

Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет
Институт механизации и технического сервиса
Направление «Агроинженерия»
Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

Тема ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧИСТОТЫ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ЗА-
ПРАВКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХ-
НИКИ

Магистрант студент


подпись

Шамсутдинов А.А.

Ф.И.О.

Руководитель профессор
ученое звание


подпись

И.Г.Галиев

Ф.И.О.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(протокол № 10 от 31 января 2020 года)

Зав. кафедрой профессор
ученое звание


подпись

Н.Р.Адигамов

Ф.И.О.

Казань – 2020 г.

Аннотация

к магистерской диссертации Шамсутдинова А.А. на тему: «Обеспечение чистоты дизельного топлива при заправке сельскохозяйственной и транспортной техники»

ВКР содержит пояснительную записку на 86 страниц машинописного текста. Пояснительная записка содержит введение, три раздела, выводы, 9 рисунков, 14 таблиц. Используются 67 литературных источников.

Первый раздел состоит из анализа состояния вопроса, анализа загрязняемости нефтепродуктов, приведен анализ влияния чистоты топлива на работоспособность двигателя.

Второй раздел содержит теоретическую основу очистки дизельного топлива от механических примесей и воды с применением трехступенчатого фильтра.

Третий раздел содержит программу и экспериментальное исследование, результаты исследований и рекомендации производству.

В завершении пояснительной записки приведен выводы и предложения для производства.

Annotation

to the master's dissertation of Shamsutdinov A.A. On the theme:
"Ensuring the purity of diesel fuel when refueling agricultural
and transport equipment "

The master's thesis contains an explanatory note of 86 pages of typewritten text. The explanatory note contains an introduction, three sections, conclusions, 9 figures, and 14 tables. 67 literary sources were used.

The first section consists of analysis of issue analysis of pollution of oil products, the influence of the purity of the fuel on engine performance.

The second section contains the theoretical basis for cleaning diesel fuel from mechanical impurities and water using a three-stage filter.

The third section contains the program and experimental research, research results, and recommendations for production.

At the end of the explanatory note, conclusions and suggestions for production are provided.

Оглавление

Аннотация	2
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1. Анализ изменения качества нефтепродуктов при транспортировке и заправке.....	9
1.2. Анализ влияния наличия загрязнений в дизельном топливе на показатели надежности двигателя внутреннего сгорания.....	13
1.3. Анализ методов обеспечения чистоты топлива в процессах транспортировке и заправке	19
1.4. Обзор и характеристики фильтрующих элементов для очистки нефтепродуктов.....	24
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕХСТУПЕНЧАТОГО ФИЛЬТРА	29
2.1. Теоретические основы появления и накопления механических примесей во время хранения дизельного топлива	29
2.3. Теоретические основы разработки устройства для трехступенчатой очистки дизельного топлива при заправке мобильной техники.....	38
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	48
3.1. Анализ и выбор оценочных показателей состояния загрязненности топлива.....	48
3.2. Оценка эксплуатационных свойств фильтрующих перегородок	48
3.3. Методика исследования пористых материалов методом сушки анализируемого образца.....	53
3.4. Исследование фактического состояния топлива.....	53
3.5. Состав и структура трехступенчатого фильтра.....	55

3.6. Результаты эксплуатационных испытаний устройства для комплексной очистки дизельного топлива.....	68
3.7. Основные рекомендации производству по обеспечению чистоты дизельного топлива.....	71
3.8. Техничко-экономическая оценка результатов исследований.....	76
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	77

ВВЕДЕНИЕ

В сельском хозяйстве используется большое количество топлив и масел различного назначения, от качества которых напрямую зависит работоспособность сельскохозяйственных машин и агрегатов. Повышение долговечности и надежности техники при работе на углеводородных топливах и маслах достигается путем улучшения их конструкции, а также повышением эксплуатационных показателей топлив и масел, из которых одним из важнейших является содержание в этих продуктах механических примесей, эмульсионной воды и других загрязнений, то есть их чистота.

Конструкция современных двигателей внутреннего сгорания, топливных, масляных, гидравлических систем и других агрегатов сельскохозяйственной техники предъявляет все более жесткие требования к чистоте применяемых при их эксплуатации рабочих жидкостей, топлив и масел, от которой на 70% зависит надежность и безотказность работы указанных агрегатов и систем. Используемые в настоящее время средства очистки топлив и масел не в полной мере удовлетворяют современным требованиям по технико-экономическим и эксплуатационным показателям. Например, зазоры в прецизионных парах топливной аппаратуры современных двигателей составляют 5-20 мкм, а фильтры, устанавливаемые на двигателях должны иметь малые габаритные размеры, что ограничивает их тонкость очистки и грязеемкость. Поэтому операции по очистке топлив и масел производятся при заправке машин, что вызывает необходимость использования более эффективных средств. Применение для этой цели новых пористых материалов и разработка на их основе более совершенных конструкций фильтров позволит значительно увеличить срок службы сельскохозяйственной техники, снизить потери от её простоев, уменьшить затраты на её ремонт и техническое обслуживание.

Поскольку из всей номенклатуры топливно-смазочных материалов максимальный объем потребления в сфере сельскохозяйственного производства

приходится на долю дизельного топлива [10-13], данное исследование посвящено анализу причин и источников загрязнения дизельного топлива, а также повышению эффективности его комплексной очистки от различного вида загрязнений путём применения современных пористых материалов и разработки на их основе технических средств для очистки дизельного топлива при заправке техники.

Исследованиям в области очистки от загрязнений различных нефтепродуктов, в том числе и дизельного топлива, посвящены труды Г.Ф.Большакова, Г.В.Борисовой, Г.С.Бродского, М.А.Григорьева, Б.С.Квашнина, В.П.Коваленко, А.С.Полякова, А.И.Руденко, К.В.Рыбакова, А.В.Симоненко, Э.И.Удлера, З.Л.Финкельштейна и многих других учёных. В работах перечисленных авторов и других исследователей содержатся результаты теоретических и экспериментальных исследований загрязнённости дизельного топлива и методов его очистки, которые послужили отправным пунктом при выполнении данной работы.

Цель работы: повышение эффективности очистки дизельного топлива от механических примесей при заправке сельскохозяйственных и транспортных машин.

Научная новизна работы заключается в нахождении закономерностей процессов накопления твёрдых загрязнений в дизельном топливе при транспортно-складских и заправочных операциях на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий, в исследовании механизма образования в топливе загрязнений, в теоретическом обосновании конструкции устройства для трехступенчатой очистки дизельного топлива при заправке мобильной техники и в экспериментальном подтверждении эффективности использования этого устройства.

Объект исследования: перспективные конструкции средств комплексной очистки дизельного топлива при заправке мобильной техники, обладающие оптимальными технико-экономическими характеристиками.

Предмет исследования: процессы образования загрязнений в дизельном топливе при транспортно-складских и заправочных операциях и процессы его очистки от механических примесей.

Практическая ценность работы заключается в разработке конструкции устройства для трехступенчатой очистки дизельного топлива при заправке мобильной техники и рекомендаций по предотвращению образования в дизельном топливе продуктов окисления углеводородов при сливно-наливных и заправочных операциях.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Анализ изменения качества нефтепродуктов при транспортировке и заправке

В современных условиях успешное нефтепродуктообеспечение сельскохозяйственных объектов невозможно без оснащения всей инфраструктуры средствами очистки моторных топлив от воды, продуктов окисления и механических примесей.

Из анализа данных, приведенных в работе [1, 67], можно сделать выводы о причинах и источниках загрязнения топлива, к которым относятся:

попадание в средства хранения и транспортировки механических примесей из атмосферы;

накопление продуктов коррозии и нерастворимых продуктов окисления топлива в средствах хранения;

перекачка топлива по загрязненным рукавам и трубопроводам;

неудовлетворительное состояние заправочных средств и несоблюдение технологии заправочных операций.

Количественный и качественный состав находящихся в топливе различного вида загрязнений, классификация которых представлена на рис. 1.1 определяется физико-химическими свойствами нефтепродуктов, техническим состоянием и условиями эксплуатации технических средств для их транспортирования, хранения и заправки мобильной техники.

За последние 20 лет на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий техническое состояние технологического оборудования (резервуаров, трубопроводных коммуникаций, топливораздаточных колонок и т.п.), а также подвижных средств транспортирования и заправки значительно ухудшилось из-

за недостаточного финансирования мероприятий по их техническому обслуживанию, ремонту и замене. Из анализа данных, представленных в работе [2],

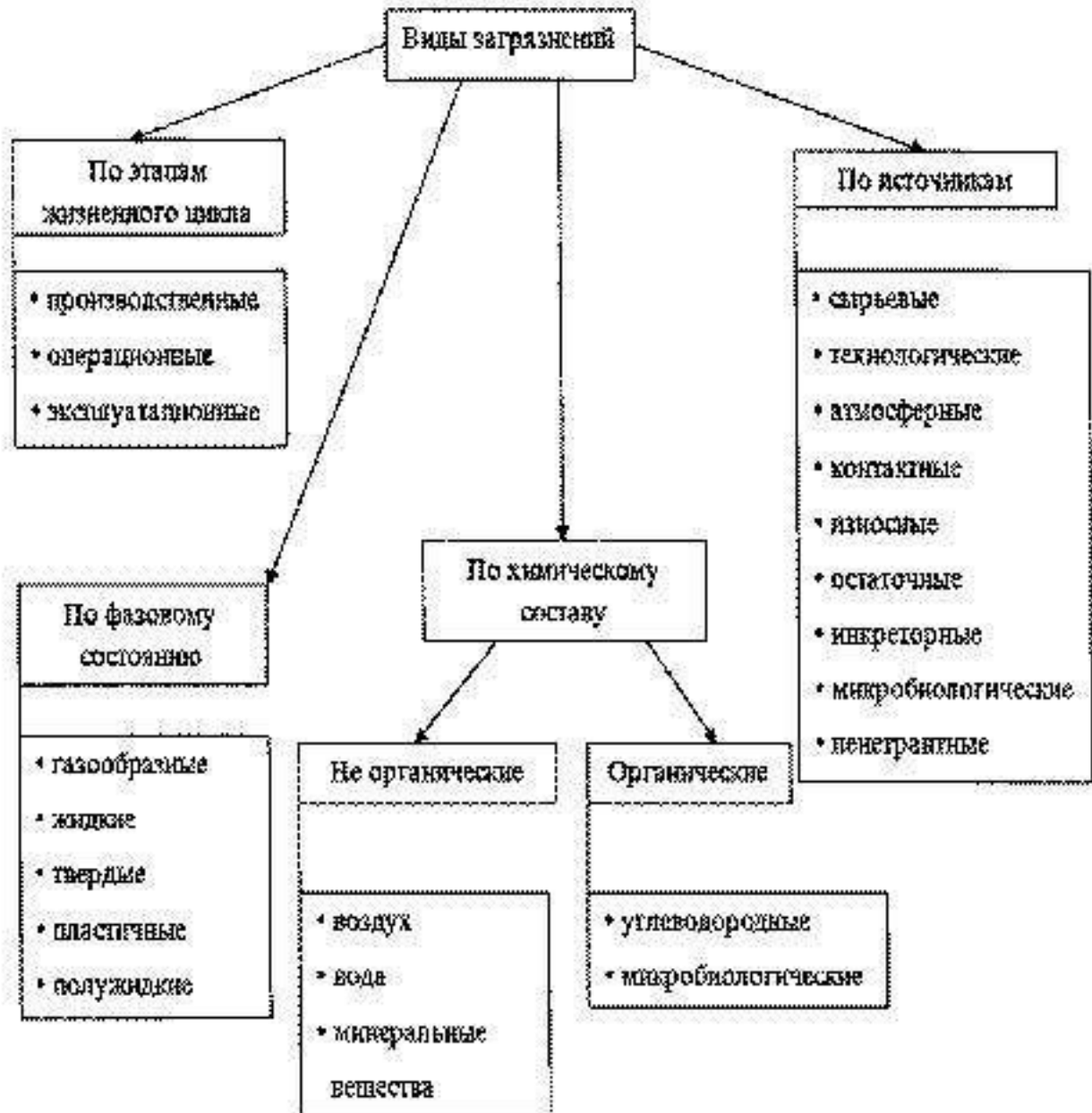


Рисунок 1.1 — Классификация загрязнений нефтепродуктов

видно, что в сельском хозяйстве РФ около 75% оборудования выслужило установленный срок эксплуатации, в том числе 52 % всего оборудования находится в эксплуатации более 40 лет, 13% - от 30 до 40 лет, 15% - от 20 до 30 лет, и только 19% находятся в эксплуатации до 20 лет.

Анализ состояния технологического оборудования нефтескладов и стационарных заправочных пунктов [72], а также подвижных средств заправки

и транспортирования нефтепродуктов позволяет сделать вывод, что качество топлива на указанных объектах в должной степени не обеспечивается, так как это оборудование морально и физически устарело и имеет высокий процент износа, что, в свою очередь, вызывает накопление в топливе продуктов коррозии, атмосферной пыли и прочих загрязнений, а также его обводнение и образование в нём смол и других продуктов окисления углеводородов нефтяного происхождения.

По данным, приведенным в работе [1], топливо в процессе транспортирования, хранения и заправки техники загрязняется механическими примесями, концентрация которых в среднем составляет от 100 до 200 г на тонну, и иногда достигает до 630 г на тонну. Загрязненность топлива в процессе выполнения основных технологических операций на нефтебазах, стационарных заправочных пунктах и при транспортировании показана в таблице 1.1.

Таблица 1.1. - Загрязненность дизельного топлива при транспортировании, хранении и заправке в летний период (средняя климатическая зона).

Технологические операции	Содержание загрязнений, %
Нефтесклад:	
а) содержание в железнодорожной цистерне	0,002
б) после слива в резервуар	0,003
в) при выдаче через раздаточный агрегат	0,001
Автомобильная цистерна:	
а) после налива	0,004
б) после транспортирования	0,005
в) при сливе из сливного устройства	0,0056
Стационарный пункт заправки:	
а) в резервуаре	0,012

Технологические операции	Содержание загрязнений, %
б) заправка через фильтр	0,0025
в) заправка без фильтра	0,009

В Российской Федерации 80% дизельного топлива выпускается по ГОСТ 305-82 [3], который регламентирует отсутствие в топливе механических загрязнений и воды, однако предусмотренные этим документом методы определения указанных показателей обладают недостаточной чувствительностью (нижний предел измерений содержания механических примесей - 0,005 % [4] и не дают реальной картины загрязнённости топлива. Принят также ГОСТ 52368-2005[6], который соответствует европейскому стандарту EN 590:2004 (табл. 1.2), но в настоящее время по нему на территории нашей страны производится менее 20% всего дизельного топлива. Данный стандарт указывает нормы содержания в дизельном топливе механических примесей и воды в состоянии поставки потребителю, но фактическое содержание этих загрязнений значительно превышает указанные нормы.

Таблица 1.2. - Физико-химические показатели дизельного топлива ЕВРО согласно ГОСТ 52368-2005 (EN 590:2004) [6]

Показатели	Размерность	Значения	
		Минимальные	Максимальные
Плотность при 15 °С	кг/м ³	820	845
Кинематическая вязкость при 40 °С	мм ² /с	2,0	4,5
Температура вспышки	град	55	-
Содержание серы	мг/кг		
I			350,0
II			50,0

III			10,0
Коксуемость остатка (10 %)	%	-	0,3
Цетановое число	—	51	
Зольность	%	-	0,01
Содержание воды	мг/кг	-	200
Содержание загрязнений	мг/кг	-	24
Окислительная стабильность	г/м ³ (осадка)	-	25
Коррозия медной пластинки	класс	I	

Для радикального решения вопросов обеспечения чистоты дизельного топлива необходимо исследовать возможность применения современных методов его очистки и создать на их основе систему очистки дизельного топлива при заправочных операциях.

1.2. Анализ влияния наличия загрязнений в дизельном топливе на показатели надежности двигателя внутреннего сгорания

Коэффициент полезного действия дизельных двигателей, их экономичность и надежность напрямую зависят от технического состояния топливной аппаратуры, которая, в свою очередь, определяется уровнем чистоты дизельного топлива.

На протяжении всего жизненного цикла дизельного топлива, с момента его отгрузки с нефтеперерабатывающего предприятия и до потребления при эксплуатации техники, оно подвергается воздействию различных факторов, вызывающих его загрязнение, что приводит к ухудшению его качества.

Наличие механических примесей в дизельном топливе отрицательно сказывается на работе топливной аппаратуры [7]. Нарботка топливной аппаратуры до первого отказа составляет 1932 ± 210 м.ч., до первого ремонта 2960 ± 270 м.ч., а после ремонта срок службы уменьшается в два раза. Низкий срок

службы топливной аппаратуры свидетельствует о недостаточной очистке топлива, так как на чистом топливе топливная аппаратура работает безотказно в течение от 5500 до 7000 м.ч. В частности, зазор между плунжером и гильзой нового топливного насоса высокого давления составляет от 1,5 до 5 мкм, а после эксплуатации достигает 15 мкм. С увеличением износа плунжерных пар ухудшаются процессы подачи топлива и его сгорания, увеличивается продолжительность впрыска топлива и период задержки его воспламенения. Это вызывает жёсткую работу двигателя из-за перегрева, уменьшение давления впрыска топлива, что приводит к снижению эксплуатационных характеристик двигателя и повышению токсичности выхлопных газов. Уже при увеличении зазора между плунжером и гильзой топливного насоса с 1,5 до 7 мкм утечка топлива через этот зазор увеличивается почти в 20 раз, угол начала подачи топлива в цилиндры двигателя возрастает на 9 градусов, удельный индикаторный расход топлива возрастает с 53 до 57 г.

От тонкости очистки дизельного топлива зависит срок службы плунжерных пар, увеличиваясь при тонкости очистки 24 мкм в 1,3 раза, при тонкости очистки 19 мкм - в 1,8 раза, при тонкости очистки 13 мкм - в 3,5 раза и при тонкости очистки 5 мкм - в 8,5 раза по сравнению с работой на неочищенном топливе [95].

Наличие механических примесей в дизельном топливе приводит к закупорке фильтрующих элементов фильтров и плунжеров форсунок продуктами коррозии, эрозии наконечников форсунок; ускоренному износу гильз и поршневых колец, загрязнению топлива микроорганизмами, что снижает срок службы фильтров, топливных насосов и форсунок и увеличивает эксплуатационные расходы. Чаще всего выходят из строя фильтры, форсунки, полированные стальные поверхности, разрушаются перемычки между канавками поршневых колец и ротор турбонагнетателя. Одновременно вода способствует коагуляции твердых частиц.

Основные факторы влияния изменения качества дизельного топлива на работу двигателя приведены в таблице 1.3. [8]. Из приведенных данных видно, что многие показатели качества дизельного топлива, изменение которых отрицательно влияет на работу двигателя, непосредственно связаны с присутствием в топливе механических примесей и воды. Это относится к таким показателям, как зольность, коксуемость, коэффициент фильтруемости, концентрация фактических смол, кислотность, температура помутнения.

Таблица 1.3- Влияние изменения качества дизельного топлива на работу двигателя

Наименование показателя качества	Изменение показателя	Нарушения в работе двигателя
Температура застывания	Л -4°С З -31°С	Ухудшение подачи топлива и прекращение работы дизеля.
Содержание общей серы	З вида 1 - более 0,20% З вида 2 - более 0,05%	Коррозия металлических деталей аппаратуры и двигателя, связанные с образованием агрессивных веществ (SO_2 , SO_3) в продуктах сгорания. Повышенный износ. Образование отложений.
Содержание меркаптановой серы		Коррозия топливной системы. Повышенный износ аппаратуры и ЦПГ
Концентрация фактических смол	Выше 45 мг/100см ³	Увеличение отложений в топливной системе и камере сгорания. Образование осадков на фильтре, в трубопроводах в топливном баке.

Наименование показателя качества	Изменение показателя	Нарушения в работе двигателя
Кислотность	Выше 6 мг КОН на 100 см ³	Возрастание коррозионной активности и склонности к образованию отложений в системе питания и камере сгорания.
Зольность	Выше 0,01%	Образование минеральных примесей (в т. ч. и зольных присадок). Образование отложений в камере сгорания и твердых частиц в продуктах сгорания
Коксуемость 10% остатка	Выше 0,30%	Повышенная склонность к нагарообразованию. Увеличение отложений в камере сгорания. Снижение полноты сгорания, снижение экономичности и повышенный износ ЦПГ.
Коэффициент фильтруемости	Выше 3	Ухудшение подачи, увеличение износа деталей топливной аппаратуры.

Смолистые вещества, содержащиеся в топливе, значительно ухудшают его качество и снижают надежность работы двигателя. Отложения на впускных трубопроводах и клапанах, они приводят к уменьшению мощности и экономичности двигателя, а затем могут вызвать его аварийную остановку. С увеличением количества смолистых веществ повышается нагарообразование в камерах двигателей.

Количество отложений в двигателях и срок их эксплуатации до появления неисправностей прямо пропорциональны содержанию смолистых веществ в топливе (таб. 1.4) [9].

Наибольшее количество отложений образуется при 50 - 100 °С. На количество отложений в двигателях влияют не только содержащиеся в топливе фактические смолы, но и непредельные углеводороды, которые образуют смолистые вещества в процессе испарения во впускных трубопроводах (таблица 1.5) [9].

Таблица 1.4. - Влияние содержания смол в дизельном топливе на работоспособность двигателя

Содержание фактических смол, мг/100 мл	Возможный пробег автомобилей до появления неисправностей, км	Количество отложений во впускном трубопроводе, мг
До 10	Более 30 000	40
11 - 15	25 000	60
16 - 20	16 000	130
21 - 25	8 000	240
26 - 50	5 000	420
51 - 120	2 000	-

Таблица 1.5- Зависимость образования отложений на впускном трубопроводе от процентного содержания непредельных углеводородов в топливе.

Содержание непредельных углеводородов, %	Количество отложений во впускном трубопроводе, мг
11	54
5	40
4	30
3	20
2	10
1	2

В двигателях количество нагара увеличивается с увеличением содержания смолистых веществ. Смолы сильно увеличивают образование нагара в камерах сгорания дизелей (табл. 1.6) [9].

Таблица 1.6- Нагарообразование в дизельных двигателях в зависимости от содержания смол в топливе

Содержание смол, мг/100 мл	Количество нагара, мг		
	На гильзе ЯМЗ - 204	На кольцах	
		ЯМЗ - 204	ДТ - 75
70	2	21	45
80	3	25	50
90	5	35	58
100	9	44	61

Нагар вызывает закоксовывание распылителей форсунок, засорение продувочных окон цилиндров, абразивный износ цилиндропоршневой группы двигателя, вызывает его перегрев из-за ухудшения температурного режима работы. В результате мощность двигателя существенно уменьшается, возникает опасность возникновения аварийных поломок [9].

Одним из наиболее важных эксплуатационных свойств современных дизельных топлив является прокачиваемость, на которую влияет химический и углеводородный состав топлива. На прокачиваемость топлива в системах питания двигателей мобильной техники влияет наличие в нём воды, механических примесей, смолистых веществ, мыл нафтеновых кислот, а также несовместимость присадок, улучшающих другие эксплуатационные свойства [14]. Увеличение содержания этих веществ в топливе существенно снижает эксплуатационные показатели дизелей, может привести к их отказам и вызывает ухудшение экологического состояния окружающей среды

Анализ влияния загрязнённости дизельного топлива на процесс эксплуатации сельскохозяйственной техники подтверждает необходимость разработки и внедрения более эффективных способов и средств его очистки от всех видов загрязнений.

1.3. Анализ методов обеспечения чистоты топлива в процессах транспортировки и заправке

Повышение надежности и долговечности дизельного двигателя и его топливной системы непосредственно зависит от применения эффективных методов и средств очистки применяемого топлива. С увеличением мощности двигателей сельскохозяйственной техники и усложнением их конструкции возрастают требования к устройствам для очистки топлива, а именно к таким эксплуатационным показателям этих устройств, как тонкость очистки, пропускная способность, энергоёмкость, стоимость, трудоёмкость обслуживания.

В настоящее время в качестве устройств для очистки различных углеводородных топлив широкое распространение получили разнообразные фильтры, для изготовления фильтрующих элементов которых используется картон, бумага, ткани из натуральных и синтетических волокон, нетканые материалы, металлические сетки, пористые полимеры и т.д. [98]. Применяются также силовые очистители, действие которых основано на использовании различных силовых полей - гравитационного, центробежного, магнитного, электрического и т.п. Существующие устройства для очистки топлива не всегда обладают необходимой тонкостью очистки, зачастую имеют недостаточную пропускную способность, низкую грязеемкость, высокую стоимость и другие недостатки, что ограничивает область их применения.

Для сравнительного анализа эффективности различных методов очистки углеводородных топлив от загрязнений следует рассмотреть перечисленные выше эксплуатационные показатели устройств, применяемых при реализации этих методов. К таким показателям относятся:

тонкость очистки $d_{\text{ог}}$ (мкм), т.е. минимальный характерный размер частицы загрязнения, которая может быть удалена из топлива с помощью данного очистителя;

пропускная способность Π , м³/с, определяемую по зависимости:

$$\Pi = \frac{Q_{\text{ог}}}{n} \quad (1.1)$$

где $Q_{\text{ог}}$ - максимальный расход топлива через очиститель, м³/с; n - число проходов топлива через очиститель, необходимое для достижения заданного уровня её чистоты.

удельная стоимость очистки жидкости $C_{\text{рв}}$, руб/м³;

удельная энергоёмкость процесса очистки $\mathcal{E}_{\text{рв}}$, Дж/м³, т.е. суммарная мощность, потребляемая очистителем, отнесенная к количеству очищенного топлива.

При фильтровании энергия затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления пористой перегородки, при центробежной очистке в центрифугах - на привод ротора, а в гидроциклонах - на формирование потока жидкости в устройстве; при использовании магнитных и электрических очистителей энергия затрачивается на создание соответствующих силовых полей.

При сравнении эксплуатационных показателей средств очистки дизельного топлива считаем, что объем очищаемой жидкости и ее температура одинаковы для всех рассматриваемых типов очистителей.

Среди существующих методов очистки углеводородных топлив наиболее широкое распространение получили гравитационная очистка (отстаивание), фильтрование, центробежная очистка и очистка в магнитном поле [96].

Гравитационная очистка топлива является наиболее простым методом, основанным на осаждении механических частиц и микрокапель воды под действием силы тяжести. Этот метод применяется, главным образом, для предварительной очистки топлива при его хранении на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий, перед выдачей топлива потребителям. К недостаткам этого метода относятся длительность процесса очистки и возможность удаления только достаточно крупных частиц загрязнений (с размерами свыше 20-25 мкм).

Фильтрование является наиболее широко распространённым методом очистки топлива в сфере сельскохозяйственного производства и заключается в удалении частиц механических примесей и других загрязнений путем пропускания очищаемой жидкости через пористые перегородки.

Центробежная очистка, для осуществления которой используются гидроциклоны или центрифуги, основана на разделении неоднородных смесей (суспензий или эмульсий) под действием центробежной силы. Недостатком центробежной очистки в неподвижных аппаратах (гидроциклонах) является недостаточная тонкость, а в аппаратах с вращающимся ротором (центрифугах) - довольно сложное устройство и необходимость квалифицированного обслуживания, а также потребность в постороннем источнике энергии.

Магнитная очистка служит для удаления из топлива ферромагнитных частиц, что ограничивает область применения этого метода.

Для удаления из дизельного топлива и из других нефтепродуктов продуктов окисления углеводородов до настоящего времени применялись практически только различные методы, основанные на химических и физико-химических процессах. Химические методы заключаются в применении различ-

ных веществ, вступающих с имеющимися в дизельном топливе органическими загрязнениями в химические реакции, и последующем удалении из топлива продуктов, образовавшихся в результате этих реакций. Физико-химические методы основаны на процессах коагуляции, адсорбции или селективного растворения органических загрязнений. Разновидностью адсорбционных процессов является ионообменный процесс. Эти методы, используемые в сфере нефтепереработки, не нашли применения при эксплуатации техники в различных отраслях экономики, в том числе и в сельском хозяйстве. Физические методы очистки дизельного топлива от продуктов окисления углеводородов не применяются и требуют разработки.

На основании анализа проведенных исследований [1-8], с учетом зависимостей (1.1) произведена сравнительная оценка существующих методов очистки топлива по основным эксплуатационным показателям (табл. 1.7).

Рассмотрение наиболее распространенных методов очистки дизельного топлива показало, что при заправки техники в сфере сельскохозяйственного производства целесообразно использовать фильтры, являющиеся малозатратными и достаточно высокопроизводительными устройствами, эффективность применения которых связана практически только с соотношением между размерами задерживаемых частиц и размером пор фильтрационной перегородки. Фильтры просты по конструкции и могут эксплуатироваться в широком диапазоне рабочих давлений.

Таблица 1.7- Эксплуатационные показатели некоторых средств очистки углеводородных топлив

Метод очистки	Тип очистителя	Показатели средств очистки			
		Тонкость очистки, $\cdot 10^{-6}$	Пропускная способность, $\text{м}^3/\text{с}$	Мощность, $\text{Вт} \cdot 10^3$	Энергоемкость, $\text{Дж}/\text{м} \cdot 10^6$
Фильтрация	Сетчатые фильтры	80-40	$2,09 \cdot 10^{-3}$ $6,7 \cdot 10^{-3}$	0,73 2,345	0,35 0,35
	Бумажные	5	$0,42 \cdot 10^{-3}$	0,105	0,25
Магнитный	-	6-80	$6,7 \cdot 10^{-3}$	40,2	6,0
Центробежный	Центрифуга: - реактивный привод	5-10	$0,2 \cdot 10^{-3}$	0,16	3,2
	- активный привод	3-5	$0,84 \cdot 10^{-3}$	0,168	0,8
Гравитационный	Резервуар-отстойник	90-120	$0,26 \cdot 10^{-3}$	-	-

Недостаток фильтров, связанный с периодичностью их работы, можно устранить путём использования гидродинамического эффекта, заключающегося в том, что подвод жидкости к фильтрационной перегородке осуществляется параллельно её поверхности, и задержанные на

этой поверхности загрязнения удаляются с неё потоком жидкости. Использование гидродинамического эффекта даёт возможность повысить тонкость очистки дизельного топлива без уменьшения размера пор фильтрующего элемента, то есть без увеличения его гидравлического сопротивления, повысить ресурс его работы и обеспечить эффективное очистку топлива. Следует изучить возможность применения указанного метода для удаления из топлива органических загрязнений, используя в качестве фильтрующей перегородки современные пористые материалы, обладающие гидрофобными и смолоотделяющими свойствами.

1.4. Обзор и характеристики фильтрующих элементов для очистки нефтепродуктов

Как показано в разделе 1.4, фильтрование является эффективным и доступным методом восстановления качества дизельных топлив, с помощью которого можно эффективно удалять из топлива механические примеси. Фильтрование нефтепродуктов широко применяют на нефтебазах и нефтескладах, на топливозаправочных пунктах и в подвижных средствах заправки, в топливных системах транспортных машин и сельскохозяйственной техники, разработаны также фильтры-сепараторы (фильтры-водоотделители) для удаления из топлива эмульсионной воды, однако эти устройства имеют довольно сложную многоступенчатую конструкцию. Вопросы удаления из дизельного топлива смол и других органических загрязнений методом фильтрования не решены.

Степень очистки нефтепродуктов от загрязнений определяется конструкцией применяемых фильтров и свойствами фильтрационных материалов.

В процессе фильтрования твердые частицы загрязнений задерживаются на поверхности фильтрующей перегородки и проникают в ее поры. При использовании фильтров традиционной конструкции, в которых поток очищаемой жидкости направлен перпендикулярно к рабочей поверхности пористой перегородки, возможны следующие виды фильтрования с полным закупориванием пор; с постепенным закупориванием каждой поры многими твердыми частицами; с образованием осадка, промежуточный (с образованием над порами сводов). Для нефтепродуктов, которые представляют собой малоконцентрированные суспензии, процесс фильтрования может происходить одновременно по нескольким видам.

Следует учитывать, что при фильтровании происходит не просто механическое закупоривание пор фильтра твердыми частицами, а довольно сложное физико-химическое взаимодействие частиц загрязнений, топлива и материала фильтрационной перегородки. При использовании традиционных фильтрующих материалов это взаимодействие проявляется на макроуровне.

К фильтрующим материалам предъявляется ряд общих требований, которые включают: способность задерживать твердые частицы загрязнений и микрокапли воды в обусловленных пределах, создание небольшого гидравлического сопротивления при максимальной удельной пропускной способности; обеспечение многократной регенерации по достижении предельного перепада давления; стабильность физико-химических, механических свойств и сохранение геометрических размеров при контакте с очищаемым топливом и при воздействии внешних (ударных, тепловых, вибрационных и т.п.) нагрузок; высокий ресурс работы; отсутствие воздействия на физико-химические свойства очищаемого топлива; возможность утилизации после использования без загрязнения окружающей среды; наличие хороших технологических свойств при изготовлении фильтрующих элементов; невысокая стоимость и доступная сырьевая база.

Эксплуатационные свойства фильтрующих материалов оцениваются количественными показателями, к которым относится максимальный или средний размер пор материала и максимальный размер частиц, прошедших через его поры, коэффициент отфильтровывания, коэффициент пропускания, номинальная тонкость фильтрования, тонкость отсева, полнота отсева, поровая структура материала. Эти показатели неоднозначно характеризуют качество фильтрующих материалов. Так, полнота отсева загрязнений, характеризуемая массовым или объемным коэффициентом отсева, не несет информации о дисперсном составе загрязнений.

Попытки связать оценку фильтрующих свойств фильтров с распределением пор по размерам пока не увенчались успехом, что объясняется отсутствием надежных методов определения поровой структуры фильтрующих материалов.

Номинальная тонкость фильтрования и полнота отсева могут быть оценены коэффициентами отфильтровывания или пропускания. При оценке фильтрующих материалов по этим показателям частицы, размеры которых превышают значение тонкости фильтрования, во внимание не принимаются, то есть два фильтрующих материала с одинаковой номинальной тонкостью фильтрования могут иметь разный состав конечных фракций, содержание которых составляет от 1 до 10 % от их числа в фильтруемом топливе. Среди этих частиц могут содержаться такие, размер которых недопустим по условиям эксплуатации прецизионных пар. Таким образом, оценка фильтрующего материала только по номинальной тонкости фильтрования так же недостаточна, как и его оценка по величине наибольшей частицы, прошедшей через материал.

В настоящее время известно большое количество фильтрующих материалов, которые можно классифицировать по различным признакам (рис. 1.2).



Рисунок 1.2- Классификация фильтрующих материалов

К поверхностным фильтрующим материалам можно отнести бумагу, ткани, металлические и неметаллические сетки и т.п. Считается, что твердые частицы при фильтровании топлива практически не проникают в поры фильтрующего материала, задерживаясь на его поверхности. Это может иметь место, когда частицы загрязнений значительно больше диаметра пор фильтрующего материала. В глубинных (объемных) фильтрующих материалах задержка загрязнений теоретически происходит по всей их толщине. К таким материалам относятся войлок, металлокерамика, пористые полимеры, насыпные и намывные материалы и т.п. Следует отметить, что деление фильтрующих материалов на поверхностные и глубинные достаточно условно, так как даже такие материалы, как бумаги и ткани, имеют толщину, на несколько порядков превышающую размер их пор, а в глубинных материалах, как показали исследования [82], основная масса загрязнений задерживается в слоях, близких к рабочей поверхности материала.

Для восстановления чистоты дизельного топлива методом фильтрования на различных этапах его жизненного цикла от нефтеперерабатывающего

предприятия до топливной системы двигателя в настоящее время наиболее широко применяют бумагу и картон, металлические сетки, ткани и нетканые материалы из натуральных и синтетических волокон, пористые полимерные материалы, металлокерамику и некоторые другие фильтрующие материалы, которые способны удалять из топлива твёрдые частицы загрязнений, а для удаления из него эмульсионной воды используют гидрофобные материалы - металлическую сетку с фторопластовым покрытием, пористый фторопласт, фторлоновую ткань, стеклоткань и т.п. Исследование фильтрующих материалов, способных удалять из дизельного топлива органические загрязнения - смолистые вещества и другие продукты окисления углеводородов, до настоящего времени не проводились.

Для достижения цели исследования, заключающейся в повышении эффективности очистки дизельного топлива от механических примесей и продуктов окисления углеводородов при заправке сельскохозйственных и транспортных машин, которая может быть реализована путем использования трехступенчатого фильтра, необходимо решить следующие задачи:

исследовать закономерности образования и накопления загрязнений в дизельном топливе на нефтескладах и заправочных пунктах сельскохозйственных предприятий;

провести теоретические исследования процессов фильтрования дизельного топлива с использованием трехступенчатого фильтра;

провести экспериментальные исследования эксплуатационных свойств трехступенчатого фильтра;

дать технико-экономическую оценку эффективности реализации предложенных технических решений и разработать рекомендации по внедрению этих решений в сфере сельскохозйственного производства.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕХСТУПЕНЧАТОГО ФИЛЬТРА

2.1. Теоретические основы появления и накопления механических примесей во время хранения дизельного топлива

При рассмотрении динамики образования и накопления загрязнений при хранении дизельного топлива на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий примем ряд допущений:

хранение дизельного топлива осуществляется в резервуаре, который периодически заполняется при поступлении топлива на склад и периодически опорожняется при выдаче топлива для заправки техники;

объем воздуха, поступающего в резервуар, равен объему выданного из резервуара дизельного топлива;

устройства для очистки поступающего в резервуар атмосферного воздуха отсутствуют, в связи с чем его загрязненность равна загрязненности воздуха в окружающей среде;

загрязнения распределены равномерно по объему резервуара, так как при его заполнении происходит перемешивание взвешенных частиц загрязнений;

остаточные загрязнения в резервуаре отсутствуют благодаря его периодической зачистке.

Рассчитаем количество механических загрязнений в дизельном топливе после первого заполнения резервуара:

$$G_{z1} = C_{z1} V_p \quad (2.1)$$

где G_{z1} - количество механических загрязнений в резервуаре после первого заполнения, г; $C_{z1} = C_{zt}$ - концентрация загрязнений в топливе, подаваемом в резервуар, г/л; V_p - объем резервуара, л [71].

Дизельное топливо в объеме dV (л/с) с концентрацией механических загрязнений C_x (г/л) убывает из резервуара за отрезок времени dt . Обозначив текущий объем топлива в резервуаре V_r , текущую концентрацию механических загрязнений в топливе C_r , и считая, что загрязнения из воздуха в резервуаре полностью и сразу переходят в топливо [71], получаем выражение:

$$D(C_r V_r) = C_a (V_r - dV_r) + C_m dV_r \quad (2.2)$$

где C_a - концентрация загрязнений в воздухе, заполняемый вместо убывающего топлива, г/л

Определим текущее значение концентрации механических загрязнений в резервуаре после первого заполнения, путем решения дифференциального уравнения (2.2):

$$C_r = \frac{C_a \ln V_r}{V_r} + C_{r0} \quad (2.3)$$

После выдачи из резервуара части топлива и перед вторым заполнением резервуара уровень загрязненности остатка топлива составит:

$$C_r = \frac{C_a \ln V_0}{V_0} + C_{r0}, \quad (2.4)$$

где V_0 - объем оставшегося топлива в резервуаре, л.

Количество загрязнений в остатке топлива:

$$G_0 = C_0 V_0 \quad (2.5)$$

После второго заполнения резервуара количество загрязнений составит:

$$G_{r2} = C_m(V_p - V_o) + C_o V_o \quad (2.6)$$

а концентрация механических загрязнений в резервуаре составит:

$$C_{r2} = \frac{C_o V_o}{V_p} + C_m \left(1 - \frac{V_o}{V_p}\right) = \frac{C_o V_o^2}{V_p \ln V_p} + C_m \quad (2.7)$$

После третьего заполнения резервуара:

$$C_{r3} = C_o \left(\frac{V_o^2}{V_p \ln V_p} + \frac{V_o^2}{V_o \ln V_p} \right) + C_m \quad (2.8)$$

Следовательно, после i -го заполнения концентрация загрязнений в резервуаре может быть определена из выражения:

$$C_{ri} = \frac{C_o V_o^i}{V_p \ln \left(1 + \frac{V_o^i}{V_p} + \frac{V_o^i}{V_p^2} + \dots + \frac{V_o^{i-1}}{V_p^{i-1}}\right)} + C_m \quad (2.9)$$

Поскольку:

$$\frac{V_o^i}{V_p} < 1 \text{ при } i \rightarrow \infty \text{ соотношение } \frac{V_o^i}{V_p} \rightarrow 0$$

и при большом количестве заполнений резервуара концентрация загрязнений в заливе в него топливе определяется выражением:

$$C_{ri} = \ln \frac{V_p}{V_o} \left(\frac{V_o}{V_p - V_o} \right) C_o + C_m \quad (2.10)$$

Таким образом, загрязненность дизельного топлива в резервуаре после некоторого числа заполнений, при условии постоянного уровня загрязненности заправляемого в резервуар топлива и запыленности, поступающего в него воздуха, приобретает постоянное значение. Коэффициент C_0 достигает предельного значения тем быстрее, чем меньше отношение V_0/V_p . Поскольку залив топлива в резервуар производится тогда, когда остаток в нём не превышает 10 - 20%, то есть $V_0/V_p=0,1...0,2$, загрязненность топлива через 2-3 заправки достигает предельного значения, что позволяет при расчёте грязеёмкости устройства для очистки дизельного топлива от механических примесей считать их количество постоянным.

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что загрязненность дизельного топлива при хранении может достигнуть значительной величины, поэтому необходимо усовершенствовать фильтры для очистки дизельного топлива при его выдаче из резервуаров и при заправке сельскохозяйственной техники. Эта задача может быть решена за счет применения новых перспективных трехступенчатых фильтров.

2.2. Теоретические основы появления и накопления воды в резервуарах нефтескладов

Влага, попадающая в дизельное топливо, имеет преимущественно атмосферное происхождение и первоначально находится в воздухе в виде водяных паров или осадков. Решение задачи определения количества влаги, попадающей в бак системы питания двигателя при его работе, приведено в [71]. Процесс обводнения дизельного топлива при хранении и сливо-наливных операциях имеет специфические особенности, связанные с конструкцией резервуаров для хранения светлых нефтепродуктов. Определение количества влаги в виде водяных паров, поступающих в резервуар нефтесклада или заправочного

пункта, если его газовое пространство непосредственно соединено с атмосферой при выдаче топлива потребителям, можно определить из выражения:

$$G_{\text{вв}} = V_s C_s \quad (2.11)$$

где $G_{\text{вв}}$ - масса атмосферной влаги, попавшей в резервуар при большом дыхании, кг; $V_s = V_s - V_s - q\tau$ - объем выданного из резервуара топлива, м; C_s - абсолютная влажность воздуха во время сливно-наливных операций, кг/м³; q - производительность перекачки, м³/с; τ - продолжительность перекачки, с.

Однако поскольку резервуары для хранения дизельного топлива оборудованы дыхательными клапанами, влажный воздух поступает в них при возникновении вакуума. Будем считать, что этот процесс подчиняется закону Бойля-Мариотта, то есть протекает при постоянной температуре, и справедливо уравнение:

$$P_s V_{\text{вв}} = P_v V_m = (P_s - P_m - P_v) V_m \quad (2.12)$$

где P_a и P_p — соответственно атмосферное давление и давление в резервуаре после открытия клапана, Па; $P_{\text{от}}$ и P_v - соответственно давление открытия клапана и упругость паров топлива, Па; $V_{\text{вв}}$ и V_m - соответственно объем воздуха, поступившего в резервуар, и объем топлива, выданного из него, м.

Давление насыщенных паров или упругость паров - это давление, которое оказывают пары на стенки сосуда при испарении топлива в замкнутом пространстве.

Отсюда:

$$V_{\text{вв}} = \frac{P_s - P_m - P_v}{P_s} V_m \quad (2.13)$$

количество атмосферной влаги, поступающей в резервуар при выдаче из него топлива, определяется из выражения:

$$G_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}}}{P_{\text{г}}} P_{\text{г}} C_{\text{г}} \quad (2.14)$$

где $P_{\text{г}} = P_{\text{ат}} - P_{\text{ва}} - P_{\text{г}}$ - давление в резервуаре, Па.

Для определения количества влаги, поступающей в резервуар при возникновении в нём вакуума из-за уменьшения объема топлива и снижения упругости его паров при понижении температуры, воспользуемся уравнением газового состояния и законом Дальтона.

Объём воздуха, поступающего в резервуар из-за уменьшения объёма топлива при его охлаждении:

$$V_{\text{в}}^* = V_{\text{г}} (1 - \beta \Delta T) \quad (2.15)$$

где $\Delta T = T_1 - T_2$ - перепад температур, град К; T_1 и T_2 - соответственно начальная и конечная температура, град К; β - коэффициент объёмного расширения топлива, 1/м град.

Объём воздуха, поступающего резервуар из-за снижения упругости паров топлива при охлаждении:

$$V_{\text{в}}^* = (V_{\text{г}} - V_{\text{г}}^*) \left(\frac{P_{\text{г}} - P_{\text{ат}} - P_{\text{г}}}{T_1} - \frac{P_{\text{г}} - P_{\text{ат}} - P_{\text{г}}}{T_2} \right) \frac{1}{R} \quad (2.16)$$

где $P_{\text{г}1}$ и $P_{\text{г}2}$ - соответственно упругость паров топлива при температуре T_1 и T_2 , Па; $R=8,314$ - универсальная газовая постоянная, Дж/моль*К.

Отсюда количество влаги, поступающей в газовое пространство резервуара при малом дыхании:

$$G_{\text{вд}} = C_v (V_{\text{вд}}^* + V_{\text{вд}}^y) \quad (2.17)$$

$$G_{\text{вд}} = C_v \left(V_{\text{в}} (1 - \beta \Delta T) + (V_{\text{в}} - V_{\text{в}}) \left(\frac{P_{\text{г}} - P_{\text{в}} - P_{\text{г1}}}{\Gamma_1} - \frac{P_{\text{г}} - P_{\text{в}} - P_{\text{г1}}}{\Gamma_1} \right) \frac{1}{R} \right) \quad (2.18)$$

Следует отметить, что значения упругости паров и коэффициента теплового расширения дизельного топлива невелики (для топлива марки ДЛ $P_{\text{г}} = 4-7$ мм рт. ст., $\beta = 0,0009$ 1/м град), поэтому влияние снижения температуры в резервуаре на обводнение в нём дизельного топлива при одиночном малом дыхании будет невелико, однако при многочисленных колебаниях температуры в течение короткого отрезка времени количество поступивших в резервуар водяных паров может достигнуть значительной величины. При заглубленном размещении резервуаров на нефтескладе с толщиной земляного слоя над резервуаром 0,7 м суточные колебания температуры в нём практически отсутствуют и соответственно малые дыхания не происходят.

Кроме попадания паров влаги в газовое пространство резервуара с атмосферным воздухом при срабатывании дыхательного клапана, влага может поступать в резервуар также в виде атмосферных осадков при его разгерметизации для измерения количества находящегося в нём топлива или отбора его проб, а также для осмотра и технического обслуживания после опорожнения резервуара.

Количество влаги, попавшей в дизельное топливо через замерный патрубков, равно:

$$G_{\text{пр}} = \frac{2\pi R D_{\text{пр}} \rho_{\text{в}}}{1000} \quad (2.19)$$

где R — радиус замерного патрубка, м, $D_{\alpha} = \frac{G_{\alpha} \tau_{\alpha}}{\tau_{\alpha}}$ — количество осадков, мм, G_{α} — средняя норма осадков для данной местности, мм/год, τ_{α} — суммарная продолжительность операций по замеру количества топлива в резервуаре, ч/сут, τ_{α} — средняя продолжительность осадков для данной местности, ч/год.

Суммарное количество влаги, попавшей в резервуар, составляет:

$$G_d = G_{вз} + G_{ар} + G_{анор} + G_{сксн} \quad (2.19)$$

где $G_{вз}$ — количество влаги, попавшей через замерный патрубок, кг; $G_{анор} = V_{в} C_{анор}$ — количество поступившей в порожний резервуар влаги при его разгерметизации для внутреннего осмотра, зачистки и т.п., кг; $G_{сксн} = V_{вн} (C_{анор} - C_{вн})$ — количество влаги, сконденсировавшейся на внутренних поверхностях порожнего резервуара при понижении температуры, кг, $\rho_{в}$ — плотность воды, кг/м³; $C_{анор}$ и $C_{вн}$ — соответственно абсолютная влажность воздуха, поступающего в порожний резервуар и вытесняемого из него при наливе в него дизельного топлива, г/м³.

Из этого количества часть влаги растворится в дизельном топливе, часть ее образует с ним эмульсию, а часть останется в газовом пространстве резервуара в виде паровой фазы. Растворимость воды в нефтепродуктах невелика и для дизельного топлива ДЛ колеблется от 0,0021% при -10° С до 0,0104% при 30 °С, поэтому удалять из дизельного топлива растворенную воду нецелесообразно. В основном влага находится в дизельном топливе в виде микрокапель, образуя эмульсионную воду, находящуюся в динамическом равновесии с растворенной в топливе водой. С течением времени микрокапли воды могут укрупняться и, осаждаясь, образовывать на дне емкости слой отстойной (подтоварной) воды, которая также находится в динамическом равновесии с

растворенной в продукте водой. Процесс образования подтоварной воды в резервуаре будет зависеть от количества и размера микрокапель воды, диспергированных в дизельном топливе. Объем подтоварной воды, образовавшейся в резервуаре за некоторый промежуток времени:

$$V_{смc} = \frac{\pi N \mu_k V_k \tau^2}{2g} \frac{2\mu_k + 3\mu_s}{\rho_s - \rho_k} \quad (2.20)$$

где $V_{смc}$ - объем подтоварной воды, m^3 ; N - количество микрокапель воды в единице объема топлива в начальный период, шт/ m^3 ; V_k - объем топлива в резервуаре, m^3 ; τ - продолжительность осаждения микрокапли воды, с.

Выражения (2.11 - 2.20), описывающие механизм обводнения дизельного топлива атмосферной влагой, носят оценочный характер из-за трудностей определения влажности воздуха в конкретный момент проведения сливно-наливных операций, количества капель в топливе, их размера и т.п. Поэтому полученные закономерности требуют корректировки с использованием экспериментальных данных.

Максимальное суммарное количество влаги, способное находится в топливе в свободном состоянии, можно определить, используя выражение:

$$G_{смc} = \left[V_s \frac{P_s - P_v}{P_s} C_s - \rho_s C V_s + 2\pi R D_{..} \rho_s + (V_s + V_m) (C_{смc} - C_{..}) \right] \quad (2.21)$$

где $G_{смc}$ - максимальное количество свободной воды в дизельном топливе, кг; ρ_s - плотность дизельного топлива, кг/ m^3 ; $V_{смc} = V_p - V_m$ - количество дизельного топлива, оставшегося в резервуаре после выдачи его потребителям, м.

Этим количеством свободной воды следует задаваться при расчете средств для обезвоживания дизельного топлива при заправке сельскохозяйственной техники.

2.3. Теоретические основы разработки устройства для трехступенчатой очистки дизельного топлива при заправке мобильной техники

Оптимизация конструкции устройства для очистки дизельного топлива при заправке сельскохозяйственных и транспортных машин заключается в совмещении операций по удалению из топлива твердых частиц и эмульсионной воды с удалением этих загрязнений из рабочей зоны фильтра. Это возможно осуществить путём подвода топлива параллельно рабочей поверхности фильтрующего элемента, используя при очистке гидродинамический эффект.

Использование гидродинамического эффекта в устройствах с пористыми перегородками из традиционных фильтрующих материалов, имеющих поры микронных размеров, достаточно подробно рассмотрены в работе [71], где указывается, что частица загрязнений, перемещающаяся в потоке топлива, участвует в двух движениях - вдоль поверхности пористой перегородки и параллельно оси горизонтально расположенных пор этой перегородки. Вертикальное движение частицы происходит при совместном воздействии силы, приложенной со стороны потока, и объемной силы, являющейся разностью гравитационной и архимедовой сил. Вертикальная скорость частицы под действием силы потока определяется из выражения:

$$F_{\text{наек}} = \frac{\varphi}{4} \rho_v \pi d_v^2 V_{\text{наек}}^2 \quad (2.22)$$

$$V_{\text{наек}} = \sqrt{\frac{4 F_{\text{наек}}}{\varphi \rho_v \pi d_v^2}} \quad (2.23)$$

а скорость частицы под воздействием объемной силы - из уравнения:

$$\frac{\pi g d_v^3}{6} (\rho_v - \rho_{\pi}) = \varphi \frac{\pi d_v^2}{8} V_{\text{ос}}^2 \rho_v \quad (2.23)$$

$$V_{\text{ос}} = \sqrt{\frac{4 g d_v (\rho_v - \rho_{\pi})}{3 \varphi \rho_v}} \quad (2.23)$$

где ρ_v и ρ_{π} - соответственно плотность продукта и частицы, г/м^3 ; $F_{\text{наек}}$ - сила, приложенная к частице со стороны потока, Н; φ - коэффициент лобового сопротивления движению частицы, $V_{\text{наек}}$ и $V_{\text{ос}}$ - соответственно скорость частицы под действием силы потока и скорость ее осаждения под воздействием объемной силы, м/с .

Отсюда суммарную продольную скорость частицы равна:

$$V_{\text{вп}} = V_{\text{наек}} + V_{\text{ос}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{пг}}}{\varphi \rho_v}} + \sqrt{\frac{4 d_v g (\rho_v - \rho_{\pi})}{3 \varphi \rho_v}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{пг}} + \frac{4}{3} d_v g (\rho_v - \rho_{\pi})}{\varphi \rho_v}} \quad (2.24)$$

Для частиц микронных размеров коэффициент лобового сопротивления можно принять $\varphi = 0,1$.

Горизонтальное движение частицы происходит под воздействием перепада давления на пористой перегородке, при этом её скорость принимается равной поровой скорости потока топлива.

В случае, рассматриваемом в работе [104], равномерная подача топлива на рабочую поверхность пористой перегородки и одинаковое давление при

входе на неё по всей высоте обеспечивается путём придания фильтрующему элементу формы цилиндра, что обеспечивает постоянную ширину его внутренней полости и постоянство поровой (истинной) скорости потока топлива по всей поверхности перегородки. В этом случае поровая скорость будет равна:

$$V_{пор} = \frac{K_n \Delta P_{\phi_2}}{\mu \Pi' \delta} \quad (2.25)$$

где $K_n = \frac{\pi d_n^3 N}{128}$ - коэффициент проницаемости материала, m^2 ; ΔP_{ϕ_2} - перепад давления на фильтрующем элементе, Па; μ - динамическая вязкость дизельного топлива, Пас; $\Pi' = \frac{S_n}{S_{\phi_2}}$ - просветность пористой перегородки, δ - толщина пористой перегородки, м; S_n и S_{ϕ_2} — соответственно площадь рабочей поверхности фильтрующего элемента и площадь поперечного сечения всех его пор, м. N - количество пор на единицу поверхности, шт/ m^2 ; $\Pi = V_n/V_{\phi_2}$ - пористость перегородки; V_n и V_{ϕ_2} - соответственно объем фильтрующего элемента и объем его пор, m^3 .

Выразив величину просветности через размер пор и их количество на единицу поверхности, имеем:

$$V_{пор} = \frac{4 K_n \Delta P_{\phi_2}}{\pi d_n^2 \mu \delta} \quad (2.26)$$

Приложим полученные из выражений (2.24) и (2.26) скорости к центру тяжести частицы. Если вектор суммы этих скоростей в момент соприкосновения частицы с нижней кромкой поры будет выше точки соприкосновения, то частица не войдет в пору, а в противном случае частица попадет внутрь пористой перегородки.

В процессе фильтрования некоторая часть топлива вместе с загрязнениями, не попавшими в поры перегородки, составляющая 7 - 10% от количества очищаемого топлива будет сбрасываться из внутренней полости фильтрующего элемента. Для очистки этого топлива, которое содержит повышенную концентрацию загрязнений, целесообразно установить дополнительный гидродинамический фильтр, площадь фильтрующей перегородки которого должна соотноситься с соответствующей площадью основного фильтра, как 1:10.

При очистке путем фильтрации пропускают топливо через различные пористые перегородки, размещаемые в специальном корпусе.

Фильтрационная очистка топлив от загрязнений основана на механическом принципе, в этом случае химический состав топлива не изменяется. Материалы (различные сетки, войлок, ткани, бумага, керамика и др.), используемые в качестве пористых перегородок при фильтрации, называют фильтрационными. Пригодность материала оценивают по ряду показателей, называемых фильтрационными характеристиками. Структура фильтрационного материала должна быть более или менее пористой. Эти поры в материале могут быть сквозными, внутренними и открытыми с одной стороны. С точки зрения фильтрации наиболее эффективны сквозные поры.

Одной из основных характеристик пористого материала является коэффициент пористости

$$\varphi = \frac{V_p}{V} , \quad (2.27)$$

где V_p и V — соответственно объем пор и объем пористого материала, m^3 .

Правильнее было бы в формулу (1) подставлять объем не всех пор V_p , а только сквозных. Однако установить объем сквозных, внутренних и открытых пор для большинства материалов не представляется возможным. Обычно

объем внутренних пор не превышает 5 %, а объем открытых зависит от толщины пористого материала и технологии его изготовления. Поэтому оценку пористости материала дают по объему всех пор, которые легко определить экспериментально. Другой важной характеристикой пористых материалов является размер внутренних пор, которые могут иметь различную конфигурацию.

Для расчета фильтров прибегают к упрощению модели пористой среды. Так, при движении топлива через волокнистые материалы принимают, что форма каналов этих материалов цилиндрическая. Эквивалентный диаметр $d_{\text{эк}}$ этих каналов связывают с эквивалентным диаметром волокон $d_{\text{в}}$, образующих пористую среду, следующим соотношением:

$$d_{\text{эк}} = d_{\text{в}} \sqrt{\frac{\varphi}{1 - \varphi}} \quad (2.28)$$

Зная эквивалентный диаметр пористых каналов, можно приближенно определить средний диаметр частиц загрязнений, задерживаемых фильтрационным материалом. Диаметр пористых каналов для большинства волокнистых фильтрационных материалов зависит от степени их сжатия.

Так, для войлока с диаметром волокон 15 мкм и пористостью 72 % эквивалентный диаметр пор составляет 29,2 мкм, а при сжатии волокон и пористости 40,6 % - 12,4 мкм.

Определить действительную скорость топлива через пористый материал фильтра практически невозможно. Поэтому расчет фильтров обычно выполняют по условной скорости, называемой скоростью фильтрации, определяемой по формуле:

$$\omega = \frac{Q}{F_c} \quad (2.29)$$

где Q - количество топлива, проходящего через фильтр, $\text{м}^3/\text{с}$; F_c - свободное поперечное сечение фильтра в направлении движения топлива, м^2 .

Зная пористость материала φ , заполняющего фильтр, можно вычислить среднюю скорость топлива в порах, $\omega_{cp} = \omega/\varphi$.

В результате прохождения топлива через фильтр вследствие гидравлических сопротивлений наблюдается перепад давлений

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (2.30)$$

где p_1 и p_2 , — давление топлива на входе и выходе из фильтра, МПа.

Из-за сложности конфигурации поровых каналов фильтрующих материалов нельзя теоретически рассчитать гидравлические сопротивления фильтра. Показателем режима движения топлива в поровых каналах является число Рейнольдса, т. е.

$$R_e = \frac{\omega d_{эк}}{\nu_m}, \quad (2.31)$$

где ω — скорость фильтрации топлива, $\text{м}/\text{с}$; $d_{эк}$ — эквивалентный диаметр пористых каналов, м ; ν_m — кинематическая вязкость топлива, $\text{мм}^2/\text{с}$.

В топливных фильтрах наблюдается ламинарный режим течения с $Re < 100$. При таких числах Рейнольдса зависимость между перепадом давления в фильтре и расходом топлива через него прямолинейная. Скорость фильтрации в топливных фильтрах составляет $0,15 \dots 4,0 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для сравнения пропускных способностей различных фильтрационных материалов удобнее использовать удельные характеристики. Одной из таких

характеристик может служить коэффициент K_n , характеризующий удельную пропускную способность фильтрующей перегородки или скорость фильтрации (при перепаде давлений 0,1 МПа и вязкости 0,1 Па·с).

Поскольку толщина фильтрующих перегородок и их конфигурация различны, то коэффициент K_n обычно относят к единице толщины фильтрационного материала и определяют по следующей формуле для цилиндрической фильтрующей перегородки:

$$K_n = \frac{\mu \omega_n l_n}{\Delta p}, \quad (2.32)$$

где μ — динамическая вязкость топлива, Па·с; ω_n — скорость фильтрации на наружной поверхности фильтрующей перегородки, м/с; l_n — толщина фильтрующей перегородки, м; Δp — перепад давления, МПа.

Загрязненное топливо, проходя через фильтр, закупоривает поровые каналы, что приводит при постоянном расходе топлива к увеличению гидравлического сопротивления фильтра. Так, при значительной доле крупных механических примесей в топливе наружная поверхность фильтрующего материала быстро забивается этими частицами и на поверхности фильтрующего элемента образуется осадок, через который в дальнейшем и фильтруется топливо. При небольшом количестве механических примесей и соизмеримости их частиц с размерами пор фильтрационного материала поровое пространство постепенно засоряется, а гидравлическое сопротивление фильтра увеличивается. В фильтрах тонкой очистки с бумажными и картонными фильтрующими элементами очищаются топлива с размерами частиц примесей и меньше, и больше размеров пор, поэтому происходит как засорение порового пространства, так и образование осадка на его наружной поверхности. Таким образом,

гидравлическое сопротивление фильтра возрастает и вследствие загрязнения пор фильтрационного материала, и вследствие образования осадка на наружной поверхности фильтрующего материала. Гидравлические сопротивления как чистых, так и загрязненных фильтров определяют опытным путем. Для чистых фильтров эти сопротивления обычно не превышают 0,1... 0,3 МПа.

Работу топливного фильтра оценивают показателями: тонкостью отсева и полнотой отсева.

Полностью отсева характеризует коэффициент отсева:

$$\varphi = \frac{m_1 - m_2}{m_1}, \quad (2.33)$$

где m_1 и m_2 - соответственно массовые доли механических примесей в топливе до и после фильтра.

Тонкость отсева и коэффициент отсева связаны между собой. Чем меньше минимальный размер задерживаемых частиц, тем больше коэффициент отсева. По мере заполнения пор частицами и образования осадка на наружной поверхности фильтрационного материала минимальный размер задерживаемых частиц уменьшается, а коэффициент отсева φ увеличивается. Фильтрацию широко применяют также для очистки топлив от воды. Процесс обезвоживания топлива путем фильтрации существенно отличается от ранее рассмотренного процесса очистки топлива в пористой среде от механических примесей.

При обезвоживании методом фильтрации топливо необходимо фильтровать через 2 перегородки: коагулирующую и водоотталкивающую, на первой - микрокапли воды укрупняются, на второй - отделяются от топлива. Для изготовления коагулирующих перегородок используют различные стеклов-

локна. Для придания гидрофильным стекловолокнам гидрофобных (водоотталкивающих) свойств их обрабатывают различными растворами. Стекловолокнистые материалы чаще всего применяют в виде матов и холста. С целью получения более крупных капель воды на наружной поверхности коагулирующей перегородки на нее надевают чехол из хлопчатобумажной ткани. Степень водоотделения зависит от толщины слоя коагулирующего материала, причем у каждого из материалов своя оптимальная толщина, с превышением которой ухудшаются водоотделяющие свойства. Толщина коагулирующих перегородок обычно от 1 до 12 мм.

По данным исследования, наибольшая эффективность водоотделения у материала, состоящего из 30% хлоридных (гидрофобных) и 70 % вискозных (гидрофильных) волокон. Исследования отечественных стекловолокнистых материалов диаметром 0,5... 2 мкм показали, что у гидрофильных материалов одинаковые коагулирующие свойства. Материалы из волокон диаметром 3... 6 мкм, обработанные фенолформальдегидной смолой или фенольными спиртами для придания им гидрофобных свойств, обеспечивают 100%-ю эффективность водоотделения, которая зависит также от расхода топлива через перегородку.

Материал, используемый для водоотталкивающей перегородки, должен хорошо смачиваться топливом и совсем не смачиваться водой. До настоящего времени в отечественной и зарубежной практике для водоотталкивающей перегородки использовали бумагу или капроновую ткань, пропитанную водоотталкивающим раствором. В последнее время для водоотталкивающих перегородок стали применять пористый тефлон, обладающий большой удельной пропускной способностью по сравнению с бумагой.

Полнота отделения воды, выражаемая коэффициентом ϕ' , характеризует эффект очистки от воды топлива, однократно пропущенного через водозадерживающий материал при $\Delta p = 0,05$ МПа, т. е.

$$\varphi' = \frac{m_1' - m_2'}{m_1'} \quad (2.34)$$

где m_1' и m_2' — соответственно доля воды в топливе до и после фильтра, %.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

3.1. Анализ и выбор оценочных показателей состояния загрязненности топлива

В разделе 1.1 рассмотрены источники загрязнения дизельного топлива в процессе хранения в резервуарах нефтескладов. Для исследования фактической загрязненности топлива при хранении необходимо выбрать и усовершенствовать методики определения соответствующих показателей.

На основании анализа технической литературы и нормативных документов определены основные оценочные показатели: массовая концентрация механических примесей; гранулометрический состав механических примесей; массовая концентрация эмульсионной воды; концентрация продуктов окисления.

3.2. Оценка эксплуатационных свойств фильтрующих перегородок

Все основные требования к фильтрующим перегородкам изложены в ГОСТ Р 50552-93 [75].

Основными свойствами фильтрующих перегородок в общем виде являются: тонкость и полнота очистки от механических примесей, полнота очистки от воды, гидравлическая характеристика, прочностные свойства перегородки, стойкость материала к вымываемости компонентов и совместимость с очищаемым топливом, возможность и степень регенерации перегородки.

Полнота фильтрования характеризуется коэффициентом, который определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \quad (3.10)$$

где φ - коэффициент полноты фильтрации, G_1 и G_2 -массовое содержание загрязнений в топливе до и после фильтрации, г.

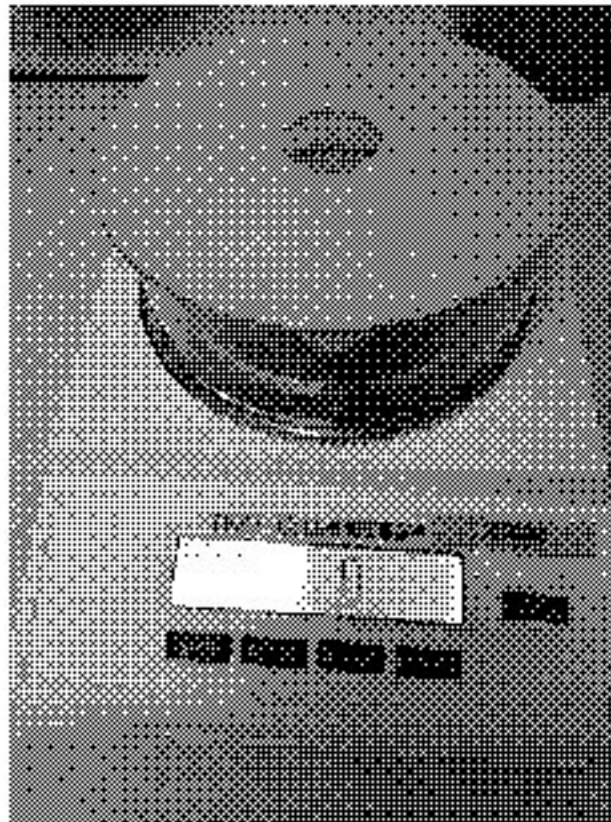


Рисунок 3.1 – Весы для определения массового содержания загрязнений в топливе до и после фильтрации

Тонкость фильтрации оценивается двумя параметрами:

- абсолютная тонкость фильтрации (максимальный размер пропускаемых частиц);

- номинальная тонкость фильтрации (минимальный размер частиц с коэффициентом отфильтровывания не более 0,95);

Удельная пропускная способность - количество чистого топлива, проходящего через единицу поверхности фильтрующего материала в единицу времени, которая определяется по формуле:

$$q = \frac{V}{tS} \quad (3.11)$$

где q - удельная пропускная способность перегородки, $\text{мм}^3/\text{мм}^2\text{с}$; S - площадь поверхности перегородки, мм^2 ; t - время прохождения дизельного топлива через перегородку, с; V - отфильтрованный объем топлива, мм^3 .

По значениям удельной пропускной способности при разных (не менее шести) значениях перепада давления строится гидравлическая характеристика:

$$q = f \Delta(P) \quad (3.12)$$

где ΔP - перепад давления на фильтрующей перегородке, МПа.

Эффективность водоотделения с помощью фильтрующей перегородки определяется, как разность между начальным (до перегородки) и конечным (после перегородки) содержанием эмульсионной воды в топливе, выраженном в процентах.

Стойкость фильтрующего материала к вымываемости компонентов определяется при воздействии на материал потока дизельного топлива и оценивается количеством частиц фильтрующего материала, содержащихся в одном литре дизельного топлива. Для определения количества вымытых компонентов из материала используется микроскоп с увеличением $100\times$.

Прочность фильтрующего материала определяется путём измерения предельной нагрузки, при которой разрушается испытуемый образец этого материала. Прочность гибких фильтрующих материалов, к которым относится пористый войлок, бумага и пористый тефлон характеризуется разрушающей нагрузкой при растяжении (прочность на разрыв).

Гидрофобные свойства фильтрующего материала характеризуются давлением, при котором материал начинает пропускать воду.

Исследование эксплуатационных свойств фильтрующих материалов проводится в следующей последовательности.

Определяется удельная пропускная способность материала при различных перепадах давления (не менее шести значений), и по полученным точкам строится гидравлическая характеристика материала. Определение удельной пропускной способности осуществляется путём пропускания через испытуемый образец материала очищенного и обезвоженного топлива. Производится три параллельных измерения, результаты которых усредняются, и по полученным значениям строится гидравлическая характеристика фильтрующего материала.

Исследуются фильтрационные показатели фильтрующего материала (его полнота и тонкость очистки), для чего используется искусственно загрязненное дизельное топливо. В качестве искусственного загрязнителя дизельного топлива используется пыль, количество которой определяется статистическими данными о фактической загрязненности топлива механическими примесями при хранении и выдаче. Загрязненное топливо помещается в бак лабораторного стенда, в котором создаётся постоянное давление, выбираемое в зависимости от условий эксперимента. В процессе проведения эксперимента определяется количество механических примесей в топливе до фильтрования и после прохождения им фильтрующего материала, после чего расчётным путём определяются номинальная тонкость фильтрования, коэффициенты полноты и тонкости фильтрования испытуемого образца фильтрующего материала.

Исследование эффективности водоотделения фильтрующего материала производится с использованием искусственно обводнённого топлива. Порядок проведения эксперимента такой же, как и при определении фильтрацион-

ных показателей материала. При проведении эксперимента определяется количество эмульсионной воды в пробах дизельного топлива до и после его прохождения через фильтрующий материал. После чего по полученным данным расчётным путём определяется эффективность водоотделения фильтрующего материала.

Исследования по определению стойкости фильтрующего материала к вымываемости компонентов производятся после установки в патрон лабораторного безнасосного стенда сетки-ловушки при прохождении через образец фильтрующего материала очищенного дизельного топлива в количестве одного литра, после чего сетка-ловушка извлекается из патрона и просматривается под микроскопом с целью обнаружения вымытых из фильтрующего материала частиц.

Исследование совместимости фильтрующего материала с очищаемым дизельным топливом проводится путём пропускания через образец материала дизельного топлива в количестве одного литра, которое затем подвергается лабораторному анализу по основным показателям качества в объёме, предусмотренном ГОСТ 305-82.

Исследование гидрофобных свойств фильтрующего материала осуществляется путём замера давления воды, при котором происходит её просачивание через образец фильтрующего материала. Вода заливается в бак лабораторной установки, после чего в нём ступенчато с интервалом в 0,01 МПа повышается давление. Начало просачивания воды через перегородку фиксируется водочувствительным индикатором, помещённым под фильтрующим элементом. Давление, при котором произошло просачивание воды через перегородку, характеризует гидрофобные свойства материала. Эксперимент повторяется не менее четырёх раз и полученные результаты усредняются.

3.3. Методика исследования пористых материалов методом сушки анализируемого образца

Принцип динамической десорбционной порометрии заключается в измерении в квазиравновесных условиях кривой сушки (десорбции) анализируемого образца, то есть зависимости во времени потери массы рабочей жидкости из предварительно насыщенного ею образца. Для этого насыщенной рабочей жидкостью образец помещается на термостатированные аналитические весы в специальной рабочей ячейке небольшого объема, обеспечивающей свободное испарение внутрь ячейки из пористого образца. Испарение паров рабочей жидкости из ячейки производится с ограниченной скоростью, при которой внутри ячейки сохраняется квазиравновесное состояние между жидкостью в порах образца и ее паром над образцом. При проведении процесса десорбции с ограничением скорости отвода паров, последняя являясь скоростью диффузии паров зависит от перепада парциального давления паров рабочей жидкости внутри и снаружи рабочей ячейки. Давление паров за пределами ячейки с большой точностью поддерживается равным нулю путем обдува крышки ячейки потоком осушающего газа.

Точность метода позволяет определять диаметр пор в диапазоне от 1 до 300 нм. Для изучения отобранный образцы пористых материалов толщиной 5 и 10 мм.

3.4. Исследование фактического состояния топлива

Для повышения чистоты дизельного топлива - снижения количества содержащихся в нём механических загрязнений, эмульсионной воды и органических загрязнений, представленных фактическими смолами, необходимо разработать устройство, обеспечивающее удаление указанных продуктов из

дизельного топлива при заправке сельскохозяйственных и транспортных машин. В главе 2 теоретически обоснована конструкция такого устройства, представляющего собой трехступенчатый гидродинамический фильтр с фильтрующими элементами из войлока, бумаги и пористого тефлона. Для разработки этого устройства необходимо исследовать фактическую загрязненность дизельного топлива при его хранении на нефтескладах и при заправке мобильной техники.

Для экспериментального определения фактического содержания механических примесей и эмульсионной воды в дизельном топливе при хранении и в процессе заправки мобильных машин отбирались пробы из резервуаров нефтескладов, а также из раздаточных кранов топливораздаточных колонок при заправке мобильных машин на стационарных заправочных пунктах и из кранов подвижных средств заправку и в полевых условиях.

Данные проведенных исследований фактической загрязненности дизельного топлива при его хранении и заправке сельскохозяйственных и транспортных машин приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 -Массовое содержание механических примесей в дизельном топливе при хранении в резервуарах нефтескладов и при заправке на заправочных пунктах сельскохозяйственных

Место отбора проб	Содержание загрязнений, %(масс)
После налива в резервуар	0,01
После хранения в резервуаре	0,015
При выдаче через раздаточный кран ТРК	0,008
При выдаче через раздаточный кран АТЗ	0,009

Анализ приведенных данных показал, что содержание механических примесей в топливе после налива резервуара составляет в среднем 0,01% (масс.), а в процессе хранения достигает 0,015% при размере частиц до 50 мкм. Содержание эмульсионной воды в резервуаре составляет 0,008 - 0,01% (масс.).

Результаты содержания механических примесей, эмульсионной воды в дизельном топливе, полученные экспериментальным путем, корреспондируются с результатами ранее проведенных исследований, приведенными в разделе 1.1. Это показывает, что ситуация с фактической загрязненностью и обводненностью дизельного топлива в процессе хранения и выдачи за последнее время практически не улучшилась, что свидетельствует о необходимости разработки более совершенных средств очистки.

3.5. Состав и структура трехступенчатого фильтра

Для определения параметров трёхступенчатого фильтра, а именно площадь поверхности фильтрующих элементов каждой ступени необходимо исходить из характеристик топливораздаточных колонок.

ТРК — это устройства, предназначенные для заправки автотранспортных средств качественным топливом и учета выданного количества. Они классифицируются по следующим признакам:

- по степени мобильности (переносные, стационарные);
- по виду привода (ручной, электрический, комбинированный);
- по способу управления (ручной, от местного задающего устройства, от дистанционного задающего устройства, от автоматического задающего устройства);
- по числу постов налива (однопостовые, многопостовые);
- по номинальному расходу топлива (25, 40, 50, 100, 160 л/мин);
- по основной погрешности ($\pm 0,25-0,4\%$);
- по типу отсчетного устройства (механические, электрические) и т.д.

Отечественная промышленность выпускала и выпускает топливораздаточные колонки следующих типов:

КЭР - колонка стационарная с электроприводом и ручным управлением;

КЭК - колонка стационарная с электроприводом и комбинированным (т.е. с дистанционным и ручным) управлением;

КЭД - колонка стационарная с электроприводом и дистанционным управлением;

КЭМ - колонка стационарная с электроприводом и местным управлением;

КА - колонка стационарная с электроприводом и автоматическим задающим устройством (перфокарта, макеты и т.д.);

КР - колонка переносная с ручным приводом и ручным управлением.

Основным показателем для обоснования параметров фильтрующих элементов является производительность ТРК. Этот показатель колеблется от 40 до 100 л/мин. В аграрном производстве широкое распространение получили ТРК с производительностью 60 л/мин. В связи с этим, предполагаем, что разрабатываемый фильтр не должен ограничивать этот показатель из-за сопротивления фильтрующих элементов.

Для определения параметров фильтрующих элементов необходимо экспериментальным путем определить их пропускную способность.

Удельная пропускная способность материала определялась при различных перепадах давления от 0,5 кг/см² до 3 кг/см². Определение удельной пропускной способности осуществлялась путём пропускания через испытуемый образец материала топлива. Производились три параллельных измерения, результаты которых усреднялись, и по полученным значениям построена гидравлическая характеристика фильтрующего материала.

Таблица 3.2- Удельная пропускная способность фильтрующих элементов, (л/м²с)

Фильтрующий материал	Перепад давления, кг/см ²					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Войлок	1	1,1	1,2	1,5	1,7	2
Бумага АФБ-5	0,1	0,2	0,7	0,8	1	1,1
Пористый тефлон	2	2,5	2,8	3,5	4,3	5,1

Поскольку регуляторы давления для насосов топливораздаточных колонок отрегулированы на давление в 2 кг/см², расчеты по определению параметров войлочного фильтрующего элемента производим при пропускной способности в 1,5 л/м²с, для бумажного материала - 0,8 л/м²с и для пористого тефлона, как водоотталкивающего материала - 3,5 л/м²с.

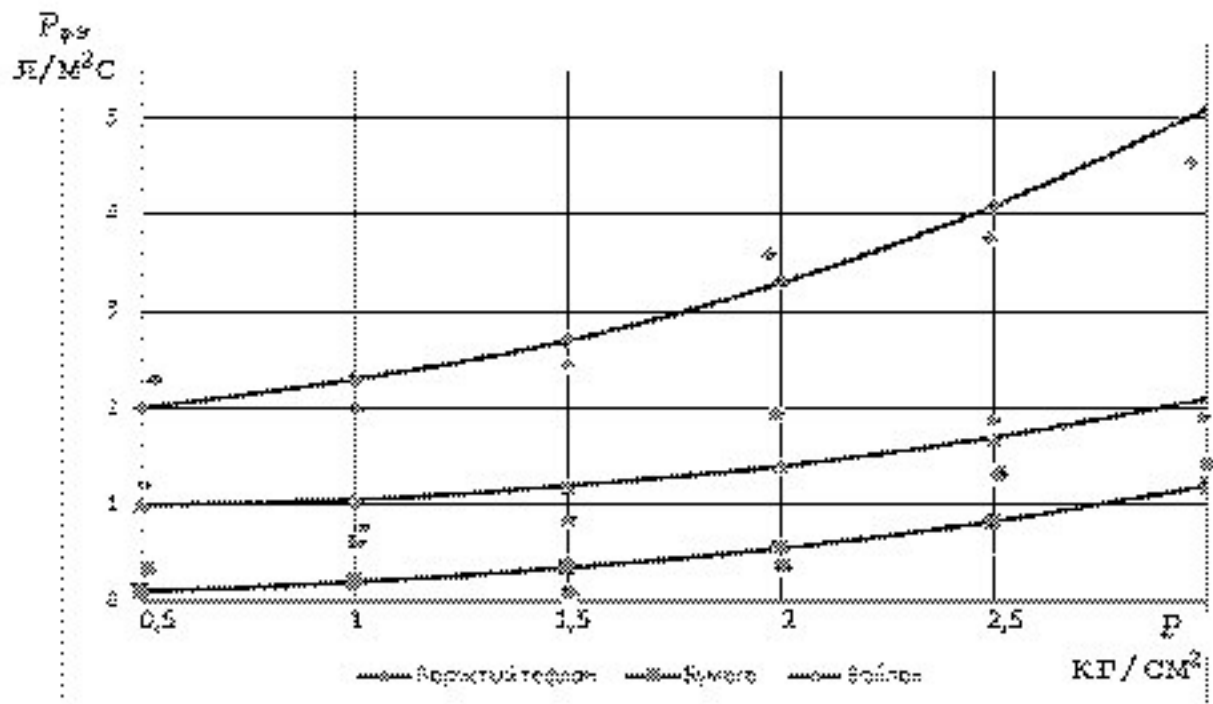


Рисунок 3.2 – Графики зависимостей удельных пропускных способностей фильтрующих элементов и перепада давления.

Определяем площади поверхностей фильтрующих элементов по формуле:

$$S = \frac{P_{\text{гор}}}{60 P_{\text{фз}}}, \quad (3.13)$$

где $P_{\text{гор}}$ – производительность топливораздаточной колонки, л/мин; $P_{\text{фз}}$ – пропускная способность фильтрующего элемента, л/см²с.

Площадь поверхности войлочного фильтрующего элемента, определенный по формуле (3.13) равняется 0,67 м², бумажного фильтрующего элемента – 1,25 м² и пористого тефлона – 0,28 м².

При определении габаритных размеров следует исходить из компактности будущей конструкции с соотношениями сторон 1/1/1, с одной стороны и удовлетворения требуемых площадей фильтрующих элементов с другой. Для равномерности фильтрации топлива по всей поверхности фильтрующего элемента, конструкция должна быть цилиндрическим, тогда, если диаметр цилиндра ($d_{\text{фз}}$) равняется его высоте ($h_{\text{фз}}$), высота будет определена по формуле:

$$h_{\text{фз}} = \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (3.14)$$

$$h_{\text{фз}} = \sqrt{\frac{0,67}{3,14}} = 0,46 \approx 0,5 \text{ м}$$

Тогда диаметр $d_{\text{фз}}=0,5$ м, длина войлочного фильтрующего элемента определяется по формуле:

$$L_{\text{фз}} = d_{\text{фз}} \cdot \pi. \quad (3.15)$$

$$L_{\text{фз}} = 0,5 \cdot 3,14 = 1,57 \text{ м}$$

Для придания жёсткости конструкции войлочному фильтрующему элементу, конструктивно, необходимо предусмотрит каркас из перфорированного листа, выполненного в виде цилиндра диаметром 0,5 м и высотой 0,5 м.

При известной высоте бумажного фильтрующего элемента $h_{\text{бф}}=0,5\text{ м}$, длина определяется по формуле:

$$L_{\text{бф}} = \frac{S_{\text{б}}}{h_{\text{бф}}}. \quad (3.16)$$

$$L_{\text{бф}} = \frac{1,25}{0,5} = 2,5\text{ м}$$

Однако, при длине в 2,5 м, диаметр цилиндра бумажного фильтрующего элемента составил бы 0,8 м, что больше предполагаемой конструкции фильтра в 0,5 м. С учетом необходимостью зазора между войлочным и бумажным фильтрующими элементами в корпусе фильтра, диаметр бумажного фильтрующего элемента должно быть меньше, как минимум на 10 см, т.е. должен составить 0,4 м. Для удовлетворения требуемой пропускной способности бумажного фильтрующего элемента, т.е. площадь фильтрующего элемента должен быть не меньше расчетного значения с размерами 0,5x2,5 м, с одной стороны и сохранения конструктивных параметров фильтра - с другой, необходимо поверхность бумажного фильтрующего элемента выполнить в виде гофры (рис. 3.3). Параметрами гофрированного бумажного фильтрующего элемента являются расстояние между ребрами l_{σ} (параметр принимается из условия обеспечения качества фильтрации $l_{\sigma}=0,02\text{ м}$), длина ребра l_{\ast} , внутренний $d_{\text{в}}$, и внешний диаметры $d_{\text{вн}}$.

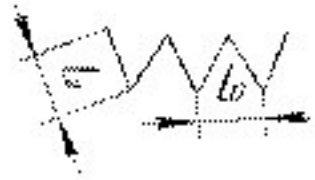


Рисунок 3.3 – Поверхность бумажного фильтрующего элемента, выполненная в виде гофры.

Длина ребра бумажного фильтрующего элемента определяется по формуле:

$$l_r = \frac{l_0 d_{\text{вн}}}{2 d_{\text{вн}}}, \quad (3.17)$$

где $d_{\text{вн}}$ – диаметр бумажного фильтрующего элемента, определенный по расчетной длине (2,5м), м.

$$l_r = \frac{0,02 \cdot 0,8}{2 \cdot 0,4} = 0,02 \text{ м}$$

Тогда внутренний диаметр бумажного фильтрующего элемента определяется по формуле:

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{вн}} - 2 \sqrt{l_r^2 - \left(\frac{l_b}{2}\right)^2} \quad (3.18)$$

$$d_{\text{вн}} = 0,4 - 2 \sqrt{0,02^2 - \left(\frac{0,02}{2}\right)^2} = 0,365 \text{ м}$$

Таким образом, конструктивные параметры бумажного фильтрующего элемента следующие: длина ребра – 20 см, расстояние между ребрами – 20 см,

внешний диаметр – 40 см, внутренний диаметр – 36,5 см, высота цилиндра – 50 см (рис. 3.4).

Для придания жёсткости конструкции бумажному фильтрующему элементу, конструктивно, необходимо предусмотрит каркасы из перфорированного листа по наружному и внутреннему диаметрам.

Пористый тефлон как фильтрующий элемент предназначен для отделения воды из дизельного топлива. Однако, подход, который был применен к войлочному и бумажному фильтрующим элементам для пористого тефлона не приемлем, поскольку фильтрация происходит по всей поверхности и при накоплении определенного количества отфильтрованной воды, капли от поверхности фильтрующего элемента могут заново перейти обратно в топливо.

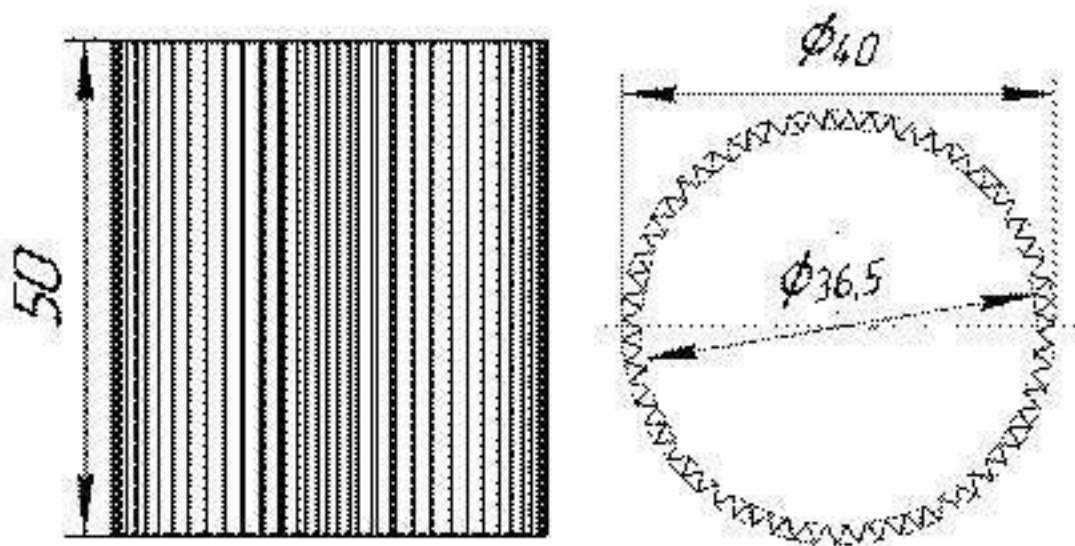


Рисунок 3.4 – Общий вид бумажного фильтрующего элемента.

В связи с этим, по вертикали поверхность фильтрующего элемента должен быть расположен под углом, тогда накапливаемая влага на поверхности будет скатываться, увлекая за собой по пути остальные капли и скапливаться в отстойнике. Таким образом, конструктивно, фильтрующий элемент будет иметь вид усеченного конуса с высотой 0,5 м, а развертка будет иметь вид

трапеции, с расчетной площадью, удовлетворяющей заданную пропускную способность (60 л/мин), 0,28 м².

Задаемся нижним диаметром исходя из конструкции топливного фильтра $d_{\text{ни}}=0,25$ м, тогда верхний диаметр фильтрующего элемента можно определить по формуле:

$$d_{\text{вн}} = \frac{2S_{\text{н}}}{\pi h_{\text{н}}} + d_{\text{ни}}, \quad (3.19)$$

где $d_{\text{вн}}$ – верхний диаметр усеченного конуса фильтрующего элемента, м;
 $d_{\text{ни}}$ – нижний диаметр усеченного конуса фильтрующего элемента, м; $h_{\text{н}}$ – высота усеченного конуса фильтрующего элемента, м.

$$d_{\text{вн}} = \frac{2 \cdot 0,28}{3,14 \cdot 0,5} + 0,25 = 0,16 \text{ м}$$

Для придания жёсткости конструкции фильтрующему элементу из пористого тефлона, конструктивно, необходимо предусмотрит каркас из перфорированного листа.

Таким образом, конструктивные параметры фильтрующего элемента из пористого тефлона следующие: верхний диаметр – 16 см, нижний диаметр – 25 см, высота усеченного конуса – 50 см (рис. 3.5).

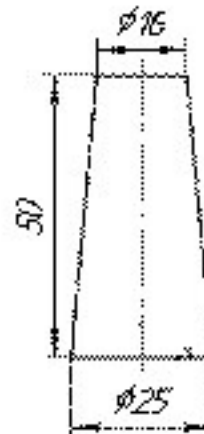
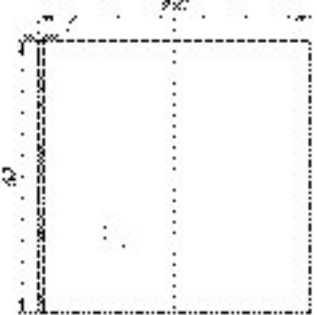
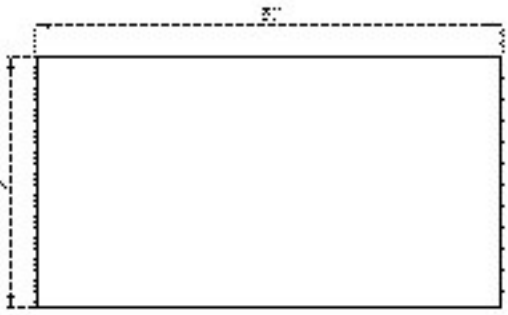
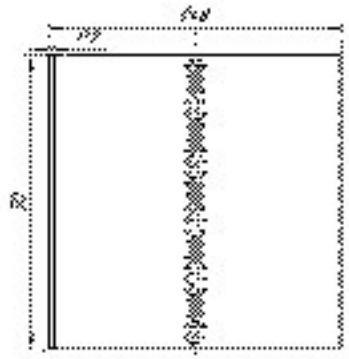
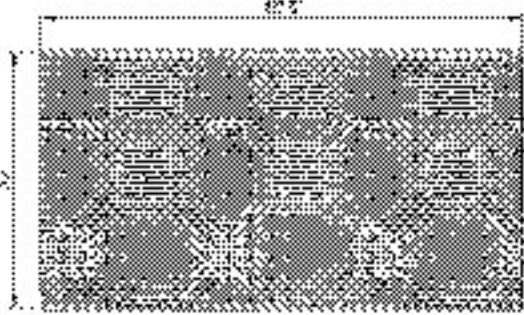
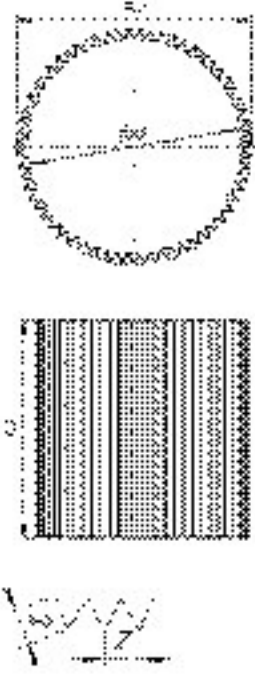
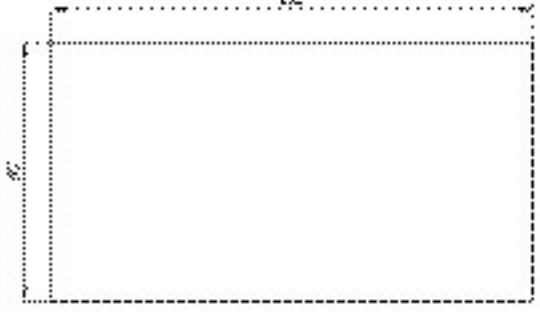
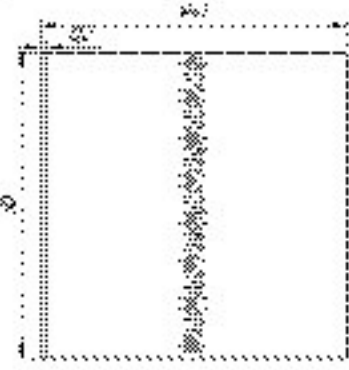
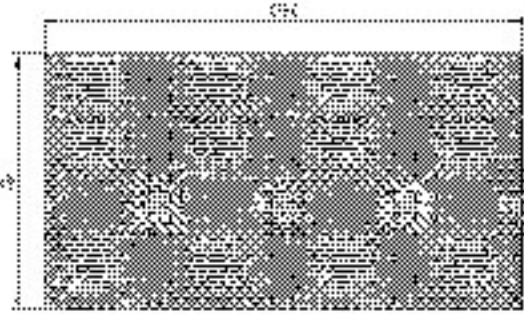
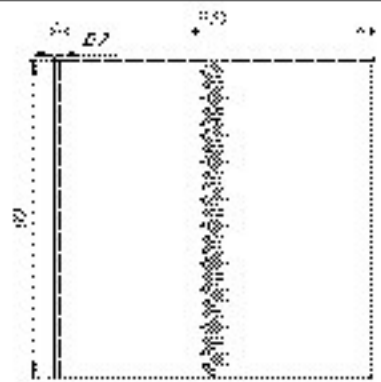
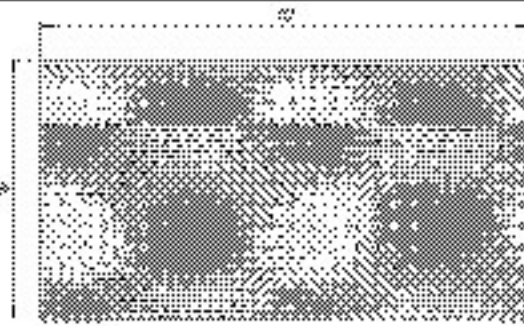

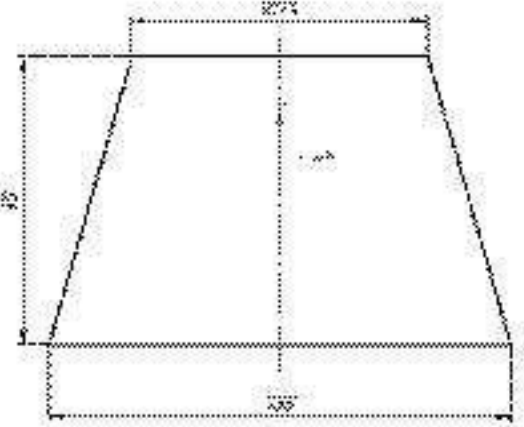

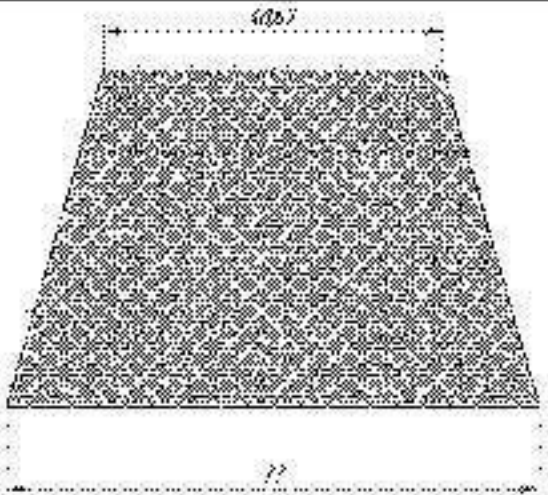


Рисунок 3.5 – Конструктивный вид фильтрующего элемента из пористого тефлона.

Таблица 3.3 – Параметры фильтрующих элементов и перфорированных пластин

Название материала	Параметры, см	
	готового изделия	развертка
Войлок		
Перфорированная пластина		

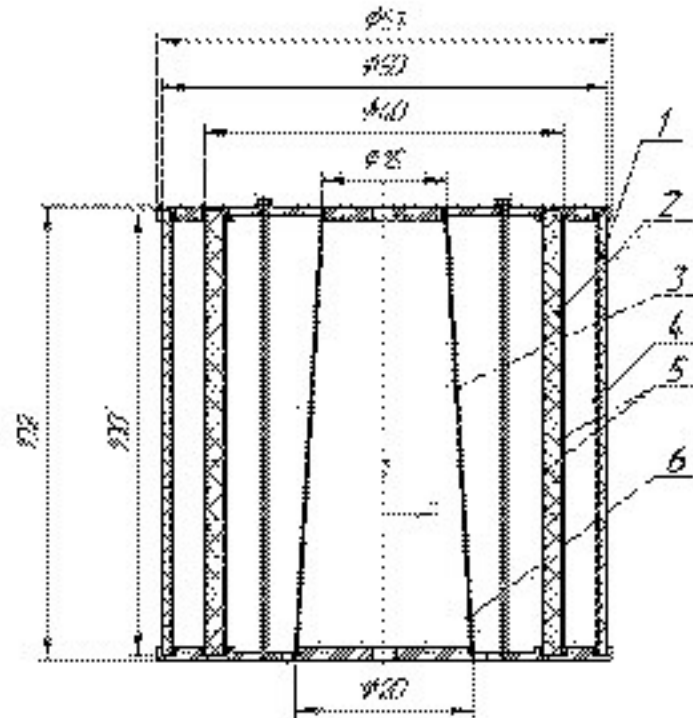
Название материала	Параметры, см	
	готового изделия	развертка
Бумага		
Перфорированная пластина внешняя		
Перфорированная пластина внутренняя		

Название материала	Параметры, см	
	готового изделия	развертка
Пористый тефлон		
Перфорированная пластина		

Конструкция фильтра должна обеспечить эксплуатационную технологичность, безопасность и эргономичность. В связи с этим, целесообразно, фильтрующие элементы, конструктивно, выделить в отдельный блок, т.е. трехступенчатый фильтр будет состоять из основного корпуса и фильтровального блока, как одна сборочная единица (рис. 3.6).

Конструкция трехступенчатого фильтра представлена на рисунке 3.6. Фильтрация дизельного топлива происходит следующим образом. Не очищенное топливо подается через штуцер 2 в полость А, в корпус фильтра 1, далее топливо под давлением 2 кг/см^2 проходит через войлочный фильтр 1 (см. рис.

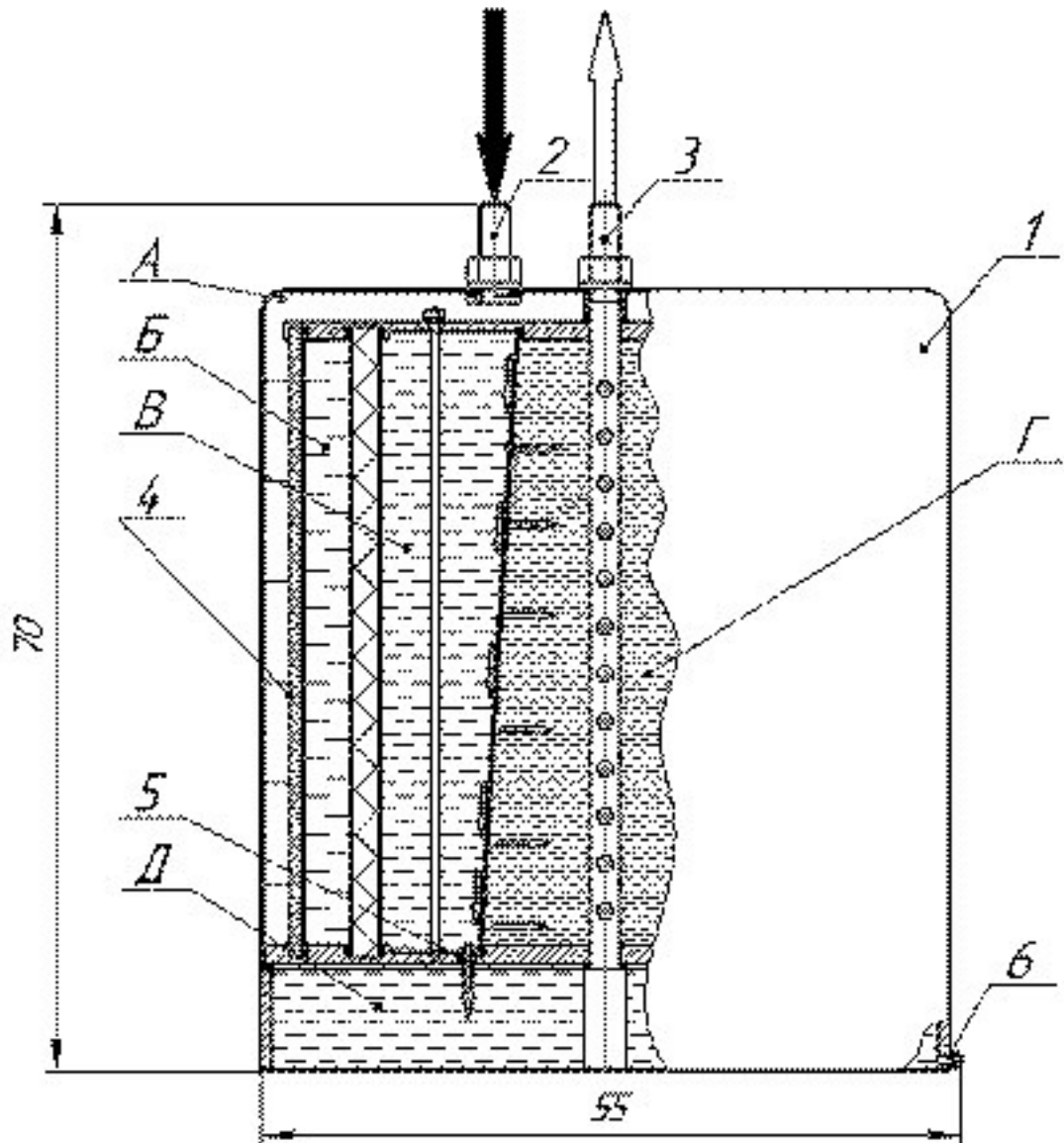
3.6) в полость Б, при этом механические примеси размером 15 мкм остаются на поверхности войлок. Топливо, далее проходит через бумажный фильтрующий элемент 2 (см. рис. 3.6) попадает в полость В, при этом отфильтровываются механические примеси размером 12 мкм.



1- войлочный фильтрующий элемент; 2- бумажный фильтрующий элемент; 3- фильтрующий элемент из пористого тефлона; 3, 4, 5- перфорированная цилиндрическая пластина; 6- перфорированная пластина в виде усеченного конуса.

Рисунок 3.6 – Трехступенчатый фильтр- блок.

Далее, очищенное от механических примесей топливо проходит через пористый тефлон, при этом вода, которая находилась в топливе отфильтровывается, накапливается на поверхности фильтрующего материала и под собственным весом скатывается по поверхности в низ через отверстие 5 (рис. 3.7) в полость Д, где накапливается. Очищенное топливо по центральной трубке подается в заправочную емкость через штуцер 3. При ТО трехступенчатого фильтра, накопленная вода в камере Д сливается через отверстие 6.



1- корпус фильтра; 2- штуцер для подачи топлива; 3- штуцер для отвода топлива; 4- трехступенчатый фильтр- блок; 5- отверстие для отделения воды; 6- отверстие для слива воды.

Рисунок 3.7 - Конструкция трехступенчатого фильтра.

3.6. Результаты эксплуатационных испытаний устройства для комплексной очистки дизельного топлива

Эксплуатационные испытания устройства для комплексной очистки дизельного топлива при заправке мобильной техники проводились в период с 5 по 18 декабря 2019 года в лабораторных условиях кафедры эксплуатации и ремонта машин.

Целью испытаний являлось определение работоспособности устройства для очистки дизельного топлива при заправке топливом техники, оснащенной дизельными двигателями, определение эффективности удаления из дизельного топлива механических загрязнений, эмульсионной воды и продуктов окисления с помощью устройства, разработанного для его комплексной очистки, определение ресурса работы устройства для комплексной очистки дизельного топлива.

Испытаниям подвергалось устройство для комплексной очистки дизельного топлива в виде трехступенчатого фильтра.

Указанное устройство монтировалось в имитационной системе заправки дизельным топливом мобильной техники.

Устройство комплексной очистки топлива подключалось к лабораторной установке, имитирующей систему заправки по временной схеме с помощью гибких рукавов.

Образцы для сравнения брались из заправочной колонки «Нара 28». Характеристики колонки «Нара 28» приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Характеристики колонки «Нара 28»

№	Технико-эксплуатационные характеристики	Показатели
1	Номинальный расход, л/мин	60
2	Минимальная доза выдачи, л	2
3	Номинальная тонкость фильтрования, мкм	20

№	Технико-эксплуатационные характеристики	Показатели
4	Вакуумметрическое давление на входе в насос, МПа -для бензина -для дизельного топлива	0,035 0,050
5	Условный проход всасывающего трубопровода, мм	40
6	Габаритные размеры, мм	750x460x2400
7	Масса, кг	200

Оценка эффективности устройства для комплексной очистки дизельного топлива в процессе сравнительных испытаний проводилась путем отбора проб топлива, поступающего в топливные баки заправляемых машин, результаты испытаний приведены в таблице 3.5. Поскольку при выполнении заправочных операций в процессе проведения эксплуатационных испытаний загрязненность заправляемого топлива изменялась в узких пределах, в таблице приведены усредненные данные по результатам, полученным за 3 цикла испытаний.

Результаты испытаний показывают, что разработанное устройство - фильтр для комплексной очистки заправляемого в топливные баки дизельного топлива - существенно снижает загрязненность заправляемого топлива, позволяя добиться повышения его частоты в 2- 3 раз.

Таблица 3.5 -Загрязненность дизельного топлива, заправляемого в топливные баки.

N цикла	Содержание загрязнений в заправляемом топливе, % (масс.)	
	при наличии устройств для повышения частоты	при штатном оборудовании бака
1	0,018	0,056
2	0,02	0,057
3	0,015	0,055

При проведении сравнительных испытаний устройства комплексной очистки топлива, установлено, что разработанное устройство, включающее трехступенчатый фильтр, по своим эксплуатационным показателям существенно превосходит штатные фильтры тонкой очистки топлива в системах заправки дизелей (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Результаты испытаний устройств тонкой очистки топлива

Устройства для очистки топлива	Эксплуатационные показатели		
	Ресурс работы, ч	Номинальная тонкость очистки, мкм	Эффективность влагоотделения, %
Серийное (ТРК «Нара 28»)	100	20,0	53
Опытное (трехступенчатый фильтр)	300	Менее 10,0	Более 84

Разработанное устройство для комплексной очистки дизельного топлива при заправке в среднем в 4 раз эффективнее очищает топливо, поступающее в бак, чем штатные фильтры тонкой очистки, установленные в топливораздаточной колонке. При этом обеспечивается очистка топлива от фактических примесей, которые удаляются на 75% больше, чем при использовании штатного фильтра топливораздаточной колонки.

Ресурсные испытания устройства комплексной очистки топлива в системе заправки мобильной техники проводились при средней загрязненности топлива, поступающего из бака, 0,06% (масс.). Испытания проводились циклами по 10 часов работы. По истечении каждого цикла фильтр, установленный на топливораздаточной колонке, заменялся. Промывка фильтрующего элемента опытного устройства при этом не требовалась. Таким образом, ресурс работы предлагаемого устройства, проверяемый при сравнительных испытаниях, превосходит ресурс фильтра топливораздаточной колонки более чем в 3

раза. Таким образом, устройство для комплексной очистки дизельного топлива, установленное в системе заправки мобильной техники, снижает загрязненность топлива, поступающего в баки заправляемых машин в 3 - 4 раза, обеспечивает номинальную тонкость очистки топлива менее 10 мкм и полноту влагоотделения более 84 %, а также снижает концентрацию фактической примеси на 58% по сравнению с серийным фильтром топливораздаточной колонки.

Ресурс работы устройства комплексной очистки топлива превышает 300 часов, что более чем в 3 раза выше, чем у штатных фильтров тонкой очистки топлива топливораздаточной колонки.

3.7. Основные рекомендации производству по обеспечению чистоты дизельного топлива

Сохранение качества топлива является одним из условий, обеспечивающих надежную и безаварийную работу сельскохозяйственной техники. Важным показателем качества топлива является степень его чистоты, то есть содержание в нем механических примесей и эмульсионной воды. В отличие от других показателей качества топлива, формируемых на стадии его производства и, как правило, не претерпевающих резких изменений в процессе транспортирования и кратковременного хранения, эти показатели могут существенно изменяться в сторону увеличения при осуществлении транспортно-складских и заправочных операций. В то же время эти показатели оказывают очень большое влияние топливной аппаратуры и в целом двигателя.

Для удаления загрязнений из дизельного топлива можно использовать различные методы, основанные на химических, физико-химических и физических процессах.

Самый просто и доступный способ очистки и обезвоживания топлива - его отстаивание в гравитационном поле. Данную операцию можно осуществлять в серийно изготавливаемых резервуарах для хранения нефтепродуктов,

которые выполняют функцию статических отстойников периодического действия, причем одновременно с водой из топлива удаляются и твердые частицы, поэтому очистка и обезвоживание топлива путем отстаивания находят широкое применение. Недостатком этого способа является длительность процесса очистки и обезвоживания топлива и его малая эффективность при небольших размерах твердых частиц и микрокапель воды. Во время отстаивания не следует доливать топливо в резервуар или выкачивать его из резервуара. Возможна выдача топлива из верхних слоев с помощью плавающего топливоприемника (рис. 3.8).

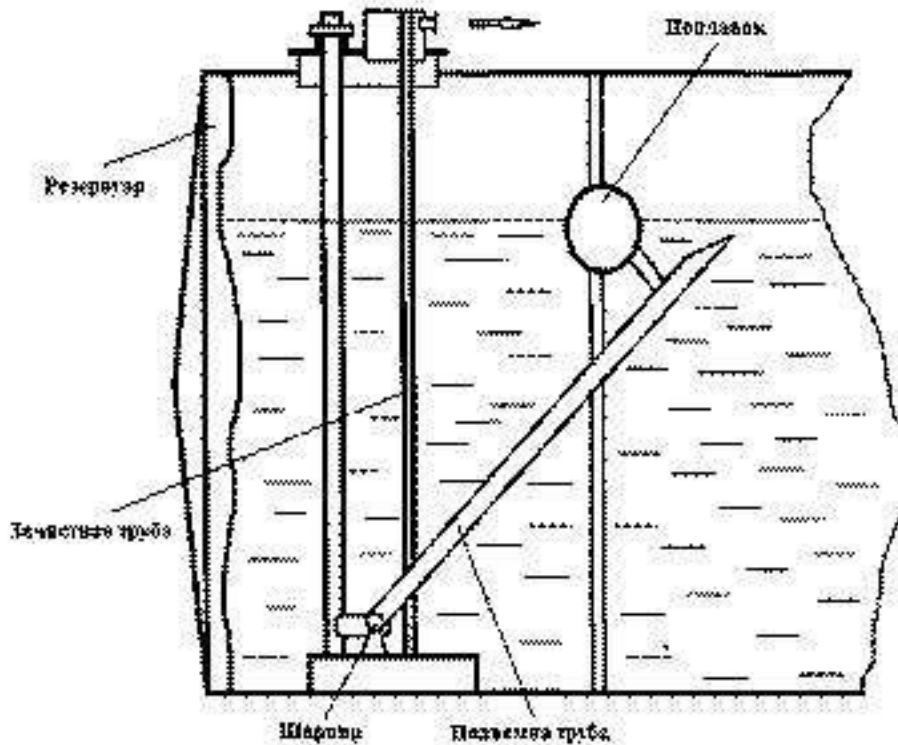


Рисунок 3.8 -Плавающее топливоприемное устройство резервуара

При отстаивании в наземных резервуарах из-за их неравномерного нагрева и охлаждения в топливе могут возникнуть конвенционные точки, препятствующие осаждению загрязнений. В заглубленных резервуарах условия для отстаивания более благоприятны, так как эти резервуары не испытывают воздействия солнечной радиации и практически не подвержены суточным колебаниям температуры.

Заглубленные резервуары также лучше защищены от внешних воздействий, менее пожароопасны, в них практически отсутствуют малые дыхания, что снижает возможность попадания в топливо атмосферных загрязнений. Однако стоимость установки заглубленных резервуаров выше, чем наземных, а контроль их технического состояния затруднен. Поэтому вопрос о способе хранения дизельного топлива должен решаться, исходя из конкретных условий на основе технико-экономического анализа.

Для предотвращения накопления фактических смол в дизельном топливе следует сократить время его пребывания в резиноканевых рукавах, которые являются основным генератором образования в нем фактических смол. По окончании заправки техники или перекачки при сливо-наливных операциях необходимо опорожнять рукава от дизельного топлива.

Универсальными устройствами для очистки топлива от твердых загрязнений являются фильтры, эффективность применения которых практически не зависит от свойств частиц и связана исключительно с соотношением этих частиц и размеров пор фильтрующей перегородки. На работу фильтров существенное влияние оказывают свойства очищаемого топлива (его вязкость, электропроводность, присутствие в нем поверхностно-активных веществ и т.д.)

Фильтрационные методы очистки дизельного топлива от механических частиц получили широкое распространение из-за ряда преимуществ фильтров по сравнению с другими устройствами для очистки топлива. Главные из этих преимуществ - стабильная тонкость очистки, отсутствие движущихся частей, простота эксплуатации.

Фильтрационные методы обезвоживания топлива отличаются от аналогичных методов удаления из него твердых частиц. Они основаны на использовании для отделения влаги пористых перегородок, которые могут изготавливаться из водоотталкивающих (гидрофобных) материалов, водопоглощаю-

щих (гидрофильных) материалов, а также из сочетания гидрофобных и гидрофильных волокон. В первом случае пористая перегородка, пропуская только топливо, является непроницаемой для эмульгированной в нем воды, которая остается на поверхности этой перегородки. Во втором случае материал пористой перегородки в процессе фильтрации топлива интенсивно впитывает эмульсионную воду до полного насыщения. В третьем случае происходит последовательное укрупнение микрокапель воды вследствие их коагуляции при взаимодействии с волокнами пористой перегородки и выпадение укрупненных капель из потока топлива.

Недостатком использования гидрофобных перегородок является блокирование микрокаплями воды пор перегородки, что препятствует прохождению через них очищенного топлива. При использовании гидрофильных перегородок ресурс их работы ограничен временем до полного насыщения перегородки влагой и зависит от габаритных размеров устройства. Коагулирующие перегородки, сочетающие гидрофобные и гидрофильные волокна, являются многослойными и имеют значительные габаритные размеры, а эффективность их работы в значительной мере зависит от скорости потока топлива, его вязкости и плотности, наличия в нем смолистых веществ и т.п.

Из перечисленных конструкции фильтров-водоотделителей наиболее простыми по устройству, малогабаритными и имеющими высокую водоотделяющую способность являются устройства с гидрофобными перегородками.

Перспективным методом очистки дизельного топлива является применение фильтрующих перегородок с обеспечением их периодической или непрерывной регенерации. При этом желательно осуществлять непрерывную регенерацию гидрофобной фильтрующей поверхности с использованием гидродинамического эффекта, что позволит отказаться от дополнительных приспособлений (продувочных, промывочных и механических устройств), применение которых неизбежно при проведении регенерации поэтапно на отдельных участках фильтрующей поверхности. При этом блокирование гидрофобной

поверхности микрокаплями воды не будет происходить благодаря их удалению с этой поверхности под воздействием гидродинамических сил.

Перспективным направлением совершенствования гидродинамических фильтров является применение каскадной схемы очистки топлива. Если при использовании единичного гидродинамического фильтра очистке подвергается не более 70 - 90% очищаемого продукта, то при двухступенчатой установке этих фильтров объем очищенного продукта составит 97,3 - 99%.

Использование фильтров-водоотделителей позволяет устранить основной эксплуатационный недостаток фильтров традиционной конструкции - необходимость периодического прекращения процесса очистки для замены или промывки фильтрационных элементов. Фильтрующую перегородку в устройствах для очистки дизельного топлива целесообразно изготавливать из предложенных материалов, который обеспечивает одновременное эффективное удаление из дизельного топлива механических примесей, эмульсионной воды.

Организационные и технические мероприятия, проводимые с целью обеспечения чистоты дизельного топлива при его транспортировании, хранении и заправке сельскохозяйственной техники, являются важным звеном в деле рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

Эффективность в борьбе за чистоту дизельного топлива достигается повседневным контролем за исправностью средств хранения, транспортирования, заправки и очистки и правильной их эксплуатации.

Комплексный подход к решению проблемы чистоты дизельного топлива обеспечивает повышение надежности сельскохозяйственной техники, что является практическим осуществлением требований

Федерального Закона №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», направленных на бережное и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов страны.

3.8. Техничко-экономическая оценка результатов исследований

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что применение комбинированного фильтра для очистки дизельного топлива существенно повышает качество очистки дизельного топлива, а также обеспечивает высокий ресурс работы фильтрующих элементов.

Экономический эффект от использования разработанного устройства на основе трёхслойного материала определяется разницей между затратами на применение этого устройства и существующим устройством для обеспечения чистоты дизельного топлива при заправке сельскохозйственной и транспортной техники. Техничко-экономический эффект зависит от стоимостных, экологических и других факторов. Стоимостные факторы включают затраты на техническое обслуживание и внешановый ремонт, заработанную плату персонала, цену самого изделия (серийного или спроектированного). Технические факторы заключаются в следующем: за счет обеспечения чистоты дизельного топлива увеличивается ресурс топливной аппаратуры дизелей, снижается расход топлива и т.д. Экологические факторы - это снижение количества вредных выбросов в атмосферу и т.д. Полностью оценить и дать точную оценку влияния всех этих факторов на результаты экономического эффекта в нашем случае не представляется возможным. Логично провести анализ технико-экономических показателей уже существующих и серийно выпускаемых фильтрационных материалов с трёхслойным материалом, используемым в разработанном фильтре.

Для сравнительного анализа технико-экономических показателей выбраны отечественные и зарубежные образцы фильтрующих материалов, которые обладают близкими эксплуатационными свойствами (табл.3.6).

Таблица 3.6. Техничко-экономические показатели фильтрационных материалов тонкой очистки дизельного топлива.

Наименование материала	Тонкость очистки	Эффективность влагоудаления, %	Эффективность удаления механических примесей, %	Ресурс работы, ч	Цена, руб; шт
Фторопласт - 4	15 мкм	98	93	1500	13340
PIUSI (Италия)	30 мкм	96	98	1200	13200
Предлагаемый трехслойный материал	12 мкм	87	97	1500	1349

Данные, приведенные в таблице 3.5, показывают, что предложенный трехступенчатый фильтр, используемый в разработанном устройстве по своим технико-экономическим показателям соответствует аналогичным материалам российского и зарубежного производства по эффективности влагоудаления, эффективности удаления механических примесей. Данные по разработанному устройству рассчитывались как за единичные изделия, и при серийном производстве цена будет ниже.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Фактическая загрязнённость дизельного топлива при транспортно-складских и заправочных операциях значительно превышает требования, содержащиеся в нормативно-технической документации. Отрицательное воздействие механических примесей и эмульсионной воды на топливную аппаратуру и другие агрегаты двигателя проявляется в усиленном износе сопря-

жённых деталей, закупорке калиброванных отверстий, повышенном нагарообразовании и т.п., что сокращает ресурс работы узлов системы питания, приводит к её отказам, сверхнормативному расходу топлива, к загрязнению окружающей среды продуктами неполного его сгорания и другими токсичными веществами.

2. Для повышения эффективности комплексной очистки дизельного топлива от механических примесей и эмульсионной воды при заправке мобильной техники исследован механизм загрязнения и обводнения дизельного топлива на нефтескладах и заправочных пунктах сельскохозяйственных предприятий, найдены зависимости, описывающие эти процессы, разработаны их математические модели.

3. Предложены математический и физический модели механизма комплексной очистки топлива от механических загрязнений и эмульсионной воды при заправке мобильных машин с помощью фильтрующих перегородок войлока, бумаги и пористого тефлона, обоснована конструкция устройства для осуществления этих операций.

4. Разработаны методики экспериментальных исследований, включающие изучение фактической загрязнённости дизельного топлива при складских и заправочных операциях, комплексной очистки топлива при заправке техники.

5. Исследована фактическая загрязнённость дизельного топлива механическими примесями и эмульсионной водой при его хранении и заправке мобильной техники; содержание механических примесей достигает в резервуарах при наливке дизельного топлива и при его хранении соответственно 0,01% и 0,015% (масс), а содержание эмульсионной воды соответственно 0,088 и 0,01% (масс).

6. В результате проведенных исследований разработана конструкция устройства для комплексной очистки дизельного топлива при заправке тех-

ники, включающего фильтры для очистки заправляемого топлива от механических примесей и дополнительный фильтр для отделения воды из топлива; эксплуатационные испытания этого устройства показали их высокую эффективность.

7. Проведенная технико-экономическая оценка показывает, что разработанное устройство по своим эксплуатационным показателям соответствует требованиям по очистке топлива, а по стоимостным показателям лучше аналогичного отечественного образца в 2,5 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов, В. Н. Хранение нефти и нефтепродуктов: уч. пособие / А. Н. Антипов [и др.]; под общ. ред. Ю. Д. Земенкова. - М. : Изд-во «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. - 560 с. 74

2. Башкатова, С.Т. Поверхностные явления и дисперсные системы в нефтегазовых технологиях / С.Т. Башкатова, В.А. Винокуров - М.: ФГУ нефти и газа 2005. - 93 с. 66

3. Богданов, В. С. Источники загрязнения ТСМ при хранении / В. С. Богданов // Сельский механизатор. - 2012. - №12. - С. 32-33. - ISSN 01317393. 68

4. Богданов, В. С. Качество топлива-смазочных материалов и причины ухудшения его при хранении / В. С. Богданов // Техника и оборудование для села. - 2012. - №5. - С. 33-36. - ISSN 2072-9642. 67
5. Большаков, Г. Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г. Ф. Большаков -2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Недра, 1982. - 352 с. 9
6. Бродский, Г. С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г. С. Бродский. - М. : Горная промышленность, 2004. - 360 с. 90
7. Воробьев, А. Н. Совершенствование очистки дизельного топлива в процессе эксплуатации двигателей сельских озяйственных и транспортных машин / А. Н. Воробьев. - Москва, 2012.- 173 с. 71
8. Галко, С. А. Гидродинамические фильтры-водоотделители для очистки нефтепродуктов / С. А. Галко, Е. А. Улюкина, В. П. Коваленко, А. Н. Воробьев, О. В. Ерохин, А. И. Косых // Международный технико-экономический журнал. - 2011. - №2. - С. 111-115. 103
9. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман - М. : Высшая школа, 1977. - 479 с. 81
10. ГОСТ 10577 - 78. Нефтепродукты. Методы определения содержания механических примесей. - Введ. 1980-01-01. - М. : ИПК Издательство стандартов, 1978. - 7 с. 76
11. ГОСТ 1510-84. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. - Введ. 1986-01-01. - М. : Стандартиформ, 2006. - 36 с. 70
12. ГОСТ 2477-65. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения содержания воды. - Введ. 1966-01-01. - М. : Стандартиформ, 2008. - 8 с. 5
13. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия. - Введ. 1983-01-01. - М. : Стандартиформ, 2007. - 16 с. 3

14. ГОСТ 52368-2005. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. - Введ. 2006-07-01. - М. : Стандартинформ, 2009. - 30 с. 6
15. ГОСТ 6370-83. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей. - Введ. 1984-01-01 - М. : Стандартинформ, 2008. - 6 с. 4
16. ГОСТ 8489-85. Топливо моторное. Метод определения фактических смол (по Бударову). - Введ. 1986-07-01. - М. : ИПК издательство стандартов, 2001. - 4 с. 83
17. ГОСТ Р 50552-93. Промышленная чистота. Материалы фильтрующие. Общие технические требования. - Введ. 1994-01-01. - М. : Госстандарт России, 1993. - 3 с. 75
18. Данилов, А. М. Применение присадок в топливах для автомобилей / А. М. Данилов. - М. : Химия, 2000. - 232 с. 18
19. Данилов, А. М. Присадки и добавки / А. М. Данилов. - М. : Химия, 1996. - 242 с. 19
20. Европейский патент EP 542628, 1993 41
21. Жулдыбин, Е. Н. Способы и средства обезвоживания нефтепродуктов / Е. Н. Жулдыбин, В. П. Коваленко, В. Е. Турчанинов. - М. : ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1985. - 68 с. 97
22. Зазуля, А. Н. Анализ направлений экономии топливо-смазочных материалов путем модернизации нефтехозяйств / А. Н. Зазуля [и др.]. - М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2010. - 168 с. 72
23. Информационно-технический бюллетень СГ № 18. - М.: ВИ, 1990, с.7-10. 2
24. Каминский, Э. Ф. Состояние и перспективы развития производства экологически чистых дизельных топлив, сер. Переработка нефти и нефтехимия / Э. Ф. Каминский, М. Н. Пуриг, В. А. Хавкин и др. - М. : ЦНИИТЭнефтехим. - 1995. - №2. - 97 с. 17

25. Коваленко, В. П. Восстановление качества нефтепродуктов с помощью ПГС-полимеров / В. П. Коваленко, Е. А. Улюкина, С. С. Гусев, И. Н. Леонов // Сб. трудов международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей двигателей транспорта и автомобилей». - СПб, 2004. - С. 4. 102

26. Коваленко, В. П. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений / В. П. Коваленко, А. А. Ильинский. - М.: Химия, 1982, с.272. 1

27. Коваленко, В. П. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений / В. П. Коваленко, А. А. Ильинский. - М. : Химия, 1982. - 272 с.

28. Коваленко, В. П. Очистка дизельного топлива от механических примесей, эмульсионной воды и продуктов окисления с применением пористых наноматериалов. [Текст] / В. П. Коваленко, Е. А. Улюкина, В. В. Коновалов // Известия Международной академии аграрного образования. - 2013. - №16. - т.4-С. 136-139. 91

29. Коваленко, В. П. Очистка нефтепродуктов от загрязнений / В. П. Коваленко, В. Е. Турчанинов. - М. : Недра, 1990. - 160 с. 95

30. Коваленко, В. П. Современные методы очистки автомобильных топлив от механических загрязнений и воды / В. П. Коваленко, Е. А. Улюкина, А. Н. Воробьев // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. - 2011. - №2. - С. 21-23. 104

31. Коваленко, В. П. Средства очистки нефтепродуктов от механических загрязнений / В. П. Коваленко, В. Е. Турчанинов. - М. : ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1984. - 68 с. 96

32. Коваленко, В. П. Устройство для комплексной очистки дизельного топлива при заправке сельскохозяйственной техники. [Текст] / В. П. Коваленко, Е. А. Улюкина, В. В. Коновалов // Техника в сельском хозяйстве. - 2013. - №1. - С. 24-26. 93

33. Коваленко, В. П. Эксплуатация и ремонт технического оборудования топливозаправочных комплексов и нефтескладов / В. П. Коваленко, А. В. Симоненко, В. С. Лоскутов. - М. : МГАУ, 2003. - 84 с. 101

34. Королев, И. А. Совершенствование очистки рабочих жидкостей гидравлических систем на основе использования материалов пористой глобулярной структуры / И. А. Королев. - Москва, 2008. - 157 с. 80

35. Краткий технический справочник / под общей редакцией В. А. Зиновьева. - Москва, СПб, 1949. - 533 с. 94

36. Лихтерова, Н. М. Влияние дисперсной фазы на высокотемпературное окисление моторных топлив / Н. М. Лихтерова // Химия и технология топлив и масел. - 1999. - №6. - С. 30-32. 57

37. Лихтерова, Н. М. Влияние температур, природы растворителей и озона на дисперсную фазу моторных топлив, тез. док. на научно-техн. сем., Актуальные проблемы применения нефтепродуктов / Н. М. Лихтерова, В. Г. Городец и др. - г. Псков. - 1998. - С. 37-38. 60

38. Лихтерова, Н. М. Водоотделяющие свойства реактивных топлив, тез. док. научно-техн. семинар «Актуальные проблемы применения нефтепродуктов, средств защиты окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами» / Н. М. Лихтерова, В. Г. Городецкий, О. А. Стародубцева. - Австрия, Вена, 1999. - С. 56. 56

39. Лихтерова, Н. М. О влиянии ряда факторов на дисперсное строение реактивных и дизельных топлив / Н. М. Лихтерова, В. Г. Городецкий и др. // Химия и технология топлив и масел. - 1999. - №4. - С. 29-33. 59

40. Лихтерова, Н. М. Структурообразование, технология получения и применения реактивных топлив, дис. на соиск. степени док. технич. наук / Н. М. Лихтерова - М. : ФГУ нефти и газа, 2002. - 344 с. 55
41. Ломоносов, Д. А. Повышение долговечности плунжерных пар дизельной топливной аппаратуры за счет контроля влагосодержания в топливной системе. Автореферат. - Москва, 2006. - 18 с. 73
42. Лышко, Г. П. Нефтепродукты и технические жидкости / Г. П. Лышко. - М. : Агропромиздат, 1987. - 382 с. 11
43. Лышко, Г. П. Топливо и смазочные материалы: уч. пособие для высших с.-х. учебных заведений / Г. П. Лышко. - М. : Агропромиздат, 1985. - 354 с. 10
44. Митусова, Т. Н. Современные дизельные топлива и присадки к ним / Т. Н. Митусова, Е. В. Полина, М. В. Капнина. - М. : Техника, 2002. - 63 с. 43
45. Нагорнов, С. А. Повышение эффективности работы нефтехозяйств в АПК / С. А. Нагорнов [и др.]. - М. : ФГНУ «Росинформмагротех», 2008. - 168 с. 12
46. Патент PCT Int. Appl. WO 9616143, 1996 42
47. Патент PCT Int. Appl. WO 9623855 C1.C10L 1/14, 1996 38
48. Патент РФ №2141642, 1999 г. Способ анализа пористой структуры / Е. И. Школьников, И. Б. Елкина, В. В. Волков. 85
49. Патент РФ №2456055 , 2012г. Устройство для очистки жидкостей в циркуляционных системах / В. П. Коваленко, С. А. Галко, Е. А. Улюкина, А. И. Косых, О. В. Ерохин, А. Н. Воробьев. 88
50. Патент Японии JP 0978074, 1997 40
51. Патент Японии JP 10176175, 1997 39
52. Почтарев, И. Ф. Влияние запыленности воздуха на износ поршневых двигателей / И. Ф. Почтарев. - М. : Воениздат, 1957. - 139 с. 7

53. Руководство по испытаниям технических средств службы горючего. Книга 2. Методики определения технических и эксплуатационных параметров технических средств службы горючего / В. Т. Горячев. - М. : Военное издательство, 1989. - 425 с. 79
54. Рыбаков, К. В. Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов / К. В. Рыбаков, Е. Н. Жулдыбин, В. П. Коваленко. - М. : Транспорт, 1979. - 182 с. 100
55. Рыбаков, К. В. Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов. /К. В. Рыбаков, Е. Н. Жулдыбин, В. П. Коваленко - М. Транспорт. 1979. - 181 с. 78
56. Сафонов, А. С. Автомобильные топлива / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, И. В. Чечкинев. - СПб. : НПИКЦ, 2002. - 264 с. 14
57. Сафонов, А. С. Качество автомобильных топлив / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, А. В. Орешенков. - М. : НПИКЦ Санкт-Петербург, 2006. - 400 с. 8
58. Сафонов, А. С. Качество автомобильных топлив / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, А. В. Орешенков. - М. : НПИКЦ Санкт-Петербург, 2006. - 394 с. 69
59. Справочник «Топлива, смазочные материалы, технические жидкости» / под ред. В. М. Школьников. - М.: «Техинформ», 1999. - 596 с. 15
60. Стребков, С. В. Применение топлив, смазочных материалов и технических жидкостей в агропромышленном комплексе: уч. издание / С. В. Стребков, В. В. Стрельцов. - Белгород, 1999. - 327 с. 13
61. Удлер, Э. И. Фильтрация нефтепродуктов / Э. И. Удлер. - ТГУ, Томск, 1988.-216 с. 98
62. Удлер, Э. И. Фильтрация углеводородных топлив / Э. И. Удлер. - ТГУ, Томск, 1981.- 152 с. 99
63. Финкельштейн, З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З.Л. Финкельштейн. - М. : Недра, 1986. - 232 с. 92

64. Чертков, Я. Б. Загрязнения и методы очистки нефтяных топлив / Я. Б. Чертков, К. В. Рыбаков, В. Н. Зрелов. - М. : Химия, 1970. - 240 с. 82
65. Чертков, Я. Б. Моторные топлива / Я. Б. Чертков. - Новосибирск, Наука, 1987.-208 с. 16
66. . Шамсутдинов А.А., Хайруллин А.А., Галиев И.Г. Анализ влияния хранения, заправки и качества ТСМ на их расход// Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса / Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. - Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2019.
67. Шамсутдинов А.А., Шакирзянов Р.Р., Галиев И.Г. Анализ факторов, влияющих на качество ТСМ в аграрном производстве // Materials of the XV International scientific and practical Conference Science and civilization - 2019, 30 January - 07 February, 2019: Shef-field. Science and education LTD -116 p.

ОТЗЫВ

на магистерскую диссертацию Шамсутдинова А.А. на тему: «Обеспечение чистоты дизельного топлива при заправке сельскохозяйственной и транспортной техники» научного руководителя, д-ра техн. наук, профессора кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Галиева Ильгиза Гакифовича

В сельском хозяйстве используется большое количество топлив и масел различного назначения, от качества которых напрямую зависит работоспособность сельскохозяйственных машин и агрегатов. Повышение долговечности и надежности техники при работе на углеводородных топливах и маслах достигается путем улучшения их конструкции, а также повышением эксплуатационных показателей топлив и масел, из которых одним из важнейших является содержание в этих продуктах механических примесей, эмульсионной воды и других загрязнений, то есть их чистота.

В связи с этим, данное исследование посвящено анализу причин и источников загрязнения дизельного топлива, а также повышению эффективности его комплексной очистки от различного вида загрязнений путём применения современных пористых материалов и разработки на их основе технических средств для очистки дизельного топлива при заправке техники.

Научная новизна основных результатов исследований, выносимых на защиту заключается в следующем: определены закономерности процессов накопления твёрдых загрязнений в дизельном топливе при транспортно-складских и заправочных операциях на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий, в исследовании механизма образования в топливе загрязнений; теоретически обоснована конструкция устройства для трехступенчатой очистки дизельного топлива при заправке мобильной техники; экспериментально подтверждены эффективность использования этого устройства.

По теме магистерской диссертации опубликовано 2 статьи и подана заявка на регистрацию программного обеспечения.

В ходе выполнения выпускной работы Шамсутдинов А.А. проявил высокую дисциплинированность, трудолюбие, систематически посещал консультации, соблюдал график выполнения работы и в назначенный срок представил к защите.

В целом считаю, что данная выпускная работа соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, а ее автор Шамсутдинов А.А. достоин присвоения квалификации «магистр».

Научный руководитель

д.т.н., профессор кафедры ЭРМ



И.Г.Галиев

С отзывом ознакомлен:



7.02.2020г

ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет

Институт механизации и технического сервиса

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу

Выпускника Мамсутдинова А.А.
Направление Агроинженерия
Направленность Технический сервис в сельском хозяйстве.
Тема ВКР Обеспечение чистоты дизельного топлива при заправке сельскохозяйственной и транспортной техники

Объем ВКР: текстовые документы содержат: 86 страниц, в т.ч. пояснительная записка 79 стр.; включает: таблиц 14, рисунков и графиков 9, фотографий 1 штук, список использованной литературы состоит из 67 наименований.

1. Актуальность темы, ее соответствие содержанию ВКР Выбранная тема актуальна
2. Глубина, полнота и обоснованность решения поставленных задач поставленные исследовательские задачи решены
3. Качество оформления ВКР отлично
4. Положительные стороны ВКР (новизна разработки, применение информационных технологий, практическая значимость и т.д.) разработанные мероприятия и инструкция созданы

