низкого давления, модифицированным сажей в количестве $1,3,5\%$ от массы битума, наблюдаются те же закономерности, что и для полимерно-битумной смеси без наполнителя (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Совмещение битума БН-90/10 с полиэтиленом высокого давления, с использованием сажи в качестве цветового наполнителя (черная пленка)

Показатели	Исходный битум	Битум + + 1 % ПЭВД	Битум + + 3 % ПЭВД	Битум + + 5 % ПЭВД
Температура размягчения, °С	90,9	96	98	107,5
Пенетрация, при 25 °С, ×0,1 мм	12,84	11,55	10,8	8,2
Температура вспышки, °С	290	295	291	290
Температура хрупкости, °С	-4	-2	-1	4,5

Таким образом, из результатов исследований свойств полимерно-битумных композиций следует, что наиболее эффективное действие оказывает добавка полиолефина в количестве, примерно равном 1 % от массы битума при условии тщательного перемешивания смеси.

6.3. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

Битумы являются одним из основных дорожно-строительных материалов, качество которых в значительной степени зависит от условий транспорта и хранения битума.

Известно, что на воздухе битум окисляется, свойства его ухудшаются, поэтому разлив, расфасовка и транспортировка битума в полимерную тару способствуют не только исключению непроизводственных потерь, но и возможному улучшению реологических и адгезионных свойств за счет использования тары как добавки. Характеристика исходного битума БН-90/130, взятого в качестве объекта исследования, представлена в таблице 6.3.

Определение совмещения дорожного битума с полиэтиленовой тарой выполнено по следующей методике.

Битум с полиэтиленовой упаковкой, измельченный в крошку, загружали в реактор, где ее расплавляли при температуре 175 ± 5 °С в течение 30 мин с непрерывным ее перемешиванием. Количество полиэтилена, гомогенизируемого с битумом, составляло 1, 3, 5, 8 % от веса битума.

Полученные полимерно-битумные композиции анализировали стандартными методами по следующим показателям: температура размягчения (по К и Ш); пенетрация; растяжимость; хрупкость при низкой температуре; сцепление с минеральным наполнителем (мрамором).

Таблица 6.3 – Физико-химические свойства дорожных битумов, модифицированных полиэтиленом высокого давления

Показатели	Марка битума		Битум БН-90/130, модифицированный ПЭВД			
	БН-90/130 ГОСТ 22245-76	БН-90/130 Новоло- лоцкого НПЗ	1 % масс.	3 % масс.	5 % масс.	8 % масс.
Глубина проникновения иглы при 25 °C, ×0,1 мм	91-130	113	105	74	44,5	28
Температура размягчения по кольцу и шару, °C, не ниже	40	42	41,6	49	57,4	90
Растяжимость, см, не менее	60	70	53	33,2	11,7	5,8
Температура вспышки, °C	220	220	220	220	220	220
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C, не более	6	5,5	–	–	–	–
Индекс пенетрации	+1...-1,5	-1,4	-1,5	-0,3	+02	–
Температура хрупкости, °C	–	-21	-19,5	-15,3	-14,3	-1

Анализ графиков (рис. 6.3 – 6.7), полученных по результатам проведенных исследований, показал, что с повышением количества полиэтилена температура размягчения повышается, пенетрация и растяжимость снижаются (см. рис. 6.3, 6.4 и 6.7), а индекс пенетрации и хрупкость при низких температурах возрастают (рис. 6.5, 6.6).

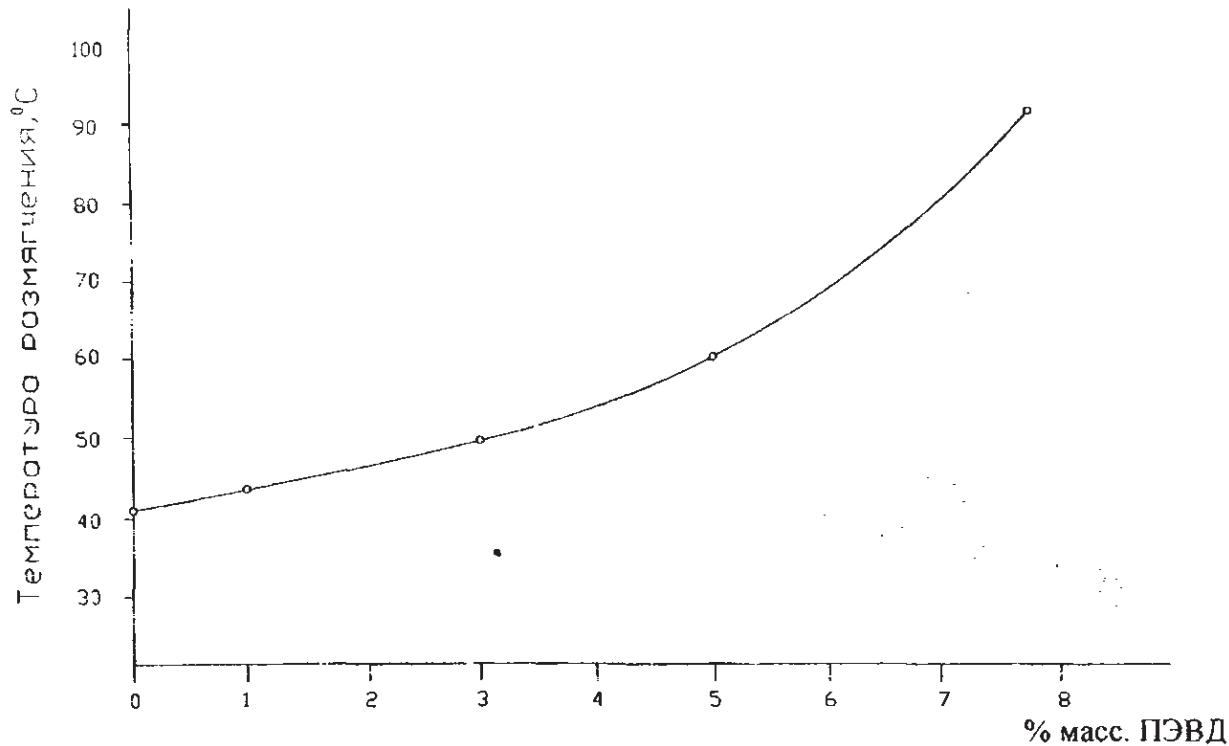


Рисунок 6.3 – Зависимость температуры размягчения от количества ПЭВД

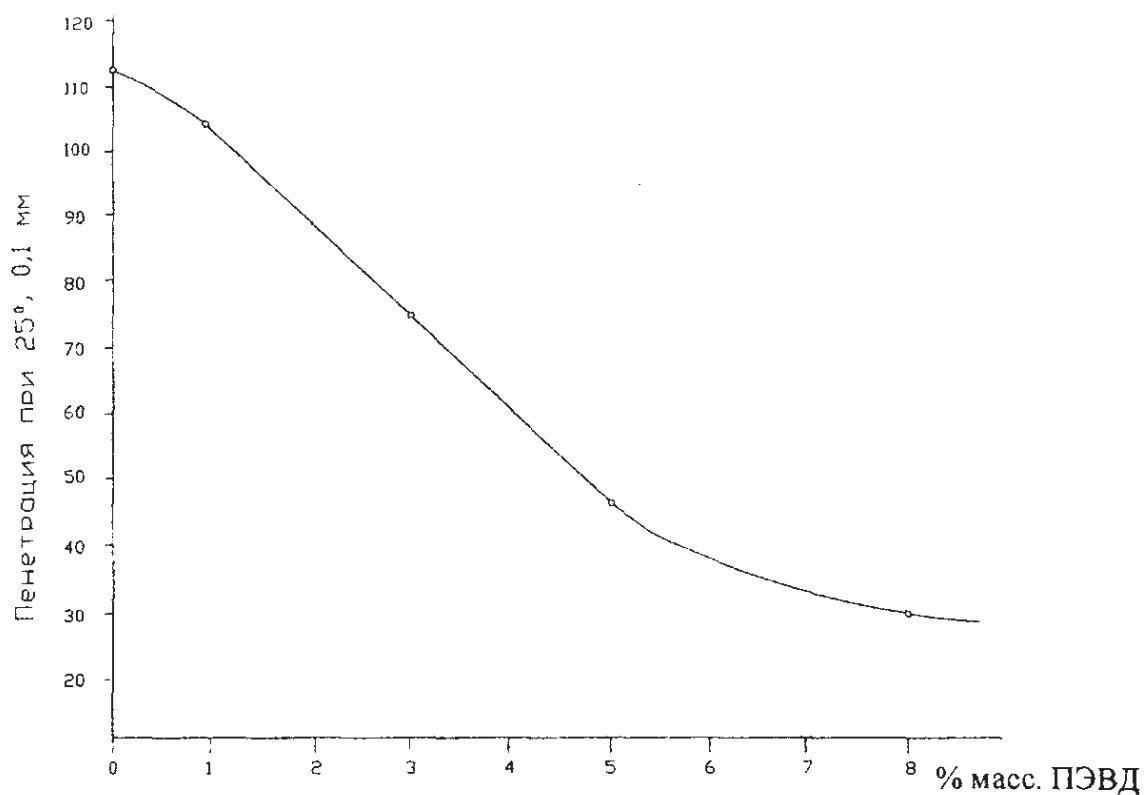


Рисунок 6.4 – Зависимость пенетрации от количества ПЭВД

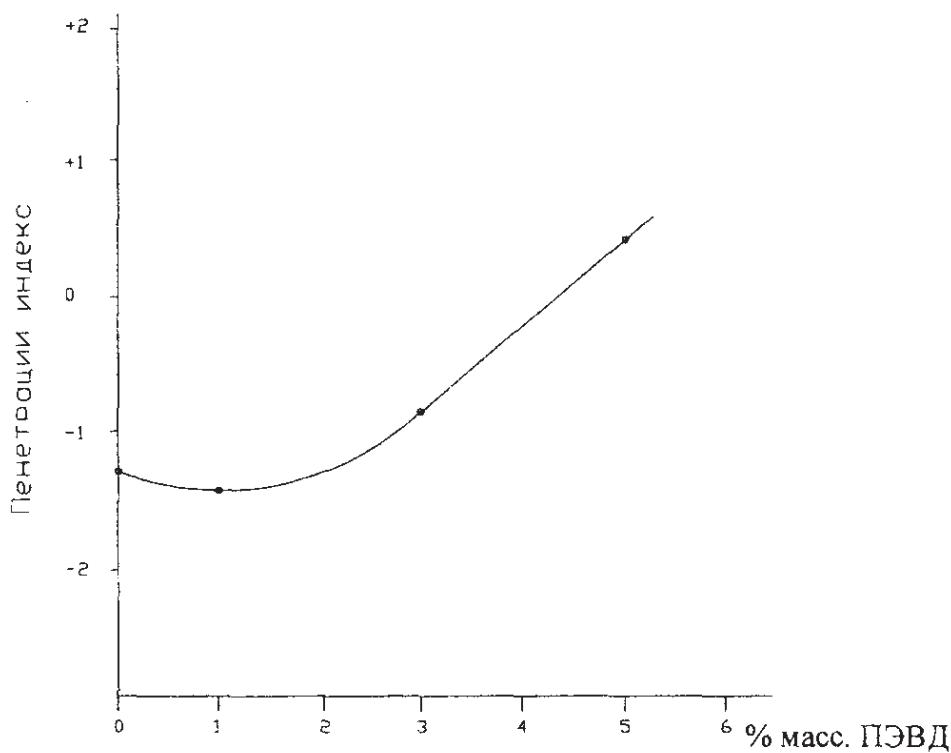


Рисунок 6.5 – Зависимость индекса пенетрации от количества ПЭВД

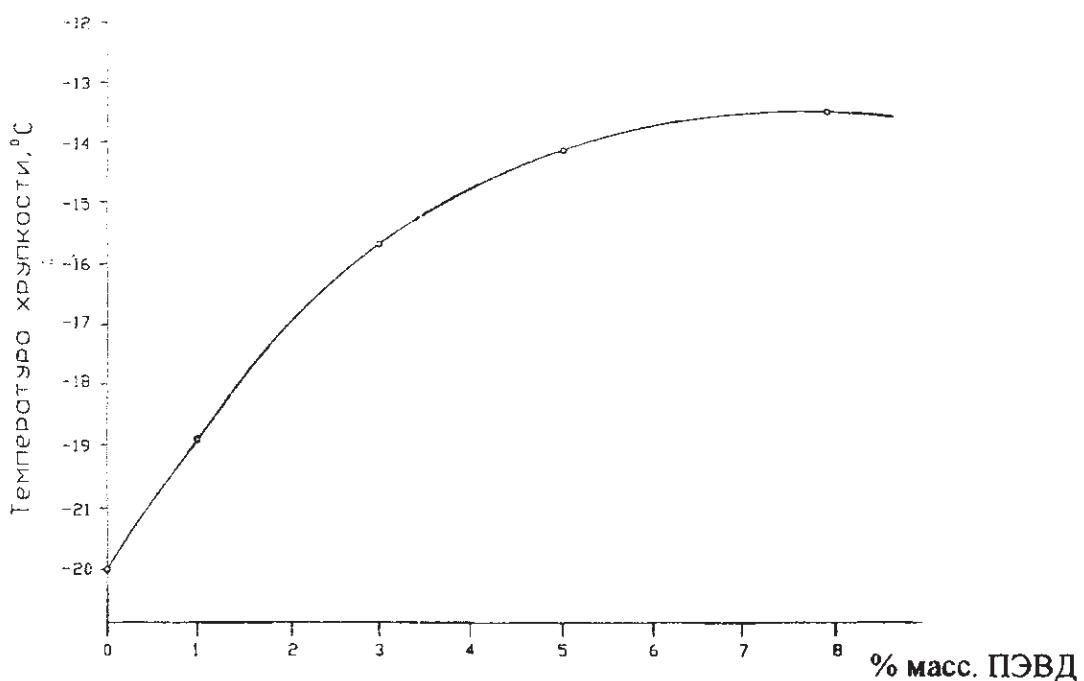


Рисунок 6.6 – Зависимость температуры хрупкости от количества ПЭВД

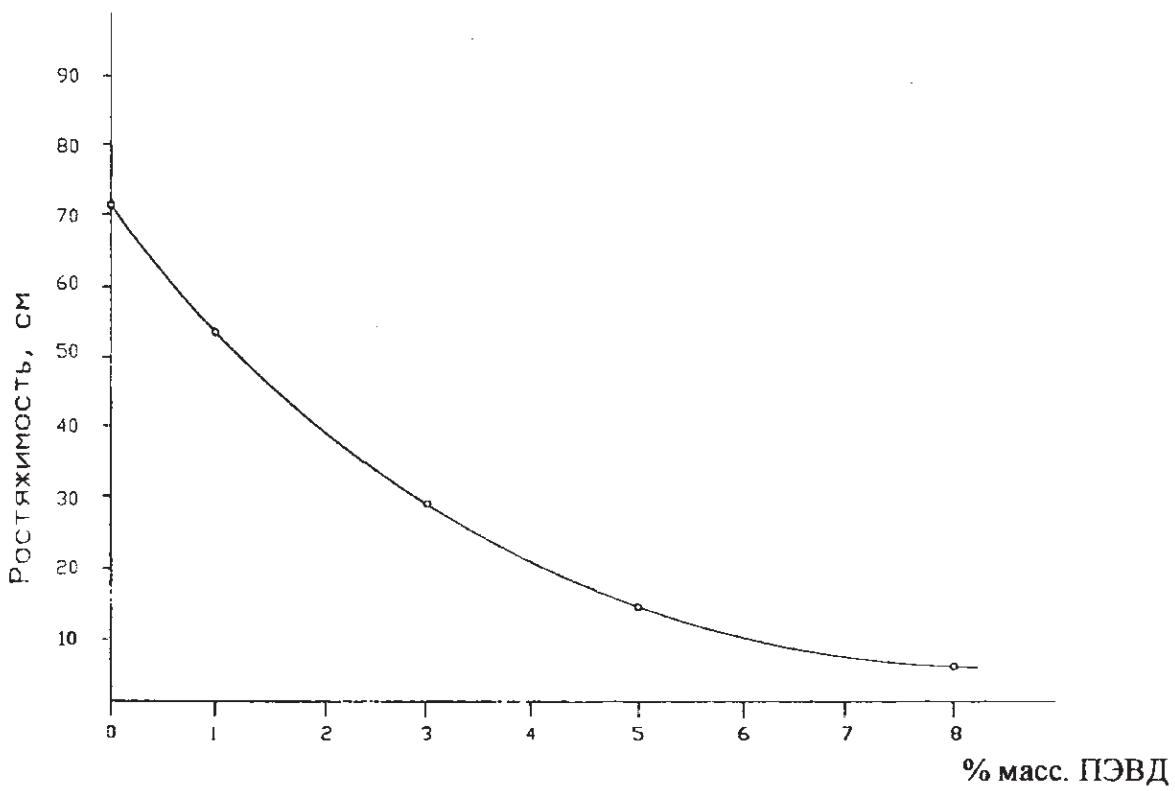


Рисунок 6.7 – Зависимость растяжимости от количества ПЭВД

Требованиям ГОСТа на дорожный битум БН-90/130 соответствует полимерно-битумная композиция, содержащая 1 % полимера, за исключением такого показателя, как растяжимость (53 см вместо 60 см по требованиям ГОСТа). Эта композиция обладает высокой эластичностью и прочностью в

широком диапазоне температур. Композиция с большим содержанием полимера отличается высокой прочностью и теплостойкостью при повышенных температурах, но пластичность и эластичность материала уменьшаются. Так, битум, содержащий 8 % полиэтилена, имеет глубину проникновения 28, 1 % полиэтилена – 105; растяжимость – 5,8 и 53 см соответственно.

Важным показателем качества дорожных битумов является сцепление с минеральным материалом, т.е. способность битума отслаиваться от минеральной поверхности под действием воды. Оценивая этот показатель (применяемый метод достаточно грубый, поскольку позволяет установить только очень хорошую или очень плохую адгезию), установлено, что добавка 1 % полиэтилена обеспечивает высокое устойчивое сцепление битума с поверхностью мрамора по сравнению с использованием битума без добавки. Достаточно хорошее сцепление с мрамором у битума, содержащего 3 % полиэтилена, хуже у 5 %-ной, и особенно у 8 %-ной полимерно-битумной смеси. Поверхность этих материалов при затвердении шероховатая, неровная, с заметными кусочками полиэтилена.

Полученная в лабораторных условиях (температура 200 ± 5 °C; время совмещения битум – полимер – 30 мин) полимерно-битумная композиция на основе битума марки БН-90/10 с содержанием 1 % полиэтилена имеет широкий интервал пластичности. Установлено (температура 170 ± 10 °C; время совмещения битум – полимер – 30 мин), что добавка 1 % масс. полиэтилена улучшает сцепление дорожного битума марки БН-90/130 с минеральным материалом, битум имеет высокую прочность и эластичность. Свойства полимерно-битумной композиции с содержанием полимера выше 3 % массы битума ухудшаются по сравнению с исходным битумом.

Таким образом, тара может быть использована как модифицирующая добавка к битуму при расплавлении последнего на месте потребления, если масса добавки не превышает 1 % от массы битума при условии достаточно тщательного перемешивания.

6.4. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Реологические свойства битумов и битумно-полимерных композиций при расплаве полимера в битуме определялись методами консистометрии и вискозиметрии (приборы – консистометр Геплера и вискозиметр «Реотест-2») в интервале температур 70...200 °C.

Для выяснения общих закономерностей структурно-реологического состояния исследуемых материалов по экспериментальным данным зависимости напряжения сдвига от его скорости построены кривые текучести (рис. 6.8 – 6.10), которые позволяют определить температуру перехода мате-

риала из пластично-текущего состояния в состояние ньютоновской жидкости. Графически подобная зависимость носит прямолинейный характер, тангенс угла наклона прямой, называемый степенью аномалии течения для ньютоновской жидкости, равен единице, для неニュтоновской – отличен от единицы.

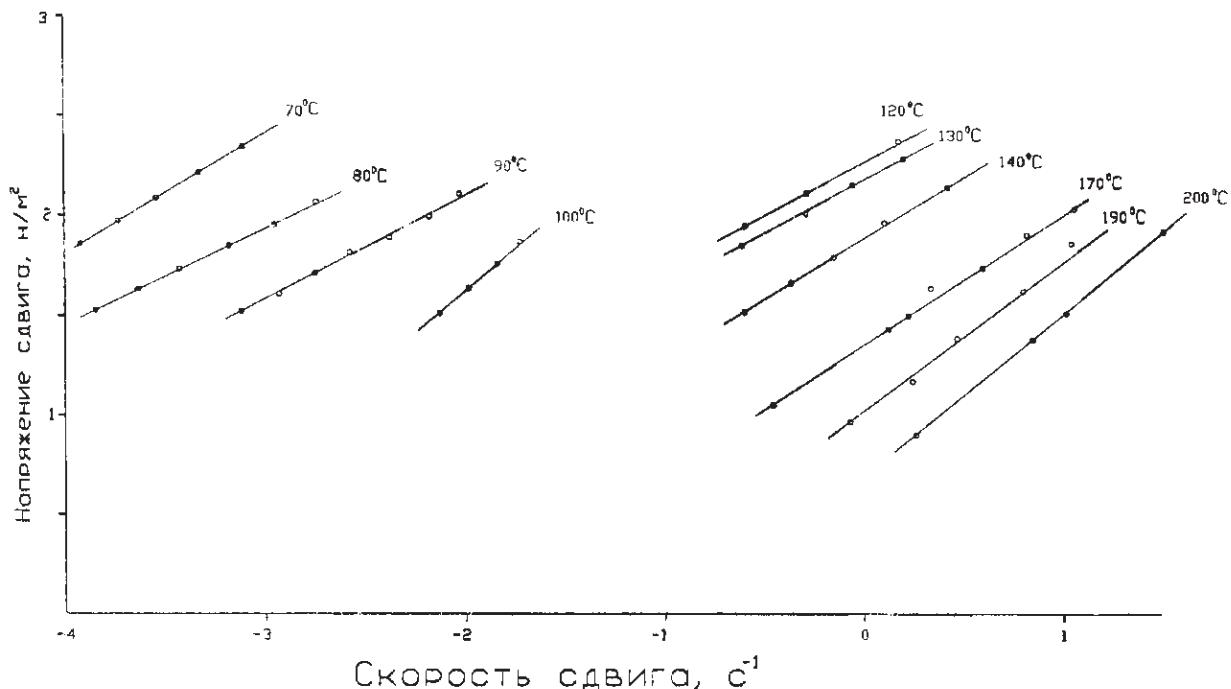


Рисунок 6.8 – Реологическая зависимость битумно-полимерной композиции с 5 % ПЭВД в логарифмических координатах

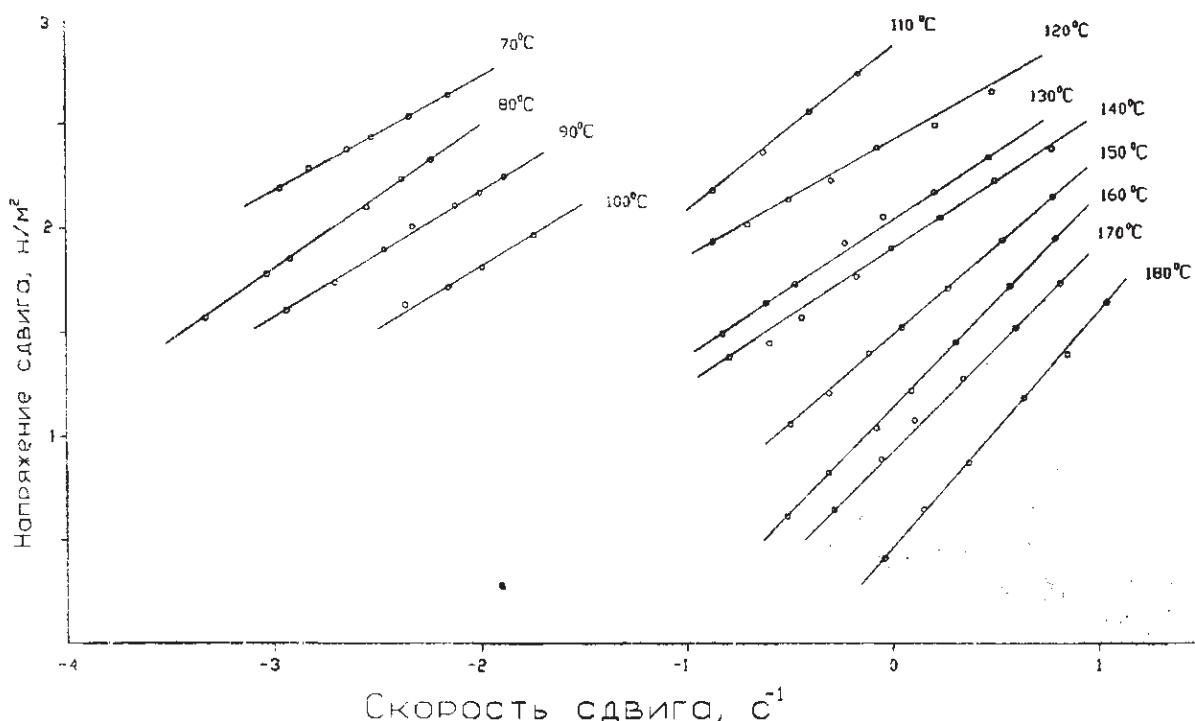


Рисунок 6.9 – Реологическая зависимость битумно-полимерной композиции с 3 % ПЭВД в логарифмических координатах

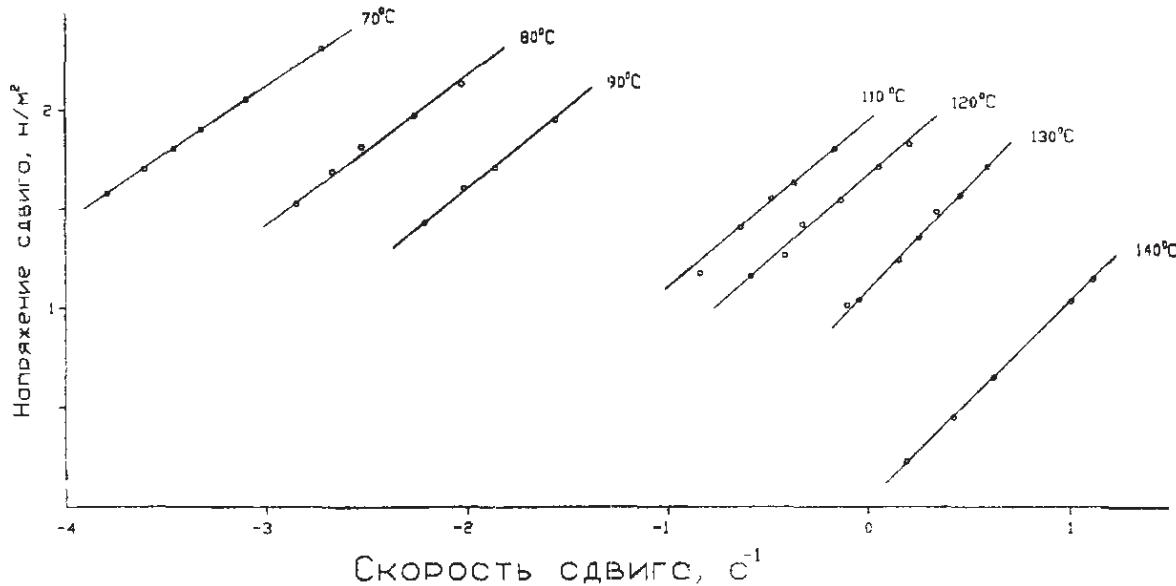


Рисунок 6.10 – Реологическая зависимость битума марки БН-90/10 в логарифмических координатах

Из анализа результатов проведенных экспериментов следует, что битум марки БН-90/10 и битумно-полимерные композиции с содержанием полиэтилена низкой плотности 3 и 5 % масс. в области температур ниже температуры размягчения имеют неньютоновский характер.

Объясняется это, видимо, тем, что в области температур 70...130 °C материал имеет пространственную структуру, достаточно жесткую, чтобы сопротивляться любому напряжению, не превосходящему предел текучести. При увеличении температуры битум переходит в ньютонаскую жидкость (степень аномалии равна 1). Так, при 140 °C и выше наблюдается ньютоновское течение битума, структура материала устойчива против действия внешних нагрузок.

Вязкостно-температурная зависимость битума и битумно-полимерных композиций представлена на рисунке 6.11.

В интервале температур 110...200 °C наименьшую чувствительность к изменению температуры имеет битумно-полимерная композиция с содержанием ПЭВД 5 % от массы битума, наибольшую чувствительность имеет исходный битум. Прочность и теплостойкость битумно-полимерных композиций, как показано стандартными методами испытаний, при повышении температуры возрастают [25, 98, 101 – 103].

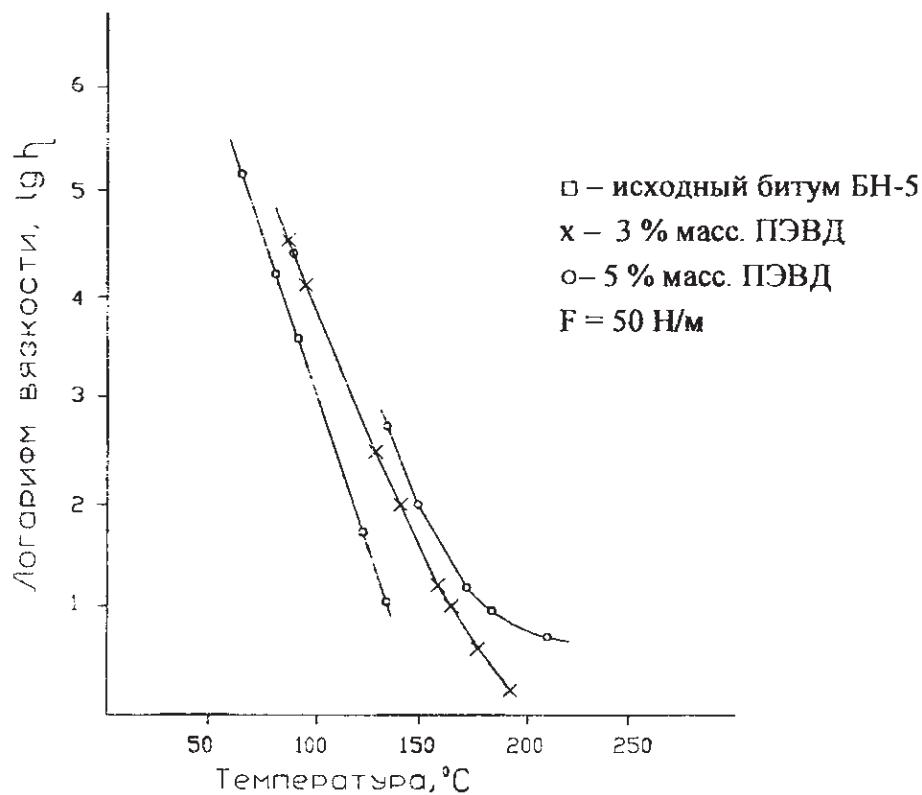


Рисунок 6.11 – Зависимость динамической вязкости битума БН-90/10 (БН-5) и битумно-полимерных композиций от температуры

Получение ранее зависимости подтверждается при изучении сдвиговых характеристик. Так, при температуре 130 $^{\circ}\text{C}$ и напряжении сдвига 50 Н/м² скорость сдвига для битума БН-90/10 и композиций, содержащих 3 и 5 % масс. ПЭВД, соответственно равны 4,8, 0,31 и 0,16 с⁻¹.

С увеличением содержания полимера в битуме температура перехода из неильтоновского в ньютоновское состояние повышается:

- при добавке 3 % ПЭВД к битуму БН-90/10 температура составляет 160 $^{\circ}\text{C}$;
- при добавке 5 % ПЭВД – 200 $^{\circ}\text{C}$.

Одновременно возрастает и вязкость материалов: при температуре 140 $^{\circ}\text{C}$ и напряжении сдвига 50 Н/м² вязкость равна 0,9, 97 и 104,2 Н·с/м² для исходного битума и его композиций с 3 и 5 % ПЭВД соответственно.

Таким образом, температура перехода из неильтоновского состояния в ньютоновское повышается с увеличением содержания полимера в битумно-полимерной композиции, сдвиговые характеристики материалов при этом ухудшаются.

6.5. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ОБОЛОЧКИ, БРИКЕТА БИТУМА И РАСХОДА ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ

По технологии упаковывания битума в полиэтиленовую пленку, разработанной в Полоцком государственном университете, единичная упаковка имеет размеры и форму, представленные на рисунке 6.12.

Исходные данные для расчета:

- 1) масса битума в брикете: $M = 10 \text{ кг}$;
- 2) плотность битума: $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- 3) ширина рукавной пленки: $b_p = 600 \text{ мм}$;
- 4) толщина пленки $\delta = 120 \text{ мкм}$;
- 5) плотность полиэтилена: $\rho_{\text{пз}} = 920 \text{ кг}/\text{м}^3$.

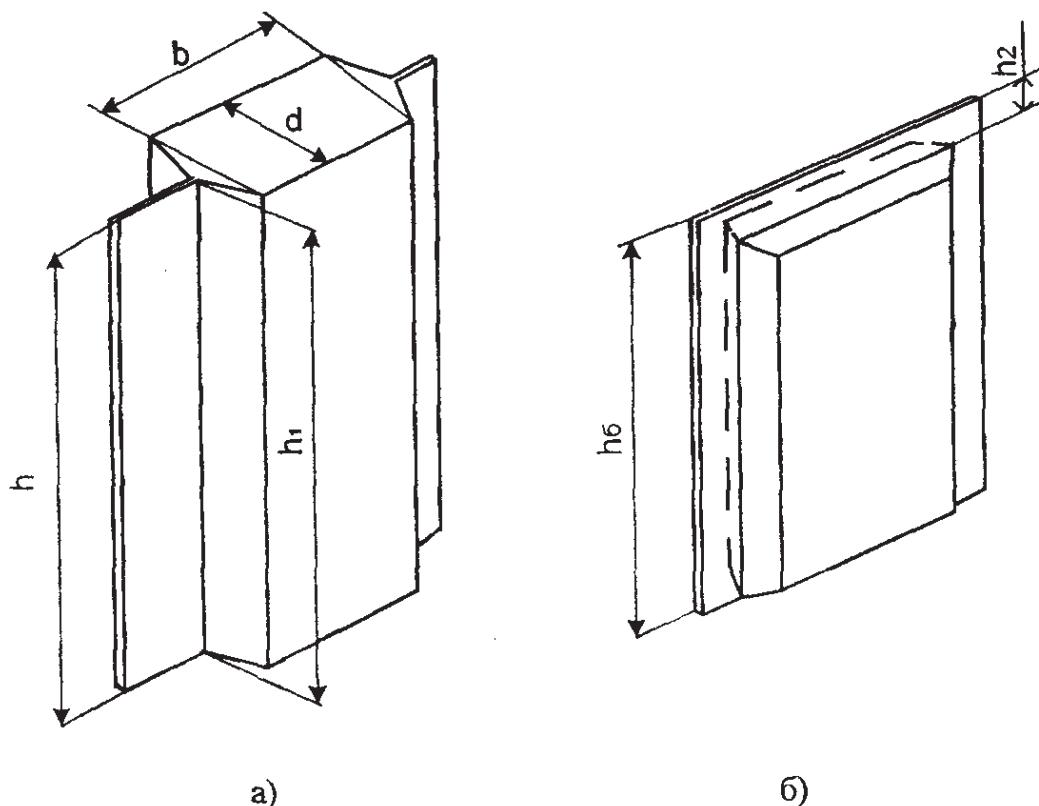


Рисунок 6.12 – Размеры и форма брикета битума:
а – раздутая воздухом полиэтиленовая оболочка во время заливки;
б – после заварки верхней части

Расчет

1. Принимаем толщину брикета (оболочки) $d = 100$ мм.
2. Высота прямоугольной части:

$$h_1 = \frac{2b_p - \pi d}{2} = \frac{3 \cdot 600 - 3,14 \cdot 100}{2} = 443 \text{ (мм)}.$$

3. Высота оболочки:

$$h = h_1 + 2^{\frac{d}{2}} = 443 + 100 = 543 \text{ (мм)}.$$

4. Объем битума в брикете (оболочке):

$$V_b = \frac{M}{\rho} = \frac{10}{1000} = 10^{-2} \text{ (м}^3\text{)} = 10^7 \text{ (мм}^3\text{)}.$$

5. Площадь поперечного сечения оболочки, заполненной битумом (площадь верхней половины круга не учитывается):

$$f = dh_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 100 \cdot 443 + 0,392 \cdot 100^2 = 4,82 \cdot 10^4 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

6. Ширина прямоугольной части брикета:

$$b = \frac{V_b}{f} = \frac{10^7}{4,82 \cdot 10^4} = 208 \text{ (мм)}.$$

Переходы оболочки перед сварными швами в объеме не уточнены (идут в запас).

7. Ширину заготовки (между швами) полиэтиленовой пленки для изготовления оболочки принимаем с учетом переходов $b_3 = 320$ мм.

8. Принимаем ширину швов между оболочками $b_1 = 30$ мм; по краям блока ширина шва составляет 15 мм.

9. Общая длина полиэтиленовой рукавной пленки, необходимая для изготовления блока из четырех оболочек (для затаривания 40 кг битума):

$$L_0 = 4 \cdot b_3 + 3 \cdot b_1 + 2 \cdot \frac{b_1}{2} = 4 \cdot 320 + 4 \cdot 30 = 1400 \text{ (мм)} = 1,4 \text{ (м)}.$$

10. Высота оболочки (блока и брикета) после сваривания ее верхней части:

$$h_b = h_1 + \frac{d}{2} + 0,5 \cdot \frac{\pi d}{2} = 443 + 50 + 78 = 571 \text{ (мм)}.$$

11. Расход полиэтилена на затаривание 1 т битума:

$$M_{ns} = \rho_{ns} \cdot \frac{1000}{40} \cdot b_p L_0 \cdot 2\delta = 920 \cdot 25 \cdot 0,6 \cdot 1,4 \cdot 2 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} = 4,65 \text{ (кг)}.$$

12. Суточная потребность в полиэтиленовой пленке (при двухсменной работе):

$$M_c = 4,65 \cdot 0,6 \cdot 16 = 44,5 \text{ (кг)}.$$

Из расчетов видно, что добавка полиэтилена к массе битума составляет менее 1 %. Это значит, что полученная битумно-полимерная композиция будет иметь лучшие свойства относительно исходного битума.

Глава 7

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УПАКОВЫВАНИЯ БИТУМА И ПАРАФИНА В ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ

7.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПАКОВЫВАНИЯ БИТУМА И ПАРАФИНА В ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ

При разработке технологии упаковывания битума в полиэтиленовую пленку использованы результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненные разными авторами [27, 28, 64, 65, 85 – 87,] а также учтены достоинства и недостатки известных технологий и оборудования.

На рисунке 7.1 представлена блок-схема, поясняющая принцип, на котором основана новая технология упаковывания битума в полиэтиленовую пленку.

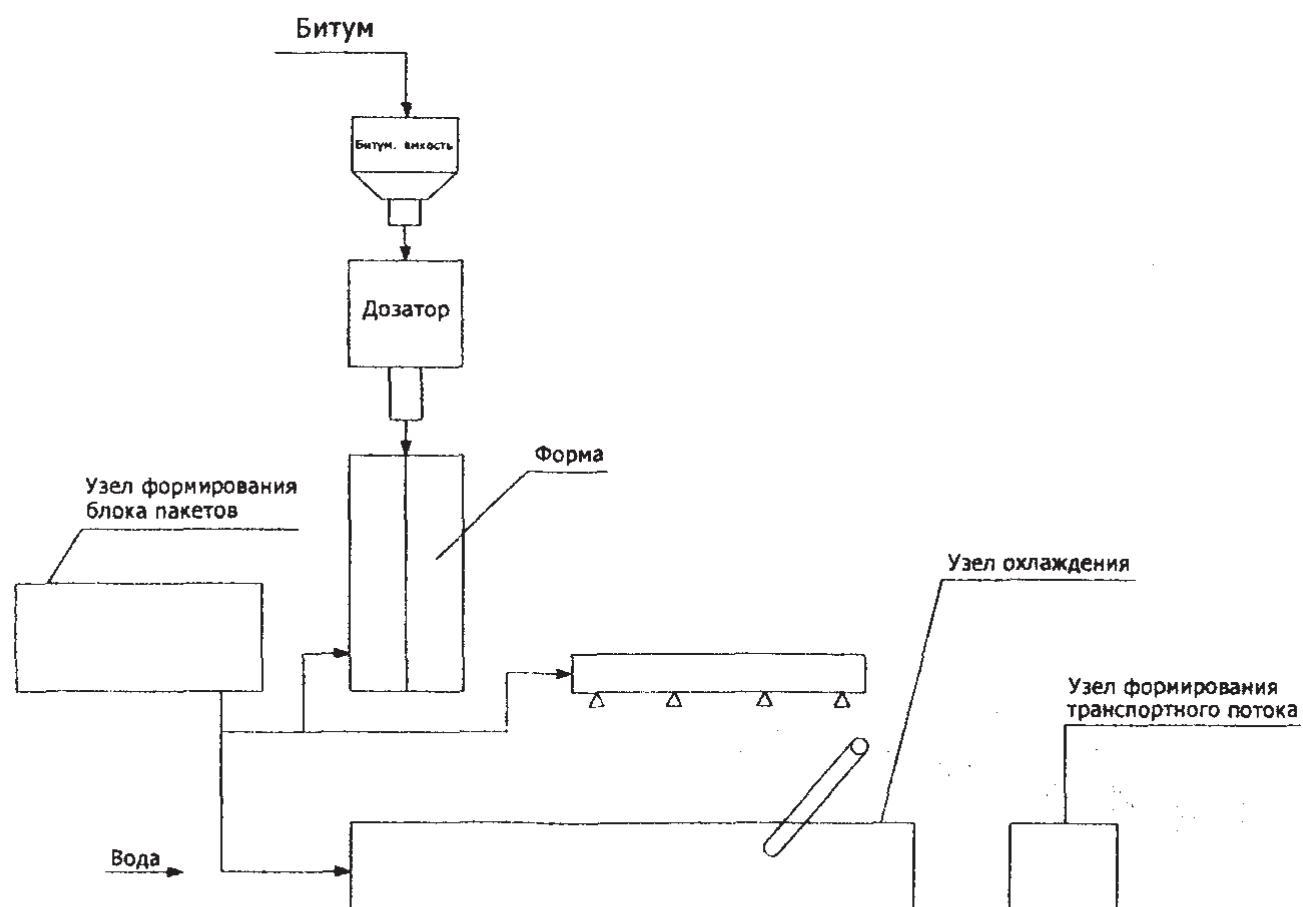


Рисунок 7.1 – Блок-схема упаковывания битума в полиэтиленовую пленку

Предложенная технология позволяет упаковывать битум без его предварительного охлаждения, снизить выброс вредных паров в 8 раз, значительно снизить затраты электроэнергии, сократить время погрузки и разгрузки, исключить операции утилизации тары и дробления битума.

Упаковывание битума по разработанной технологической схеме [27, 28, 64, 65, 85 – 87] производится следующим образом.

Полиэтиленовый рукав раздувается сжатым воздухом и поперечными термосварными швами разделяется на секции. Блок из нескольких секций пакетов («подушки») отрезается от рукава ножом и помещается в заливочной форме. Форма поднимается до соприкосновения тары с горячими заливочными патрубками дозатора. В пленке проплавляются отверстия, и патрубки входят внутрь пакетов.

Из секционного дозатора в тару заливаются равные объемы битума. После заливки отверстия в пакетах запечатываются, форма раскрывается, и блок пакетов соскальзывает в ванну с водой. Пакеты с битумом после охлаждения извлекаются из ванны и штабелируются.

Принятые технические решения позволяют механизировать и автоматизировать все операции разработанного технологического процесса, а изготовление тары в виде блока из нескольких пакетов дает возможность производить мелкую фасовку битума (по 10, 15, 20 кг) без снижения производительности установки, так как все пакеты заполняются одновременно.

Получаемые блоки битума легко поддаются формированию в транспортный пакет. Пакетирование может производиться на стандартных поддонах или без них. Пакетирование без поддонов возможно благодаря правильной форме блоков и наличию в них углублений, а плотное обандероливание тары полимерной лентой, укладываемой в углубления, обеспечивает необходимую жесткость транспортного пакета.

Блок-схема упаковывания битума в полиэтиленовую пленку (см. рис. 7.1) положена в основу разработки технологической схемы, которая представлена на рисунке 7.2.

На основании разработанной технологической схемы спроектировано и изготовлено оборудование опытно-промышленной (рис. 7.3) и промышленной установок (рис. 7.4). Расчет проектных показателей и геометрических параметров оборудования производился на основании анализа факторов, оказывающих влияние на выполнение необходимых операций на всех стадиях транспортного процесса.

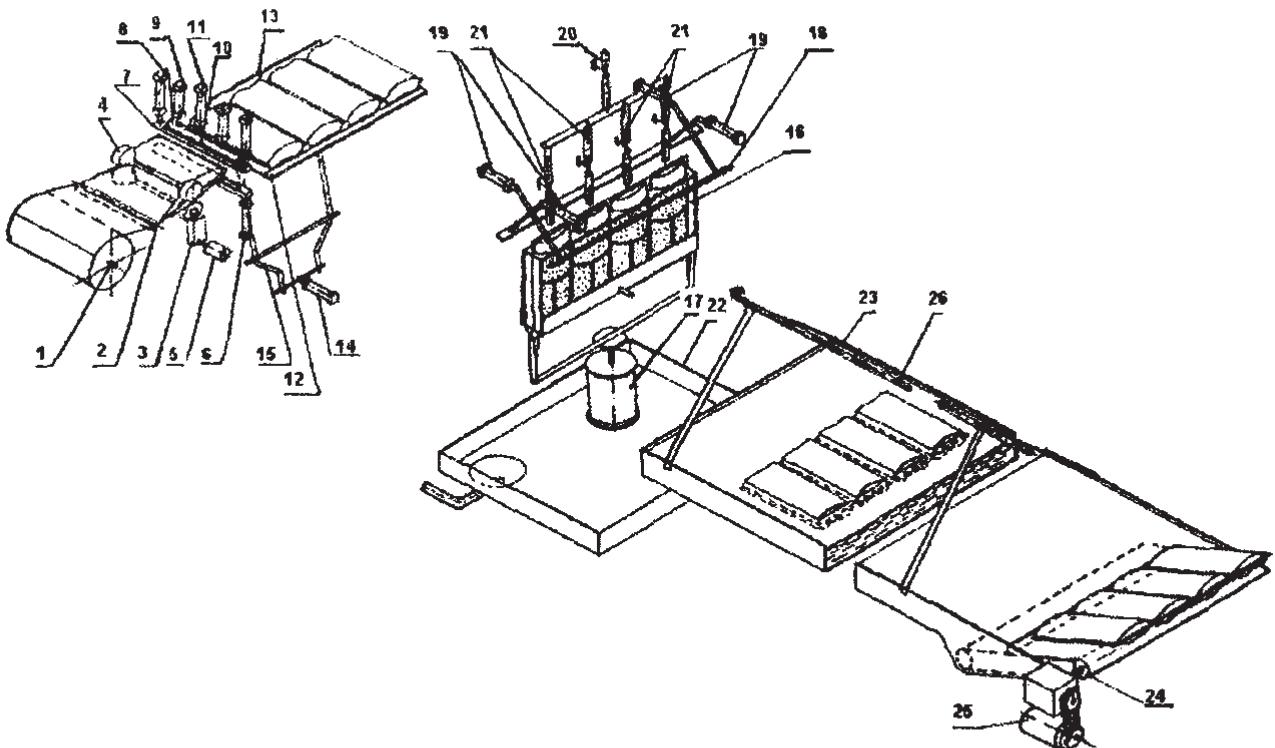


Рисунок 7.2 – Технологическая схема установки
для упаковывания битума в полиэтиленовую пленку:

- 1 – отдачник; 2 – направляющие ролики; 3 – протяжное устройство;
- 4 – валики протяжного устройства; 5 – привод; 6 – нижние нажимные губки;
- 7 – верхние нажимные губки; 8 – сварочные губки; 9 – пневмоцилиндры сварочных губок;
- 10 – иглы; 11 – пневмоцилиндр для игл; 12 – стол; 13 – профильная планка;
- 4 – пневмоцилиндр профильной планки; 15 – нож; 16 – форма; 17 – привод формы;
- 18 – сварочное устройство; 19 – привод сварочного устройства; 20 – дозатор;
- 21 – заливочные патрубки; 22 – поддон; 23 – ванна; 24 – конвейер;
- 25 – привод конвейера; 26 – ороситель

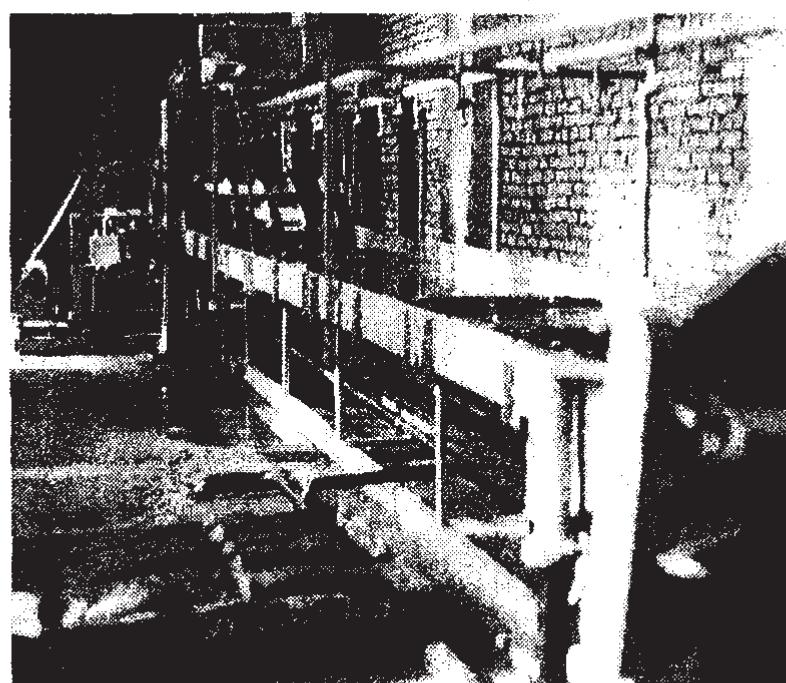


Рисунок 7.3 – Опытно-промышленная установка по упаковыванию битума
в полиэтиленовую пленку

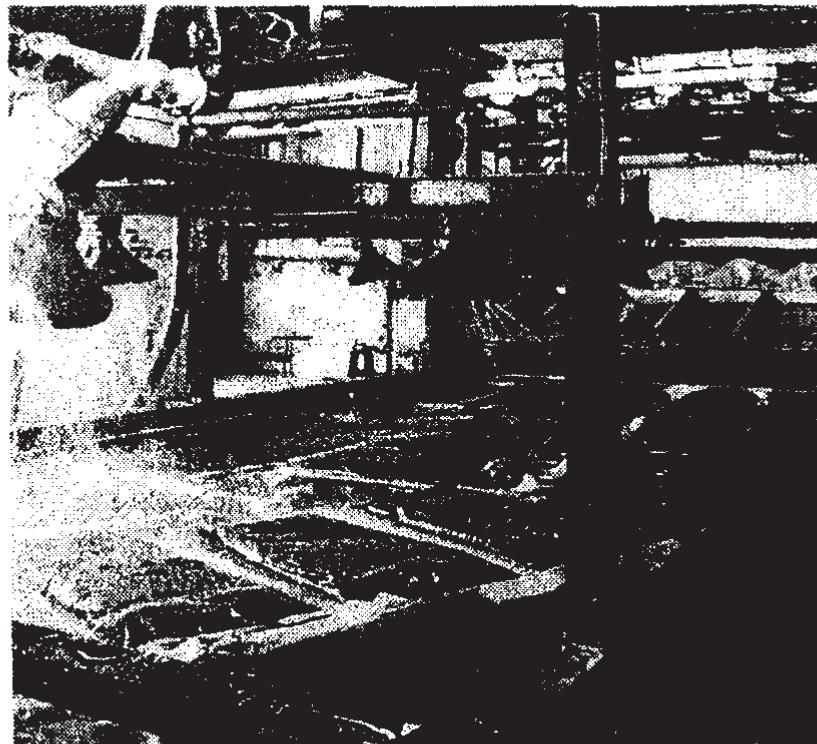


Рисунок 7.4 – Промышленная установка упаковывания битума в полиэтиленовую пленку

Опытно-промышленная и промышленная установки по упаковыванию битума в полиэтиленовую пленку, изготовленные в соответствии с технологической схемой (см. рис 7.2), работают следующим образом. Перед началом работы установок, на оси отдатчика 1 устанавливается рулон полиэтиленовой рукавной пленки.

Конец рукава заправляется между направляющими роликами 2 и валиками 4 протяжного устройства 3, разъединяются слипшиеся стенки пленки, свободный конец рукава заполняется сжатым воздухом и заваривается поперечным швом.

Узел размотки полиэтиленового рукава показан на рисунке 7.5.

Затем полиэтиленовый рукав протягивается валиками 3 и раздувается сжатым воздухом. Сжатый воздух подается в рукав порциями через полые иглы 10, которые со-

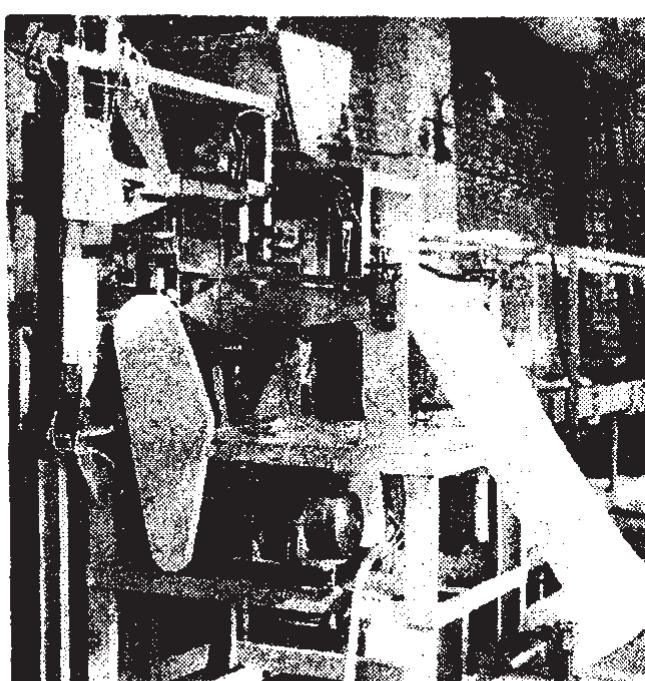


Рисунок 7.5 – Узел размотки полиэтиленового рукава

вершают возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости при помощи пневмоцилиндров 11. При ходе вниз иглы прокалывают верхнюю стенку раздутого рукава, и внутрь него подается сжатый воздух, раздвигая стенки рукава и заполняя объем, образованный выемками центральной части валиков 4.

Наполненный воздухом рукав разделяется на пакеты в виде подушек поперечными двойными термосварными швами, которые образуются при сжатии стенок рукава нижними 6 и верхними 7 нажимными губками с последующей сваркой сварными губками 8, которые перемещаются с помощью пневмоцилиндров 9. Двойные швы накладываются таким образом, чтобы отверстия, проколотые иглами 10 в стенке рукава, располагались между полосами двойного шва, за счет чего пакеты оказываются герметично запечатанными.

Узел формирования блока пакетов показан на рисунке 7.6.

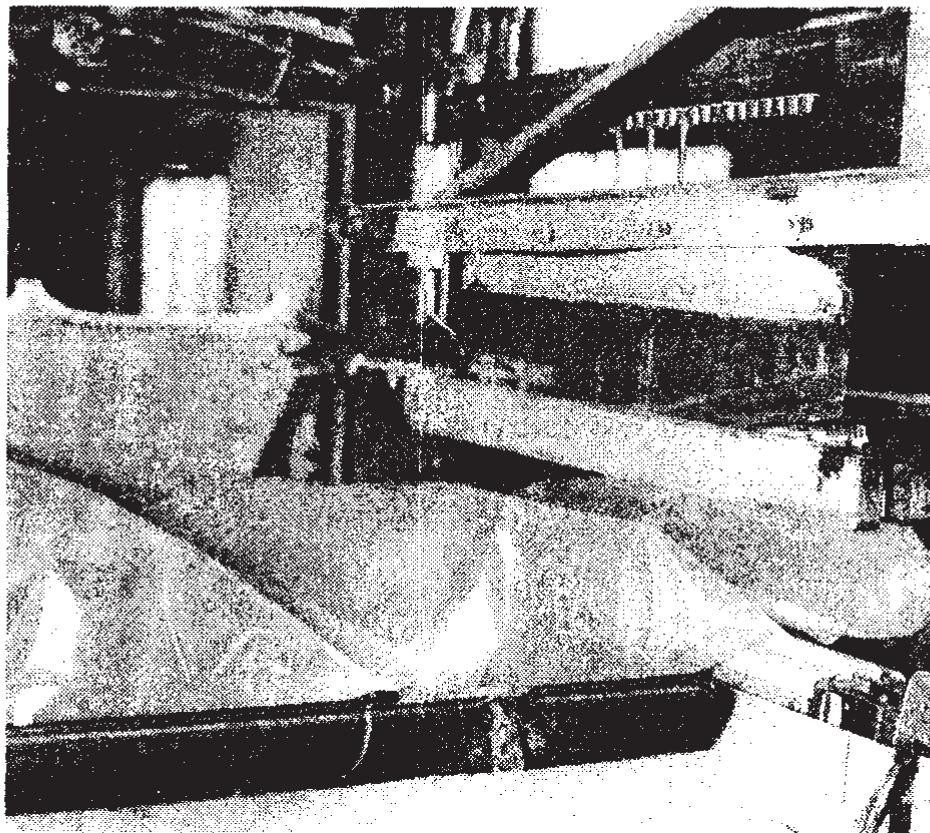


Рисунок 7.6 – Узел формирования блока пакетов

На рисунке 7.7 представлена готовая тара, изготовленная из полиэтиленового рукава.



Рисунок 7.7 – Полиэтиленовая тара

После заполнения воздухом нужного числа пакетов, уложенных на стол 12, пленка отрезается ножом 15, и от рукава отделяется блочная тара. Профильная планка 13, перемещаемая с помощью пневмоцилиндра 14, передвигает тару, заполненную воздухом, по поверхности стола и размещает ее в раскрытой форме 16. После этого с помощью двух пневмоцилиндров 17 начинается подъем формы и одновременное сведение ее половин. Сведенные половины форм зажимают тару по поперечным швам и фиксируются замками. Закрытая форма принимает вертикальное положение, в это время через отверстия в ее стенках подается охлаждающая вода на наружную поверхность тары. Вода свободно стекает через разъем формы в поддон 22, форма поднимается до соприкосновения верхней части полиэтиленовых пакетов, выступающих из формы, с горячими концами заливочных патрубков 21 дозатора 20, при этом в полиэтиленовой пленке проплавляются отверстия, а концы заливочных патрубков проходят внутрь пакетов. Затем открываются клапаны на заливочных патрубках 21 дозатора 20 и в пакеты заливаются одинаковые объемы битума. Штоки клапанов присоединены к горизонтальной планке, которая перемешивается с помощью пневмоцилиндров.

После налива битума форма 16 с помощью пневмоцилиндров 17 опускается так, чтобы патрубки 21 вышли из соприкосновения с пленкой, после чего пневмоцилиндрами 19 к блоку пакетов подводятся губки сварочного устройства 18 и на выступающую верхнюю часть тары накладывается шов. После этого форма 16, с помощью тех же пневмоцилиндров 17 раскрывается, при этом одна ее половина опирается о край стола 21, а другая опускается ниже, до упора о стенку ванны 23. Герметично запечатанный блок с битумом соскальзывает из нижней половины формы 16 в ванну с водой 23 (рис 7.8).

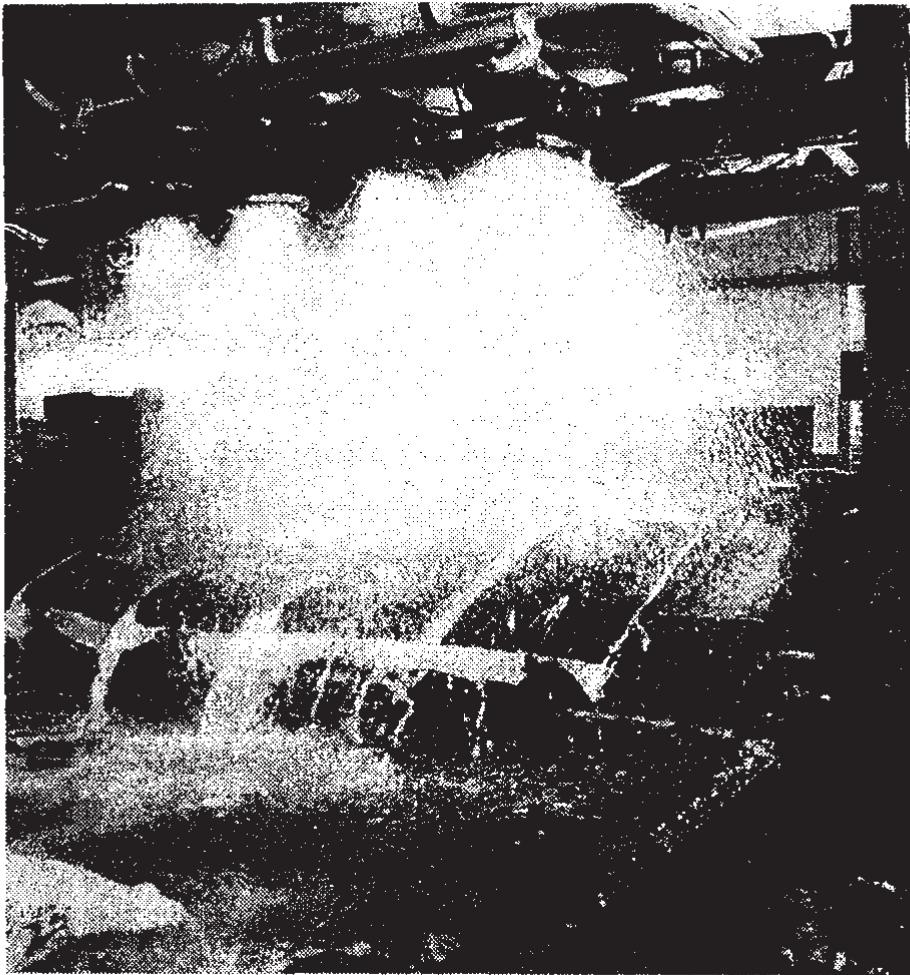


Рисунок 7.8 – Выгрузка упакованного в полиэтиленовую пленку битума из формы в ванну

Попавший в ванну блок пакетов с битумом за счет направленного движения воды перемещается в сторону конвейера 24, в это время сверху он орошается водой. Пакеты с битумом находятся в ванне около 40 минут, за это время битум охлаждается настолько, что с пакетами можно выполнять необходимые манипуляции, не опасаясь повреждения тары.

В конце ванны блок пакетов подхватывается цепным конвейером 24, нижний конец которого погружен в воду, и выталкивается на поддон. Конвейер приводится в действие с помощью привода 25. Во избежание возможного проплавления полиэтиленовой пленки в момент перемещения пакетов в ванне они сверху орошается водой с помощью оросителей 26. Поддон постепенно опускается и на нем образуется кипа из 10 уложенных друг на друга брикетов битума. Затем кипу с битумом обвязывают полимерной обвязочной лентой, размешая ее в углублениях сварных швов, и отправляют на склад.

Для упаковывания парафинов в полиэтиленовую пленку разработана технологическая схема установки с воздушным охлаждением (рис. 7.9).

Охлаждение парафина производится непосредственно в процессе его пневматического распыления при прямоточном движении фаз, для чего разработана конструкция распылителя с низким гидравлическим сопротивлением, позволяющая существенно снизить энергозатраты на подачу воздуха.

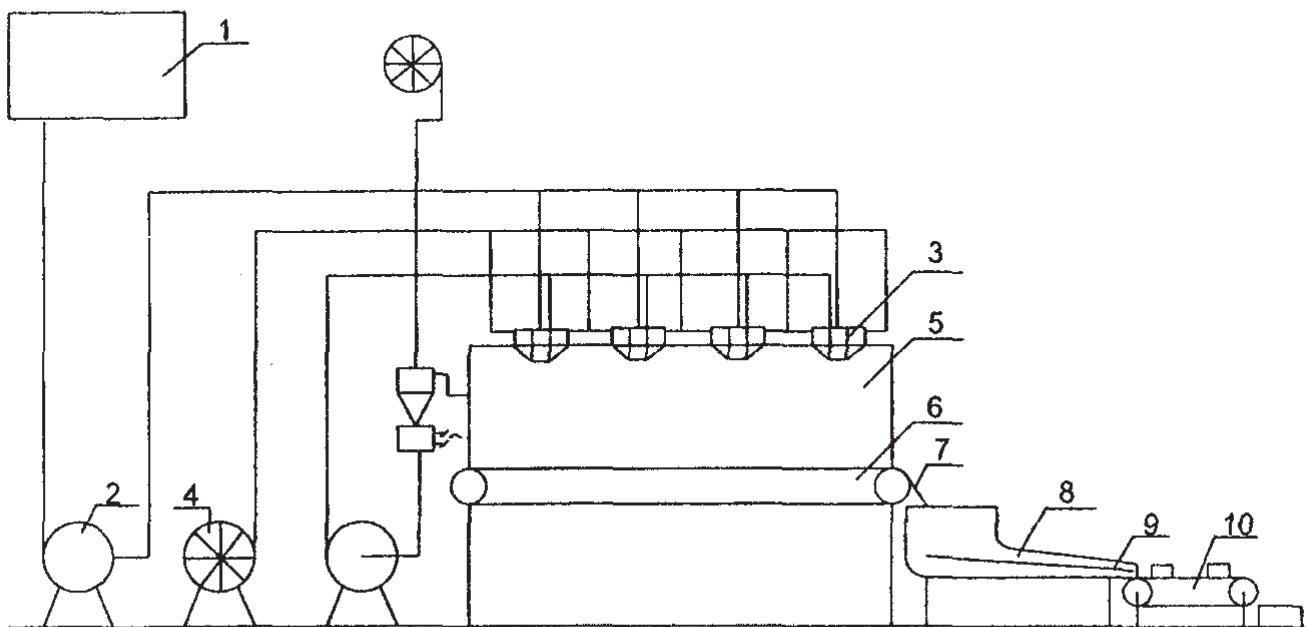


Рисунок 7.9 – Технологическая схема лабораторной установки с воздушным охлаждением парафина:

- 1 – емкость с парафином; 2 – насос подачи жидкого парафина; 3 – распылитель;
- 4 – воздуходувка; 5 – распылительная камера; 6 – ленточный конвейер;
- 7 – нож; 8 – пресс; 9 – конвейер; 10 – вентилятор

Установка работает следующим образом [86]. Расплавленный парафин из емкости 1 насосом 2 подается в распылители 3, в воздушные камеры которых нагнетается воздух воздуходувкой 4.

Парафин распыляется в камере 5 и охлаждается распыливающим воздухом до пластичного состояния. Частицы парафина поступают на ленту конвейера 6, образуя слой. Слой парафина с ленты снимается ножом 7 и подается в двухчервячный пресс 8, где он формуется. После чего парафин выдавливается порциями в полиэтиленовый рукав. Термосваркой рукав разделяется на секции, с получением плит парафина прямоугольной формы, упакованных в пленку. Плиты укладываются в короба либо из них сразу формируют транспортный пакет.

Экспериментально определен коэффициент гидравлического сопротивления распылителя, который равен 1,3...1,4 при ширине сопла газораспределительной камеры 2 и 3 мм и угле между газораспределительными

камерами $\alpha = 30\ldots12^\circ$ соответственно. Скорость воздуха в сопле при таких параметрах составляла 37...57 м/с, а его расход – 1,2...2,4 м³/кг.

С учетом этих показателей расчетный расход электроэнергии на распыление составит около 2 кВт на 1 т парафина.

По данным Гипронефтемаша [7] расход электроэнергии на охлаждение распылением в колонне составляет 50...80 кВт, а на барабанных машинах – 3...4 кВт на 1 т парафина. Таким образом, разработанная конструкция характеризуется малой энергоемкостью.

Однако изложенный способ охлаждения парафина распылением не обладает экологической чистотой и приводит к потерям продукта, поэтому предпочтительной является технология упаковывания парафина в рукавную пленку с водяным охлаждением. Описанная технология и установка, разработанная для битумов, с успехом может использоваться и для упаковывания парафина с введением небольших конструкционных изменений.

7.2. ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВОК ПО УПАКОВЫВАНИЮ БИТУМА В РУКАВНУЮ ПОЛИЭТИЛЕНОВУЮ ПЛЕНКУ

Основным критерием для выбора оптимальных технологических параметров упаковывания битума в полиэтиленовую пленку является обеспечение сохранности полиэтиленовой пленки.

На опытно-промышленной установке, работающей на ОАО «Нафттан» (Беларусь), по технологической схеме (см. рис. 7.2) были отработаны оптимальные параметры упаковывания битума в полиэтиленовую пленку.

Опыт эксплуатации установок показал, что основными показателями, определяющими параметры их работы, являются:

- свойства битума, а именно температура размягчения (застывания);
- начальная температура битума;
- температура хладагента.

В таблице 7.1 представлена зависимость значения начальной температуры заливки битумов БН-70/30 и БН-90/10 в полиэтиленовые пакеты от температуры их застывания при температуре хладагента не выше +30 °C.

Таблица 7.1 – Оптимальные значения начальной температуры заливки битума

Температура застывания, °C (КиШ)	73	76	80-84	86	86...95
Температура заливки, °C	120...132	132...140	140...143	143...147	147...160

Для обеспечения производительности установки 0,6 т/ч необходимы следующие технологические параметры:

- расход охлаждающей воды – 5 м³/ч;
- температура охлаждающей воды – не более +30 °C;
- расход сжатого воздуха – 10 Н·м³/ч;
- давление сжатого воздуха – 0,6 МПа;
- температура на нагревательных элементах – 180...200 °C.

В качестве упаковочного материала используется рукавная полиэтиленовая пленка I и II сорта по ГОСТ 10354-82 в рулоне:

- ширина рукава – 600 мм;
- толщина пленки – 0,12...0,2 мм;
- масса рулона – 15 кг;
- диаметр рулона – 300 мм.

Изготавливаемая блочная тара из наполненных сжатым воздухом полиэтиленовых пакетов должна иметь следующие параметры:

- длина пакета – 300 ± 2 мм;
- высота пакета – 600 ± 20 мм;
- вместимость – 12 ± 0,4·10⁻³ м³;

После заливки битума брикет должен иметь такие параметры:

- число пакетов в блоке – 4 шт.
- масса брикета – 10 ± 0,4 кг;
- масса блока – 40 ± 1,6 кг;
- размеры блока (длина × ширина × толщина) – 1200 × 500 × 100 мм.

При обеспечении указанных параметров полный цикл основных операций упаковывания битума составляет 4...5 мин.

Продолжительность основных операций должна составлять (с):

1) укладка оболочек в форму	5
2) закрытие формы и подъем ее к заливочным патрубкам	30
3) заливка битума	120
4) выдержка формы под патрубками	60
5) опускание формы	20
6) заваривание отверстий в оболочках	30
7) раскрытие формы, удаление оболочек в ванну	30

Анализ результатов теоретических исследований и результатов, полученных при опытно-промышленной и промышленной эксплуатации оборудования, позволил усовершенствовать их конструкции и разработать ряд установок типа БИПАК.

Установка БИПАК-2400 по лицензионному соглашению, заключенному между Республикой Беларусь и Республикой Польша, эксплуатируется на Rafineria nafty Trzebinia.

Модификация БИПАК-2400 является базовой моделью.

С учетом опыта ее эксплуатации были разработаны еще две модификации: БИПАК-5000 и БИПАК-30000.

Установка БИПАК-30000 создана путем модульного принципа компоновки установок БИПАК-2400 и БИПАК-5000.

Разработано шесть схем компоновки модулей с весом единичной упаковки 10, 15 и 20 кг.

Все разработки защищены патентами [35, 36, 75, 76, 93 – 95].

Технологическая схема установки модификации БИПАК-5000 представлена на рисунке 7.10.

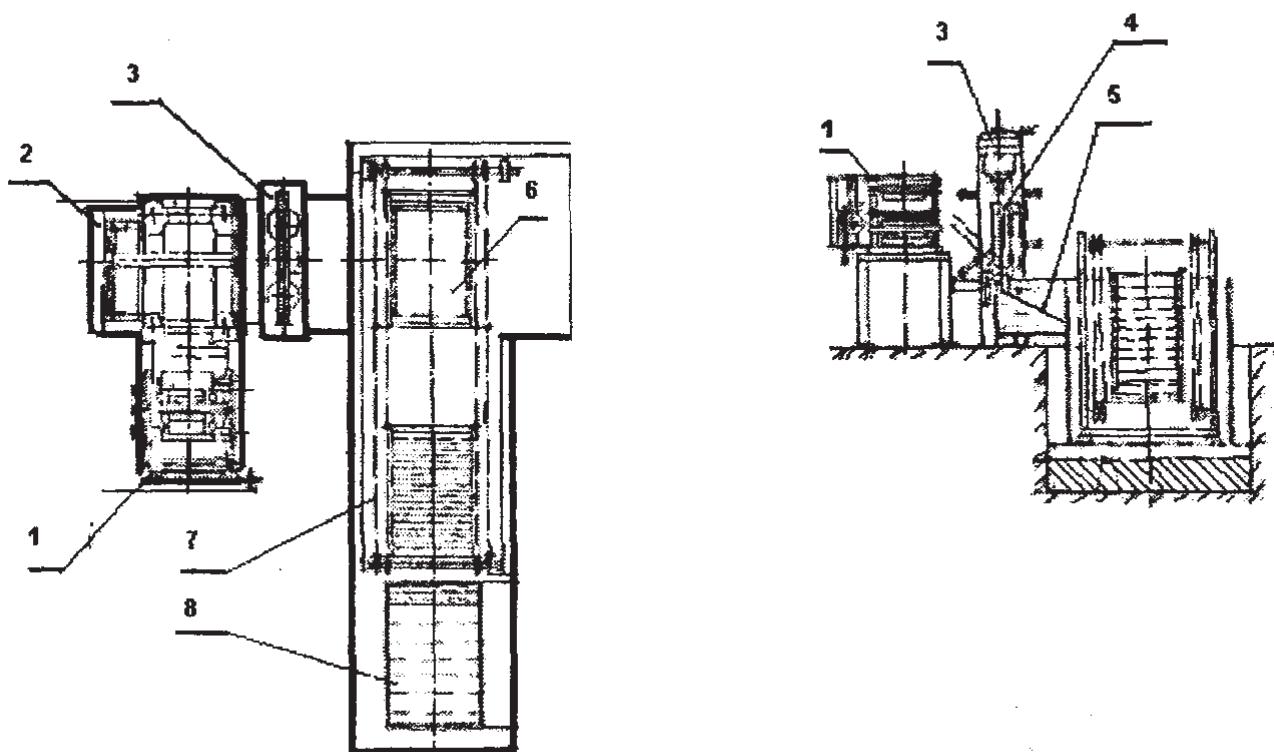


Рисунок 7.10 – Технологическая схема установки модификации БИПАК-5000:

- 1 – узел формирования блока пакетов;
- 2 – стол;
- 3 – дозатор;
- 4 – форма;
- 5 – подъемник;
- 6 – контейнер;
- 7 – конвейер;
- 8 – контрольно-измерительные приборы и автоматика

Варианты технологической схемы установки БИПАК-30000 представлены на рисунках 7.11 – 7.16.

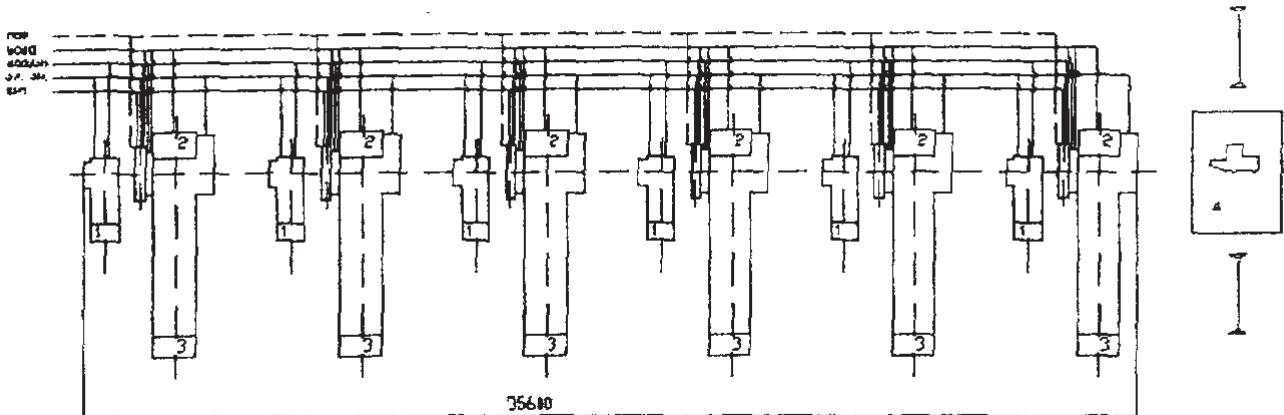


Рисунок 7.11 – Технологическая схема установки БИПАК-30000
(вариант компоновки 1):

- 1 – зона формирования блока пакетов; 2 – зона загрузки контейнеров;
3 – зона выгрузки готовой продукции; 4 – площадка доохлаждения

Технические характеристики

1. Площадь, занимаемая установкой	260 м ²
2. Производительность	7 т/ч
3. Вес единичной упаковки	15 кг
4. Количество упаковок в блоке	3 шт.
5. Расход электроэнергии	36 кВт
6. Расход воздуха	60 Нм ³ /ч
7. Количество обслуживающего персонала	6 чел.

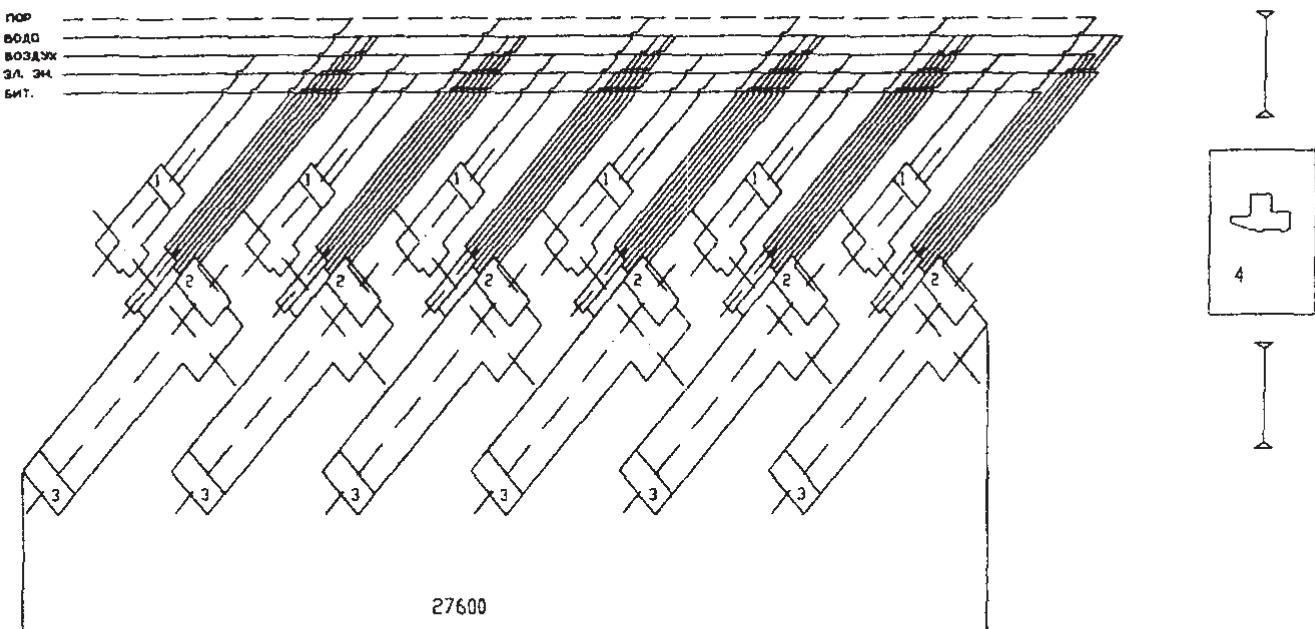


Рисунок 7.12 – Технологическая схема установки БИПАК-30000
(вариант компоновки 2):

- 1 – зона формирования блока пакетов; 2 – зона загрузки контейнеров;
3 – зона выгрузки готовой продукции; 4 – площадка доохлаждения

Технические характеристики

1. Площадь, занимаемая установкой	254 м ²
2. Производительность	7 т/ч
3. Вес единичной упаковки	15 кг
4. Количество упаковок в блоке	3 шт.
5. Расход электроэнергии	36 кВт
6. Расход воздуха	60 Н·м ³ /ч
7. Количество обслуживающего персонала	6 чел.

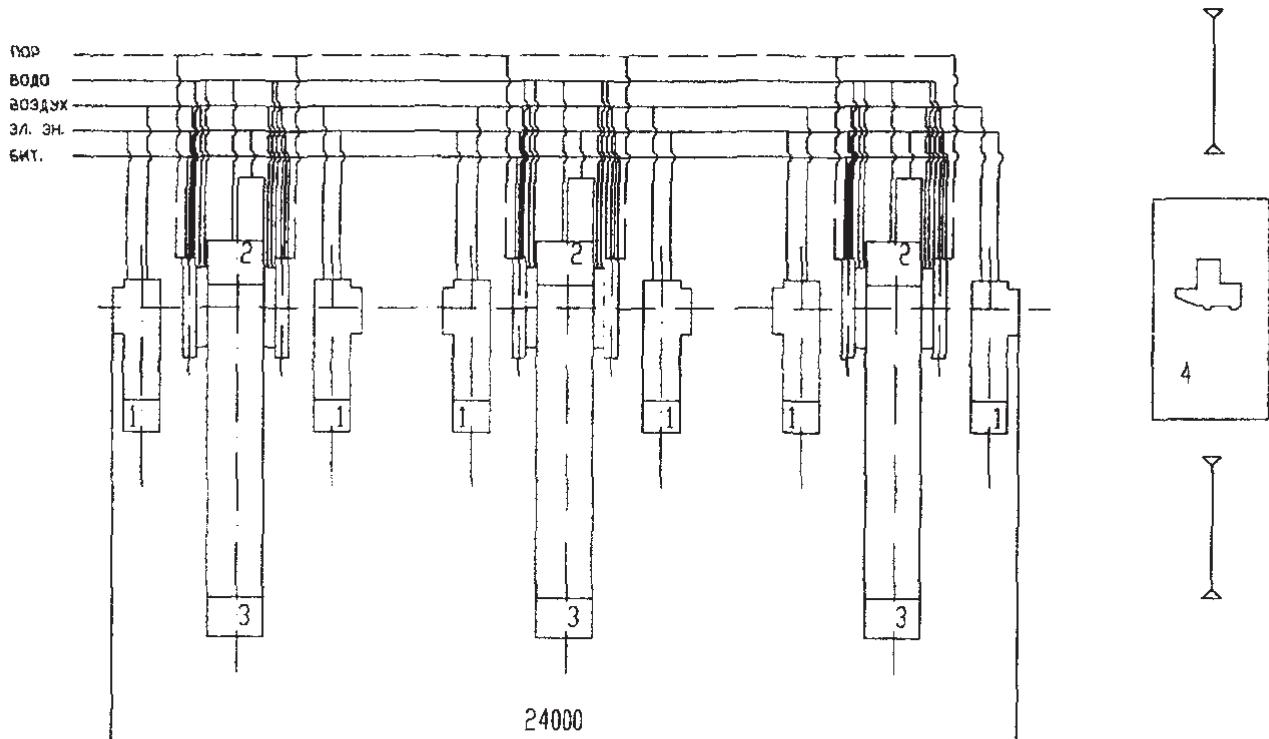


Рисунок 7.13 – Технологическая схема установки БИПАК-30000
(вариант компоновки 3):

1 – зона формирования блока пакетов; 2 – зона загрузки контейнеров;
3 – зона выгрузки готовой продукции; 4 – площадка доохлаждения

Технические характеристики

1. Площадь, занимаемая установкой	202 м ²
2. Производительность	7 т/ч
3. Вес единичной упаковки	15 кг
4. Количество упаковок в блоке	3 шт.
5. Расход электроэнергии	24 кВт
6. Расход воздуха	30 Н·м ³ /ч
7. Количество обслуживающего персонала	3 чел.

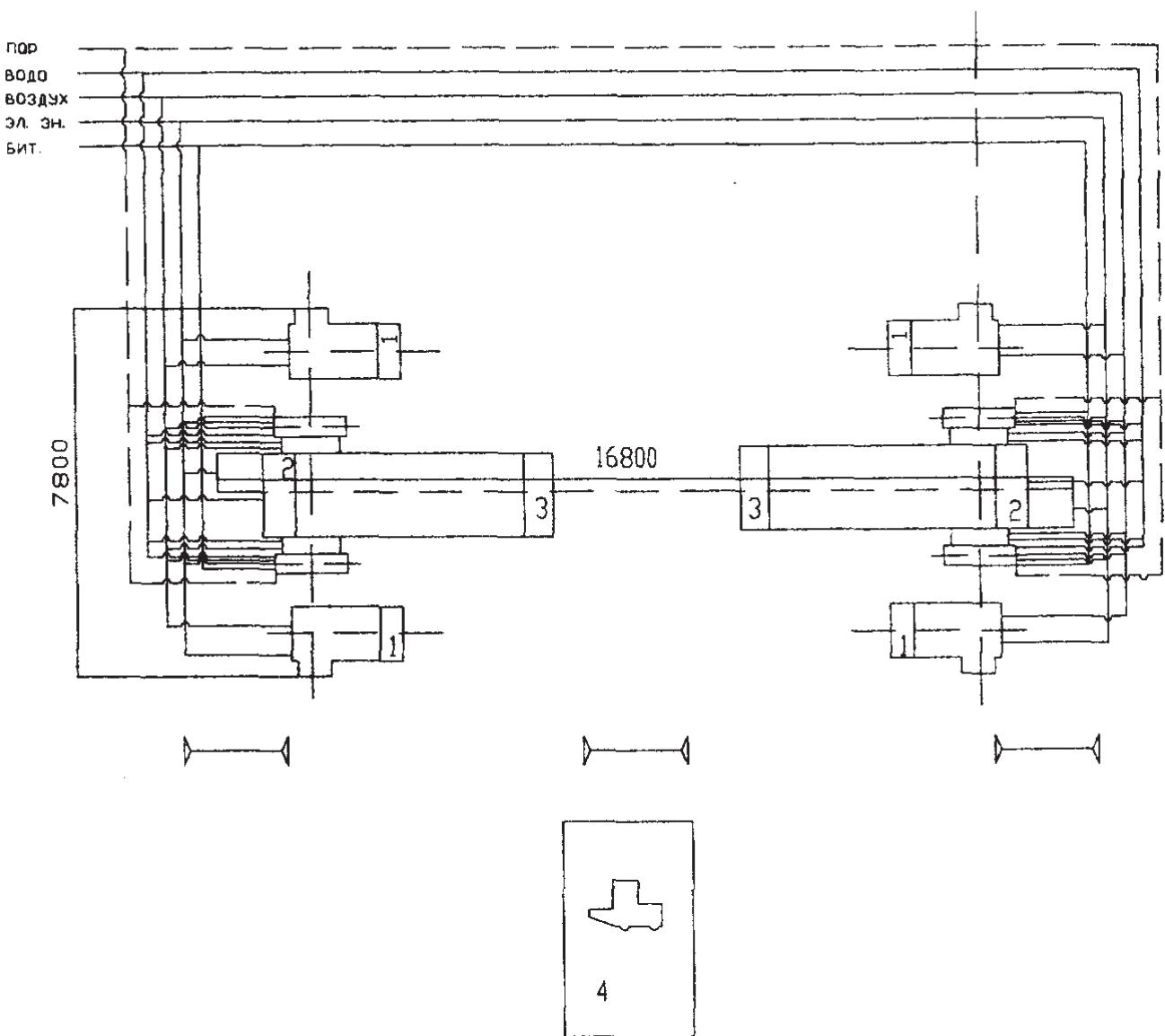


Рисунок 7.14 – Технологическая схема установки БИПАК-30000
(вариант компоновки 4):

1 – зона формирования блока пакетов; 2 – зона загрузки контейнеров;
3 – зона выгрузки готовой продукции; 4 – площадка доохлаждения

Технические характеристики

1. Площадь, занимаемая установкой	122 м ²
2. Производительность	7 т/ч
3. Вес единичной упаковки	20 кг
4. Количество упаковок в блоке	3 шт.
5. Расход электроэнергии	16 кВт
6. Расход воздуха	30 Н·м ³ /ч
7. Количество обслуживающего персонала	2 чел.

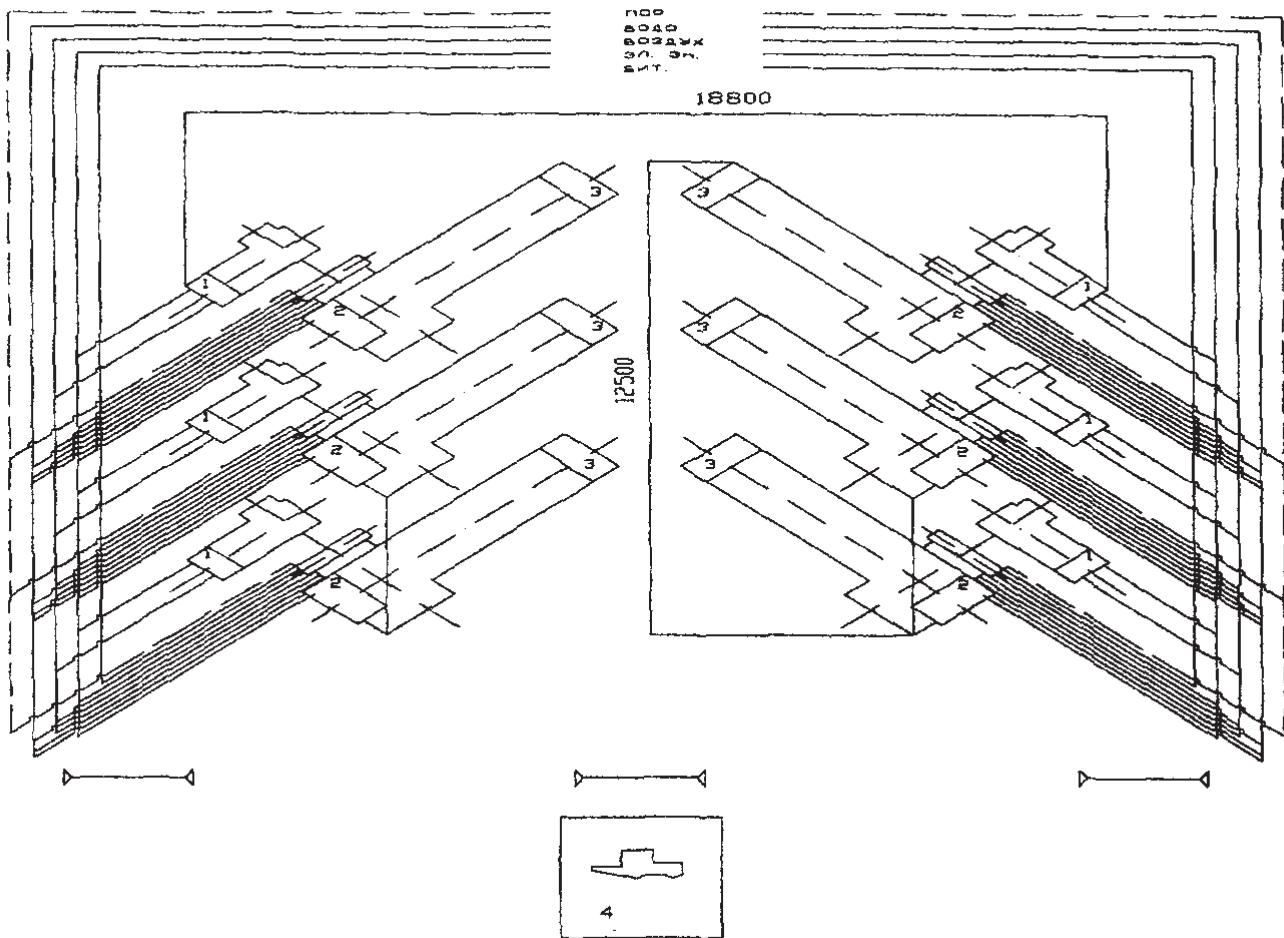


Рисунок 7.15 – Технологическая схема установки БИПАК-30000
(вариант компоновки 5):

- 1 – зона формирования блока пакетов; 2 – зона загрузки контейнеров;
3 – зона выгрузки готовой продукции; 4 – площадка доохлаждения

Технические характеристики

1. Площадь, занимаемая установкой	286 м ²
2. Производительность	7 т/ч
3. Вес единичной упаковки	15 кг
4. Количество упаковок в блоке	3 шт.
5. Расход электроэнергии	36 кВт
6. Расход воздуха	60 Н·м ³ /ч
7. Количество обслуживающего персонала	6 чел.

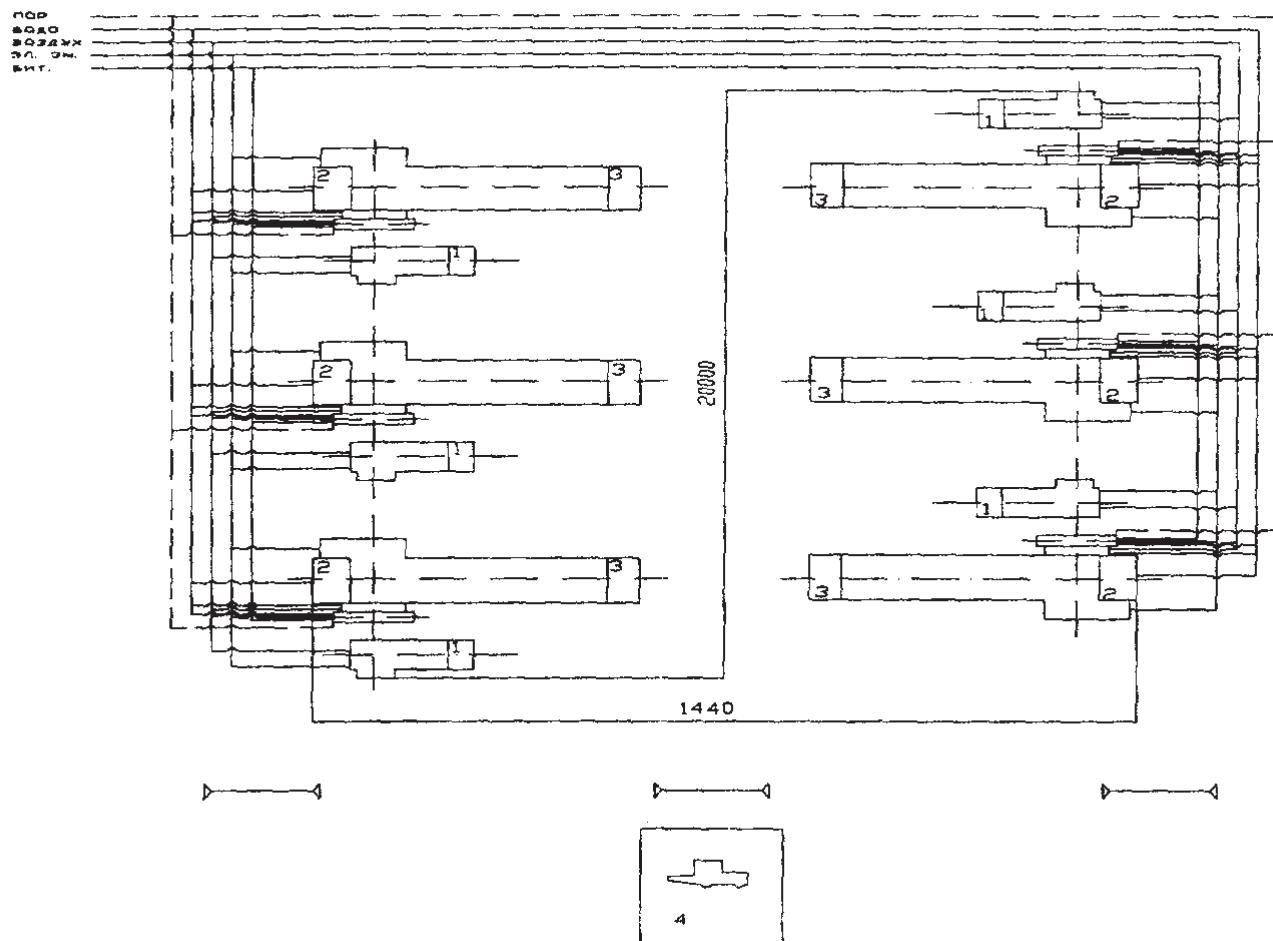


Рисунок 7.16 – Технологическая схема установки БИПАК-30000
(вариант компоновки 6):

1 – зона формирования блока пакетов; 2 – зона загрузки контейнеров;
3 – зона выгрузки готовой продукции; 4 – площадка доохлаждения

Технические характеристики

1. Площадь, занимаемая установкой	288 м^2
2. Производительность	7 т/ч
3. Вес единичной упаковки	15 кг
4. Количество упаковок в блоке	3 шт.
5. Расход электроэнергии	36 кВт
6. Расход воздуха	$60 \text{ Н}\cdot\text{м}^3/\text{ч}$
7. Количество обслуживающего персонала	6 чел.

Характеристики установок для упаковывания битума в полиэтиленовую пленку представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 -- Техническая характеристика установок для упаковывания битумов в полиэтиленовую пленку

Показатели	БИПАК-2400	БИПАК-5000	БИПАК-30000
Производительность, т/год	2 400	5 000	30 000
т/ч	0,6	1,2	7,5
Масса упаковки, кг	40(4×10)	45(3×15)	60(3×20)
Расход упаковочного материала, кг/т	8,45	6	8
Толщина полиэтиленовой пленки, мм рукав	0,22 рукав	0,22 рукав	0,22 рукав
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	5	6	24
Расход воды, м ³ /ч/т	5	5	30
Расход сжатого воздуха, нм ³ /ч/т	10	10	45
Число рабочих в смене (без погрузки)	2	2	6
Производительность труда т/ч/чел.	0,3	0,6	0,6
Формирование грузового пакета	Обандероливанием или на поддонах		
Экология	Твердых отходов и газовых выбросов нет		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная доля высокозастывающих нефтепродуктов в странах СНГ транспортируется в твердом виде. Для этих целей используется автомобильный, железнодорожный, водный, транспорт, трубопроводные поточно-контейнерные системы, пневмотранспорт, трубопроводный контейнерный гидротранспорт.

Транспортирование высокозастывающих нефтепродуктов в твердом состоянии рационально производить упакованными, при этом не существует единого подхода к выбору размеров транспортного пакета и единой упаковки битума у производителя, потребителя и перевозчика.

Анализ свойств нефтепродуктов показывает, что на организацию транспортного процесса наибольшее влияние оказывают такие физико-химические свойства, как температура размягчения, температура каплепадения, температура плавления, пенетрация.

Использование для транспортирования твёрдых высокозастывающих нефтепродуктов бумажной и металлической (бочки) упаковок связано с возникновением большого количества проблем на всех стадиях транспортного процесса: упаковывании, транспортировании, хранении, а также при потреблении.

Существующие технологии упаковывания битумов с точки зрения экологической безопасности несовершенны. Пары, выделяющиеся из горячих битумов, содержат парафинонафтеновые и полициклические ароматические углеводороды, а также трициклические соединения, среди которых наиболее канцерогенен бенз- α -пирен.

Концентрация бенз- α -пирена в парах, выделяющихся при разливе горячего битума в бумажные мешки, бочки, бункеры и битумовозы, составляет 0,2...125 мг/м³.

Недостатки, свойственные бумажной упаковке, могут быть устранены путём её замены плёночной (в первую очередь полиэтиленовой) упаковкой. Однако широкое использование плёночной полиэтиленовой упаковки сдерживается сложностью обеспечения заливки горячего битума непосредственно в плёночную полиэтиленовую тару, отсутствием оборудования для её проведения и отсутствием инженерных методов технологического расчёта такого оборудования.

Разработанная методика позволяет решить следующие основные задачи транспортного процесса твердых ВЗНП.

На стадии проектирования:

- осуществлять технологический расчёт оборудования для упаковывания твердых ВЗНП в полиэтиленовую плёнку и разрабатывать конструктивные схемы такого оборудования;
- разрабатывать основные элементы транспортного процесса доставки твердых ВЗНП, в том числе пакетирование, погрузку, хранение, а также потребление;
- разрабатывать технические системы, обеспечивающие экологобезопасное транспортирование твердых ВЗНП.

На стадии эксплуатации оборудования полученные зависимости позволяют полностью автоматизировать процесс упаковывания битума.

При разработке технологии и оборудования для упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов в полиэтиленовую пленку необходимо учитывать различные факторы, в том числе те, которые оказывают влияние на их транспортирование:

- размер транспортного пакета и единичной упаковки;
- способ пакетирования;
- вид тары и упаковочного материала.

Наиболее экономичным способом формирования укрупненной грузовой единицы из более мелких упаковок (брикетов) битума в полиэтиленовой пленке является использование термоусадочной пленки без применения поддонов.

Разработанная технология и оборудование упаковывания битума в рукавную полиэтиленовую пленку позволяет:

- значительно сократить выделение вредных паров (в восемь раз);
- значительно снизить энергозатраты;
- исключить использование антиадгезионных материалов;
- сократить время погрузки и выгрузки;
- исключить операции дробления битума и утилизации тары.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хранение нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие / В.Н. Антипов [и др.]; под ред. Ю.Д. Земенкова. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ Нефти и газа им. Губкина, 2003. – 560 с.
2. Проектирование и эксплуатация нефтебаз: учебник для вузов / С.Г. Едигаров [и др.]; под общ. ред. С.Г. Едигарова. – М.: Недра, 1982. – 260 с.
3. Зоря, И. Нефтеобеспечение / И. Зоря, Д.В. Цагарели; под ред. Д.В. Цагарели. – М.: ИЦ «Математика», 1998. – 662 с.
4. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / И.Г. Аксимов [и др.]; под общ. ред. В.М. Школьникова. – изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Издат. центр «Техинформ», 1999. – 596 с.
5. О техническом нормировании и стандартизации: Закон Респ. Беларусь № 262-З от 5 января 2004 г.
6. Гун, Р.Б. Нефтяные битумы: учеб. пособие для рабочего образования / Р.Б. Гун. – М.: Химия, 1989. – 152 с.
7. Фрязинов, В.В. Транспортирование и хранение нефтяных битумов / В.В. Фрязинов, И.В. Грудников. – М.: ЦИИТЭНефтехим, 1981.
8. Перевезев, А.Н. Производство парафинов / А.Н. Перевезев, Н.Ф. Богданов, Ю.А. Рощин. – М.: Химия, 1973. – 224 с.
9. Государственная система стандартизации Республики Беларусь: Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение: ГОСТ 1510-84.
10. Разработка эффективной системы охлаждения тугоплавких битумов перед затариванием в оболочки: отчет по теме 77-56 инв. № 932870. – Новополоцк: НПИ, 1980.
11. Способ и устройство для производства битумных блоков: пат. 2359760 ФРГ, МКИ C10с 3/14; опубл. 1973.
12. Способ контейнеризации асфальта: пат. 4.335.560 США, МКИ B65.63/08, B65B 3/04, B65 B35/50; опубл. 22.6.1982.
13. Разработка прогрессивной технологии и технологических средств контейнерного гидротранспорта (КТГТ): отчет по теме № 81-01, № 0182.602 66 95. – Новополоцк: НПИ, 1985.
14. Коваленко, П.В. Проблемы транспортирования битумов и парафинов / П.В. Коваленко // Надёжность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: сб. науч. тр. IV науч.-техн. конф., Новополоцк, 2003 г. / Полоцкий гос. ун-т; редкол.: В.К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2003.

15. Коваленко, П.В. Упаковывание высокозастивающих нефтепродуктов с использованием полиэтиленовой пленки и методы их транспортирования / П.В. Коваленко // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. – 2006. – № 8. – С. 138 – 143.
16. Степанов, Н.Г. Механизация трудоемких работ и совершенствование оборудования на нефтеперерабатывающих заводах РСФСР / Н.Г. Степанов. – М.: ГОСИНТИ, 1960. – 77 с.
17. Степанов, И.А. Поточные линии розлива и укупорки пищевых жидкостей / И.А. Степанов, П.Н. Галасов. – М.: Пищевая промышленность, 1965.
18. Золидулин, Р.Х. Опыт интенсификации технологических процессов на Пермском нефтеперерабатывающем комбинате им. ХХIII съезда КПСС / Р.Х. Золидулин. – М.: ЦИИТЭНефтехим, 1968. – 71 с.
19. Лев, К.Н. Опыт работы по внедрению новой техники на производственном объединении «Дрогобычнефтепереработка» / К.Н. Лев. – М.: ЦИИТЭНефтехим, 1969. – 86 с.
20. Способ механической формовки и упаковки парафинов и восков: пат. 27704 ГДР, МКИ С 10 д; опубл. 22.08.84, Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1984.
21. Непрерывный способ производства блоков из жидкого битума: пат. 2.562.030 Франция, МКИ В 65в, С 10с; опубл. 4.10.85, Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1985.
22. Рекламный проспект фирмы «Sandvik Process Systems». – № Р-0171.
23. Пат. Швеции № 3002975, Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1963.
24. Фрязинов, В.В. Зарубежный опыт хранения, затаривания и транспортирования битумов: тематический обзор / В.В. Фрязинов, Л.П. Смирнов, И.В. Грудников // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – М.: ЦИИТЭНефтехим, 1981.
25. Анализ и выбор рациональных схем затаривания нефтегрузов в контейнеры: отчет по теме 77-56 инв. № Б-879207. – Новополоцк: НПИ, 1980.
26. Исследование гидротранспорта нефтепродуктов в эластичных оболочках по трубопроводу Полоцк – Вентспилс: отчет по теме 77-56 инв. № Б-93270. – Новополоцк: НПИ, 1980.
27. Исследование гидротранспорта нефтепродуктов в эластичных оболочках по трубопроводу Полоцк – Вентспилс: отчет по теме 77-56. – Новополоцк: НПИ, 1982. – Т. 1.
28. Способ упаковки тугоплавких битумов в термопластичную пленку: а.с. 1535759 СССР / З.С. Теряева, В.К. Липский, С.С. Шалаев, П.И. Швед; заявитель Новополоцк. политехн. ин-т; опубл. 15.01.1990 г. // Бюллетень изобретения. – № 2.

29. Установка для упаковывания битума в термопластичную рукавную пленку: пат. № 1790531 СССР / З.С. Теряева, В.К. Липский, В.В. Ковалевский, В.Г. Тетерук, П.В. Коваленко; заявитель Полоц. гос. ун-т, опубл. 23.01.1993 г. // Бюллетень изобретения. – № 3.
30. Способ и устройство для изготовления битумных блоков: пат. 667330 Бельгии, МКИ С 10 С 3/16; опубл. 23.06.1965, Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1965.
31. Способ и установка для изготовления битумных блоков: пат. 1.435.386 Франции, МКИ В 65/B65д С; опубл. Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1975. – 10 с.
32. Способ и устройство для затаривания битума в полиэтиленовую пленку: пат. 4137692 США, МКИ В 65B 63/08; опубл. 1.04.1977.
33. Способ и устройство для затаривания битума в полиэтиленовую пленку: пат. Великобритании № 1.448.246.
34. Упаковка горячетекучих материалов в пленочную полимерную тару: пат. 3.564.808 США, МКИ B65B 63/08, 3/06, 57/14; опубл. 23.11.1971.
35. Способ и установка для упаковывания полутвердых продуктов в мешки; пат. 2.156.302А Великобритании, МКИ B65B 3/04; опубл. 9.10.1985.
36. Битумная композиция в упаковке: пат. 60.204.405 Япония, МКИ С 10с; опубл. 16.10.85, Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1985.
37. Непрерывный способ производства блоков из жидкого битума и приспособление для его осуществления: пат. 3.428.779 ФРГ, МКИ В 65в, C10c; опубл. 10.10.85, Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1985.
38. Способ и устройство затаривания битума в полиэтиленовую пленку: пат. 4.627.224 США, МКИ В 65в, C10c; опубл. 9.12.86, Пат. бюл. // Изобретения за рубежом. – 1986.
39. Заявка на изобретение ФРГ № 2721445A1 от 12.05.1977.
40. Способ и устройство для изготовления плавких блоков: пат. 83002972 Швеции, МКИ В 65в 9/10. / Л. Фэндрик; Опубл. 21.01.1983.
41. Коваленко, П.В. Расчет процесса охлаждения битума / П.В. Коваленко, В.К. Липский, З.С. Теряева // ТОХТ. – 2002. – С. 331 – 334.
42. Установка для расфасовки и упаковки битума: а.с. № 289963 СССР, м. кл. В 65в 9/10 / М.В. Синицын, И.М. Сидоров, В.А. Чухров, Д.Ф. Волкодав.
43. Емкость для перевозки битума: а.с. № 290304 СССР, М.кл. С10с 3/10 / М.В. Синицын, И.М. Сидоров, В.А. Чухров, Д.Ф. Волкодав.
44. Кащеев А.А., Саханов А.Н. Нефтяное хозяйство / А.А. Кащеев, А.Н. Саханов. – М.: Гостехиздат, 1962. – 120 с.
45. Руж, Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г.И. Руж. – М.: Гостоптехиздат, 1951.

46. Черниkin, В.И. Перекачка вязких и застывающих нефтей / В.И. Черниkin. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 163 с.
47. Григорян, Г.М. Подогрев нефтяных продуктов / Г.М. Григорян, В.И. Черниkin. – М.: Гостоптехиздат, 1947.
48. Губин, В.Е. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов / В.Е. Губин, В.В. Губин. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
49. Губин, В.Е. Переход от структурного режима к турбулентному при течении вязкопластичных жидкостей в трубах / В.Е. Губин, Ю.В. Скрипников // Нефтяное хозяйство. – 1972. – № 8. – С. 59 – 62.
50. Cawley, C.M. The Pumpability of Waxy Fuee Oil. The Post – War Expansion of the U.K. Petroleum Industry / C.M. Cawley // The Institute of Petroleum. – 1954.
51. Агапкин, В.М. Установившийся температурный режим трубопроводов с промежуточными тепловыми станциями и путевыми отборами (поступлениями) нефти / В.М. Агапкин, В.А. Юфин // Нефть и газ. – 1979. – № 7. – С. 57 – 61.
52. Веденеев, Б.В. Трубопроводный транспорт горячего битума / Б.В. Веденеев, Н.В. Михайлов. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 219 с.
53. Schwedoff, T. Recheches experimentales suz la coheston des ligudes / T. Schwedoff // J de Phys. Et/ Radium. – 1890. – Vol. 9. – P. 34.
54. Bingaham, E.C. Paint a plastic a material and not a viscous liquid / E.C. Bingaham // Green Proc. Amer. Soc. Testing Materials. – 1919. – Vol. 2. – № 19. – P. 640.
55. Bogue, D.C. Engineering Analysis of Not – Newtonian Fluids / D.C. Bogue, J.L. Write // Reports of ACARD – NATO. – 1970. – P. 103.
56. Сен Бенан, Б. Об установлении уравнений внутренних движений, вызывающих в твердых телах за пределами упругости / Б. Сен Бенан // Теория пластичности. – М.: ИЛ, 1948.
57. Шульман, З.П. Одно феноменологическое обобщение кривой течения вязкопластичных реостабильных дисперсных систем / З.П. Шульман // Труды 3-го Всесоюз. совещания по тепло- и массопереносу. – Минск, 1968. – Т. 10. – С. 3 – 10.
58. Черниkin, В.И. Сооружение и эксплуатация нефтебаз / В.И. Черниkin. – М.: Гостоптехиздат, 1955.
59. Теряева, З.С. Экологические аспекты технологии упаковывания битума / З.С. Теряева, П.В. Коваленко, В.К. Липский // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 5. – С. 51 – 53.

60. Проблемы производства и применения нефтяных битумов и композитов на битумной основе: материалы межотраслевого совещания, г. Саратов, 28 – 29 марта 2000 г. / Ассоциация нефтепереработчиков России. – Саратов, 2000. – 159 с.
61. Нефтепереработка и нефтехимия / Т.Г. Бактимирова [и др.]. – 1999. – № 6. – С. 62.
62. Коваленко, П.В. Повышение экологических характеристик транспортного процесса твердых высокозастывающих нефтепродуктов / П.В. Коваленко, З.С. Теряева // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2005. – № 3. – С. 135 – 140.
63. Охрана окружающей среды в нефтеперерабатывающей промышленности / А.П. Шицкова [и др.]. – М.: Химия, 1980.
64. Инвентаризация источников выбросов бенз- α -пирена на Мозырском НПЗ: отчет о НИР. – Казань: ВНИИУС, 1991.
65. Способ упаковывания тугоплавких битумов в полимерную пленку и установка для реализации этого способа: пат. 905833 Бельгия, МКИ В 65Н / Теряева З.С., Липский В.К., Тетерук В.Г.; заяв. Новополоцк. политехн. ин-т (СССР). – № 217469; заявл. 28.11.1986; опубл. 1.06.1987 // НКИ А 14 h 20.
66. Способ упаковывания тугоплавких битумов в емкости из полиэтиленовой пленки: пат. 905258 Бельгия, МКИ В 65В С 10С / Теряева З.С., Липский В.К., Шалаев С.С., Швед П.И. / Новополоцк. политехн. ин-т (СССР). – № 217034; заявл. 11.08.1986; опубл. 11.02.1987 // НКИ А 14 h 10.
67. Способ упаковки расплавленного материала в пленочные емкости: пат. 466985 Швейцарии, МКИ В 65В 9/04; опубл. 10.11.68 // Патентный бюл. / Изобр. за рубежом. – 1968.
68. Рудакова, Н.Я. Производство парафина / Н.Я. Рудакова, А.В. Тимошина, Е.И. Черняева. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 87 с.
69. International Petroleum Times. – 1980. – № 11. – Р. 17.
70. Зенинский, А.М. Экономика производства и применения нефтяных битумов / А.М. Зенинский, В.К. Тищенко. – М.: Химия, 1977.
71. Белоусов, В.Б. Результаты промышленных экспериментов капсульного гидротранспорта нефтегрузов по нефтепродуктопроводу. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / В.Б. Белоусов. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1980.
72. Тихонова, М.М. Об экономической оценке эффективности гидроконтейнерного транспорта мазута. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / М.М. Тихонова, В.К. Липский. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1980. – С. 17.

73. Тихонова, М.М. Об экономической целесообразности внедрения контейнерного гидротранспорта нефтепродуктов в Новополоцком промышленном регионе. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / М.М. Тихонова, В.К. Липский. – М.: ЦНИИТЭ-Нефтехим, 1980. – С. 32.
74. Липский, В.К. О процессе теплопередачи при заливке расплавленного битума в полиэтиленовые емкости-контейнеры. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / В.К. Липский, З.С. Теряева, Г.С. Рысов. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1982.
75. Липский, В.К. Об экономической эффективности транспортирования вязких нефтепродуктов в контейнере по трубопроводам. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / В.К. Липский, М.М. Тихонова, М.А. Бабенко. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1982.
76. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / И.С. Бронштейн [и др.]. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1985. – С. 30 – 32.
77. Предложения по контейнеризации доставки нефтебитума и других высоковязких продуктов на замкнутых перевозках в смешанном железнодорожно-морском сообщении (на примере направления Владивосток – Петропавловск-Камчатский): отчет о НИР / Промстрой-НИИпроект. – М., 1980. – № ГР 79076368.
78. Упаковка. Грузовые единицы. Размеры: Междунар. стандарт ИСО 3676-83 // НТРС. – 1983. – Сер. 5, Вып. 3. – С. 12 – 147.
79. Голиков, Е.А. Маркетинг и логистика: учеб. пособие / Е.А. Голиков. – 2-е изд. – М.: Издат. Дом «Дашков и К°», 2000. – 412 с.
80. Агапкин, В.М. Трубопроводный транспорт мазута / В.М. Агапкин. – М.: Недра, 1986. – 138 с.
81. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: учеб. пособие для вузов / П.Н. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, А.М. Шамазов. – Уфа: ООО «Дизайн – Полиграф Сервис», 2002. – 656 с.
82. Грудников, И.Б. Производство нефтяных битумов / И.Б. Грудников. – М.: Химия, 1983.
83. Chemical Market Reporter. – 1991. – № 18. – Р.С.
84. Государственная система стандартизации Республики Беларусь: РД 17-89 Метод. указания по расчету валовых выбросов вредных веществ в атмосферу для предприятий нефтепереработки и нефтехимии. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1990.

85. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
86. Способы упаковывания тугоплавких битумов в термопластичную пленку: пат. № 1535759 СССР, пат. № 139 Респ. Беларусь / З.С. Теряева, В.К. Липский, С.С. Шалаев, П.И. Швед.
87. Способ упаковывания горячетекучих материалов в полимерную рукавную пленку: пат. № 4970 Респ. Беларусь / З.С. Теряева, В.К. Липский, П.В. Коваленко.
88. Установка для затаривания тугоплавкого битума в полимерную пленку: пат. 3638832 ФРГ, МКИ В 65 В G 3/08. / В.К. Липский, З.С. Теряева, В.Г. Тетерук. – № 3625385; заявл. 26.7.1986; опубл. 4.2.1988 //
89. Коваленко, П.В. Численное моделирование охлаждения расплава битума в полимерной упаковке / П.В. Коваленко, А.А. Маханёк // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: сб. науч. тр. V науч.-техн. конф., Новополоцк, 7 – 9 июня 2006 г. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: В.К. Липский [и др.]. – С. 135 – 140.
90. Коваленко, П.В. Моделирование процесса охлаждения битума при упаковывании в полиэтиленовую пленку / П.В. Коваленко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2006. – № 10. – С. 135 – 140.
91. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справ. пособие / С.С. Кутателадзе. – М.: Энергоиздат, 1990. – 367 с.
92. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1976.
93. Кондратьев, Г.М. Регулярный тепловой режим / Г.М. Кондратьев. – М.: Гостехиздат, 1954.
94. Теплопередача: учебник для вузов. – перераб. и доп. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
95. Резников, А.Н. Тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов / А.Н. Резников, А.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
96. Фарамазов, С.А. Комплексная механизация и автоматизация производства твердых нефтяных битумов / С.А. Фарамазов. – Л.: Гостехиздат, 1963.
97. Веребъско, О.О. Реологические свойства окисленных и остаточных битумов / О.О. Веребъско. // Автолюб., дорож., дор. буд-во resp.: наук.-техн. зб., 1978. – № 22. – С. 43 – 45.

98. Розенталь, Д.А. Повышение качества строительных битумов: тематический обзор / Д.А. Розенталь. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1976.
99. Abraham, H. Asphalt and Allied substances, 5 th ed. – 1945h, Vol 2.
100. А.с. СССР, МКИ 80 В 25/15 С04в / Р.А. Гаралявичус. – № 220825, заявл. 19.04.67.; опубл. 30.09.68.
101. Гун, Р.Б. Нефтяные битумы / Р.Б. Гун. – М.: Химия, 1973.
102. Потеминская, И.В. Вопросы технологии изготовления битумно-полимерных мастик / И.В. Потеминская [и др.] // Науч. тр. Акад. коммун. хозяйства. – 1977. – № 17. – С. 28 – 93.
103. Золотарев, В.А. Влияние структуры и технологии получения битумов на их реологические свойства / В.А. Золотарев, Е.А. Веребская // Машины и технологические переработки каучуков, полимеров и резиновых смесей. – Ярославль, 1978. – № 1. – С. 62 – 68.
104. Гилимьянов, Ф.Г. Исследование поведения полиолефиновых композиций в нефтепродуктах. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / Ф.Г. Гилимьянов, Л.Д. Гракович, З.С. Теряева. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1980. – С. 23.
105. Устройство для упаковывания битума в полиэтиленовую пленку: а.с. СССР / Г.С. Рысов, З.С. Теряева, В.К. Липский, В.И. Коробко, К.К. Суботин; Новополоцк. политехн. ин-т. – № 958234; опубл. 15.09.82, Бюл. № 34 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 12.
106. Разработка научных основ энергосберегающей экологически чистой технологии упаковывания битума в полиэтиленовую пленку: отчет по ГБ 52-96 / Полоцк. гос. ун-т; рук. темы Липский В.К. – Новополоцк, 2000. – № ГР 1997137.
107. Masson, K.F. Bitumen microstructure by modulated differential scanning calorimetry / K.F. Masson, G.M. Polomark // Thermodynamica Acta. 2001. – Vol. 374. – № 2. – P. 105 – 114.
108. Теплотехника: учеб. для вузов / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2000. – 671 с.
109. Справочник химика / под ред. Б.П. Никольского. – 2-е изд., перераб. – М–Л.: Химия, 1968. – Т. 6. – 1012 с.