

На правах рукописи

Консейсао Аугусто Агостино да

**ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ
НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ
С ПОМОЩЬЮ НЕФТЕСБОРЩИКОВ АДГЕЗИОННОГО ТИПА**

Специальность 03.00.16 – “Экология”

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

УФА–2002

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ: доктор технических наук,
профессор Хлесткин Рудольф Николаевич
доктор технических наук,
профессор Самойлов Наум Александрович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор технических наук, старший научный
сотрудник
Мигазимов Наил Султанович
кандидат технических наук,
Шеметов Алексей Викторович

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: ГУП “Научно–исследовательский институт
безопасности жизнедеятельности
Республики Башкортостан”

Защита состоится “30” декабря 2002 года в 10³⁰ часов. на заседании
диссертационного совета Д212.289.06 при Уфимском государственном нефтяном
техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул.
Космонавтов,1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного
нефтяного технического университета.

Автореферат разослан “___” ноября 2002 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н.А.Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов при их трубопроводном транспорте значительно загрязняют окружающую среду. В частности, при разливе нефтепродуктов в результате повреждения дюкеров–подводного участка нефтепроводов происходит выброс больших масс нефти на поверхность воды рек и водоемов. При этом часть нефтепродуктов испаряется, загрязняя воздушный бассейн, часть растворяется в воде, а основное количество разлитой нефти тонким слоем покрывает большую площадь водной акватории, нарушая кислородный баланс водной экосистемы.

Для минимизации антропогенного воздействия разлива на окружающую среду следует за минимальное разлитую нефть; для чего необходимо обеспечить доставку к месту разлива достаточного количества сил и средств для его ликвидации. Из способов сбора нефти и нефтепродуктов наиболее часто используют абсорбционный, механический и адгезионный методы.

Адгезионный метод сбора нефти является достаточно распространенным в мировой практике. Разработаны механизированные нефтесборщики, действие которых основано на принципе адгезии, т.е. прилипании пленок нефти на поверхность вращающихся рабочих элементов аппарата.

В настоящее время большая часть парка нефтесборщиков в России представляет собой дорогостоящие импортные конструкции, которые могут выходить из строя из-за невысокой прочности рабочих элементов (барабанов и дисков). Необходимость замены вышедшего из строя импортного оборудования существенно удорожает мероприятия по ликвидации аварий.

В связи с этим актуальной является проблема разработки отечественных нефтесборщиков и замены импортных рабочих элементов на простые в изготовлении конструкции из отечественных материалов.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом между –зовской научно–технической программы П.Т.411 “Технология экологического прогнозирования, мониторинга и рационального природопользования” на 1998–2000 гг. (указание Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации № 747–19 от 22.12.97) и в рамках единого заказа – наряда по тематическому плану НИР УГНТУ (1996–2000 гг.) Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является оценка экологической ситуации на месте разлива нефти или нефтепродуктов и поиск материалов, необходимых для разработки нефтесобирающих элементов нефтесборщиков, которые могут быть установлены как на отечественные, так и на импортные конструкции для замены вышедших из строя рабочих элементов нефтесборщиков.

Для решения этой задачи было необходимо:

- исследовать с позиции оценки экологической ситуации и техники нефтесбора некоторые особенности испарения разлитых нефти и нефтепродуктов в окружающую среду;
- исследовать адгезию нефти и воды на поверхности различных материалов, используемых в конструкциях нефтесобирающих элементов нефтесборщиков;
- выполнить сопоставительный анализ работы нефтесобирающих элементов импортных и российских нефтесборщиков.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

1. Предложен критерий оценки работо– способности нефтесборщиков адгезионного типа.

2. Разработана методика прогнозирования производительности нефтесборщиков барабанного типа на базе испытания фрагментов материала барабанов по величине адгезии нефти.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

1. Получены опытные данные, характеризующие испаряемость нефти и нефтепродуктов, которые позволяют оценить мощность разлива к моменту его сбора.

2. Выполнен сопоставительный анализ различных материалов для изготовления отечественных рабочих элементов нефтесборщиков барабанного типа.

3. Предложены оценка производительности нефтесборщика типа “Магнум” на маловязкой российской нефти.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты работы докладывались на:

- III Всеукраїнської науково – методичної конференції з міжнародним участю «Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічно чистих технолоій» (Дніпродзержинськ, 2000);

- II Международном симпозиуме «Наука и технология углеводородных дисперсных систем» (Уфа, 2000);

- 4-й Международной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии» (Воронеж, 2001);

- Международной технической конференции «На пути к устойчивому развитию регионов. Проблемы экологии» (Вологда, 2001);

- 5-й региональной научно – практической конференции «Качество– стратегия XXI в.» (Томск, 2000);

- II Международной научной конференции «Теория и практика массообменных процессов химической технологии» (Уфа, 2001).

- V Международной экологической конференции студентов и молодых ученых «Экологическая безопасность и устойчивое развитие» (Москва, 2001).

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, в том числе 3 статьи и тезисы 4 докладов.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертация состоит из шести глав и основных выводов, списка литературы. Работа изложена на 136 страницах, включает 53 рисунка, 23 таблицы, список литературы из 120 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен обзор материалов по испарению нефти и нефтепродуктов и сбору нефти и нефтепродуктов с поверхности воды различными методами.

Во второй главе приведено описание объектов и методов исследования лабораторных установок и стенда для испытания барабанов нефтесборщиков. Объектами исследования были выбраны арланская нефть, сибирская нефть, туймазинская нефть, бензин (АВТ) и дизельное топливо (зимнее), приведены характеристики нефти и нефтепродуктов.

В третьей главе рассмотрен процесс испарения нефти и нефтепродуктов в воздух при скорости движения воздуха в пределах от 0 до 5 м/с.

При испарении нефти и нефтепродуктов из открытых сосудов при 15-16 °С испаряемость их за 2 месяца составляет 8 – 15 % при толщине слоя разлива 100 мм. Уменьшение толщины слоя до 10 мм существенно ускоряет процесс испарения и двухмесячный порог испарения на уровне 14 – 15% для нефтяных разливов большой толщины достигается для тонких слоев за трое суток, при этом стабилизация потерь в тонком слое нефти наблюдается только после 20 суток испарения.

Дизельное топливо в толстом слое испаряется значительно медленнее, чем в тонком: двухмесячный порог испарения около 8% достигается в тонком слое уже после двух суток испарения.

Испарения нефти и нефтепродуктов при обдуве их поверхности воздухом при скорости 5м/с и температуре 20–22 °С существенно интенсифицирует процесс испарения: испарение за 1 час при средней скорости ветра 5м/с эквивалентно суточному испарению при безветренных условиях.

При наличии легкого ветра от исходной массы разлитых продуктов испаряется за сутки до стабилизации системы: нефти до 20 – 22%, дизельного топлива – более 35%, разлитый бензин испаряется практически полностью (на 98,8%) за 3 часа (табл.1,2).

Как видно из результатов опытов, испарение нефти и нефтепродуктов наиболее интенсивно происходит в течение первых 10 часов, при этом бензин испаряется практически полностью. Эти данные позволяют определять потребность средств для сбора нефти и нефтепродуктов при ликвидации аварийного разлива с учетом испаряемости продуктов за время доставки средств сбора к месту разлива и оценить загрязнение воздушной среды испарившимися продуктами.

Таблица 1

Дифференциальное количество испаряющихся нефтепродуктов, %

Продукт	Скорость воздуха, м/с	Испаряемость, %, за время испарения			
		1-й час	5-й час	15-й час	24-й час
Арланская нефть	0	3,90	0,40	0,60	-
	0,4	4,50	0,90	0,20	0,20
	2	4,80	0,90	0,20	0,20
	5	6,33	0,66	0,43	0,43
Туймазинская нефть	0	6,10	0,90	0,40	0,40
	0,4	8,80	1,10	0,20	0,20
	2	9,50	0,70	0,20	-
	5	12,45	0,66	0,22	-
Бензин (АВТ)	0	31,20	5,50	0,30	-
	0,4	51,40	3,60	-	-
	2	70,30	0,30	-	-
	5	91,21	-	-	-
Дизельное топливо (зимнее)	0	-	0,50	0,90	0,20
	0,4	0,60	0,50	0,50	0,20
	2	1,60	0,70	0,40	0,70
	5	2,71	1,35	0,00	0,67

Таблица 2

Интегральное количество испаряющихся нефтепродуктов, %

Продукт	Скорость воздуха, м/с	Испаряемость, % за время испарения			
		1 час	5 часов	10 часов	24 часа
Арланская нефть	0	3,90	6,69	17,68	22,50
	0,4	4,50	8,80	11,06	-
	2	4,80	9,38	11,79	-
	5	6,33	10,26	13,97	-
Туймазинская нефть	0	6,10	11,79	17,25	22,10
	0,4	8,80	12,96	15,34	-
	2	9,50	14,56	16,78	-
	5	12,45	17,47	19,87	-
Бензин (АВТ)	0	31,20	81,21	92,42	-
	0,4	51,40	95,47	98,38	-
	2	70,30	98,23	98,23	-
	5	91,21	98,79	98,79	-
Дизельное топливо (зимнее)	0	-	2,04	8,37	19,00
	0,4	0,60	3,18	5,92	-
	2	1,60	6,25	9,59	-
	5	2,71	12,22	17,19	-

Анализ дифференциальных кривых испарения нефти позволил разработать математическую модель испарения нефти и нефтепродуктов.

Анализ поведения модели нефтяного разлива позволил выделить две стадии процесса испарения: на первой стадии процесс испарения определяется кинетикой испарения легких фракций (рис.1) и может быть описан уравнением вида

$$G_{исп} = G_{Max}(1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

где $G_{исп}$ – количество испарившегося продукта; G_{Max} – предельное количество испарившегося продукта; k – константа скорости процесса испарения легких фракций; t – продолжительность испарения.

На второй стадии процесса испарение характеризуется практически равномерным низкоскоростным уносом части оставшегося нефтепродукта.

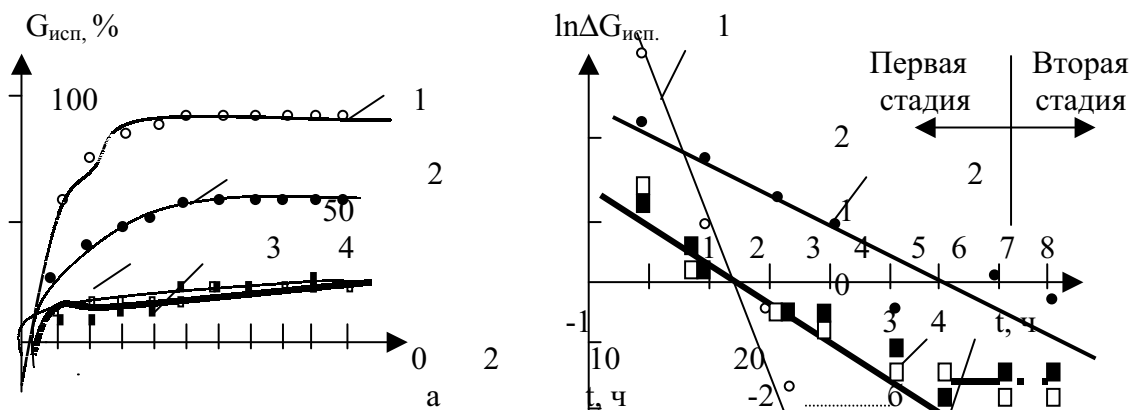


Рис.1. Кинетика интегрального испарения нефтепродуктов в натуральных (а) и дифференциального испарения в полулогарифмических (б) координатах: 1,2–бензин; 3,4–туймазинская нефть при скорости ветра соответственно 5 (1,3) и 0 (2,4) м/с.

Величина константы k для первых 20 часов испарения зависит в основном от природы испаряющегося нефтепродукта и в значительно меньшей мере от скорости ветра над его зеркалом (табл.3).

Таблица 3

Значения константы скорости испарения K на первой стадии процесса

Испаряемый Нефтепродукт	Значения K при скорости ветра, м/с			
	0	0,4	2,0	5,0
Бензин	0,42	0,70	1,07	1,62
Дизельное топливо	0,13	0,11	0,13	0,13
Арланская нефть	0,19	0,11	0,11	0,14
Туймазинская нефть	0,14	0,18	0,28	0,37

Таким образом, при определении размеров ущерба окружающей среде при аварийных разливах нефти по объему разлива нефти, по его площади и толщине слоя более, чем через сутки от момента разлива, необходимо дополнительно учитывать испарившуюся нефть и дизельное топливо в количествах до 23 % от объема замеренного разлива и полное испарение бензина (рис.2).

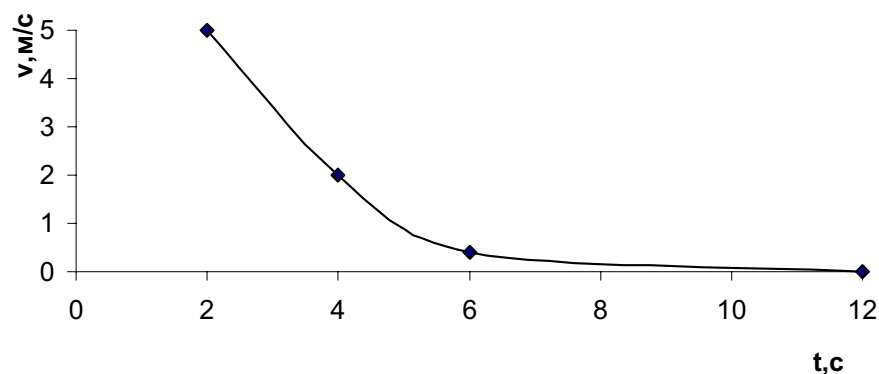


Рис.2. Влияние скорости ветра (v) на продолжительность (τ) полного испарения разлитого бензина сибирской нефти на поверхности оцинкованной стали и полимерных материалов.

В ходе экспериментов образцы исследованных материалов опускались в нефть вертикально или касались поверхности нефти горизонтально (рис.3). Время контакта было принято равным 1 – 5 с, что соответствовало времени контакта барабана нефтесборщика с нефтью при различных режимах работы и позволяло оценить адгезию нефти на материалах в $г/см^2$ в условиях работы различных элементов барабана: вертикальный контакт образцов с нефтью соответствовал торцам барабана, а горизонтальный контакт – обечайке барабана.

Образцы оцинкованной стали использовались как в чистом виде, так и модифицированные полимерным порошком «Антифрикции», клеем «Силикатный» и «Момент».

Большой объем экспериментальных данных на образцах различных материалов показывает, что наблюдается некоторый разброс в измеренных величинах адгезии. Поэтому использован статистический анализ опытных данных на основе критерия Стьюдента для того, чтобы выяснить причины расхождения величины адгезии нефти на двух различных материалах: расхождение в величине адгезии представляет просто ошибку опыта или же расхождение результатов измерения адгезии нефти является значимой величиной, т.е. разница величины адгезии в двух сериях опытов определяется именно свойствами материалов.

Опыты показали (табл.4), что при времени контакта образца оцинкованной стали с нефтью 1–5 с время контакта мало влияет на величину адгезии. Следовательно, можно обеспечить эффективную адгезию нефти нефтесборщиков при времени контакта 1 с и

менее, а это при прочих равных условиях приведет к увеличению производительности нефтесборщика. Так, например, снижение времени контакта с 2 до 1 с повысит производительность нефтесборщика практически в два раза. Замечено, что при вертикальном погружении образца оцинкованной стали в слой нефти удельная величина адгезии существенно выше, чем при горизонтальном контакте, например, при времени контакта 1 с адгезия при горизонтальном контакте образца с нефтью составляет $0,025 \text{ г/см}^2$, а при вертикальном $0,034 \text{ г/см}^2$. Это явление можно объяснить тем, что при извлечении образца из нефти при его вертикальном погружении за счет сил инерции и поверхностного натяжения захватывается дополнительное количество нефти (рис.3).

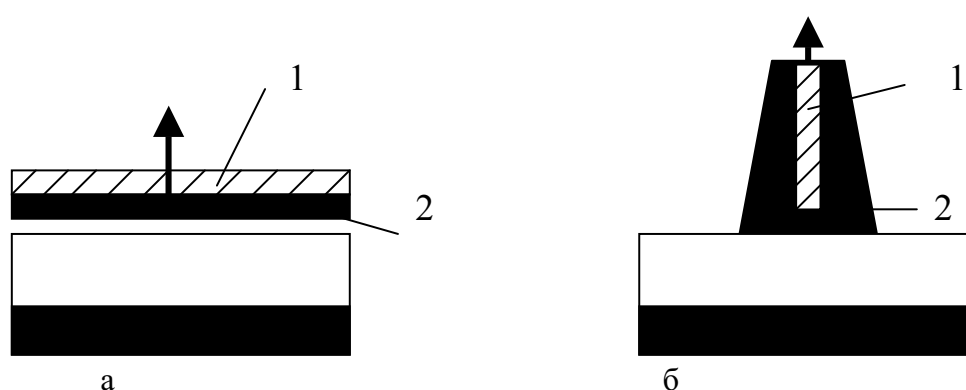


Рис.3.Схема образования нефтяной пленки на образце оцинкованной стали при горизонтальном (а) и вертикальном (б) контакте с нефтью: 1–пластина; 2–пленка нефти

Таблица 4

Количество собранной нефти на поверхности различных материалов (верт. расп.)

Название поверхности	1 секунда	2 секунды	3 секунды	5 секунд
	Гн (г)	Гн (г)	Гн (г)	Гн (г)
Оцинкованная сталь	2,00	2,00	2,80	3,00
Пластмасса полистирольная	5,38	6,66	6,66	6,26
Линолеум (поливинилхлорид)	6,16	6,06	5,66	5,66
Резина	5,48	5,68	5,98	6,48

При вертикальном расположении пластин величина адгезии нефти на жестяных пластинах, обработанных интенсифицирующим адгезию порошком полимера “Антифрикции”, возрастает в среднем с $0,026$ до $0,044 \text{ г/см}^2$, то есть в 1,6 раза (рис.4), однако сам порошок плохо удерживается на поверхности металла и в ходе съема собранной нефти с поверхности рабочего элемента будет смываться вместе с нефтью.

Фиксация порошка на поверхности стали с использованием клеев неорганического (силикатный клей) и органического (клей «Момент») происхождения показала, что при этом адгезия нефти возрастает до $0,053 \text{ г/см}^2$, что в 2,15 раза повышает показатели чистой стали и в 1,3 раза превышает показатели жести, припорошенной порошком полимера.

Исследование в качестве рабочих элементов синтетических полимерных материалов пластмассы, резины и линолеума показало, что из изученных материалов линолеум обладает повышенной адгезией по отношению к нефти на уровне $0,06 - 0,07 \text{ г/см}^2$, то есть он в 2,5 – 2,8 раза эффективнее оцинкованной стали и почти вдвое эффективнее работы полимерного материала, из которого изготовлены барабаны нефтесборщика «Магnum - 100», имеющего величину адгезии в среднем на уровне $0,03 - 0,05 \text{ г/см}^2$.

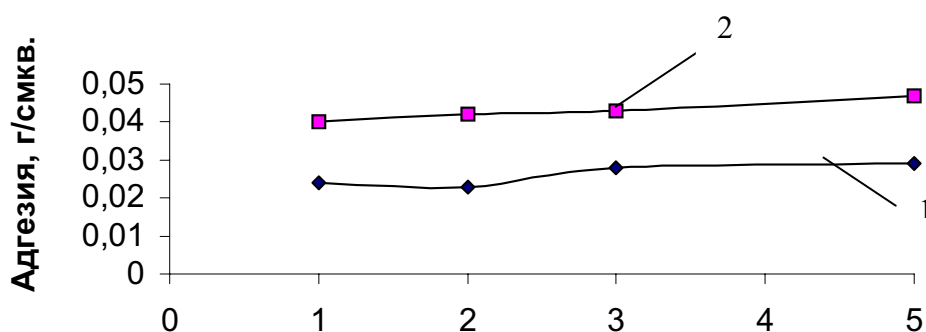


Рис.4. Адгезия пленок нефти на поверхности чистой оцинкованной стали (1) и обработанной порошком “Антифрикции” (2)

Для объяснения разницы в величине адгезии нефти на различных материалах предложена гипотеза о возможном влиянии на взаимодействие молекул нефти с поверхностью твердого материала статических зарядов, приводящих к переориентации части молекул в удерживаемом слое с параллельного на перпендикулярный материал, однако, хотя экспериментально подтверждено появление статических зарядов при работе на пластинах из пластических материалов, получение доказательств справедливости гипотезы требует постановки сложных прецизионных опытов.

С целью исследования качественного характера адгезионного взаимодействия поверхности исследованных образцов материалов с нефтью и водой были определены углы смачивания поверхности образцов материалов каплями ряда сортов нефти и воды (табл.5). Опыты показали (рис.5), что все исследованные сорта нефти на оцинкованной и модифицированной оцинкованной стали, полимерных материалах имеют углы

смачивания в пределах $17-25^\circ$, что обеспечивает хорошее смачивание образцов нефтью и приемлемость исследованных материалов для сбора различных нефтей. Капли воды на поверхности всех изученных материалов (кроме гидрофильных образцов стали, модифицированной клеем «Силикатный») мало деформируются, имеют угол смачивания около $65-75^\circ$, поэтому легко стекают с поверхности барабана при его вращении в водный слой, обеспечивая высокую селективность сбора нефти. При наличии на поверхности материала слоя парафина, имитирующего нефтяную пленку, угол смачивания капель воды возрастает почти в два раза (с 65 до 108°), что является дополнительной гарантией селективности сбора нефти.

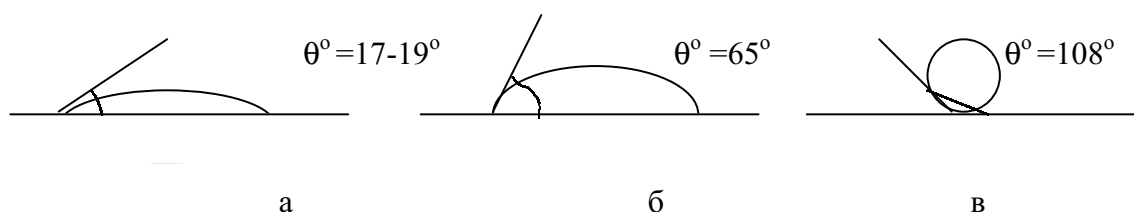


Рис.5. Взаимодействие капель нефти и воды с поверхностью жести оцинкованной: а–система нефть–жесть; б–система вода–жесть; в–система вода–жесть, обработанная парафином

Таблица 5

Результаты оценки углов смачивания поверхности исследованных образцов различными сортами нефти и водой

Сред. знач.	Нефть арланская	Нефть сибирская	Нефть туймазинская	Вода
Чистая сталь				
Ср.	18,6	19,1	17,5	65,5
Сталь оцинкованная, обработанная порошком из полимерного материала, нанесенного на клей «Момент»				
Ср. θ°	21,05	21,45	17,58	72,38
Сталь оцинкованная, покрытая клеем “Момент”				
Ср. θ°	19,43	22,47	24,17	71,10
Сталь оцинкованная, обработанная порошком из полимерного материала, нанесенного на клей «Силикатный»				
Ср. θ°	17,6	17,6	20	75,2
Сталь оцинкованная, покрытая клеем “Силикатный”				
Ср. θ°	14,98	19,95	18,67	11,98
Пластмасса хлорвиниловая				
Ср. θ°	22,4	23,9	24,6	69,4
Резина				
Ср. θ°	23,82	25,05	19,87	74,75
Линолеум				
Ср. θ°	24,7	21,5	22,3	77,3
Сталь оцинкованная, обработанная парафином				
Ср. θ°	–	–	–	108,03

В связи с высокой ценой нефтесборщиков типа “Магнум – 100” и возможным выходом из строя их рабочих элементов – пластмассовых барабанов – были проведены исследования по подбору ряда импортзамещающих материалов для изготовления барабанов нефтесборщиков с изучением адгезии нефти на пробных пластинах площадью 50 см² (табл.6).

Таблица 6

Удельное количество собранной нефти различными материалами, г/см²

Название поверхности	Удельное количество нефти $G_{уд.}$, г/см ²					
	горизонтальная позиция образца			вертикальная позиция образца		
	время контакта образца с нефтью, с					
	1	2	5	1	2	5
Сталь оцинкованная	0,024	0,019	0,028	0,024	0,023	0,029
Полистирол	0,051	0,045	0,044	0,058	0,064	0,065
Поливинилхлорид	0,041	0,041	0,044	0,056	0,059	0,055
Резина	0,047	0,049	0,054	0,061	0,064	0,067

Параметр $G_{уд.}$ предложено рассматривать за время единичного контакта как критерий интенсивности сбора нефти на материалах различной природы, которые можно использовать для изготовления барабанов нефтесборщиков и выражать в единицах г/см².оборот.

По данным, полученным при сборе нефти на образцах материалов методом физического моделирования, можно выполнить прогнозирование сбора нефти на рабочих элементах нефтесборщика. Так, например, при сборе нефти на образце оцинкованной жести в количестве 0,024г/см² расчетная производительность барабана при числе оборотов 23,3 об/мин и размере барабана 435 х 435 мм составляет 4 л/мин. Экспериментальная проверка работы барабана на стенде показала, что его производительность составляет 5,6 – 2,9 л/мин в зависимости от толщины слоя нефти. Следовательно, предложен адекватный метод прогнозирования эффективности нефтесбора на барабанах нефтесборщиков.

В пятой главе исследован процесс сбора нефти рабочими элементами нефтесборщиков.

Вращающиеся нефтесобирающие элементы представляют собой барабаны с адгезией продукта на поверхности обечайки, частично погруженные в воду с нефтяным слоем или собственно в слой разлитой нефти.

В табл. 7 приведены паспортные данные нефтесборщика модели «Магнум–100» с пластмассовыми барабанами .

Таблица 7

Паспортные данные нефтесборщика «Магнум –100»

Параметры	Величины
Скорость очистки водной поверхности от нефти (максимальная)	380 л/мин
Габариты нефтесборщика	177x145x46 см
Масса нефтесборщика	57 кг
Максимальная глубина погружения барабанов	8 см
Габариты барабанов	4 барабана 46x46 см
Производительность нефтесборщика	22 т/ч
При сборе нефти низкой и средней вязкости при толщине слоя 1,25 см число оборотов барабана	40 об./мин
При сборе нефти высокой вязкости при толщине слоя 1,25 см число оборотов барабана	20 об./мин
Силовая установка	Модель Д-10
Двигатель	10 л.с.
Максимальное давление в системе	156,2 атм
Габариты плавающей части нефтесборщика	144x91x99 см
Масса силовой установки	190 кг
Насос для откачки собранной нефти	Модель С2Е
Скорость откачки регулируемая (максимальная)	22,8 л/мин
Производительность насоса при напоре 15 м	500 л/мин
Производительность насоса при напоре 30 м	150 л/мин
Возможность прокачки твердых частиц размером до	2,5 см
Масса насоса	7 кг
Жидкость для привода барабанов и насоса	Масло

Исследования по сбору нефти с поверхности воды за счет адгезии барабанами проводились на пилотном стенде с использованием пластмассовых барабанов от нефтесборщика «Магнум–100» и аналогичных по размерам барабанов из оцинкованной жести.

Эксперименты показали, что при всех режимах работы, эквивалентных паспортным данным, производительность нефтесборщика «Магнум–100» при сборе маловязкой сибирской нефти с поверхности воды существенно ниже паспортных данных (22т/ч) и колебалась в зависимости от числа оборотов барабана в пределах 2 – 4,4 м³/ч при толщине слоя нефти 2,4 – 2,8 см (табл. 8). Уменьшение толщины слоя нефти приводит к снижению производительности аппарата. Как следует из результатов экспериментов (рис.6,7), рост производительности барабанов нефтесборщика «Магнум – 100» наблюдается при прочих равных условиях при увеличении числа оборотов до 40 об./мин; при дальнейшем увеличении числа оборотов производительность барабанов стабилизируется, что находится в хорошем соответствии с паспортными характеристиками нефтесборщика.

Таблица 8

Результаты испытания рабочего элемента – барабана нефтесборщика «Магнум–100» при сборе сибирской нефти с поверхности воды

Толщина слоя нефти на воде, см	Глубина погружения барабана в нефте-водный слой, см	Удельная производительность поверхности барабана, см ³ /см ²	Производительность		
			одного барабана		четырех барабанов («Магнум–100»)
			л/мин	м ³ /ч	м ³ /ч
Частота вращения барабана 60 об./мин					
2,4	5,4	0,056	18,1	1,09	4,36
1,0	3,9	0,036	11,3	0,68	2,72
0,6	3,0	0,009	2,8	0,17	0,68
Частота вращения барабана 37,4 об./мин					
2,4	5,8	0,083	17,0	1,02	4,08
1,2	4,4	0,054	10,7	0,64	2,56
0,9	3,9	0,027	5,3	0,32	1,28
Частота вращения барабана 22,6 об./мин					
2,8	5,9	0,067	8,4	0,50	2,00
2,2	5,3	0,061	7,6	0,46	1,84
1,1	4,2	0,051	6,0	0,36	1,44
0,6	3,7	0,023	2,7	0,16	0,64

В качестве основного параметра, характеризующего работу нефтесборщика при различных условиях процесса нефтесбора и позволяющего выполнять аналитическое сопоставление различных конструкций нефтесборщиков адгезионного типа, нами предложено ввести понятие удельной производительности рабочей поверхности барабана, контактирующей с собираемой нефтью за один оборот барабана, как отношение объема собранной нефти к рабочей поверхности барабана в $\text{см}^3/\text{см}^2$.

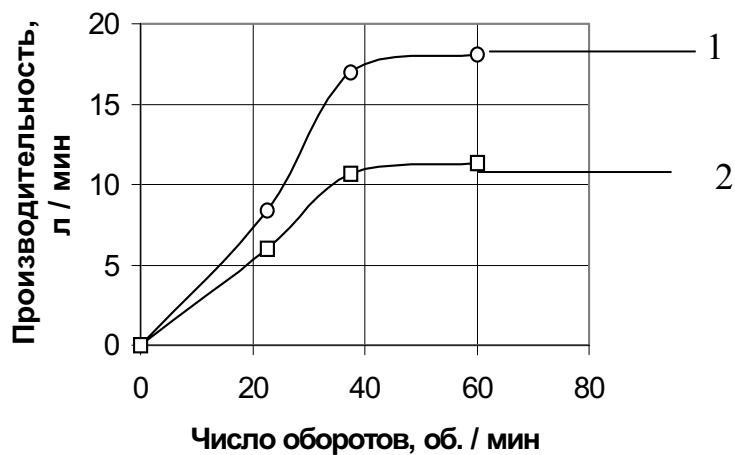


Рис.6. Зависимость производительности нефтесборщика «Магнум–100» от числа оборотов: 1–толщина слоя нефти на поверхности воды 2,4–2,8 мм; 2– толщина слоя нефти на поверхности воды 1–1,2 мм

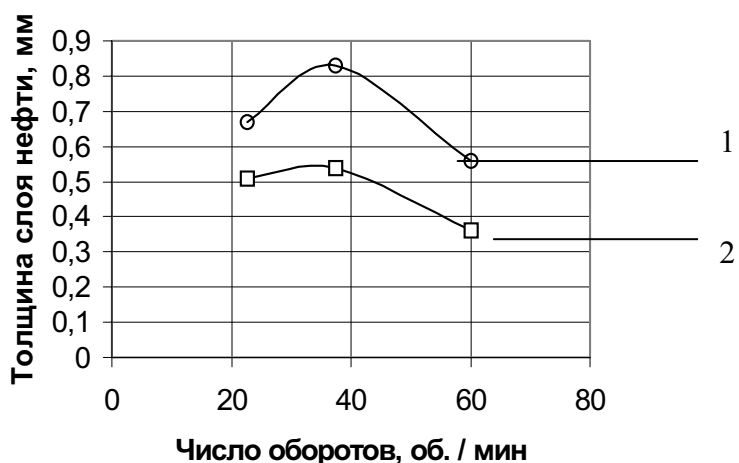


Рис.7. Зависимость толщины слоя на поверхности барабана нефтесборщика «Магнум–100» при сборе сибирской нефти от числа оборотов: 1–толщина слоя нефти на поверхности воды 2,4–2,8 мм; 2– толщина слоя нефти на поверхности воды 1–1,2 мм

Этот параметр можно также интерпретировать как толщину слоя нефти, удерживаемой за счет адгезии на поверхности барабана. Для нефтесборщиков «Магнум–

100» зависимость толщины слоя сибирской нефти от числа оборотов барабана носит экстремальный характер с достижением максимума на уровне 0,5 – 0,8 мм при 40 об./мин (рис.7).

Указанную закономерность можно объяснить исходя из двух факторов, влияющих на формирование толщины пленки на поверхности барабана – времени контакта со слоем нефти на поверхности воды τ_k и времени переноса этой пленки из зоны контакта в зону сбора нефти τ_{Π} . При медленном вращении при большой величине τ_{Π} часть сформированной на поверхности барабана пленки нефти под действием сил гравитации успевает стечь по барабану назад в слой нефти на поверхности воды; при большой скорости вращения величина τ_k мала и на нефтесобирающей поверхности барабана пленка нефти не успевает сформироваться в слой достаточно большой толщины, начинается захват и удерживание капель и пленок воды поверхностью барабана (рис.8). В этой связи максимальная удельная производительность поверхности нефтесобирающего элемента для каждого вида нефти или нефтепродукта может быть достигнута путем подбора числа оборотов агрегата, а величина удельной производительности может рассматриваться как критерий оценки эффективности работы рабочего элемента нефтесборщика и аппарата в целом.

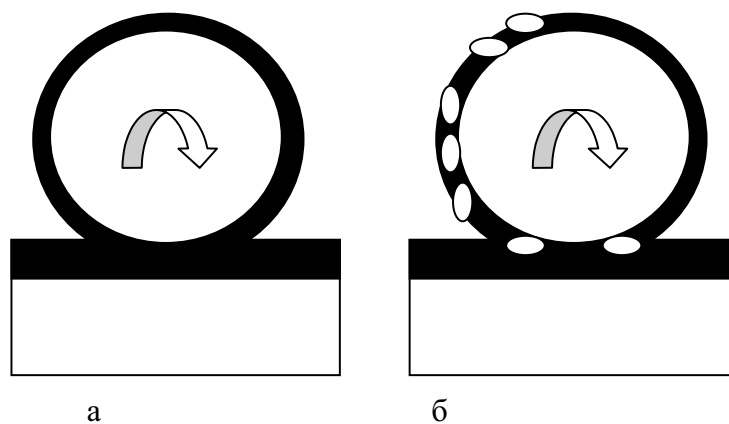


Рис.8. Схема работы барабана нефтесборщика при низком (а) и высоком (б) числе оборотов

По данным, полученным при сборе нефти на образцах материалов методом физического моделирования, можно рассчитать время контакта нефти с рабочими элементами нефтесборщика. Так, например, при сборе нефти с поверхности воды за 1 об./мин барабан контактирует с нефтью в течение 3 с, что эквивалентно углу в 360° . Расчетное время контакта нефти с нижней частью барабана при угле контакта 120° составляет 1 с (рис.9), что соответствует времени контакта с нефтью в проведенных опытах с плоскими образцами из стали.

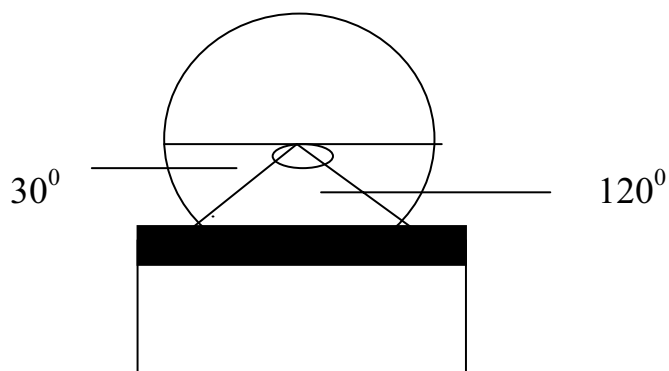


Рис.9. К расчету производительности нефтесборщика

В качестве импортзамещающего материала при изготовлении барабанов для замены пришедших в негодность барабанов нефтесборщика «Магнум–100» на базе выполненного испытания ряда материалов предложено применить оцинкованную сталь (жесть толщиной 0,8-1 мм) как относительно доступный, дешевый и легкий в обработке материал с достаточно высокой величиной адгезии нефти, приводящей к формированию на пластинах стали слоев нефти толщиной около 0,3 мм в условиях статических испытаний, хотя, например, линолеум имел большую величину адгезии.

Так как в условиях изготовления барабанов из оцинкованной стали приходилось использовать готовую оснастку предприятий, исследовано три варианта барабанов, которые имели размеры, несколько отличающиеся от размеров барабанов нефтесборщика «Магнум–100»:

- барабан № 1 диаметром 310 и длиной 390 мм с гофрированной поверхностью обечайки; изготовлен на Уфимском унитарном предприятии "Химпром" ;
- барабан № 2 диаметром 436 и длиной 437мм (наиболее близкий по размерам барабану нефтесборщика «Магнум–100»); изготовлен на Стерлитамакском заводе "Каустик";
- барабан № 3 диаметром 400 и длиной 440мм кустарного изготовления.

Барабан №1 имел гофрированную поверхность обечайки, остальные – гладкую; исходя из геометрии рабочей поверхности барабанов, предполагалось, что гофрированная поверхность обеспечит в 1,57 раза большую производительность устройства по сбору нефти по сравнению с гладкой при прочих равных условиях. С учетом некоторой разницы в размерах барабанов

можно было ожидать, например, производительность у гофрированного барабана № 1 одинаковую с производительностью существенно большего гладкого барабана № 2 при допущении одинакового характера адгезии нефти на гладкой и гофрированной поверхностях. Испытания барабанов проводились на шаимской и тюменской нефтях (табл. 9).

При сборе нефти с толщиной пленки от 1 до 2 см на барабане № 1 достигалась удельная производительность условно плоской рабочей поверхности 0,06-0,107 см³/см² (см. табл.9), в то время как в аналогичных условиях барабан от агрегата "Магнум–100" обеспечивал только 0,056-0,036 см³/см² (см. табл.8).

Практически не уступал барабану "Магнум–100" по удельной производительности (0,053-0,032 см³/см²) и барабан № 2 близкого диаметра (см. табл. 9). При этом удельная производительность барабана №1 не только оказалась, как ожидалось, близкой производительности большего барабана № 2, но даже и превосходила ее: так, например, при толщине слоя тюменской нефти 2 см и числе оборотов барабана 54,5 в мин барабан №1 имел производительность 17,4 л/мин, тогда как барабан №2 имел производительность в 1,44 раза меньшую (12,1 л/мин) , что можно объяснить неучтенной в расчетах большей удерживающей способностью по нефти впадин гофрированной поверхности барабана № 1 по сравнению с гладкой поверхностью.

Таблица 9

Результаты испытания нефтесобирающих барабанов из оцинкованной стали

Толщина слоя нефти на воде, см	Глубина погружения барабана в нефтеводный слой, см	Удельная производительность поверхности барабана, см ³ /см ²	Производительность элемента	
			л/мин	м ³ /ч
1	2	3	4	5
Барабан № 1; нефть – шаимская; скорость вращения барабана 54,5 об./мин				
2,0	5,0	0,107	20,0	1,20
1,7	4,4	0,094	17,2	1,03
1,2	3,9	0,062	11,2	0,67
0,7	3,4	0,038	6,8	0,41
Барабан № 1; нефть – тюменская; скорость вращения барабана 54,5 об./мин				
2,0	5,0	0,093	17,4	1,04
1	2	3	4	5
1,5	4,5	0,078	14,3	0,86
0,7	3,7	0,041	7,3	0,44
Барабан № 2; нефть – тюменская; скорость вращения барабана 54,5 об./мин				
3,4	5,9	0,053	15,9	0,95
2,0	4,5	0,042	12,1	0,73
1,1	3,6	0,032	9,1	0,55
0,5	3,0	0,018	4,9	0,29
Барабан № 2; нефть – тюменская, скорость вращения барабана 37,8 об./мин				
3,4	5,8	0,057	11,9	0,71
2,3	4,7	0,048	9,7	0,58
1,3	3,7	0,033	6,6	0,40

Продолжение табл. 9

1	2	3	4	5
Барабан № 2; нефть – тюменская; скорость вращения барабана 23,3 б./мин ¹				
3,4	5,8	0,041	5,3	0,32
2,8	5,2	0,040	5,1	0,31
2,1	4,5	0,037	4,6	0,28
1,4	3,8	0,033	4,0	0,24
0,8	3,2	0,025	2,9	0,17
Барабан № 3; нефть – шаимская; скорость вращения барабана 54,5 об./мин				
3,4	5,8	-	17,1	1,03
2,0	4,4	-	11,9	0,71
1,0	3,4	-	4,5	0,27
Барабан № 3; нефть – шаимская, скорость вращения барабана 37,8 об./мин				
3,2	5,6	-	10,6	0,64
2,0	4,4	-	8,3	0,50
1,2	3,6	-	6,0	0,36

При постоянстве числа оборотов барабана зависимость производительности барабанов по собранной нефти практически пропорциональна толщине слоя (рис.10). Зависимость толщины слоя нефти, удерживаемой на поверхности барабана за счет сил адгезии, от числа оборотов стального барабана (рис.11) подобна зависимости для барабанов нефтесборщика «Магнум–100», оптимальное число оборотов стальных барабанов лежит в пределах 30 – 40 об./мин и зависит от толщины слоя нефти: чем тоньше слой, тем необходимо меньшее число оборотов барабана. Стальные барабаны так же, как и пластмассовые барабаны нефтесборщиков «Магнум», обеспечивают высокую селективность нефтесбора близкую к 100%, при толщине слоя нефти не менее 0,5 см: в собираемом продукте практически нет воды даже после суточного отстоя пробы. При меньшей толщине слоя нефти начинается увлечение в собираемый продукт значительного количества воды – до 10 – 20 %.

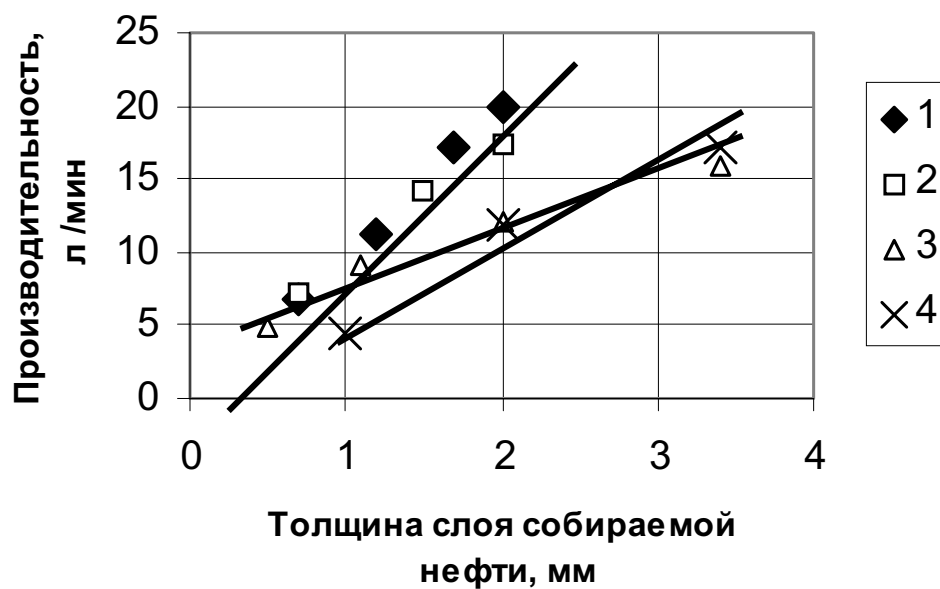


Рис. 10. Зависимость производительности барабанов из оцинкованной стали от толщины слоя нефти на поверхности воды при 54,5 об./мин: 1–барабана № 1, шаимская нефть; 2– барабана № 1, тюменская нефть; 3– барабана № 2, тюменская нефть; 4– барабана № 3, шаимская нефть

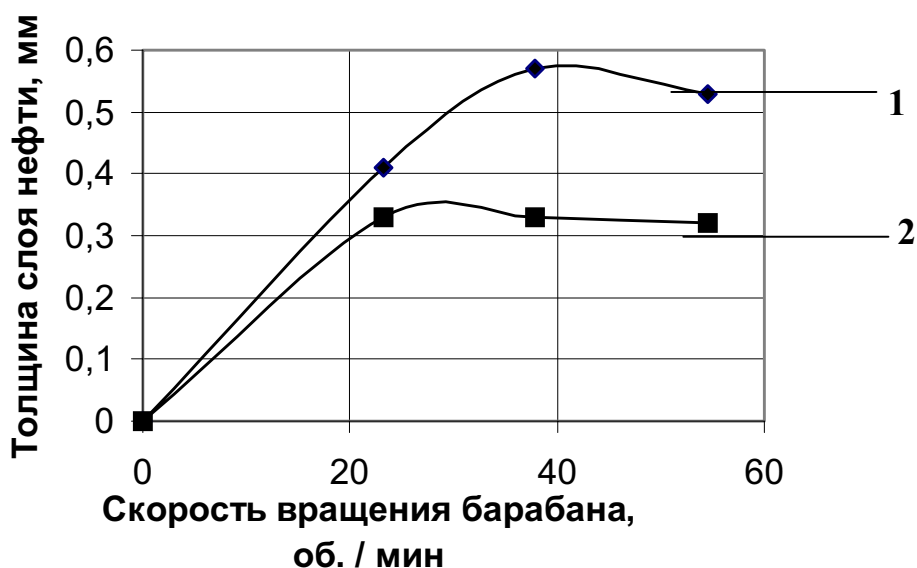


Рис.11. Зависимость толщины слоя нефти на поверхности барабана № 2 при сборе тюменской нефти от числа оборотов барабана: 1– толщина слоя нефти на поверхности воды 3,4 мм; 2– толщина слоя нефти на поверхности воды 1,1–1,4 мм

Проведенные эксперименты показали, что качественные и количественные закономерности сбора нефти на барабанах нефтесборщика «Магнум–100» и на барабанах из оцинкованной стали являются аналогичными, что позволяет считать оцинкованную сталь приемлемым конструкционным материалом для разработки нефтесобирающих барабанов отечественных нефтесборщиков и для изготовления запасных барабанов для нефтесборщиков типа «Магнум–100».

Выводы

1. С целью уточнения экологической ситуации, подбора техники и технологии ликвидации нефтяного разлива определена величина потерь нефти и нефтепродуктов за счет их испарения в воздушный бассейн в зависимости от скорости ветра и времени испарения. Составлена математическая модель кинетики испарения нефти и нефтепродуктов и определены численные значения констант испарения. Показано, что за 24 часа испарение нефти и дизельного топлива составляет 19–23%, разлив бензина испаряется полностью, что позволяет выполнять уточнение количества необходимых сил и средств при ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

2. Выполнен сопоставительный анализ эффективности барабанных пластмассовых рабочих элементов нефтесборщика типа «Магнум–100» и взаимозаменяющих барабанных элементов из оцинкованной стали. Показано, что на маловязких российских нефтях производительность нефтесборщика «Магнум–100» существенно ниже паспортных данных. Обоснована и доказана возможность замены пластмассовых барабанных элементов нефтесборщика «Магнум–100» на барабанные элементы из оцинкованной стали (изготавливаемые в промышленных условиях) с аналогичной производительностью.

3. Проведена количественная и качественная оценка влияния толщины слоя собираемой нефти и числа оборотов барабана на его производительность по собираемой нефти.

4. Предложен критерий оценки работоспособности нефтесборщиков адгезионного типа – удельная производительность материала барабана по собираемой нефти в $\text{г/см}^2 \cdot \text{оборот}$.

5. Разработана методика прогнозирования производительности нефтесборщиков адгезионного типа на базе испытания фрагментов материала барабанов по величине адгезии нефти на их поверхности.

6. Исследование в качестве рабочих элементов синтетических полимерных материалов (пластмассы, резины и линолеума) показало, что из изученных материалов линолеум обладает повышенной адгезией по отношению к нефти на уровне 0,06 – 0,07 г/см², то есть он способен собирать нефть почти вдвое эффективнее, чем полимерный материал, из которого изготовлены барабаны нефтесборщика “Магнум – 100” (США), имеющего величину адгезии в среднем на уровне 0,03 – 0,05 г/см².

7. Рассмотрены особенности механизма сбора нефти нефтесборщиками адгезионного типа и показано, что селективность нефтесбора определяется большей величиной угла смачивания воды (65–108°) по сравнению с нефтью (17–25°).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Лебедич С.П., Консейсао А.А.да. Оценка загрязнения воздушного бассейна при испарении нефтепродуктов при их аварийных разливах //Тез. докл. III Всеукраїнської науково– методичної конференції з міжнародним участю “Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічно чистих технологій”. – Дніпродзержинськ, 2000. – С.153-154.

2. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Консейсао А.А.да. Моделирование процесса испарения нефтепродуктов при их аварийных разливах //Наука и технология углеводородных дисперсных систем: Тез. докл. II Международного симпозиума.– Уфа, 2000. – С.240–242.

3. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Мухутдинов Р.Х., Консейсао А.А.да. Исследование сбора разлитой нефти адгезионным методом //Высокие технологии в экологии: Труды 4-й Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2001. – С.202-206.

4. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Мухутдинов Р.Х., Консейсао А.А.да. Исследования в области сбора разлитой нефти адгезионным методом //На пути к устойчивому развитию регионов: Материалы Международной технической конференции.–Уфа, 2001. – С.54-57.

5. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Мухутдинов Р.Х., Консейсао А.А.да. Стендовые испытания барабанных рабочих элементов нефтесборщиков адгезионного типа //Теория и практика массообменных процессов химической технологии: Тез докл. 5-й региональной научно–практической конференции.– Уфа, 2001. – С.177.

6. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Консейсао А.А.да. Оценка загрязнения воздушного бассейна при испарении нефтепродуктов при их аварийных разливах // Качество–стратегия XXI в.: Тез. докл. II Международной научной конференции. –Томск, 2000.– С.76–77.

7. Консейсао А.А.да, Пайкин Е.А. Сопоставление материалов для рабочих элементов нефтесборщиков по адгезионным характеристикам // Экологическая безопасность и устойчивое развитие: Материалы V Международной экологической конференции студентов и молодых ученых.– М., 2001.– С.337–340.