

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Ташкентский автомобильно-дорожный институт

На правах рукописи

Шомансуров Жавлон Шомуслимович

**«Анализ системы очистки воздуха и совершенствование технологии
восстановления фильтрующих элементов (на примере автомобиля
«КамАЗ»)»**

Специальности: 5А521207-Химмотология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра автомобильного транспорта

Работа рассмотрена
и допущена к защите

Научный руководитель
проф: Акопов В.А.

Зав.кафедрой «Химмотология»
К.х.н. Барханаджян А.Л. _____
« ___ » _____ 2009 г.

Эксперт

Ташкент - 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	8
Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана.....	10
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	15
1.1. Обоснование целесообразности регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740.....	15
1.2. Механизация технического обслуживания воздушных фильтров автомобилей и анализ технологических схем регенерационных установок.....	22
1.3. Цель и задачи исследования.....	29
ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПО РЕГЕНЕРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ КАРТОННЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	31
2.1. Определение давления струи продувочного воздуха при регенерации картонных фильтров от пыли.....	31
2.2. Определение давления струи жидкости при регенерации фильтров водным раствором моющих средств.....	43
2.3. Определение времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха.....	49
ГЛАВА III. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	54
3.1. Программа исследований.....	54
3.2. Методика исследований по определению основных параметров процесса регенерации картонных фильтрующих	

элементов.....	55
3.3. Методика оптимизации технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 на основе математической теории планирования эксперимента.....	61
3.4. Методы исследования эффективности работы регенерированных фильтроэлементов.....	70
3.5. Метод эксплуатационных исследований влияния эффективности работы регенерированных фильтров на интенсивность износа деталей цилиндропоршневой группы двигателей КамАЗ-740.....	73
ГЛАВА IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	
77	
4.1. Давление струи продувочного воздуха при регенерации картонных фильтров от пыли.....	77
4.2. Давление струи жидкости при регенерации фильтров водным раствором моющих средств.....	78
4.3. Время досушки промытых фильтров струей горячего воздуха.....	80
4.4. Технология регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740.....	83
4.5. Стендовые испытания регенерированных фильтроэлементов.....	92
4.6. Пылеемкость и коэффициент пропуска пыли.....	94
4.7. Ресурс регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740.....	98
4.8. Влияние эффективности работы регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей на интенсивность изнашивания деталей цилиндропоршневой	

группы двигателей КамАЗ-740.....101

ГЛАВА V. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.....103

5.1. Метод расчета параметров установок для регенерации картонных фильтрующих элементов автомобильных воздухоочистителей любого типа.....103

Выводы.....107

Список использованной литературы.....109

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Одним из главных показателей эффективности работы автомобилей и увеличения их ресурса является надежность двигателей внутреннего сгорания, которая в первую очередь зависит от того, как тщательно двигатель, его трущиеся детали, отдельные узлы и агрегаты защищены от пыли. При недостаточной защите двигателя от загрязняющих примесей резко возрастает абразивное изнашивание деталей, снижается надежность работы двигателей и он преждевременно выходит из строя. Так износ основных деталей двигателя до 80 % обусловлен попаданием в них абразивной пыли.

Одним из резервов в снижении износа деталей и повышения их надежности является обеспечение в двигателях эффективной очистки воздуха путем применения на автомобилях высокоэффективных воздухоочистителей со сменными картонными фильтрующими элементами. Однако, опыт эксплуатации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей указывает на снижение ресурса фильтроэлементов. Для решения этой проблемы фильтроэлементы необходимо регенерировать.

Предлагаемые установки для регенерации картонных фильтрующих элементов автомобильных воздухоочистителей у нас в стране и за рубежом имеют ряд существенных недостатков. Основными их недостатками является отсутствие совмещения всех технологических процессов, необходимых для регенерации фильтров и обеспечения экономичной и эффективной очистки.

В связи с этим **актуальной** задачей является разработка высокоэффективной установки для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей.

Целью данной работы явилось повышение ресурса картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей за счет совершенствования технологии их регенерации.

Для решения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Осуществить анализ системы очистки воздуха и технологических схем регенерированных установок.
2. Определение параметры проведения процесса регенерации (давление струи воздуха и жидкости, времени до сушки и др.)
3. Разработка технологии регенерации КФЭ воздухоочистителей автомобилей КамАЗ.
4. Влияние эффективности работы регенерированных КФЭ на износ деталей ЦПГ автомобилей КамАЗ.

На основе анализа существующих конструкций и с учетом их недостатков предложена технологическая схема установки для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей.

Исследованы закономерности протекания процесса регенерации в картонных фильтрующих элементах. Для теоретического обоснования основных параметров процесса регенерации загрязненных картонных фильтрующих элементов выявлены силы, удерживающие частицы пыли в картоне и на основании их предложена формула для расчета давления воздушного потока при продувке загрязненных фильтров от пыли. Дана оценка работы, которую надо затратить для отрыва масла от поверхности при регенерации фильтров водным раствором моющих средств и на основании ее получена формула, позволяющая рассчитать давление струи моющего раствора.

Приводятся результаты экспериментальных исследований подтверждения определяющих параметров процесса регенерации картонных фильтрующих элементов.

МИРОВОЙ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КРИЗИС, ПУТИ И МЕРЫ ПО ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЮ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

Мировой финансовый кризис, воздействие его на экономику Узбекистана и факторы, предупредившие и смягчившие его последствия.

Получив начало с провалов и несостоятельности ипотечного кредитования в США, кризис нашел свое масштабное отражение в кризисе ликвидности важнейших банков и финансовых структур, катастрофическом падении индексов и рыночной стоимости крупнейших компаний на ведущих фондовых рынках мира. Все это, в свою очередь, явилось причиной серьезного спада производства, резкого снижения темпов роста экономики во многих странах, со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями.

Принимающий все больше размеры мировой финансовый кризис не может не оказать воздействия на нашу страну.

Каждый из нас должен отдавать себе отчет в том, что Узбекистан сегодня – это составная часть мирового пространства и глобального финансово-экономического рынка.

Из-за сокращающегося спроса на мировом рынке снижаются цены на экспортируемую Узбекистаном продукцию, такую как драгоценные и цветные металлы, хлопок, уран, нефтепродукты, минеральные удобрения и другие. Это в свою очередь приводит к уменьшению экспортной выручки хозяйствующих субъектов и инвесторов, отражается на их прибыли и рентабельности производства и в конечном итоге – на темпах роста и на наших макроэкономических показателях.

Для нейтрализации воздействия мирового финансового кризиса и преодоления его последствий у нас в стране есть все необходимые условия. За истекший период сформирован достаточно прочный фундамент экономического и финансового потенциала страны, созданы надежные механизмы управления финансово-банковской инфраструктурой.

Совсем недавно принят и сегодня реализуется Указ Президента Республики Узбекистан по оказанию дополнительной помощи банковским и финансовым структурам, поддержке деловой активности предприятий и компаний реального сектора экономики, повышению рентабельности производства и экспортных возможностей, выделению им в этих целях дополнительных налоговых льгот и преференций и реализации наряду с этим других крупномасштабных мер и проектов.

Исходя из этого, само собой разумеется, что важнейшим нашим приоритетом в социально-экономическом развитии Узбекистана на 2009 год продолжит оставаться реализация принятой в стране антикризисной программы на 2009-2012 годы.

У нас есть сегодня все основания заявить о том, что принятая нами модель перехода к социально ориентированной свободной рыночной экономике, базирующейся на известных пяти принципах, с каждым годом нашего продвижения вперед оправдывает свою правильность и состоятельность.

В первую очередь такие принципы, как деидеологизация, прагматичность экономической политики, выраженной как приоритет экономики над политикой, возложение роли главного реформатора на государство, обеспечение верховенства закона, проведение сильной социальной политики, поэтапность и постепенность в реализации реформ – все это, особенно в экстремальных условиях разразившегося мирового финансового и экономического кризиса, доказывает свою актуальность и жизненность.

Коротко остановимся на конкретных разделах-комплексах мероприятий Антикризисной программы, направленных на решение следующих ключевых задач.

В первую очередь, это дальнейшее ускоренное проведение модернизации, технического и технологического перевооружения предприятий, широкое внедрение современных гибких технологий. Это

прежде всего касается базовых отраслей экономики, экспорта ориентированных и локализуемых производств.

Ставится задача ускорения реализации принятых отраслевых программ модернизации, технического и технологического перевооружения производства, перехода на международные стандарты качества, что позволит обеспечить устойчивые позиции как на внешнем, так и на внутреннем рынках.

Во- вторых, реализация конкретных мер по поддержке предприятий – экспортеров в обеспечении их конкурентоспособности на внешних рынках в условиях резкого ухудшения текущей конъюнктуры, создание дополнительных стимулов для экспорта, в частности:

- выделение им льготных кредитов на пополнение оборотных средств сроком до 12 месяцев по ставке, не превышающей 70 процентов от ставки рефинансирования Центрального банка;

- продление до 2012 года освобождения от уплаты в бюджет всех видов налогов и сборов, кроме налога на добавленную стоимость, предприятий с иностранными инвестициями, специализирующихся на производстве готовой продукции;

- реструктуризация суммы просроченной и текущей задолженности по кредитам банков и списание пени по платежам в бюджет и предоставление других не менее важных льгот и преференций.

В-третьих, повышение конкурентоспособности предприятий за счет введения жесткого режима экономии, стимулирования снижения производственных затрат и себестоимости продукции. В 2008 году одобрены предложения хозяйствующих субъектов по реализации мер, направленных на снижение в текущем году себестоимости продукции не менее чем на 20 процентов в ведущих отраслях и сферах нашей экономики.

Предусмотрена разработка действенного механизма по стимулированию руководителей и ответственных лиц за достижение намеченных параметров по снижению себестоимости.

Наряду с этим в Антикризисной программе выработан механизм по ограничению в 2009 году повышения цен на все виды энергоносителей и основные виды коммунальных услуг не более чем на 6-8 процентов, с безусловным обеспечением рентабельности их производства.

В-четвертых, реализация мер по модернизации электроэнергетики, сокращению энергоемкости и внедрению эффективной системы энергосбережения. Дальнейшее повышение конкурентоспособности нашей экономики, рост благосостояния населения во многом зависят от того, насколько бережно, экономно мы научимся использовать имеющиеся ресурсы и в первую очередь электро- и энергоресурсы.

В-пятых, в условиях падающего спроса на мировом рынке ключевую роль в сохранении высоких темпов экономического роста играет поддержка отечественных производителей путем стимулирования спроса на внутреннем рынке.

Исходя из вышеизложенного каждый гражданин нашей Республики должен отдавать себе отчет о серьезном финансово-экономическом положении и внести свой посильный вклад в реализацию антикризисной программы.

В свете разработанной правительства Республики Узбекистан антикризисной программы в моей диссертации рассматриваются вопросы экономии деталей автомобилей при эксплуатации транспортных средств. В частности это касается воздушных фильтров автомобиля КамАЗ, которых в Республике насчитывается более 5 тысяч единиц и их эксплуатация проходит в тяжелых дорожных запыленных условиях, что приводит к частым отказам.

Моя установка разрешает использовать один и тот же фильтрующий элемент дважды и трижды, что по правилам технической эксплуатации заводом – изготовителем не предусмотрено. Если учесть, что стоимость одного бумажного фильтрующего элемента достигает 50-55 долларов, можно представить какие материальные и трудовые затраты несет АТП. В среднем, из обычных расчетов, можно вывести значительную экономию денежных

средств. Экономия в год на один автомобиль придется более 200 000 сум или более \$150.

Это будет ответом на призыв нашего Президента Каримова Ислама Абдуганиевича на пути преодоления финансово-экономического кризиса.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Обоснование целесообразности регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740

Одной из важнейших задач, стоящих перед автомобильным транспортом, согласно перспективному плану, является повышение ресурса автомобилей, в частности предусмотрено увеличение срока службы автомобильных двигателей до капитального ремонта / 1 /.

Увеличение наработки двигателей до капитального ремонта в значительной мере зависит от степени чистоты воздуха, поступающего в их цилиндры. Эксплуатация автомобилей происходит в условиях запыленного воздуха. Запыленность воздуха зависит от многих параметров: типа дороги, времени года, вида почвы, направления и силы ветра, интенсивности движения, высоты забора воздуха.

Основными составляющими атмосферной пыли являются окислы кремния (SiO_2), железа (Fe_2O_3), алюминия (Al_2O_3). Твердость кварца 1100-1200 кгс/мм², что в два-три раза больше твердости многих конструкционных материалов, применяемых в машиностроении.

Помимо химического состава пыли, большое значение имеет ее дисперсный состав. Проведены достаточно подробные исследования по определению размера абразивных частиц, вызывающих наибольший износ трущихся деталей двигателя / 1 /. Исследованиями автора / 1 / установлено, что наиболее опасными с точки зрения износа деталей двигателя являются частицы размером 5-10 мкм.

В работах, направленных на повышение эксплуатационной надежности автомобильных двигателей / 2, 3, 4, 5, 6 / показано, что основным резервом в снижении износа деталей цилиндропоршневой группы является применение

на автомобилях высокоэффективных воздухоочистителей со сменными картонными фильтрующими элементами. Одним из важных оценочных показателей фильтрующих свойств картонов является определение размеров частиц пыли, пропускаемых ими. На рис. 1.1. / II / приведены графики зависимости фракционных коэффициентов пропуска пыли от размеров частиц для различных типов картонов.

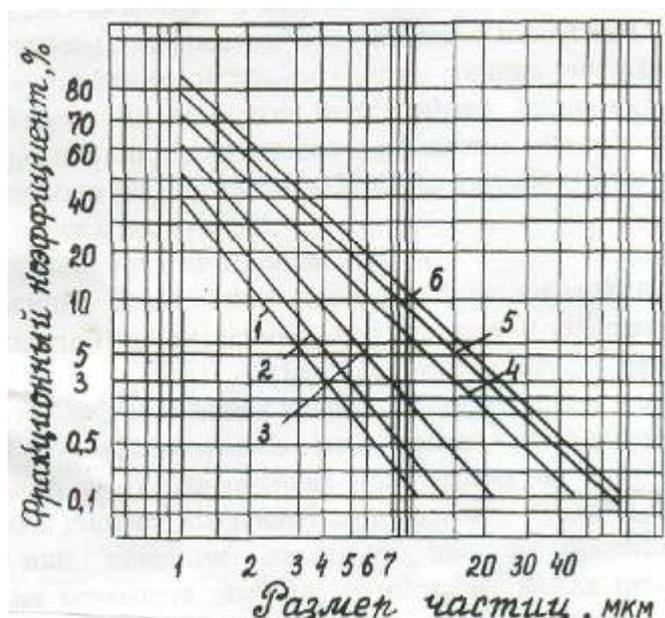


Рис. 1.1. Зависимости фракционного коэффициента пропуска пыли от размера частиц. 1 - В9; 2 – ПКВ; 3 – В8; 4 – 60/66; 5 – КФВ; 6 – 26/66.

Если рассматривать полученные данные рис. 1.1. с точки зрения пропуска картонами частиц пыли размером до 5 мкм, то видно, что вероятность пропуска таких частиц картоном ПКВ, из которого изготавливаются шторы фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740, составляет около 3 %.

Эксплуатация автомобилей КамАЗ, снабженных воздухоочистителями с картонными фильтрующими элементами в условиях Узбекистана происходит в повышенной запыленности воздуха, о чем свидетельствуют

данные табл. 1.1., в которой приведен химический и фракционный состав пыли почв Ташкентской и Сырдарьинской обл., а также почв этих районов страны / 7, 8 /. В результате воздушный фильтр засоряется, перестает выполнять свои функции. Особенно плохо система питания воздухом работает на автомобилях – самосвалах КамАЗ-5511. Исследования условий работы этих автомобилей показывают, что серийное расположение воздухозаборника не удовлетворяет работе воздушных фильтров, способствует быстрому забиванию фильтрующих элементов / 3 /. Система воздухозабора расположена непосредственно в зоне двигателя, из-за этого в воздушные фильтры вместе с пылью и грязью попадают частицы масла. Кроме этого в фильтры засасываются продукты выхлопа из глушителя в виде сажи, которая прилипает и тем самым усиленно загрязняет картонные фильтрующие элементы воздухоочистителей.

Вышеуказанными причинами объясняется снижение ресурса картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740, а это обстоятельство сопряжено со значительным увеличением затрат на техническое обслуживание автомобилей.

Исследованиями ряда работ / 2, 6, 9, 10, 11, 12 / установлено, что одним из основных направлений в увеличении срока службы картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей до замены, является их регенерация после каждого этапа загрязнения.

Техническое обслуживание фильтроэлементов методом регенерации следует проводить по показанию индикатора засоренности воздушных фильтров, который срабатывает при достижении общего сопротивления воздушного тракта 400-700 мм вод.ст. (в зависимости от типа двигателя). Если по каким-либо причинам индикатор засоренности не работает, то обслуживание элемента рекомендуется проводить при ТО-2, а при эксплуатации с повышенным содержанием пыли в воздухе при ТО-1 / 13 /.

Эксплуатация двигателя с загрязненными картонными фильтрующими элементами, создающими разряжение в впускном канале свыше допусти-

Таблица 1.1.

Химический и фракционный состав почв Республики Узбекистан

Почвы	Химические соединения почв.			Процентное содержание фракций в почвах			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	100-250 мкм	50-100 мкм	10-50 мкм	10 мкм
1.							
а) песчаные	74,26	11,55	3,53	38,2	39,5	13,3	9,0
б) серо-бурые	72,30	10,04	3,0	11,0	29,3	34,9	24,8
в) сероземы	64,85	16,02	6,02	9,8	48,2	16,1	25,9
2. Московская область							
а) моренный суглинок	58,30	8,54	2,81	7,0	50,2	33,3	9,5
б) покровский суглинок	54,42	10,81	5,63	6,2	51,3	31,9	10,6
3. Полтавская область							
лессовидный суглинок	42,66	7,32	2,42	10,3	38,4	42	9,3
4. Кривой Рог суглинок	52,80	9,83	3,42	9,5	10,0	33,3	47,2
5. Запорожье							
а) суглинок	50,90	8,81	1,84	5,6	19,0	33,4	42
б) чернозем	60,98	9,35	2,3	8,2	2,3	25,5	64

мого, может привести к ухудшению тяговых и экономических качеств автомобиля вследствие возрастания сопротивления на впуске и как следствие, худшему коэффициенту заполнения цилиндров воздухом / 14 /. Потери мощности ΔN_e и увеличение удельного расхода топлива Δg_e отнесенные соответственно к мощности N_e и удельному расходу топлива g_e при работе двигателя с воздухоочистителем на номинальных оборотах с полной подачей топлива, представлены соответственно на рис. 1.2. и на рис. 1.3.

Кроме того длительная эксплуатация элементов, загрязненных выше допустимого предела может привести также к разрыву штор фильтрующего элемента. В этом случае в цилиндры с воздухом поступает абразивная пыль, что как уже отмечалось выше, вызывает интенсивный износ деталей двигателя. Для того, чтобы полностью пришел в негодность двигатель, достаточно «пропустить» через его воздушную систему питания всего 120-150 г. абразивной пыли / 15 /.

Обслуживание фильтроэлементов воздухоочистителей с применением регенерации после каждого этапа загрязнения позволяет за счет многократного использования фильтрующих элементов повысить их ресурс,

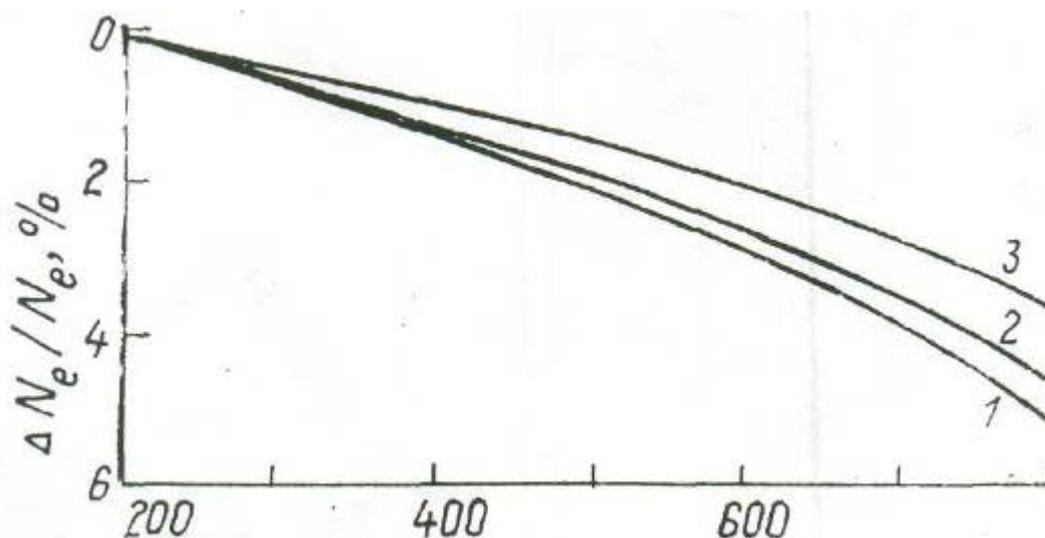


Рис. 1.2. Влияние сопротивления воздухоочистителя на отношение $\Delta N_e / N_e$ тракторных дизелей
1 – АМ-01; 2 – СМД-14; 3 – ЯМЗ-238НБ

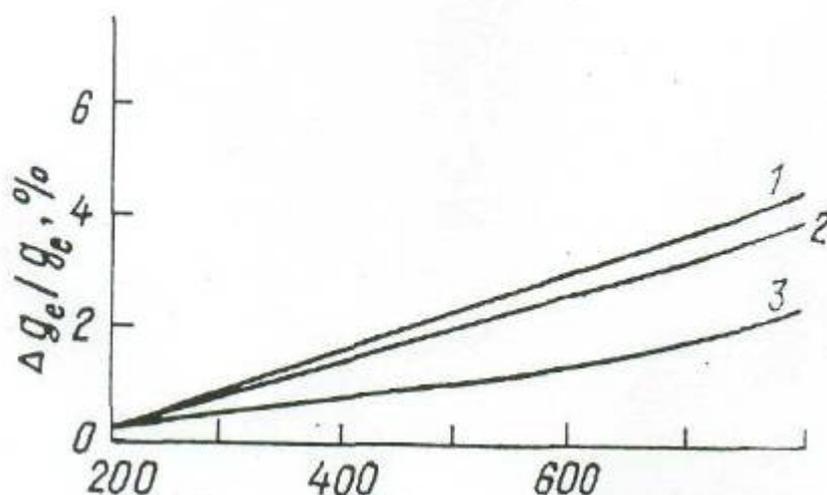


Рис. 1.3. Влияние сопротивления воздухоочистителя на отношение $\Delta g_e/g_e$ тракторных дизелей
 1 – АМ-01; 2 – СМД-14; 3 – ЯМЗ-238НБ

сократить потребность в них и, следовательно, уменьшить затраты на обслуживание воздухоочистителей. В связи с этим необходимо определение допустимого числа циклов «загрязнение – регенерация» с учетом достаточной надежности работы фильтрующего картона. На срок службы картонных фильтров до выбраковки оказывают влияние прочностные качества картонов.

На рис. 1.4. / 10 / показано изменение прочностных свойств картона от количества регенераций фильтрующего элемента. Зависимость на рис. 1.4. построена по результатам испытаний фильтрующих картонов с различными показателями сопротивления разрыву, которое изменялось от 20 до 63 кгс/см². Как видно из рис. 1.4. для картона, используемого в автомобилях КамАЗ с начальным сопротивлением разрыву 24 кгс/см² возможно проведение трех регенераций.

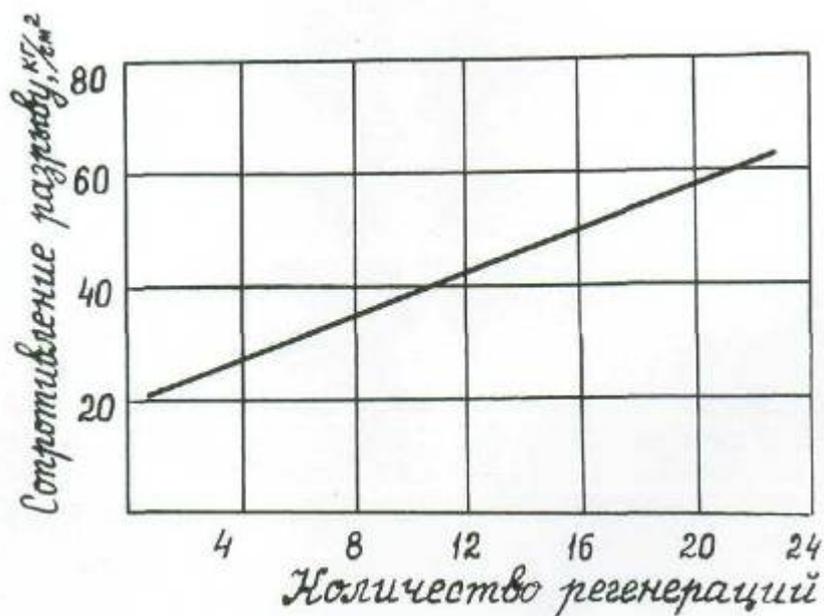


Рис. 1.4. Зависимость прочностных свойств картона от количества регенераций.

За счет многократного использования фильтрующих элементов увеличивается продолжительность их работы до замены и тем самым сокращаются затраты на обслуживание воздухоочистителей. Так зная средний пробег автомобиля в год (например КамАЗ – 50 тыс. км) и учитывая, что обслуживание картонного фильтрующего элемента рекомендуется проводить при ТО-2, а при эксплуатации с повышенным содержанием пыли в воздухе при ТО-1 можно определить необходимое количество фильтрующих элементов в год на один автомобиль для различных условий эксплуатации. При нормальных условиях эксплуатации эта величина без учета регенерации равна 4, а с учетом ее – 1,3 (табл. 1.2.). Исходя из условия замены картонных фильтрующих элементов через три регенерации при существующей стоимости этих элементов $C_1=11$ рублей (включая транспортировку к местам замены и хранение) и стоимости операции по их обслуживанию регенерацией $C_2=1,5$ ру. / 11 /, общие эксплуатационные затраты на обслуживание системы очистки воздуха автомобильного дизеля без учета

регенерации картонных фильтрующих элементов и с учетом ее составят соответственно 44 рубля и 20,15 рублей (табл. 1.2.)

Таким образом, полученные сравнительные данные общих эксплуатационных затрат на обслуживание воздухоочистителей подтверждают, что регенерируя фильтрующие элементы можно снизить эти затраты на 23,85 руб/год (на один автомобиль) при нормальных условиях эксплуатации и на 70 руб/год (на один автомобиль) в условиях эксплуатации с повышенной запыленностью.

1.2. Механизация технического обслуживания воздушных фильтров автомобилей и анализ технологических схем регенерационных установок

Опыт эксплуатации дизельных автомобилей в автотранспортных предприятиях показывает, что в настоящее время из-за отсутствия эффективных средств регенерации фильтроэлементы воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 после их загрязнения не регенерируют, а заменяют на новые. Таким образом не полностью используется ресурс воздушных фильтроэлементов. Это обстоятельство сопряжено со значительными затратами на дефицитные элементы, кроме того при этом возникает проблема утилизации большого количества загрязненных фильтрационных элементов.

Камским заводом-изготовителем рекомендуется восстановление картонных фильтрующих элементов при их засорении до предельно-допустимой величины сопротивления, путем обдува обратным потоком сжатого воздуха с давлением 200-300 кПа. Такая технология регенерации воздушных фильтров неэффективна и трудоемка. Кроме того она может быть применена тогда, когда на поверхности фильтрующего элемента имеется только слой пыли. В случае загрязнения фильтров масляными отложениями регенерация их в автотранспортных предприятиях осуществляется

Таблица 1.2.

Сравнительные данные общих эксплуатационных затрат на обслуживание системы очистки воздуха автомобильного дизеля без учета регенерации фильтров и с учетом её

Условия эксплуатации	Необходимое количество фильтрующих элементов в год на один автомобиль без учета их регенерации, (n_1) , шт.	Необходимое количество фильтрующих элементов в год на один автомобиль с учетом трехкратной регенерации, (n_2) , шт.	Стоимость картонного фильтрующего элемента без учета регенерации, (C_1) , руб.	Стоимость регенерации, (C_2) , руб.	Общая стоимость картонного фильтрующего элемента с учетом трехкратной регенерации (C_1+3C_2) , руб.	Общие эксплуатационные затраты на обслуживание системы очистки воздуха автомобильного дизеля, руб/год.	
						без учета регенерации $(C_1 \times n_1)$, руб.	с учетом трехкратной регенерации $(C_1 \times 3C_2) \times n_2$, руб.
Нормальные условия эксплуатации	4	1,3	11	1,5	15,5	44	20,15
Условия эксплуатации с повышенной запыленностью	12	4	11	1,5	15,5	132	62

примитивными немеханизированными способами. Фильтры замачивают в емкость с теплым моющим раствором на 30 минут, затем перемещая их вручную вверх и вниз вытаскивают и ставят сушить на солнце летом, а зимой на стеллажах.

Предлагаемые устройства для регенерации воздушных фильтрующих элементов двигателей КамАЗ-740 / 16, 17, 18, 19 / незначительно механизуют этот процесс. Так в «устройстве для очистки воздушных фильтров автомобилей», внедренном в 1985 году / 17 / и предназначенном для технического обслуживания воздушных фильтров, основная сушка фильтрующих элементов после их мойки производится центрифугированием, а затем досушка фильтров производится на стеллажах. Для досушки фильтров таким способом нужно не менее трое суток / 19 /. Что касается «Установки для промывания фильтров автомобилей КамАЗ», внедренной в 1986 году и рекомендуемой при техническом обслуживании воздушных фильтров / 18 /, то после мойки на этой установке фильтры даже не центрифугируются, а встряхиваются и сушатся на стеллажах. Для досушки фильтров таким способом нужно около семи суток / 19 /. В «Установке для очистки фильтрующих элементов воздушных фильтров автомобиля КамАЗ», внедренной в 1986 году, при техническом обслуживании фильтров механизмуется только процесс их продувки / 19 /.

Таким образом, в настоящее время уровень механизации технического обслуживания воздушных фильтров находится пока ещё на низком уровне – имеет место большая доля ручного труда, отсутствует совершенная технология процесса регенерации и контроль качества восстановления фильтрующей способности фильтров.

В связи с этим, актуальной задачей является разработка установки для регенерации картонных фильтрующих элементов автомобильных воздухоочистителей, механизмирующей полностью все процессы, необходимые при регенерации и позволяющей продлить ресурсы картонных

фильтрующих элементов за счет совершенствования технологии их восстановления.

Проведенные патентные исследования позволили классифицировать различные способы регенерации загрязненных картонных фильтрующих элементов (табл.1.3.). Как видно из приведенной табл.1.3. регенерация фильтрующих элементов осуществляется или без снятия фильтров с автомобиля или с их снятием, то есть когда картонный фильтрующий элемент демонтируется с автомобиля и регенерация его происходит на специальных установках.

Устройства по очистке загрязненных картонных фильтрующих элементов без снятия их с автомобиля нашли широкое распространение в СССР, ФРГ и Франции / 38, 39, 40 /. Однако такие устройства позволяют осуществлять лишь продувку фильтров сжатым воздухом, который недостаточно в случае загрязнения их копотью, сажей, маслом и т.д. Поэтому появилась необходимость в регенерации загрязненных воздушных фильтров с использованием специальных установок, демонтируя их с автомобиля. Установки для регенерации, снятых с автомобиля воздушных фильтров, основаны на трех способах:

- обстукивание;
- продувка сухим сжатым воздухом;
- промывка моющим раствором с последующей сушкой.

Известны регенерирующие устройства, использующие в основе один из указанных способов регенерации / 41-53 / и устройства основанные на совмещении нескольких способов / 19 /.

Приведенные установки по регенерации загрязненных картонных фильтрующих элементов, основанные на применении одного из способов регенерации экономически нецелесообразны, поскольку для очистки фильтров необходимо иметь несколько таких устройств. Поэтому в последнее время появляются универсальные установки, совмещающие несколько способов регенерации фильтрующих элементов.

Так, например в «Установке для центробежной промывки фильтров» / 54 / наряду с мойкой фильтров может производиться их продувка от пыли сжатым воздухом. В этой установке (рис. 1.5.) фильтрующие элементы закреплены на пустотехой оправке 2, вы полненной с прорезями «а» и соединенной с валом электромотора 3. Ванна 4 корпуса 5 установки с промывочной жидкостью соединена трубопроводом 6 через фильтр 7 для очистки жидкости и насосом 8 с полостью «Б» оправки 2. В установке предусмотрены также трубопроводы 9 и 10 для подачи воздуха внутрь

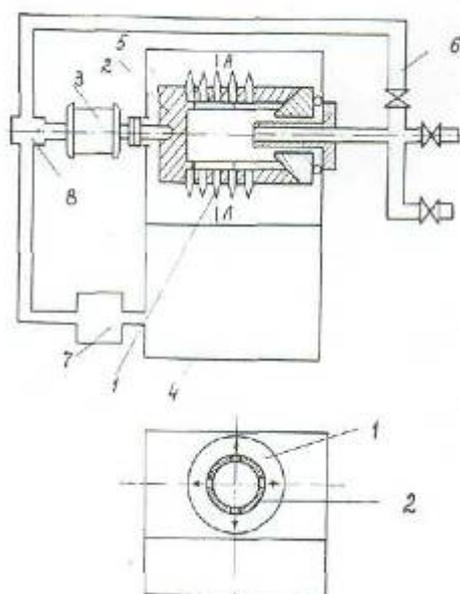


Рис. 1.5. Схема установки для центробежной промывки фильтров.

- 1 – фильтрующие элементы; 2 – оправка с прорезями;
 3 – электромотор; 4 – ванна; 5 – корпус установки;
 6 – трубопровод; 7 – фильтр; 8 – насос.

фильтрующих элементов 1. Одновременно с вращением оправки 2 и фильтрующих элементов моющая жидкость поступает по трубопроводу 6 из ванны 4 под давлением от насоса 8 в полость «Б» оправки, затем через

прорези «а» к внутренней поверхности фильтрующих элементов. Недостатком данной установки является отсутствие сушки фильтрующих элементов, а также то, что его продувка происходит без отсоса пыли, ухудшая этим санитарно-бытовую гигиену при эксплуатации этой установки, кроме того, мойка осуществляется вращением фильтроэлементов в моющем растворе, что не является лучшим способом мокрой очистки.

К установкам, совмещающим несколько способов очистки фильтров также можно отнести «Установку для очистки воздушных фильтров автомобилей КамАЗ» / 19 /, в которой наряду с мойкой фильтрующих элементов осуществляется их сушка. Установка представляет собой горизонтальную центрифугу (рис.1.6.). Фильтр устанавливается в центрах передней и задней бабок. Передняя бабка стационарная, привод от электродвигателя переменного тока через клиноременную передачу. Задняя бабка перемещается. В оси заднего центра имеется продольный канал для подачи во внутреннюю полость фильтра моющего раствора. Способ очистки – центрифугирование с промывкой и сушкой. Недостатком этой установки является то, что мойка фильтрующих элементов осуществляется вращением их в моющем растворе, в то время как более эффективными средствами очистки является применение устройств, в которых подача моющего раствора происходит струями. Кроме того, в этой установке отсутствует

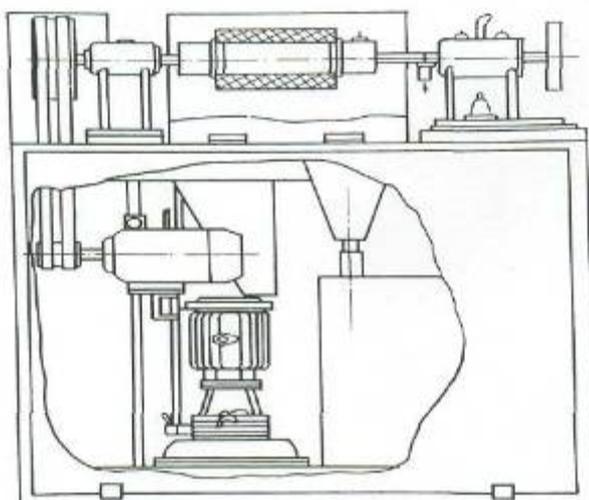


Рис.1.6. Схема установки для очистки воздушных фильтров автомобилей КамАЗ

продувка фильтроэлемента от пыли перед мойкой, что ведет к быстрому загрязнению моющего раствора.

Фирмой Tamonite Ins предлагается «Устройство для очистки воздушных фильтров» / 56 /, в котором совмещены продувка фильтроэлемента сжатым воздухом от пыли, его мойка струями и последующая сушка горячим воздухом. Устройство содержит резервуар с моющим раствором, смесительную камеру, в которую подается воздух, либо вода. Моющий раствор через сопла разбрызгивается внутрь фильтра и на его наружную поверхность. Кассета фильтра устанавливается на вращающемся диске на подшипниках стола. Вращение производится подаваемой водой, либо воздухом.

И хотя в данной установке совмещены все технологические процессы, необходимые для очистки картонных фильтрующих элементов, в том числе и струйная мойка, установка не лишена недостатков. Так для того, чтобы обеспечить эффективное давление жидкости из множества сопел, работающих одновременно, необходима большая мощность на привод насоса. Кроме того, продувка фильтрующих элементов происходит без отсоса пыли.

Таким образом, из приведенной патентной проработки видно, что пока не существует установки, совмещающей все необходимые технологические процессы, обеспечивающие экономичную и эффективную очистку картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей.

Поэтому на основе анализа существующих конструкций и с учетом их недостатков необходимо разработать такую установку, которая совмещала бы все необходимые технологические процессы, имеющие место при регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740, обеспечивающие экономичное и эффективное восстановление их фильтрующей способности.

Эффективность работы восстановленных картонных фильтроэлементов воздухоочистителей должна оцениваться согласно ГОСТ 8002-74.

1.3. Цель и задачи исследования

На основе анализа опыта эксплуатации автомобилей и литературного обзора целью настоящего исследования является повышение ресурса картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей М.Б. за счет совершенствования технологии их восстановления.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи.

1. Провести теоретические исследования закономерностей протекания процесса регенерации в картонных фильтрующих элементах.

2. Спроектировать и создать стенд для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 с целью экспериментального подтверждения определяющих параметров процесса регенерации фильтроэлементов.

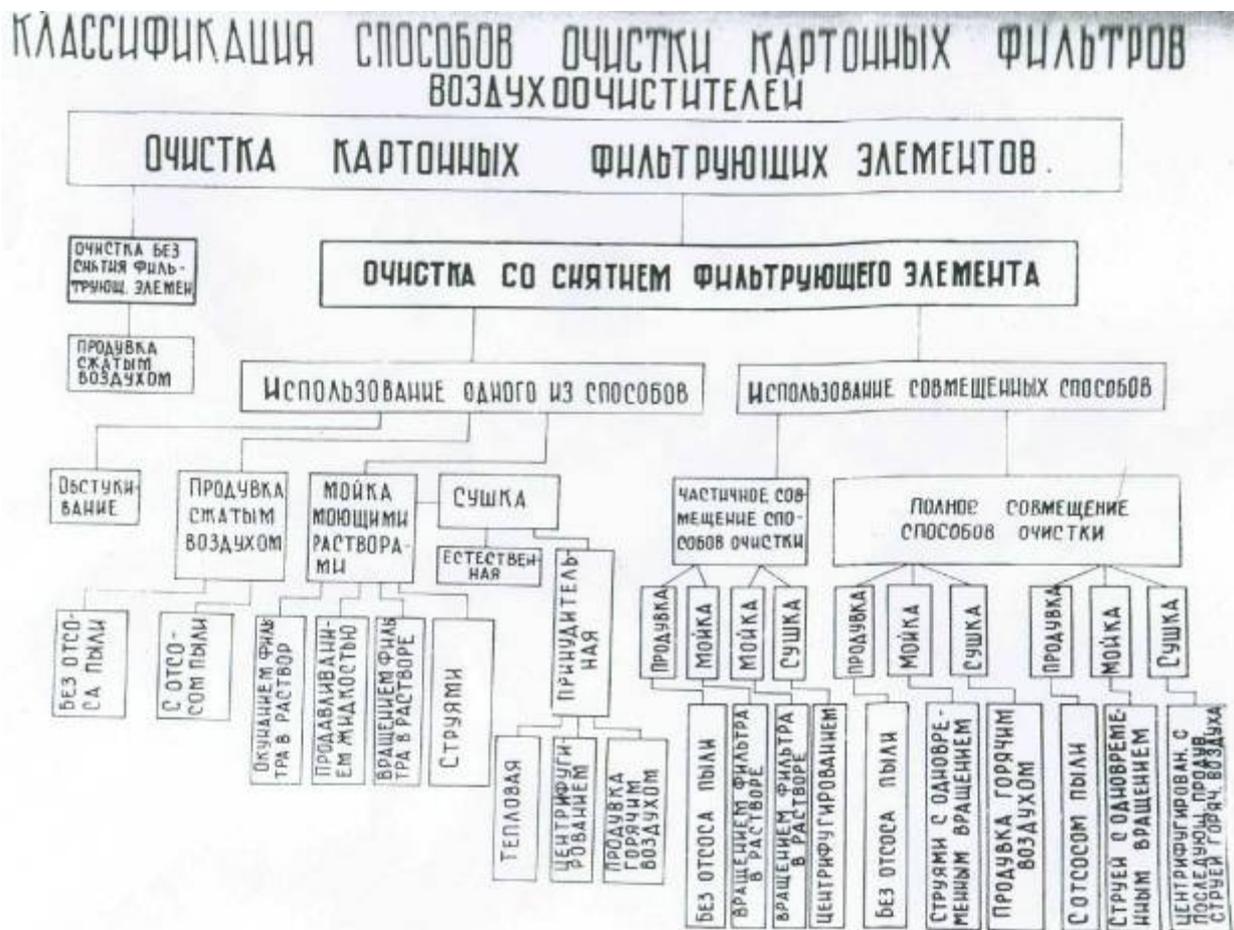
3. Разработать технологию регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 на основе оптимизации основных параметров регенерационного стенда.

4. Оценить эффективность работы картонных фильтроэлементов, восстановленных по предложенной технологии регенерации.

5. Исследовать влияние эффективности работы регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей на износ деталей цилиндропоршневой группы двигателей КамАЗ-740.

6. Разработать методику расчета по проектированию конструкций установок для регенерации картонных фильтроэлементов автомобильных воздухоочистителей любого типа.

7. Разработать и внедрить установку для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 с обоснованием экономического эффекта.



ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПО РЕГЕНЕРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ КАРТОННЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ.

2.1. Определение давления струи продувочного воздуха при регенерации картонных фильтров от пыли

Процесс регенерации картонных фильтров от пыли заключается в преодолении сил взаимодействия между частицами пыли, уловленными этими фильтрами и элементами фильтрующего картона.

Фильтровальные картоны состоят из массы тонких волокон, расположенных перпендикулярно потоку воздуха и образуют между собой промежутки в виде пор. Частица пыли до осаждения проходит извилистый и относительно длинный путь в глубину этой массы. Особо следует подчеркнуть, что чистый волокнистый фильтр нельзя отождествлять с ситом, только отсеивающим частицы больше размера пор. Конечно, крупные частицы пыли размером десять и более микрон осаждаются на поверхности картона благодаря ситовому эффекту, аэрозольные же частицы более мелкого размера, прежде чем оседают на волокнах, обычно проходят сравнительно глубоко внутрь волокнистого фильтра / 57, 58 /. Если бы улавливание частиц происходило по такому же механизму, как просеивание, то размеры промежутков между волокнами должны приближаться к размерам частиц и сопротивление фильтров очень резко возрастало бы вследствие закупоривания пор частицами. На практике это не подтверждается. По данным авторов / 59, 60, 61, 62, 63 / в волокнистых фильтрах частицы улавливаются еще и в результате действия других более сложных явлений, как например механизмов касания, инерции, диффузии, электростатического притяжения. Рассмотрим существующие концепции по влиянию и определению этих сил.

Сравнительно простую расчетную формулу при регенерации продувкой для жесткой фильтрующей перегородки (металлотканевого фильтрующего элемента) предложил Е.И. Андрианов / 25 /. Исходя из замеренной разрывной прочности слоя он оценивает величину необходимого перепада давления продувочного воздуха при регенерации по формуле:

$$\Delta P_{per.} = K\delta \frac{1}{1 - \varepsilon}, \quad (2.1)$$

где δ – полученное значение прочности слоя, Па;

ε – пористость слоя, равная 0,23;

K – коэффициент запаса давления, равный 3.

Зимон А.Д. также считает, что исходя из небольшой толщины и достаточно высокой прочности прилипшего слоя пыли, когда можно пренебречь его массой, действие перепада давления при продувке уравнивается прочностью слоя на разрыв / 26 /. Тогда условие регенерации продувкой Зимон А.Д. предлагает выразить следующим уравнением:

$$P_{пр} = \Delta P_{\phi} + T \left[\frac{1}{1 - \Pi} \right], \quad (2.2)$$

где $P_{пр}$ и ΔP_{ϕ} – давление воздуха и перепад давления на фильтрующей перегородке при продувке, Па;

Π – пористость слоя;

T – прочность слоя пыли на разрыв в непосредственной близости от поверхности фильтра, Па.

Куркин В.П. / 28 / получил выражение, характеризующее условие импульсной регенерации фильтрующей поверхности (тканевых или волокнистых материалов) в зависимости от давления воздуха, сечения сопла, объема фильтрующего элемента и сил сцепления пылевого слоя:

$$0,58 \frac{f_1 P \sqrt{P \Delta \tau}}{q \sqrt{\rho}} > F, \quad (2.3)$$

где f_1 – площадь сечения сопла, м^2 ;

P – абсолютное давление газа в ресивере, н/м^2 ;

$\Delta \tau$ – длительность импульса, с;

q – объем фильтрующего элемента, м^3 ;

ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ;

F – сила сцепления пыли с поверхностью, н.

Однако, использование полученных формул не представляется возможным из-за отсутствия достоверных данных о разрывной прочности слоев пыли, поэтому возникает необходимость выявления основных зависимостей, определяющих процесс регенерации фильтровальных картонов.

В связи с этим предлагаются теоретические разработки по регенерации картонных фильтрующих элементов. Поскольку, как указывалось выше, при регенерации картонных фильтров от пыли необходимо преодолеть силы взаимодействия между частицами пыли и фильтрующим картоном, первоочередной задачей является выявление этих сил.

Рассмотрим действие сил на частицы пыли, осевшие в фильтрующем элементе (рис.2.1). На эти частицы действуют силы, которые с одной стороны отрывают, а с другой стороны удерживают их с картоном. Так, сила, возникающая в процессе регенерации (сила отрыва) $F_{\text{отр}}$ отрывает частицы пыли, а сила сцепления пыли с поверхностью $F_{\text{сц}}$, обусловленная адгезионно-аутогезионными свойствами пыли в виде нормальной $F_{\text{н}}$ и тангенциальной $F_{\text{т}}$ составляющих, а также сила трения $F_{\text{тр}}$ и сила аэродинамического давления $F_{\text{дин}}$, удерживают частицы пыли с картоном.

Для рассматриваемого случая условие отрыва прилипших частиц пыли от фильтрующего картона под действием воздушного потока можно представить следующим неравенством:

$$F_{\text{отр}} \geq F_{\text{сц}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{дин}} \quad (2.4)$$

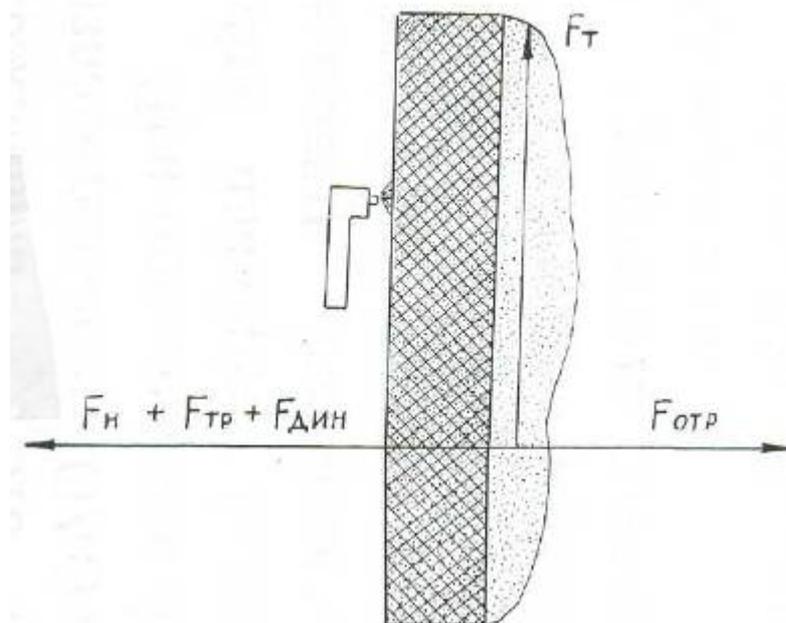


Рис. 2.1. Схема сил, осуществляющих процесс регенерации картонных фильтроэлементов методом продувки сжатым воздухом

Рассмотрим компоненты составляющих сил, удерживающих пыль в фильтрующем элементе более подробно.

Сила сцепления пыли с поверхностью фильтра обусловлена ее адгезионно-аутогезионными свойствами / 26 /, т.е.:

$$F_{\text{сц}} = F_{\text{ад}} + F_{\text{аут}}, \quad (2.5)$$

где $F_{\text{ад}}$ - сила адгезии, Н;

$F_{\text{аут}}$ – сила аутогезии, Н.

Адгезия частиц – взаимодействие частиц с твердой поверхностью, обусловленное силами, которые зависят как от свойств контактирующих тел, так и от свойств окружающей среды / 64 /.

Аутогезия частиц в отличие от адгезии – это связь между соприкасающимися частицами, которая препятствует их разединению.

Адгезионные связи имеют место лишь между твердой поверхностью и монослоем частиц, непосредственно контактирующих с ней, поэтому роль адгезии в удержании осажденных частиц ограничивается только начальной стадией запыления, когда частицы садятся на чистую поверхность. После образования на поверхности монослоя частиц, удержание вновь поступающей пыли обуславливается силами аутогезии / 65 /.

Удаление отложенной пыли сопровождается, как правило, нарушением лишь аутогезионных связей, обычно менее прочных по сравнению с адгезионными / 66 /, поэтому на очищаемых поверхностях всегда остается монослой частиц. Это обстоятельство положительно сказывается на работе фильтров, поскольку чистый фильтрующий элемент имеет низкую эффективность. Удовлетворительная степень очистки воздуха достигается в них, когда на фильтрующей поверхности имеется монослой пыли / 25, 67 /. Таким образом, для условий регенерации фильтрующих поверхностей, сведения об аутогезионной прочности образующихся пылевых слоев имеют первостепенное значение, следовательно, можно полагать, что первым членом в выражении (2.5) можно пренебречь, тогда:

$$F_{\text{сц}} = F_{\text{аут}} \quad (2.6)$$

Рассмотрим более подробно силы, которые обуславливают аутогезию частиц. Это прежде всего молекулярные, электрические, капиллярные и силы механического зацепления / 26 /.

Силы Ван-дер-Ваальса ($F_{\text{м}}$) имеют молекулярную природу и могут проявляться еще до непосредственного соприкосновения частиц. Величина сил зависит от природы материала частиц и расстояния между ними. Для предельно-сближенных частиц Ван-дер-Ваальсова составляющая аутогезии может составлять 0,01-0,1 мкн / 68 /.

Силы когезионного взаимодействия ($F_{\text{к}}$) имеют ту же природу, что и силы, действующие между молекулами внутри частиц. Для возникновения когезионных сил недостаточно непосредственного соприкосновения частиц, так как на поверхности могут быть адсорбционные и окисные пленки,

мешающие проявлению когезии. Поэтому необходимо внешнее усилие, вызывающее деформацию частиц и возникновение ювенильных (свежеобразованных) поверхностей, Величина когезионных сил значительно больше Ван-дер-Ваальсового взаимодействия и может изменяться от 0,01 до 100 мкн / 26 /.

Силы электрического взаимодействия ($F_э$) подразделяются на кулоновские, определяющие взаимодействие при наличии избыточных зарядов на частицах и электрические, обусловленные разностью потенциалов соприкасающихся частиц. Электрические силы сравнимы по величине с Ван-дер-Ваальсовыми.

Капиллярные силы ($F_{кап}$) могут проявляться в различных вариантах в зависимости от количества влаги и формы ее нахождения. Частицы, связанные между собой жидкостными мостиками (менисками), притягиваются друг к другу под действием сил поверхностного натяжения. Величина капиллярных сил близка к величине сил когезии.

Силы механического зацепления ($F_{м.з}$) характерны для частиц неправильной формы и реализуются в основном в материалах, испытывающих внешнюю нагрузку.

Таким образом, аутогезия частиц вызвана различными по своей природе силами и ее величина определяется совокупным действием этих сил, взаимно исключается действие лишь капиллярных и электрических сил. Следовательно, силу аутогезии можно представить в общем виде следующим образом:

$$F_{аут} = F_к + F_м + F_э + F_{м.з} \quad (2.7)$$

или

$$F_{аут} = F_к + F_м + F_{кап} + F_{м.з} \quad (2.8)$$

Закономерности образования и развития когезионных контактов между твердыми частицами исследованы экспериментально в работах Ребиндера П.А. и Щукина Е.Д. /69,70/. В основу этих исследований положено непосредственное измерение прочности индивидуальных контактов между

двумя кристаллами при различной величине силы поджима их друг к другу. До определенного порогового усилия поджима прочность контактов остается на уровне соответствующем значениям Ван-дер-Ваальсовых сил, т.е. не выше 10 нН. С увеличением силы поджима могут происходить прорыв поверхностных пленок и обнажение ювенильных поверхностей. Между ювенильными поверхностями контактирующих частиц возникает когезионное взаимодействие. Таким образом, при прочности контактов < 10 нН, молекулярная компонента аутогезии обусловлена только Ван-дер-Ваальсовым взаимодействием, выше указанного диапазона, т.е. при прочности контактов > 10 нН, она обусловлена когезионным взаимодействием, которое реализуется при уплотняющей нагрузке, достигающей сотен тысяч Па.

Прочность контактов зависит от силы поджима, т.е. силы, с которой частицы прижимаются друг к другу при формировании контактов. Зависимость между прочностью контактов и силой поджима носит степенной характер и определяется следующим уравнением / 71 /:

$$F_1 = B^P N_1, \quad (2.9)$$

где F_1 - прочность контактов, нН;

N_1 - сила поджима, нН;

P - опытные коэффициенты, определяемые природой материала частиц, и в первую очередь упруго-пластическими свойствами этого материала

Рассчитаем прочность контактов между частицами пыли, осевшими на картонный фильтрующий элемент воздухоочистителей в процессе эксплуатации автомобилей. Сила, с которой частицы прижимаются друг к другу зависит от скорости фильтрации. Обычно скорость фильтрации (v) равна 0,02 м/с. Тогда из условия, что $v = \sqrt{2gH}$ находим, что сила поджима будет равна $78,7 \cdot 10^{-3}$ нН. Учитывая, что в дорожной пыли, как

указывалось в состоянии вопроса, основное количество составляет кварцевая пыль, значения коэффициентов В и Р, определяемых природой материала частиц, будем брать для кварца. Подставляя численные значения найденной силы поджима и коэффициентов «В» и «Р» в уравнение (2.9), получим величину прочности контактов, равную 0,5 нН.

Таким образом, прочность контактов между частицами пыли, осевшими на картонный фильтрующий элемент воздухоочистителей в процессе эксплуатации автомобилей получилась <10 нН, следовательно, можно положить, что молекулярная компонента аутогезии этих частиц обусловлена только Ван-дер-Ваальсовым взаимодействием.

Тогда уравнения (2.7) и (2.8) примут следующий вид:

$$F_{\text{аут}} = F_{\text{м}} + F_{\text{э}} + F_{\text{м.з}} \quad (2.10)$$

или

$$F_{\text{аут}} = F_{\text{м}} + F_{\text{кап}} + F_{\text{м.з}} \quad (2.11)$$

Для определения наличия капиллярных и электрических компонентов аутогезии между частицами пыли, осевшими на картонный фильтрующий элемент автомобильных воздухоочистителей автором были проведены опыты по определению влажности этих фильтров, в результате которых была получена влажность, равная 3-4 %. Присутствие же влаги в зазоре между соприкасающимися частицами исключает всякую возможность проявления электрических сил / 64 /. Что касается капиллярных сил, то этой величины недостаточно (она должна превышать 65 %) для образования мениска жидкости в зазоре между частицами, при которой проявляются капиллярные силы. В силу сказанного уравнение (2.10) и (2.11) сведется к виду:

$$F_{\text{аут}} = F_{\text{м}} + F_{\text{м.з}} \quad (2.12)$$

Частицы пыли могут иметь самую разнообразную форму. Это могут быть неправильные многогранники с выраженными или окатанными гранями. Чем сложнее форма частиц, тем больше вероятность их механического зацепления друг за друга и следовательно тем больше

прочность слоя пыли на картонном фильтрующем элементе воздухоочистителя.

Автором был проведен гранулометрический анализ пыли, осевшей на фильтрующем элементе воздухоочистителя в процессе эксплуатации автомобиля КамАЗ (рис. 2.2). Как видно из рис. 2.2

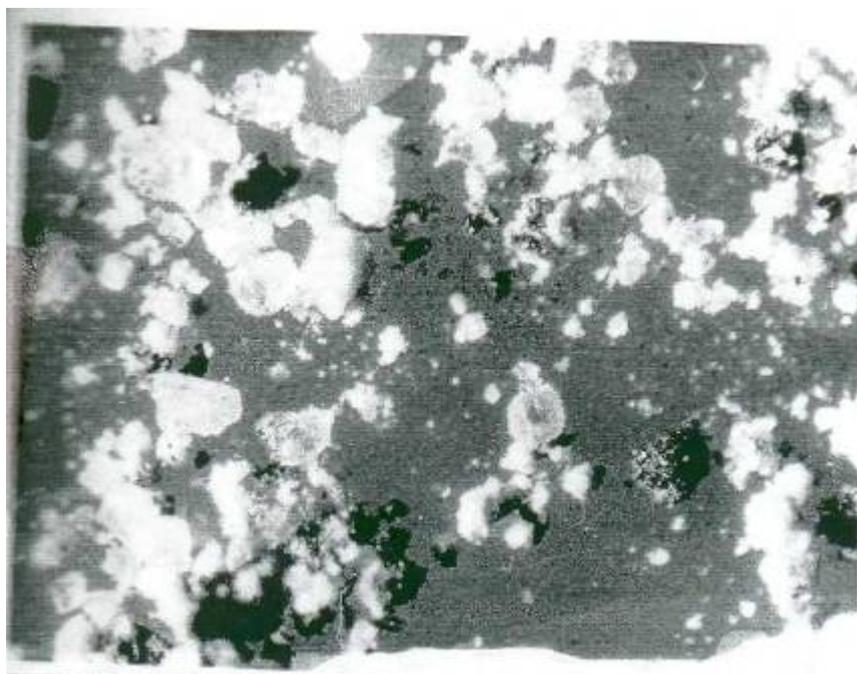


Рис. 2.2. Микрофотография частиц пыли, осевших на фильтрующем элементе автомобильного воздухоочистителя двигателя КамАЗ-740

форма этих частиц приближается к сферической, то есть не имеется тех неровностей на гранях, которые обуславливают механическое зацепление их друг за друга и определяют характер сил взаимодействия с картонным фильтрующим элементом. В силу сказанного в уравнении (2.12) силами механического зацепления можно пренебречь. Тогда уравнение (2.12) сведется к виду

$$F_{\text{аут}} = F_{\text{м}} \quad (2.13)$$

Таким образом, основная причина аутогезии частиц пыли, осевших на картонный фильтрующий элемент воздухоочистителя в процессе эксплуатации автомобилей обусловлена Ван-дер-Ваальсовым взаимодействием. Молекулярную компоненту аутогезии (F_m) можно рассчитать. Вид расчетных формул зависит от размера частиц и величины зазора между ними / 26 /:

$$F_m = \frac{hw}{18\pi N^2} \cdot r, \quad (2.14)$$

где hw – константа молекулярного взаимодействия, равная

$$\frac{4}{3} \pi A (A=3,2 \text{ аДж});$$

N – зазор между частицами, контактирующих друг с другом, равный 10 нм;

r – радиус частиц, равный 2,5 мкм.

Таким образом, подставляя уравнение (2.13) и учитывая формулу (2.14), в равенство (2.6) получим выражение силы сцепления пыли с картонными фильтрующими элементами автомобильных воздухоочистителей для условий их регенерации в следующем виде:

$$F_{сц} = \frac{hw}{18\pi N^2} \cdot r, \quad (2.15)$$

Обратимся вновь к неравенству (2.4). Следующей компонентной составляющих сил, удерживающих пыль в фильтрующем элементе является сила трения, препятствующая движению частиц пыли под действием сил тяжести, которая равна:

$$F_{тр} = f \cdot p, \quad (2.16)$$

где f – коэффициент трения частиц, равный 0,65;

p – вес частиц, Н.

Учитывая, что вес частиц равен:

$$\rho = mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g, \quad (2.17)$$

где m – масса частиц, кг;

ρ – плотность частиц аэрозоля, равная $1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Сила трения может быть выражена как:

$$F_{\text{тр}} = f \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g, \quad (2.18)$$

Как видно, из неравенства (2.4) следующей компонентой составляющих сил, удерживающей пыль в фильтрующем элементе, является аэродинамическое давление. Аэродинамическое давление определяется по Стоксу следующим образом:

$$F_{\text{дин}} = 6 \pi \mu v_x r, \quad (2.19)$$

где μ – вязкость воздуха, равная $1,81 \cdot 10^{-5} \text{ н}\cdot\text{с/м}^2$;

v_x – скорость движения частиц, м/с .

Учитывая, что скорость движения частиц равна:

$$v_x = 2v_n \left[1 - \frac{(r_n - x)^2}{r_n^2} \right], \quad (2.20)$$

где v_n – скорость течения воздуха в поровом канале, равная $0,02 \text{ м/с}$;

r_n – радиус поры, равный $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$;

x – толщина стенки картона, равная $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

Аэродинамическое давление (2.19) может быть представлено следующим образом:

$$F_{\text{дин}} = 12 \pi \mu v_n r \left[1 - \frac{(r_n - x)^2}{r_n^2} \right], \quad (2.21)$$

Подставляя найденные выражения (2.15), (2.21) в неравенство (2.4) получим формулу для определения силы отрыва прилипших частиц пыли к фильтрующему картону под действием воздушного потока в следующем виде:

$$F_{omm} \geq \frac{hw}{18\pi H^2} 12\pi\mu v_n r \left[1 - \frac{(r_n - x)^2}{r_n} \right] \quad (2.22)$$

Исходя из полученной силы отрыва (2.22) и учитывая сопротивление чистых фильтрующих материалов, можно теоретически рассчитать величину необходимого давления продувочного воздуха для удаления слоев осажденной пыли при регенерации картонных фильтрующих элементов (P_B) по формуле:

$$P_\sigma = \frac{\frac{hw\tau}{18\pi H^2} + \frac{4}{3} f\pi\tau^3 \rho g + 12\pi\mu g_n \tau \left[1 - \frac{(\tau_n - x)^2}{\tau_n} \right]}{\pi r_k^2} + \Delta P_v \quad (2.23)$$

где ΔP_v – сила сопротивления фильтрующих материалов, н/м²;

r_k – радиус площади контакта частиц пыли, равный $0,32 \cdot 10^{-6}$ м.

Наиболее точно строго выведенной теоретически и подтвержденной экспериментально формулой сопротивления фильтрующих материалов течению воздуха является формула Фукса-Стечкиной / 72, 73, 74 /:

$$\Delta P_v = \frac{4\beta\mu u}{a^2 (-0,5 \lg \beta - \lambda)} \quad (2.24)$$

где a – радиус волокна, равный $5 \cdot 10^{-7}$ м;

β – плотность упаковки (доля объема, занятого волокнами), равная $3,04 \cdot 10^{-2}$;

u – скорость течения воздуха перед фильтром, равная 24 м/с;

λ – постоянная величина, зависящая от структуры фильтра, равная 0,75.

Подставляя в формулу (2.23) сопротивление фильтрующих материалов (2.24), получим окончательную формулу для теоретического расчета

давления воздушного потока необходимого для регенерации загрязненных картонных фильтрующих элементов автомобильных воздухоочистителей от пыли:

$$P_{\epsilon} = \frac{\frac{hw\tau}{18\pi H^2} + \frac{4}{3} f\pi\tau^3 \rho g + 12\pi\mu g_n \tau \left[1 - \frac{(\tau_n - x)^2}{\tau_n} \right]}{\pi r_k^2} + \frac{4\beta\mu x i}{a^2(-0,5lg\beta - \lambda)} \quad (2.25)$$

Полученное теоретическое уравнение будет использовано для определения уровней факторов при разработке оптимальной технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740, в частности для расчета минимального значения давления струи воздуха.

2.2. Определение давления струи жидкости при регенерации фильтров водным раствором моющих средств

В процессе эксплуатации автомобилей воздушные фильтры загрязняются не только пылью, но и другими отложениями. Так, проведенный анализ состояния загрязненных фильтроэлементов автомобильных воздухоочистителей КамАЗ-740 показал, что 70% от их общего количества составляют фильтры, покрытые маслом и сажей / 75 /.

Масляные загрязнения, входящие в состав атмосферной пыли, оседают на поверхности фильтрующих элементов, закупоривая его поры и увеличивая сопротивление. Величина капель масляного тумана 0,03-0,1 мкм.

Сажа вследствие своей малой плотности способна длительное время находиться во взвешенном состоянии и поэтому имеется большая вероятность ее попадания в воздухоочиститель вместе с всасываемым воздухом. Частицы сажи величиной от 0,01 до 0,2 мкм, соединяясь с продуктами неполного сгорания топлива, образуют конгломераты размером

70-90 мкм, которые способствуют быстрому забиванию пор фильтрующего элемента воздухоочистителя, также увеличивая его сопротивление / 76, 77 /.

Очистка водными растворами синтетических моющих средств, несмотря на кажущуюся простоту, в действительности представляет собой сложный физико-химический процесс, не все стороны которого доступны количественному анализу.

Моющие вещества, адсорбируясь (осаждаясь) на поверхности раздела, понижают поверхностное натяжение, что облегчает смачивание поверхности и проникание моющего раствора между картоном и загрязнением, что в свою очередь приводит к отделению загрязнений от очищаемой поверхности. Смачивание способствует набуханию загрязнений, а это значительно облегчает удаление загрязнений во время смыва, поэтому смачивающая способность моющих средств имеет первостепенное значение.

Мерой смачивания служит косинус краевого угла, т.е. угла между касательной к поверхности масла, проведенной к точке, в которой соприкасаются все три фазы: твердая, масло и воздух / 78 /. Смачивание тем лучше, чем меньше краевой угол. Величина этого угла зависит от концентрации поверхностно-активного вещества в растворе.

Основную трудность удаления от поверхности загрязненных воздушных фильтров составляют масляные загрязнения, этому способствует наличие в маслах поверхностно-активных веществ, которые, как установил академик Ребиндар П.А. / 79 /, способны проникать даже в мельчайшие поверхностные трещины, образуя тем самым «зажиренную» поверхность даже тогда, когда внешне наличие масла не обнаруживается.

В основе каждого метода очистки используется определенный способ разрушения загрязнений и удаления их с поверхности. Очистка поверхности водными растворами синтетических моющих средств связана с затратой энергии на разрушение загрязнений (преодоление прочностных когезионных сил) и удаление загрязнений с поверхности (преодоление удерживающих адгезионных сил) / 80 /.

Удаление масляных загрязнений с поверхности нельзя осуществить теми методами, которые применяются в случае адгезии частиц пыли, т.е. путем приложения внешней силы, превышающей адгезионное взаимодействие, так как под действием внешней отрывающей силы происходит деформация капли масла и изменение площади ее контакта с поверхностью. В связи с этим оценка величины адгезии масла к поверхности по силе, как это имело место в случае адгезии частиц пыли, не пригодна. Поэтому адгезия масла к поверхности оценивается работой, которую надо затратить для отрыва масла от поверхности / 81 /.

При удалении масла с поверхности возможен либо адгезионный отрыв по границе масла - твердое тело, либо когезионный отрыв, когда нарушается граница масло-масло. Если отношение работы адгезии к работе когезии обозначить через:

$$Z_a = \frac{W_a}{W_k}, \quad (2.26)$$

где W_a - работа адгезии жидкости на границе с твердой фазой, Дж/м²;

W_k - работа когезии, которую надо затратить, чтобы преодолеть взаимодействие между собой молекул жидкости, Дж/м² то число Z_a можно назвать относительной работой адгезии жидкости. В случае $Z_a < 1$ (что означает $W_a < W_k$), реализуется лишь адгезионный отрыв жидкости, если же $Z_a=1$, что имеет место только при полном смачивании, когда краевой угол равен нулю, реализуется адгезионно-когезионный отрыв. Следовательно, работа адгезии в пределе равна работе когезии.

Рассчитаем относительную работу адгезии масла к поверхности фильтрующего элемента. Для этого в формуле (2.26) выразим работы адгезии и когезии их уравнениями / 81 /:

$$W_a = \delta_{жг} (1 + \cos\Theta), \quad (2.27)$$

где $\delta_{жг}$ - величина поверхностного натяжения на границе жидкость - газ (т.е. на границе раздела масло-воздух), равная 0,063 Дж/м²;

Θ - краевой угол смачивания, т.е. угол, образуемой касательной к поверхности масла, проведенной через точку, в которой соприкасаются все три фазы - поверхность, масло, воздух, равный 107° .

$$W_k = 2\delta_{жг} \quad (2.28)$$

тогда получим $Z_a = 0,34$.

Таким образом, относительная работа адгезии масла к поверхности картона получилась меньше единицы, следовательно, можно положить, что при удалении масла с поверхности фильтрующего элемента имеет место лишь адгезионный отрыв, определяемый уравнением (2.27).

В общем работа очистки W_o (в данном случае такой работой является W_a) складывается из работы $W_{фх}$, совершаемой очищаемой средой за счет физико-химической активности и работы W_m , связанной с механическим воздействием среды на разрушение загрязнения и его связи с поверхностью ($W_o = W_{фх} + W_m$).

Чем физико-химически активнее очищающая среда, т.е. больше $W_{фх}$ тем потребуется меньше механической энергии, и, наоборот, чем меньше $W_{фх}$, тем больше W_m необходимо затратить для достижения одинакового эффекта очистки.

В силу сказанного уравнение (2.27) можно представить следующим образом:

$$\delta_{жг} (1 + \cos\Theta) = W_{фх} + W_m \quad (2.29)$$

Поскольку работа $W_{фх}$, входящая в уравнение (2.29) зависит, как указывалось выше, от моюще-очищаемой активности среды, ее концентрации и температуры, необходимо выразить ее в зависимости от этих величин.

Для этого рассмотрим свободную поверхностную энергию, связанную с протеканием моющего процесса. Свободная поверхностная энергия (E),

равная произведению поверхностного натяжения (δ) на величину поверхности (S):

$$E = \delta \cdot S \quad (2.30)$$

Если повышение или уменьшение концентрации растворенного вещества в поверхностном слое раствора (в общем случае на границе раздела фаз), отнести к единице поверхности (обозначив его через "Г", то количественное соотношение между величиной адсорбции «Г» и изменением поверхностного натяжения « δ » с концентрацией раствора «С» описывается уравнением Гиббса / 82 /:

$$\Gamma = \frac{C}{RT} \frac{d\delta}{dC}, \quad (2.31)$$

где R - газовая постоянная, равная $8,3144 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$;

T - абсолютная температура, К;

Γ – адсорбция, равная $5,3 \cdot 10^{-6}$ моль/м².

Уравнение (2.31) относительно величины поверхностного натяжения может быть представлено следующим образом:

$$d\delta = RT\Gamma \frac{dC}{C} \quad (2.32)$$

В результате интегрирования уравнения (2.32), получим величину поверхностного натяжения в виде:

$$\delta = RT\Gamma \ln C \quad (2.33)$$

Выражая работу $W_{\text{фх}}$ через свободную поверхностную энергию (2.30) с учетом величины (2.33), получим:

$$W_{\text{фх}} = \frac{E}{S} = RT\Gamma \ln C \quad (2.34)$$

Исходя из выражения (2.34) можно представить уравнение (2.29) относительно работы механического воздействия в виде:

$$W_{\text{м}} = \delta_{\text{жг}} (1 + \cos\Theta) - RT\Gamma \ln C \quad (2.35)$$

Определяющим параметром механического воздействия струи является напор моющей жидкости. В связи с этим используя работу механического воздействия, определяемую по формулу (2.35) и учитывая, что она приходится на единицу площади контакта масла с поверхностью фильтра можно теоретически рассчитать давление струи моющего раствора ($P_{\text{ж}}$) при регенерации загрязненных фильтров от масел, сажи и других отложений в зависимости от его концентрации, температуры и адгезионных свойств удаляемых масел по формуле

$$P_{\text{ж}} = \frac{\delta_{\text{жг}} (1 + \cos\Theta) - RT\Gamma \ln C}{l}, \quad (2.36)$$

где l - толщина масляного загрязнения, м.

Полученное теоретическое уравнение будет использовано для определения уровней факторов при разработке оптимальной технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740, в частности для расчета минимального значения давления струи моющего раствора.

2.3. Определение времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха

После мойки картонного фильтрующего элемента его необходимо просушить с целью удаления содержащейся в нем влаги путем ее испарения. В некоторых случаях перед сушкой материалов целесообразно предварительное обезвоживание их механическим способом (центрофугированием), которое было более экономично, чем тепловая сушка. Однако, одно механическое обезвоживание является недостаточным, так как оно обеспечивает только частичное удаление влаги (40-60%) / 83, 84, 85, 86 /, поэтому часто комбинируют различные способы ее удаления - промытый фильтроэлемент центрифугируется до тех пор, пока от него прекратится отделение влаги, затем процесс досушки осуществляется продувкой горячим воздухом.

Б силу сказанного общая работа (W_a), необходимая для отрыва жидкости, находящейся на картонном фильтре, будет складываться из работы центрифугирования ($W_{ц}$) и работы, связанной с досушкой фильтра горячим воздухом ($W_{дос}$).

Известно, что общая работа, которую надо затратить для отрыва жидкости от твердой поверхности выражается уравнением (2.27).

$$W_a = \delta_{жг}^1 (1 + \cos \Theta_1),$$

где $\delta_{жг}^1$ - величина поверхностного натяжения на границе вода-воздух, равная 0,7 Дж/м²;

Θ_1 - краевой угол смачивания, равный 108°.

Тогда работа, связанная с досушкой фильтра горячим воздухом, представится следующим образом:

$$W_{дос} = \delta_{жг}^1 (1 + \cos \Theta_1) - W_{ц} \quad (2.37)$$

Для определения работы, совершаемой центрифугированием, необходимо знать число оборотов центрифуги (n). Известно /85,86/, что для волокнистых фильтров эта величина равняется 500 об/мин. Зная обороты, можно легко рассчитать угловую скорость вращающегося картонного фильтрующего элемента (ω), т.е. она составит:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (2.38)$$

На капли жидкости, находящиеся на картонном фильтре, при заданной угловой скорости ω будет действовать центробежная сила отрыва, равная:

$$F = M \omega^2 \tau_1, \quad (2.39)$$

где M - масса капелек жидкости, находящихся в порах
фильтра, кг;

τ_1 - внутренний радиус фильтра, м.

Работа, затрачиваемая на удаление капли жидкости путем центрифугирования, определится:

$$W_{ц} = F \cdot x \quad (2.40)$$

Подставляя в формулу (2.40) значение силы из выражения (2.39) получим:

$$W_{ц} = M \omega^2 \tau_1 x, \quad (2.41)$$

Учитывая, что чем меньше размеры капель жидкости, находящихся на картонном фильтрующем элементе, тем больше нужна центробежная сила отрыва для их удаления, так как маленькие капли сильнее удерживаются молекулярными силами, рассчитываем работу центрифугирования для капель жидкости меньшего размера, заведомо зная, что более крупные капли при данных параметрах вращения тем более удалятся. Минимальная величина капель жидкости приближается к размерам пор, следовательно, массу капли можно определить следующим образом:

$$M = V \cdot \rho_{ж} \quad (2.42)$$

где V - объем капли воды, м^3 ;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды, равная $1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Объем капли воды, в свою очередь, определится из выражения:

$$V = \frac{\pi d_n^2 x}{4} \quad (2.43)$$

где d_n - диаметр поры картонного фильтрующего элемента,
равный $10 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Подставив значение массы M из формулы (2.42) с учетом (2.43) в формулу (2.41) получим выражение для определения работы, совершаемой центрифугированием:

$$W_{\text{ц}} = \frac{\pi d_n^2 x^2 \rho_{\text{ж}} w^2 \tau_1}{4}, \quad (2,44)$$

Тогда уравнение (2.37) с учетом того, что общая работа, затрачиваемая для отрыва жидкости от твердой поверхности, приходится на единицу площади контакта воды с поверхностью переписется в виде:

$$W_{\text{дос}} = \sigma_{\text{жс}}^1 (1 + \cos \Theta_1) \cdot S_1 \frac{\pi d_n^2 x^2 \rho_{\text{ж}} w^2 \tau_1}{4}, \quad (2,45)$$

где S_1 - площадь соприкосновения жидкости с твердым телом,
равная $314 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$.

Известно, что количество теплоты, необходимое для нагревания и испарения данной массы вода, определяется из выражения:

$$\Theta_T = M_{\text{ж}} C_{\text{ж}} (T_{2\text{ж}} - T_{1\text{ж}}) + \tau_{\text{ж}} M_{\text{ж}} \quad (2,46)$$

где $M_{\text{ж}}$ - масса воды, которую нужно подогреть и превратить в пар, кг;

$C_{\text{ж}}$ - удельная теплоемкость воды, равная $4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг К}$;

$\text{Ч}_{\text{ж}}$ - скрытая теплота парообразования, равная $2,38 \cdot 10^6$ Дж/кг

$T_{1\text{ж}}$ - исходная температура воды, К;

$T_{2\text{ж}}$ - требуемая температура воды, К.

Для нахождения оставшейся массы воды, которую нужно удалить досушкой фильтра горячим воздухом, подставим в выражение (2.41) вместо работы центрифугирования работу, связанную с досушкой фильтра из выражения (2.45) и проведя соответствующие преобразования, получим:

$$M_{\text{ж}} = \frac{4\sigma_{\text{жс}}^1 (1 + \cos \Theta_1) S_1 - \pi d_n^2 x^2 \rho_{\text{жс}} w^2 \tau_1}{4w^2 \tau_1 x}, \quad (2,47)$$

С другой стороны количество теплоты, необходимое для нагревания воздуха калорифером в единицу времени, равно:

$$Q_{\text{кал}} = Q_1 C_{\text{в}} \rho_{\text{в}} (T_{2\text{в}} - T_{1\text{в}}), \quad (2,48)$$

где $Q_{\text{кал}}$ - количество теплоты, выделяемое калорифером в единицу времени, Дж/с;

Q_1 - расход воздуха через форсунку, м³/с;

$C_{\text{в}}$ - удельная теплоемкость воздуха равная $0,71 \cdot 10^3$ Дж/кг, К;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха, равная $1,29$ кг/м³;

$T_{1\text{в}}$ - исходная температура воздуха, К;

$T_{2\text{в}}$ - требуемая температура воздуха, К,

Тогда, разделив выражение (2,46) с учетом (2.47) на (2.48) и определяя расход воздуха в зависимости от его напора и диаметра форсунки, можно теоретически рассчитать необходимое время для досушки промытых фильтров (t_c) струей горячего воздуха по формуле;

$$t_c = \frac{\left[4\sigma_{\text{жс}}^1 (1 + \cos \Theta_1) \cdot S_1 - \pi d_n^2 x^2 \rho_{\text{жс}} w^2 \tau_1 \right] \left[C_{\text{жс}} (T_{2\text{жс}} - T_{1\text{жс}}) + \tau_{\text{жс}} \right]}{w^2 \tau_1 x \mu_1 \pi d_{\text{ф}}^2 \sqrt{2gH_1} \cdot C_{\text{в}} \rho_{\text{в}} (T_{2\text{жс}} - T_{1\text{жс}})}, \quad (2,49)$$

где μ_1 - коэффициент расхода воздуха, зависящий от формы

насадка, равный 0,62;

d_{ϕ} - диаметр отверстия насадки, м;

H_1 - напор воздуха перед форсункой, м.

Полученная теоретическая формула будет использована при разработке оптимальной технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740, в частности для расчета времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха в зависимости от давления обдувочного воздуха, его температуры и сечения сопла.

ГЛАВА III. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕН- ТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа исследований

С целью уточнения определяющих параметров процесса регенерации картонных фильтрующих элементов, полученных в теоретических исследованиях, установления оптимального режима технологии регенерации фильтроэлементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740, а также оценки эффективности работы регенерированных фильтров и ее влияния на износ цилиндропоршневой группы, необходимо выполнить ряд экспериментальных исследований.

На основании поставленной цели программа исследований включает решение следующих вопросов:

1. Определение давления струи продувочного воздуха при регенерации загрязненных фильтров от пыли.
2. Определение давления струи моющего раствора при регенерации загрязненных фильтров от масла, сажи и других отложений.
3. Определение времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха.
4. Определение оптимального режима технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740.
5. Исследование аэродинамического сопротивления регенерированных фильтров.
6. Исследование пылеемкости и коэффициента пропуска пыли регенерированных фильтров.
7. Эксплуатационные исследования влияния эффективности работы регенерированных фильтров на интенсивность износа деталей цилиндропоршневой группы.

3.2. Методика исследований по определению основных параметров процесса регенерации картонных фильтрующих элементов

Для проведения экспериментальных исследований по уточнению основных параметров процесса регенерации картонных фильтрующих элементов, полученных в теоретических исследованиях, была предложена технологическая схема стенда / 87 /.

Стенд состоит из цилиндрического бака I (рис. 3.1), который с одной стороны закрывается крышкой 30, а с другой к нему присоединяется фланец 6. Внутри бака на фланце устанавливается на подшипниках вращающийся диск 5, на котором крепится загрязненный картонный фильтрующий элемент 3. В центре и снаружи установленного в баке картонного фильтрующего элемента пропущены через фланец 6 подвижные штанги 2,4 и 29, которые перемещаются при помощи цепного привода 14 через шатун 12. В верхней части штанг вмонтированы форсунки. К стенду подключены пять контуров: воздушный - холодный и горячий; жидкостный - моющий и промывочный; всасывающий. Воздушный контур включает: гибкий шланг 15, калорифер 17, компрессор 18, фильтр 19 и штангу с форсункой 4. Всасывающий контур включает: гибкий шланг 8, фильтр 9, вакуум-насос 10. Жидкостный моющий контур включает: штангу 29, гибкий шланг 20, вентиль 23, фильтр 24, насос 25, подогреватель 26, вентиль 27. Жидкостный промывочный контур включает: магистральный трубопровод, вентиль 22, гибкий шланг 20, штангу 29 и спускной вентиль 28.

Привод диска осуществляется через шкивы II и ременную передачу электродвигателем постоянного тока. Для замера давления и температуры воздуха и жидкости используются образцовые манометры 16 и 21 и термометр с ценой деления 1°C. Обороты вращающегося диска контролируются показывающим тахометром типа ТЭ-204.

Работает стенд следующим образом. Открывается крышка 30 и на вращающийся диск 5 через прокладку прижимается картонный фильтрующий элемент. Затем крышка 30 закрывается при помощи легко-съемных барашков. Включается вакуум-насос 10, компрессор 18, электродвигатель и привод 14. При вращении картонного фильтрующего элемента воздух, выходящий из форсунки подвижной штанги 4 продувает фильтр, а удаленная пыль из фильтра засасывается всасывающим козырьком подвижной вакуумной штанги 2 и далее через фильтр 9 очищенный воздух уходит в атмосферу. Одновременно с вращением картонного фильтрующего элемента происходит плавное перемещение штанг 2 и 4 вдоль него при помощи приводного механизма 14. Такое перемещение штанги вдоль фильтра позволяет полностью очистить фильтр от пыли.

В случае загрязнения фильтроэлемента копотью, маслом, сажой на этом же стенде осуществляется его мойка. Для этого отключается соединительная планка 7 от подвижных штанг 2 и 4. Открывается вентиль 23 и 27, включается подогреватель 26, где находится моющий раствор и включается электродвигатель. При вращении картонного фильтрующего элемента струя моющей жидкости, выходящая из форсунки подвижной штанги 29, промывает его наружную часть по мере перемещения штанги 29 вдоль него. Стекающая жидкость поступает вновь в подогреватель 26 и далее насосом 25 через фильтр 24, где очищается от загрязнений по трубопроводу поступает вновь а подвижную штангу 29.

После мойки картонного фильтрующего элемента его необходимо прополаскивать. Для этого открывается вентиль 22 и 29 и при включенном электродвигателе промывают картонный фильтрующий элемент, промывочная вода сбрасывается в канализацию.

После промывки картонных фильтрующих элементов на этом же стенде производится их сушка. Промытый фильтроэлемент центрифугируется до тех пор, пока от него не прекратится отделение влаги,

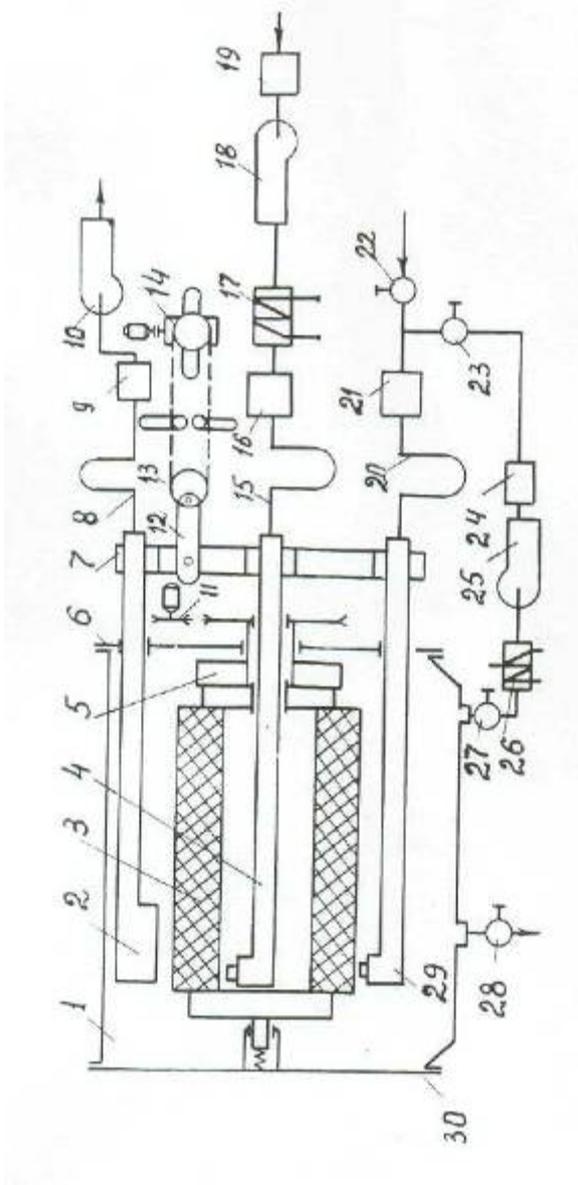


Рис. 3.1. Схема стенда для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740

- 1-корпус; 2-штанга вакуумная; 3-КФЭ; 4-воздушная штанга; 5-вращающийся диск; 6-фланец; 7-соединительная планка; 8-гибкий шланг; 9-фильтр; 10-вакуумнасос; 11-шквив; 12-штанг; 13-звездочка; 14-механизм привода; 15-гибкий шланг; 16-манометр; 17-калорифер; 18-компрессор; 19-фильтр; 20-гибкий шланг; 21-манометр; 22-вентиль; 23-вентиль; 24-фильтр; 25-насос; 26-подогреватель; 27-вентиль; 28-спускной вентиль; 29-жидкостная штанга; 30-крышка.

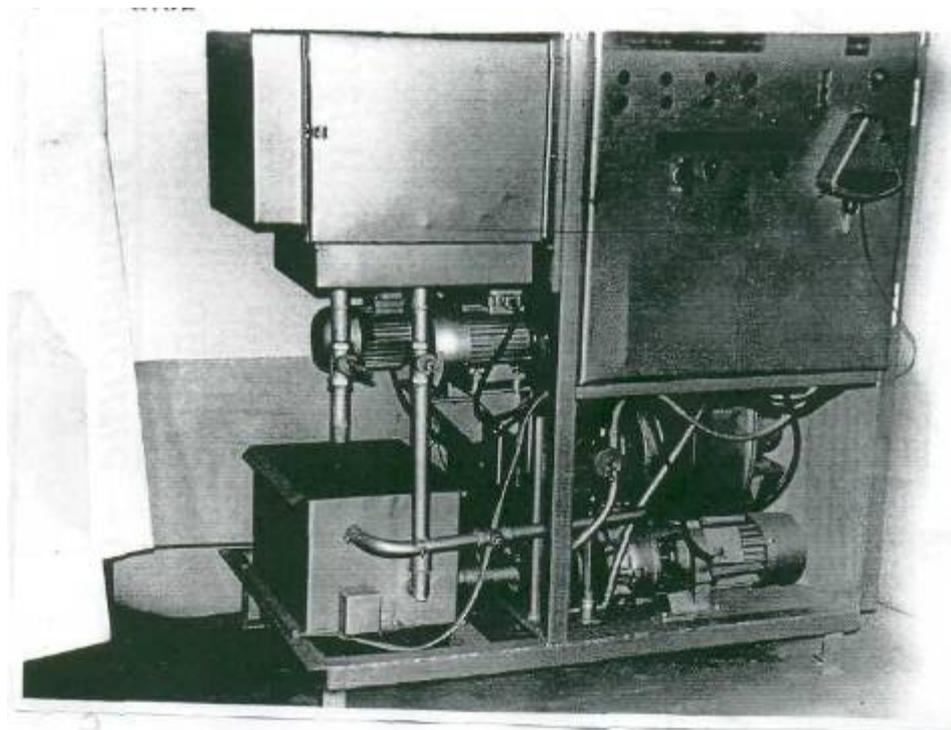


Рис. 2.2. Экспериментальный стенд для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740

затем процесс досушки осуществляется продувкой горячим воздухом, для чего включается воздушный контур с включенным калорифером 17.

По описанной схеме был изготовлен экспериментальный стенд (рис.3.2), на котором определялись основные параметры процесса регенерации: давление струи воздуха при регенерации фильтров от пыли, давление струи моющего раствора при регенерации фильтров от масляных загрязнений; время досушки промытых фильтров струей горячего воздуха.

3.2.1. Методика определения давления струи воздуха при регенерации фильтров от пыли

На основании теоретических исследований, изложенных выше, выведена формула (2.25) для расчета давления струи воздуха при

регенерации фильтров от пыли. Для проверки достоверности этой формулы были проведены экспериментальные исследования на стенде для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740.

Эксперимент проводился в следующем порядке. Включали продувочный контур. Открывали магистральный кран воздухопровода и по образцовому манометру устанавливали давление струи воздуха, определенное из теоретических исследований. При установившемся давлении струи воздуха продували загрязненный фильтр до прекращения отделения пыли, затем фильтр взвешивался и устанавливалось следующее значение давления струи воздуха с интервалом 10 кПа. Опыты повторялись до тех пор, пока не наступала стабилизация массы фильтра.

3.2.2. Методика определения давления струи моющего раствора

На основании теоретических исследований, изложенных выше, установлена зависимость (2.36) давления струи моющего раствора от его концентрации и температуры при регенерации загрязненных картонных фильтров от масла, сажи и других отложений. С целью уточнения этой зависимости были проведены экспериментальные исследования на стенде для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740.

Эксперимент проводился следующим образом. Включали моющий контур. По образцовому манометру устанавливали давление струи моющего раствора, определенное из теоретических исследований и подогревали моющий раствор до необходимой температуры, которая поддерживалась автоматически при помощи дистанционного температурного датчика ТСМ-100. При заданных значениях давления струи моющего раствора и его температуры с учетом постоянной концентрации смывали загрязнения с

поверхности фильтра до прекращения отделения загрязнений и предварительно просушив фильтр, взвешивали его. Затем устанавливалось следующее значение давления струи моющего раствора с интервалом 10 кПа и той же температурой. Опыты повторялись до тех пор, пока не наступала стабилизация массы фильтра. Аналогично проводились опыты для других температур моющего раствора с интервалом 2°C. Таким образом, была получена экспериментальная зависимость давления струи моющего раствора от его температуры при постоянной концентрации. Аналогичным образом была проведена серия опытов для получения экспериментальной зависимости давления струи моющего раствора от его концентрации с интервалом 1 г/л при постоянной температуре.

3.2.3. Методика определения времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха

На основании теоретических исследований, изложенных выше, получена зависимость (2.49) времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха от давления обдувочного воздуха, его температуры и сечения сопла.

С целью уточнения этой зависимости были проведены экспериментальные исследования на стенде для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740.

Эксперимент проводился следующим образом. Включали продувочный контур с включенным калорифером. Открывали магистральный кран воздухопровода, по образцовому манометру устанавливали давление струи обдувочного воздуха, определенное механическими прочностными свойствами фильтра 300 кПа и при помощи латара по термометру устанавливали требуемую температуру обдувочного воздуха. При заданных значениях времени досушки фильтров струей горячего воздуха, определенном из теоретических исследований и его температуры с учетом постоянного давления сушили фильтр, после чего его взвешивали. Затем

задавалось следующее время досушки фильтров с интервалом 3 секунды и той же температурой и опыты повторялись до тех пор, пока не наступала стабилизация массы фильтра. Аналогично проводились опыты для других температур обдувочного воздуха с интервалом 2°C. Таким образом, была получена экспериментальная зависимость времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха от его температуры при постоянном давлении. Аналогичным образом была проведена серия опытов для получения экспериментальной зависимости времени досушки фильтров струей горячего воздуха от его давления с интервалом 10 кПа при постоянной температуре.

3.3. Методика оптимизации технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 на основе математической теории планирования эксперимента

С целью установления оптимального режима технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 в зависимости от вида, выполняемого технологического процесса на регенерационном стенде проводилась оптимизация следующих параметров. При продувке фильтров от пыли: диаметра форсунки, давления струи продувочного воздуха, частоты вращения фильтрующего элемента и скорости перемещения штанги по фильтру. При мойке фильтров от масла и сажи: диаметра форсунки, давления струи моющего раствора, концентрации моющего раствора и температуры моющего раствора.

Решение данной задачи выполнялось с использованием методов математической теории планирования эксперимента.

Обычные методы исследования направлены на отыскание детерминированной зависимости между интересующим нас параметром и влияющими на него факторами. При этом влияние факторов изучается

раздельно, т.е. выбирается и варьируется какой-либо один фактор, а все другие фиксируются для данного опыта. Затем таким путем изучается влияние второго третьего и всех других факторов. При наличии большого числа факторов объем экспериментальной работы значительно возрастает и в то же время полученные выводы представляют собой лишь частный случай, так как такие методы исследований не позволяют выявить силу влияния каждого фактора, оценить роль их взаимодействия и отыскать оптимальное сочетание действующих факторов.

Планирование эксперимента позволяет значительно сократить число опытов без ущерба качеству информации, поскольку все факторы варьируются одновременно и получить математическую модель, которую можно использовать по оптимизации исследуемого процесса / 88 /.

Для построения математической модели необходимо выбрать параметр оптимизации и определить предельные значения действующих факторов. В качестве оптимизирующего параметра выбирается такой параметр, по которому оценивается исследуемый объект и который связывает факторы в математическую модель. Задача исследования состоит в том, чтобы созданием математической модели минимизировать этот параметр оптимизации путем соответствующего подбора факторов.

За оптимизирующий параметр выбиралась величина энергозатрат стенда. Определение предельных значений действующих факторов (так называемых уровней факторов) и величины энергозатрат производилось раздельно для каждого процесса.

При продувке фильтров от пыли: для определения минимального значения диаметра форсунки воспользовались формулой длины начального участка устойчивой струи, т.е. когда компактность струи еще сохраняется / 89 /:

$$X_n = \frac{1,145D_o}{tg\alpha}, \quad (3.1)$$

где X_n - длина начального участка устойчивой струи, м;

ϵ - $12^{\circ}40'$;

D_0 - диаметр отверстия входного сопла.

Если учесть, что у воздушных фильтров, используемых в КамАЗ-740, расстояние от перфорированной металлической решетки до фильтрующего элемента составляет 5 мм, толщина решетки 1 мм и минимально-допустимое расстояние от продуваемого сопла до решетки не должно быть менее 4 мм из-за неровностей внутренней поверхности картонных фильтров, то общее расстояние от фильтроэлемента до сопла составит 10 мм. Подставляя это значение в формулу (3.1) и решая ее относительно диаметра отверстия входного сопла, было найдено, что минимальное значение диаметра форсунки равно 1,9 мм.

Исходя из того, что картонный фильтрующий элемент снаружи и внутри защищен перфорированным металлическим кожухом с диаметром отверстия, равным 10 мм, то за максимальное значение диаметра форсунки принималась величина равная, 10 мм, так как при большем значении диаметра форсунки, часть напора струи воздуха будет попадать на неперфорированную поверхность.

В качестве минимального значения давления струи воздуха бралась величина, определенная из теоретических исследований.

Максимально-допустимое значение давления струи воздуха определялось механическими прочностными свойствами фильтра, эта величина не должна превышать 300 кПа / 20 /.

Для определения предельных значений скорости перемещения штанги ($V_{\text{пер}}$) и частоты вращения (ω) фильтрующего элемента были использованы следующие известные формулы:

$$V = \frac{S}{t}, \quad (3.2)$$

$$W = \frac{v}{\tau}, \quad (3.3)$$

из которых

$$v_{\min} = \frac{h}{t_{\min}}, \quad v_{\max} = \frac{h}{t_{\max}}$$

$$W_{\min} = \frac{v_{\min}}{\tau} = \frac{l_{\text{окр}}}{\tau \cdot t_{\min}}, \quad W_{\max} = \frac{v_{\max}}{\tau} = \frac{l_{\text{окр}}}{\tau \cdot t_{\max}}$$

где h - высота фильтрующего элемента, равная 0,385 м;

$l_{\text{окр}}$ - длина окружности фильтрующего элемента, равная 0,785 м;

t_{\min} - время, в течение которого при минимальном диаметре форсунки очистится от пыли заданный участок;

t_{\max} - время, в течение которого при максимальном диаметре форсунки очистится от пыли заданный участок;

τ - радиус фильтрующего элемента, равный 0,125 м.

Поскольку значения ω_{\min} и ω_{\max} не представляется возможным непосредственно замерить на предлагаемом стенде, воспользуемся известной формулой перехода к числу оборотов:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (3.4)$$

Таким образом, уровни, взятых на учет, факторов при продувке фильтров от пыли представлены в табл. 3.1.

**Уровни взятых на учет факторов при отделении пыли от картонных
фильтрующих элементов струей сжатого воздуха**

Наименование факторов и его обозначение	Уровни факторов	
	- 1	+ 1
X ₁ - диаметр форсунки, мм	1,9	10
X ₂ - давление струи воздуха, кПа	180	300
X ₃ - скорость перемещения штанги, м/с·10 ⁻²	0,28	0,41
X ₄ - частота вращения, с ⁻¹	4,48	6,71

Величину параметра оптимизации (Э₁) (энергозатраты компрессора) определяли по формуле:

$$\text{Э}_1 = N_2 \cdot T_1, \quad (3.5)$$

где T₁ - время продувки (экспериментальные данные), с.

При мойке загрязненных фильтров от масла и сажи: для определения минимального значения диаметра форсунки воспользовались следующей формулой / 91 /:

$$X_n = \frac{0,67R_o}{\alpha}, \quad (3.6)$$

где X_n - длина начального участка струи;

α - коэффициент структуры, равный 0,08;

R_o - радиус струи.

По конструктивным соображениям величина длины начального участка струи может быть не более 10 мм. Тогда из формулы (3.6) было найдено, что минимальное значение диаметра форсунки равно 2.4 мм.

В качестве минимального значения напора струи моющей жидкости бралась величина, определенная из теоретических исследований.

За максимальное значение диаметра форсунки принималась величина, равная 10 мм, как и в случае продувки от пыли.

Максимально-допустимая величина напора струи моющего раствора определялась прочностными свойствами картона из поискового эксперимента.

Как известно / 92, 93 / смыв загрязнений в виде масла и сажи рекомендуется делать теплым водным моющим раствором, температура которого должна быть 40-50°C с концентрацией 20-25 г/л. Увеличение температуры растворов положительно влияет на скорость очистки. Американский ученый Samuel Spring / 94 / утверждает, что с повышением температуры очищающих растворов на 11°C скорость очистки возрастает почти в два раза. Следовательно, минимальное значение температуры моющего раствора можно принять равным 40°C, а максимальное значение равным 50°C; минимальное значение концентрации моющего раствора 20 г/л, а максимальное 25 г/л.

Выбор моющего средства является одним из этапов моющего действия. Известно / 95 /, что при использовании правильно подобранных средств можно на 20-30% увеличить эффект очистки загрязнений с очищаемой поверхностью. Так одни и тот же моющий состав способен удалять какой-либо один из видов загрязнений и в то же время этот состав может не обладать моющей способностью по отношению к остальным видам загрязнений. Другими словами, не существует универсальных моющих составов, которые одинаково хорошо бы действовали во всех практически встречающихся условиях.

Учитывая характер загрязнений картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей (загрязнения не претерпевшие физико-химические превращения - масла с примесями частиц почвы), рекомендовать как наиболее целесообразное моющее средство для их удаления можно препарат типа МС, обладающего умеренной пенообразовательной способностью, но высоким моющим действием для данного типа загрязнений / 96, 97, 98 /.

Таким образом, уровни, взятых на учет факторов при мойке фильтров от масла и сажи представлены в таблице 3.2.

Уровни взятых на учет факторов при отделении масла и сажи от картонных фильтрующих элементов струей моющего раствора

Наименование фактора и его обозначение	Уровни факторов	
	- 1	+ 1
X ₁ - диаметр форсунки, мм	2,4	10
X ₂ - давление струи моющего раствора, кПа	110	200
X ₃ – концентрация моющего раствора, г/л	20	25
X ₄ – температура, моющего раствора, °С	40	50

Величину параметра оптимизации (Э₂) (энергозатраты циркуляционного насоса и энергозатраты, затраченные на подогрев моющего раствора) определяли по формуле:

$$\text{Э}_2 = (N_1 + N_4) T_2, \quad (3.7)$$

где T₂ - время смыва (экспериментальные данные), с.

После выявления уровней факторов начинается новый процесс исследования - отыскание области оптимума при одновременном действии всех факторов. Наиболее распространенным является метод крутого восхождения, при котором движение осуществляется шагами последовательно и описывается линейными уравнениями / 99 /:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots \quad (3.8)$$

Перед началом эксперимента факторы кодируются с целью облегчения вычислительных работ для расчета коэффициентов. Кодирование факторов производится по формуле:

$$x_i = \frac{X_i - X_{oi}}{\xi}, \quad (3.9)$$

где x_i - кодированное значение фактора;

X_i - натуральное значение фактора;

X_{oi} - натуральное значение фактора на нулевом уровне;

ξ - натуральное значение интервала варьирования фактора.

$$\xi = \frac{X_i^g - X_i^H}{2}, \quad (3,10)$$

где X_i - значение фактора на верхнем уровне;

X_i^H - значение фактора на нижнем уровне.

Затем составляется матрица планирования эксперимента для каждого процесса отдельно, в первых столбцах которой заносятся закодированные значения факторов, а в последнем столбце - экспериментальные значения параметра оптимизации, после чего рассчитываются коэффициенты регрессии модели (3.8):

$$b_o = \frac{\sum_{u=1}^N \check{Y}_u}{N} \quad (3.11)$$

где \check{Y}_u - значение критерия оптимизации, полученного в u -ом опыте;

N – количество опытов (число строк в матрице эксперимента).

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} \check{Y}_u}{N}, \quad i=0,1,2,\dots,n \quad (3.12)$$

где X_{iu} - значение фактора X_i в u -ом опыте;

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} \cdot X_{ju} \cdot \check{Y}_u}{N}, \quad j=0,1,2,\dots,n \quad (3.13)$$

Далее производится оценка адекватности модели факторов линейным приближением. Затем выполняется программа крутого восхождения по поверхности отклика. Результаты крутого восхождения дают основание предположить, что выбранный центр эксперимента (основной уровень факторов) находится либо вблизи области оптимума, либо вдали от нее. Если центр эксперимента находится вдали от области оптимума, то следует изменить уровни факторов и вновь выполнить программу крутого восхождения. Таким образом, в результате крутого восхождения будет

достигнута область оптимума. Задачей последующего этапа является детальное изучение области оптимума, для чего линейного приближения уже недостаточно, так как в этой части поверхности доминирующими становятся коэффициенты регрессии, характеризующие эффекты взаимодействий, т.е. необходимо использовать планирование второго порядка. Математическая модель второго порядка будет иметь вид / 88 /:

$$\check{Y}_o = b_o + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j}^n b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad (3.14)$$

где b_{ij} - эффекты взаимодействий;

b_{ii} - эффекты при квадратичных членах.

Затем составляется матрица планирования эксперимента по описанию области оптимума и после реализации эксперимента и получения значений критерия оптимизации проводится обработка данных и построение математической модели факторов второго порядка.

Расчет коэффициентов регрессии модели (3.14) производится методом наименьших квадратов /100/. Далее проверяется адекватность модели второго порядка и после получения адекватной математической модели второго порядка определяется значения факторов, обеспечивающих оптимальное протекание процесса регенерации загрязненных фильтров, для чего проводится графо-аналитический анализ полученного выражения с помощью двумерных сечений.

Предлагаемая методика позволит научно-обоснованно произвести расчет основных параметров регенерационного стенда, что будет способствовать установлению оптимального режима технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателя КамАЗ-740.

3.4. Методы исследования эффективности работы регенерированных фильтроэлементов

С целью определения эффективности работы регенерированных фильтроэлементов сначала проводились эксплуатационные испытания новых, еще не работавших картонных фильтрующих элементов на автомобилях до предельно-допустимого сопротивления 7,0 кПа.

Затем часть фильтроэлементов регенерировали на стенде продувкой сжатым воздухом, а остальные промывкой моющим раствором.

Степень восстановления картонных фильтрующих элементов должна оцениваться следующими техническими показателями его работы:

- эффективностью очистки воздуха;
- аэродинамическим сопротивлением;
- продолжительностью работы до предельно-допустимого сопротивления.

Эти показатели подробно характеризуют эффективность работы воздушного фильтра.

Эффективность очистки принято выражать, согласно ГОСТ 8002-74 / 101 / коэффициентом пропуска пыли (отношение массы пропущенной фильтром пыли к массе пыли, поступившей в него с потоком воздуха за определенный промежуток времени). В результате исследований / 20 / установлено, что коэффициент пропуска пыли характеризует дисперсный состав пыли, поступающей в двигатель.

Аэродинамическое сопротивление определяется разностью полных давлений до и после фильтра и выражается в Па или кПа. Для автотракторных двигателей предельная величина аэродинамического сопротивления воздушных фильтров регламентирована соответствующими стандартами.

Помимо коэффициента пропуска пыли и аэродинамического сопротивления, одним из основных показателей работы воздушного фильтра

является продолжительность его работы до предельного сопротивления. Продолжительность работы фильтра пропорциональна его пылеемкости. Под пылеемкостью фильтра понимают массу пыли, которую он может задержать до предельного сопротивления.

Указанные показатели дадут возможность провести сравнительную оценку регенерированных и новых картонных фильтрующих элементов.

Кроме этого определялся ресурс регенерированных фильтров в километрах пробега автомобиля.

3.4.1. Исследование аэродинамического сопротивления

Аэродинамическое сопротивление фильтров исследовалось на стенде, отвечающем требованиям ГОСТ 8002-74 путем замера их сопротивления при различных значениях расхода воздуха без подачи пыли. Расход воздуха через картонный фильтрующий элемент измерялся стандартным соплом, а сопротивление U - образным водяным манометром с точностью 10 ПА. Замеренное сопротивление приводилось к нормальным атмосферным условиям.

Для получения аэродинамической характеристики фильтров, их сопротивления определяли на пяти разных постоянных расходах воздуха, то есть на 20, 40, 60, 80, 100% расходах воздуха от номинального.

При каждом расходе воздуха, перед фиксацией значения сопротивления, фильтр проработал не менее пяти минут. При каждом фиксированном расходе воздуха фильтром производилось не менее трех параллельных определений аэродинамического сопротивления и определялось их среднее арифметическое значение.

3.4.2. Исследование пылеемкости и коэффициента пропуска пыли

Исследование пылеемкости и коэффициента пропуска пыли фильтров проводилось на безмоторной установке, смонтированной согласно ГОСТ 8002-74 на искусственно запыленном воздухе с помощью дозатора пыли. Для испытаний использовалась стандартная пыль с удельной поверхностью $5600 \pm 150 \text{ см}^2/\text{г}$ (ГОСТ 8002-74).

Для установления влияния скорости фильтрации на коэффициент пропуска пыли, его значения определяли на двух постоянных расходах воздуха, то есть на 20 и 100% расходах воздуха от номинального.

Каждый опыт проводился с тремя фильтроэлементами. Масса пыли, введенной в фильтр за один опыт при разных расходах воздуха была одинаковой с допустимым отклонением $\pm 10\%$, при этом время опыта на разных расходах воздуха было разным. За коэффициент пропуска пыли принималось среднее арифметическое значение трех опытов в каждом расходе воздуха. Для определения массы, пропущенной фильтром пыли, применялся абсолютный фильтрационный материал типа ФПП-Д. Величина фильтрующей поверхности абсолютного фильтра выбиралась из расчета максимальной скорости фильтрации, равной 1,0 м/с. За пылеемкость фильтра принималась масса пыли, уловленной фильтром при его работе до предельно-допустимого значения сопротивления.

3.4.3. Определение ресурса регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740

Главным критерием целесообразности применения регенерированных картонных фильтрующих элементов является их ресурс в километрах пробега автомобиля. Ресурс работы фильтроэлементов характеризуется их предельным гидравлическим сопротивлением. Поэтому для оценки ресурса работы фильтров в условиях эксплуатации определялось их сопротивление,

для чего на двигатели автомобилей КамАЗ-5511 устанавливались пронумерованные новые и регенерированные фильтры и через определенные пробеги автомобилей замерялась величина гидравлического сопротивления посредством U-образного манометра с точностью 10 пА, подключенного к штуцеру индикатора засоренности. Замеры сопротивления производили при работе системы автомобиля КамАЗ-5511 на средних оборотах холостого хода двигателя.

Испытания проводились на технически исправных автомобилях в условиях рядовой эксплуатации в летний и осенний периоды в автотранспортном предприятии Ташкентской обл. Спидометры подконтрольных автомобилей были опломбированы и в процессе испытаний постоянно контролировалась их исправность. Перед началом испытаний система очистки воздуха подвергалась проверке по герметичности воздухопроводов и уплотнений.

3.5. Метод эксплуатационных исследований влияния эффективности работы регенерированных фильтров на интенсивность износа деталей цилиндропоршневой группы двигателей КамАЗ-740

От эффективности работы регенерированных фильтро-элементов зависит количество проникающих в двигатель частиц пыли, которые могут осаждаться на смазанной поверхности гильз цилиндров, заклиниваться между гильзой и кольцами и, участвуя в трении, ускорять износ трущихся деталей. В результате абразивного износа деталей цилиндропоршневой группы срок службы двигателей значительно сокращается. В связи с этим проводились исследования, связывающие эффективность работы регенерированных картонных фильтрующих элементов с износом деталей цилиндропоршневой группы.

Для определения износа деталей существует ряд методов / 10, 103, 104, 105 /. В практике эксплуатационных исследований автомобилей количественная оценка износов производится двумя способами: разбирают механизм и непосредственным замером определяют износ сопряженных деталей или оценивают износ деталей по косвенным признакам, не разбирая механизма. К первому способу оценки износа относятся микрометраж, метод искусственных баз, например, "вырезанных лунок", метод взвешивания, а ко второму способу - методы определения концентрации продуктов износа в масле при помощи спектрального анализа проб отработавшего масла.

Метод спектрального анализа не требует остановки и разборки двигателя, которая оказывает влияние на закономерности износа, а время, затрачиваемое на проведение исследований, с применением указанного способа намного меньше, чем в случае использования иных методов / 105 /. Принимая все это во внимание следует считать, что для намеченных исследований метод спектрального анализа является более приемлемым.

В основу метода спектрального анализа положена зависимость между концентрацией элементов индикаторов в отобранных пробах масла и интенсивностью изнашивания деталей цилиндропоршневой группы. Под элементами индикатора следует понимать такие элементы, изменение концентрации которых дает возможность определять интенсивность износа тех деталей, в состав материала которых они входят. Так по концентрации железа можно определить износ гильзы цилиндров, по концентрации - хрома - износ хромированных поршневых колец, а по концентрации алюминия - износ поршней.

Испытанию подвергали новые (не использованные) и регенерированные картонные фильтрующие элементы. Испытывали две группы автомобилей КамАЗ-5511 в реальных условиях эксплуатации. Первая группа автомобилей имела воздухоочистители с новыми картонными фильтрующими элементами, вторая группа - с регенерированными. Каждая группа включала в себя десять автомобилей КамАЗ-5511. Испытания

проводили на автомобилях в условиях нормальной производственной деятельности автотранспортного предприятия в летний частично осенний периоды, главным образом, по дорогам с усовершенствованным покрытием в основном в одинаковых условиях, то есть на перевозке песка из карьера в районы строительства Ташкентской обл. Техническое состояние автомобилей и двигателей перед испытанием было примерно одинаковым, пробег двигателей до испытаний находился в пределах 20-40 тыс.км. Топливо и смазочные материалы применялись в соответствии с инструкцией по эксплуатации автомобилей. Перед началом испытаний система очистки воздуха подвергалась проверке по герметичности воздухопроводов и уплотнений.

Во всех испытываемых фильтрах предусматривали возможность периодического контроля за ростом их сопротивления. Сопротивление воздушного фильтра замерялось U - образным водяным манометром с точностью 10 Па, подключенного к штуцеру индикатора засоренности. Замеры сопротивления производили при работе автомобиля на средних оборотах холостого хода двигателя. Предельное сопротивление воздушного фильтра принималось равным 7,0 кПа.

С целью систематического контроля за интенсивностью изнашивания деталей цилиндропоршневой группы у каждого двигателя из картера производился отбор проб масла в специальные емкости по 50 г через каждые 3 тыс.км пробега. Отбор проб проводился из прогретого двигателя сразу после прихода автомобиля из рейса на холостых оборотах.

В отобранных пробах масла определялось содержание продуктов износа с помощью спектрального анализа на установке МФС-7. Интенсивность изнашивания деталей двигателя по элементам индикаторам определялась согласно методике / 106 /.

$$K = \frac{(C_t - C_o)G_M + G_{yz} \cdot C_t + G_{np} \cdot n}{S}, \quad (3.15)$$

где K – интенсивность изнашивания деталей двигателя в
г/1000 км пути;
 G_M – количество масла в двигателе;
 C_o, C_t – исходная и текущая концентрация элемента
индикатора в пробе масла, %;
 $G_{уг}$ – количество угоревшего масла (в данном случае вес
доливаемого масла);
 n – количество отобранных проб;
 $G_{пр}$ – количество продуктов загрязнений в пробах масла, %;
 S – пробег автомобиля, км.

ГЛАВА IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Давление струи продувочного воздуха при регенерации картонных фильтров от пыли

В теоретических исследованиях была выведена формула (2.25) для расчета давления струи воздуха при регенерации фильтров от пыли. Согласно приведенной формуле было рассчитано давление продувочного воздуха для наиболее трудно удаляемых частиц пыли. Эта величина получилась равной 150 кПа. Однако экспериментально определенные величины давления струи воздуха при продувке составили 180 кПа.

Завышение опытных данных по сравнению с расчетными объясняется, по-видимому, следующими причинами. В том случае, если бы за отрыв частиц пыли с поверхностью фильтра были ответственны какие-либо одни силы, расчет этих сил был бы более точным. Однако, как это имеет место при регенерации картонных фильтрующих элементов, отрыв частиц от поверхности фильтрующего элемента обусловлен преодолением самых различных по своей природе и величине сил. Поэтому теоретические расчеты сил отрыва прилипших частиц пыли к фильтрующему картону и соответственно давления продувочного воздуха для удаления слоев осажденной пыли при регенерации картонных фильтрующих элементов не дают абсолютно точных результатов.

Следовательно, чтобы обеспечить удаление пылевого слоя с поверхности фильтра необходимо иметь превышенное давление продувочного воздуха над расчетной величиной. В соответствии с этим расчетная формула (2.25) приобретает следующий вид:

$$P_b = K_1 \left[\frac{hw\tau}{18\pi H^2} + \frac{4}{3} f\pi\tau^3 \rho g + 12\pi\mu v_n \tau \left[1 - \frac{(\tau_n - x)^2}{\tau_n} \right] + \frac{4\beta\mu x i}{a^2(-0,5lg\beta - \lambda)} \right] \quad (4.1)$$

где K_1 – коэффициент запаса давления ($K_1 = 1,2$).

Полученная формула (4.1) позволяет с достаточной точностью определить давление струи воздуха при регенерации загрязненных фильтров от пыли.

4.2. Давление струи жидкости при регенерации фильтров водным раствором моющих средств

В теоретических исследованиях была выведена зависимость (2.36), увязывающая давление струи моющего раствора с его концентрацией и температурой при регенерации загрязненных воздушных картонных фильтров от масла, сажи и других отложений. Расчеты, полученные по формуле (2.36) имели некоторое расхождение с экспериментальными данными. Для того, чтобы она могла быть использована при расчетах давления струи моющего раствора с разными концентрацией и температурой, была произведена ее корректировка на ЭВМ МИНСК-22М, в результате которой были увязаны между собой эти параметры и формула (2.36) приняла следующий вид:

$$P_{жс} = K_2 \frac{\sigma_{жсг} (1 + \cos \Theta) - RT\Gamma \ell_n C}{\ell} \quad (4.2)$$

где

$$K_2 = b_0 + b_1 \frac{C}{C_1} + b_2 \frac{T}{T_1}$$

при

$$\begin{array}{ll} b_0=0,43 & C=25\%_{л} \\ b_1=1,35 & T_1=323 \text{ К} \\ b_2=0,0025 & \end{array}$$

Полученная формула (4.2) для определения давления струи моющего раствора при регенерации загрязненных воздушных фильтров от масла, сажи и других отложений удобна для практического использования в инженерных расчетах, так как ее исходные данные задаются. Эта формула удобна еще и

тем, что благодаря наличию ограничивающего фактора-концентрации моющего раствора производится ограниченное число расчетов, что важно как при подсчете на аналоговых машинах, так и при использовании ЭВМ.

На рис. 4.1 и 4.2 приведены графики зависимости давления струи моющего раствора при регенерации фильтров от его концентрации для температур 40°C и 50°C по выведенной автором формуле (4.2) и экспериментальным данным.

Согласно критерию Фишера при уровне значимости q 0,05 различие между экспериментальными данными и значениями, полученными по предлагаемой автором формуле (4.2) признается незначимым.

Для этого производили сравнение двух дисперсий S^2 и S^2 , имеющих соответственно f_1 и f_2 степеней свободы. Выдвигали нулевую гипотезу, заключающуюся в том, что между параметрами нет различий. Для того, чтобы отвергнуть эту гипотезу, нужно доказать значимость расхождения между S^2 и S^2 при выбранном уровне значимости q . В качестве критерия использовалось распределение Фишера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (4.3)$$

Нулевая гипотеза отвергается, если

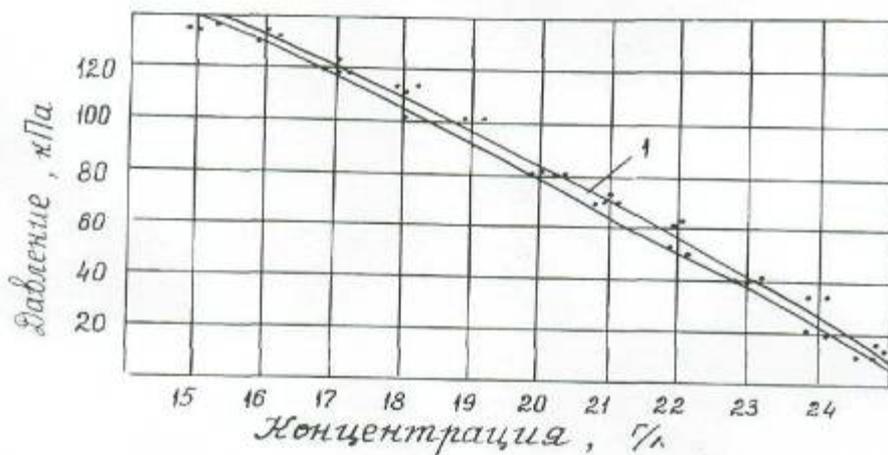


Рис. 4.1. Зависимость давления струи моющего раствора от его концентрации при регенерации фильтров для температуры 40°C, рассчитанная по предлагаемой автором формуле в сравнении с экспериментальными данными (1)



Рис. 4.2. Зависимость давления струи моющего раствора от его концентрации при регенерации фильтров для температуры 50°C, рассчитанная по предлагаемой автором формуле в сравнении с экспериментальными данными (1)

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} > F_{1-g}(f_1, f_2) \quad (4.4)$$

где значения $F_{1-q}(f_1, f_2)$, брались из таблицы распределения Фишера $F_{1-q} / 107$.

$$F = \frac{0,20}{0,21} = 0,95 \quad (4.5)$$

Поскольку $S^2/S^2 = 0,95 < 1,7$ то данные не позволяют отвергнуть нулевую гипотезу и различие между ними при уровне $q=0,05$ признается незначимым.

4.3. Время досушки промытых фильтров струей горячего воздуха

В теоретических исследованиях была выведена зависимость (2.49), увязывающая время досушки промытых фильтров с его температурой, давлением обдувочного воздуха и диаметром форсунки. Расчеты,

полученные по формуле (2.49) имели некоторое расхождение с экспериментальными данными. Для того, чтобы она могла быть использована при расчетах времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха с разными температурой, давлением струи обдувочного воздуха и диаметром форсунки, была произведена корректировка её на ЭВМ МИНСК-22М, в результате которой были увязаны между собой эти параметры и формула (2.49) приняла следующий вид:

$$t_c = K_3 \frac{[4\sigma(1 + \cos \Theta) \cdot S_1 - \pi d_n^2 x^2 \rho_{ж} w^2 \tau_1 \{C_{ж}(T_{2ж} - T_{1ж}) + \tau_{ж}\}]}{w^2 \tau_1 x \mu_1 \pi d_\phi^2 \sqrt{2gH_1 \cdot C_\rho \rho_\rho (T_{2\rho} - T_{1\rho})}} \quad (4.6)$$

где

$$K_3 = b_0 + b_1 \frac{T}{T_1} + b_2 \frac{H_1}{H_{np}} + b_{11} \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + b_{22} \left(\frac{H_1}{H_{np}}\right)^2 + b_{12} \frac{T \cdot H_1}{T_1 \cdot H_{np}}$$

при

$$\begin{aligned} b_0 &= 0,73 & b_1 &= 1,76 & b_2 &= 1,11 & b_{11} &= -1,38 \\ b_{22} &= -0,99 & b_{12} &= -0,05 & H_{np} &= 300 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Полученная формула (4.6) позволяет при наличии исходных данных с достаточной точностью определить время досушки промытых фильтров струей горячего воздуха.

На рис. 4.3 приведен график зависимости времени досушки промытых фильтров от температуры обдувочного воздуха для диаметра форсунки 2 мм и давления струи воздуха 300 кПа по выведенной автором формуле (4.6) и экспериментальным данным.

Различие между экспериментальными данными и значениями, полученными по предлагаемой автором формуле (4.6) признается незначимым согласно критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Для этого выдвигалась нулевая гипотеза и использовалось распределение Фишера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (4.7)$$

где F - распределение Фишера;

S_1 – дисперсия, имеющая f_1 степеней свободы;

S_2 – дисперсия, имеющая f_2 степеней свободы;

Нулевая гипотеза отвергается, если:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} > F_{1-q}(f_1, f_2) \quad (4.8)$$

где значения $F_{1-q}(f_1, f_2)$ брались из таблицы распределения Фишера $F_{1-q} / 107 /$.

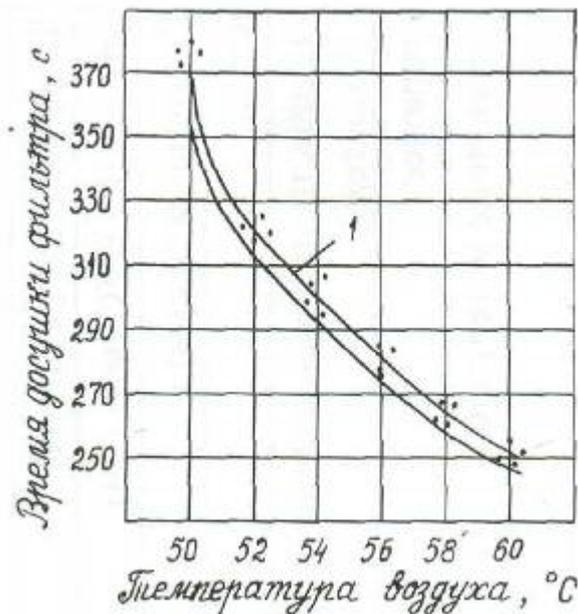


Рис.4.3. Зависимость времени досушки промытых фильтров от температуры обдувочного воздуха для форсунки 2 мм и давления струи воздуха 300 кПа по предлагаемой автором формуле в сравнении с экспериментальными (I)

Поскольку $S^2/S^2 = 1,7 < 3,1$ то данные не позволяют отвергнуть нулевую гипотезу и различие между ними при уровне значимости $q=0,05$ признаются незначимым.

4.4. Технология регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740

С целью определения оптимального режима технологии регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 в методике, изложенной выше, было предложено составление матрицы планирования эксперимента первого порядка. После реализации эксперимента по этой матрице при продувке фильтров от пыли и получения значений критерия оптимизации были рассчитаны коэффициенты линейного уравнения регрессии.

В результате линейная модель факторов для эксперимента продувки фильтров от пыли записана в виде:

$$y=0,09+0,085x_1+0,025x_2-0,0013x_3-0,0013x_4 \quad (4.9)$$

Далее производилась оценка адекватности модели факторов (4.9) линейной. Для этого:

1. Вычисляли дисперсию ошибки:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^K (Y_{iu} - Y_u)^2}{N(K-1)} = \frac{(3-1,48)^2}{16} = 0,14$$

где y_{iu} – значения критерия оптимизации в параллельных опытах;
 y_u – среднее значение критерия оптимизации в u –ом опыте
при k – повторностях.

2. Определяли дисперсию неадекватности:

$$S_{LF}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N Y_u^2 - N \sum_{i=0}^n b_i^2}{N-h-1} = \frac{2,19 - 16(0,1074)^2}{11} = 0,18$$

где n – количество факторов.

3. Гипотезу об адекватности представления результатов опыта с помощью полинома первой степени проверяли с применением критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2} = \frac{0,13}{0,14} = 1,29$$

Табличное значение критерия Фишера с 95 %-ной вероятностью для степеней свободы f_{iF} и f_y будет $F_{0,05} = 2,4 < 1,29$, значит гипотезу об адекватности можно принять.

Для отыскания оптимального сочетания выделенных факторов, дающего минимальную величину показателя энергозатрат компрессора, был проведен эксперимент, включающий сначала 16 опытов, составляющий полный факторный эксперимент типа 2^4 , а затем выполнена программа крутого восхождения по поверхности отклика, состоящая из четырех опытов.

Результаты крутого восхождения дали основание предположить, что выбранный центр эксперимента находится вблизи области оптимума, поскольку наилучшие результаты ($y=0,03$ кВт·ч) были получены уже после реализации третьего опыта.

Поэтому для описания и изучения области оптимума полиномом второй степени при реализации планирования второго порядка центр эксперимента был сохранен прежним.

После реализации эксперимента по матрице планирования описания области оптимума и получения значений критерия оптимизации были рассчитаны на ЭВМ МИНСК-22М коэффициенты уравнения регрессии второго порядка. По найденным коэффициентам составлено уравнение регрессии второго порядка для эксперимента продувки фильтров от пыли в следующем виде:

$$\begin{aligned} \check{Y} = & 0,069 + 0,0721x_1 + 0,0167x_2 + 0,0009x_3 + 0,0009x_4 + 0,225x_1x_2 - 0,0012x_1x_3 - \\ & 0,0012x_1x_4 - 0,0013x_2x_3 - 0,0013x_2x_4 + 0,0013x_3x_4 + \\ & 0,38x_1^2 - 0,0266x_2^2 - 0,0291x_3^2 + 0,0291x_4^2 \end{aligned} \quad (4,10)$$

Адекватность модели второго порядка проверялась с помощью критерия Фишера. Для этого строилась вспомогательная таблица 4.1. По результатам табл. 4.1 находили:

1. Остаточную сумму квадратов:

$$S_R = \sum_{u=1}^N (Y_u - \check{Y}_u)^2 = 0,039$$

2. Сумму квадратов, связанную с дисперсией, характеризующей ошибку опыта:

$$S_E = \sum_{u=1} (Y_{ou} - \check{Y}_o)^2 = 0,0025$$

где \check{Y}_{ou} - значение критерия оптимизации в центре эксперимента.

3. Сумму квадратов, связанную с дисперсией неадекватности:

$$S_{LF} = S_R - S_E = 0,039 - 0,0025 = 0,037$$

Экспериментальное значение критерия оптимизации вычислялось с применением критерия Фишера:

$$F_{pac} = \frac{S_{LF} / f_{LF}}{S_E / f_E} = \frac{0,037 / 10}{0,0025 / 3} = 4,6$$

**Вспомогательная таблица расчета экспериментального
значения критерия Фишера**

№ опыта	Y	\hat{Y}	$ Y-\hat{Y} $	$(Y-\hat{Y})^2$
1	0,005	0,008	0,003	0,000009
2	0,13	0,12	0,01	0,0001
3	0,01	0,002	0,008	0,00006
4	0,24	0,18	0,06	0,0036
5	0,005	0,01	0,005	0,000025
6	0,13	0,11	0,02	0,0004
7	0,009	0,001	0,008	0,00006
8	0,22	0,19	0,03	0,0009
9	0,005	0,03	0,005	0,000025
10	0,13	0,11	0,02	0,0004
11	0,009	0,001	0,008	0,00006
12	0,22	0,19	0,03	0,0009
13	0,005	0,02	0,01	0,0001
14	0,13	0,12	0,01	0,0001
15	0,009	0,005	0,004	0,000016
16	0,22	0,19	0,03	0,0009
17	0,003	0,07	0,06	0,0036
18	0,19	0,35	0,16	0,0256
19	0,08	0,07	0,01	0,0001
20	0,08	0,08	0	0
21	0,07	0,05	0,02	0,0004
22	0,07	0,05	0,02	0,0004
23	0,07	0,10	0,03	0,0009
24	0,07	0,07	0	0
25	0,08	0,069	0,01	0,0001
26	0,08	0,069	0,01	0,0001
27	0,06	0,069	0,009	0,000081
28	0,07	0,069	0,001	0,000001
29	0,08	0,069	0,01	0,0001
30	0,06	0,069	0,009	0,000081
31	0,06	0,069	0,009	0,000081

Табличное значение критерия Фишера при уровне 5 % значимости равно 8,7. Так как $F_{\text{рас}} < F_{\text{табл}}$ гипотезу об адекватности можно считать верной, с 95 % вероятностью.

После получения адекватной математической модели второго порядка, выражаемой уравнением (4.10) определялись координаты оптимума методом двумерных сечений. Для получения двумерного сечения поверхности отклика, характеризующего показатель энергозатрат компрессора при продувке фильтров от пыли в зависимости от диаметра форсунки (X_1) и давления струи воздуха (X_2) подставляли значение $X_3 = X_4 = 0$ в уравнении (4.10). В результате получили:

$$Y=0,069+0,0721x_1+0,0167x_2+0,225x_1x_2+0,38x_1^2-0,0266x_2^2 \quad (4.11)$$

Затем определяли координаты центра поверхности дифференцированием уравнения (4.11) и решением системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0,0721 + 0,0225x_2 + 0,076x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0,0167 + 0,0225x_1 - 0,0532x_2 = 0 \end{array} \right\}$$

$$X_{2S}^* = -0,06077$$

$$X_{1S}^* = -0,92$$

Подставляя значения X_{2S}^* и X_{1S}^* в уравнение (4.11) получили значение показателя энергозатрат в центре поверхности

$$Y_{S^*} = + 0,035$$

Далее проводили каноническое преобразование уравнения (4.11) для чего решали характеристическое уравнение.

Корнями данного характеристического уравнения получились числа:

$$B_{1-1} = 0,0397$$

$$B_{2-2} = - 0,028,$$

в само уравнение в канонической форме запишется:

$$y-0,035=0,040 x_1^2-0,028 x_2^2 \quad (4.12)$$

Подставляя различные значения показателя энергозатрат в уравнение (4.12) получили уравнения соответствующих контурных кривых-эллипсов, в совокупности представляющих целое семейство сопряженных эллипсов. Результаты расчета приведены в табл. 4.2. и представлены на рис. 4.4.

Из рис. 4.4 видно, что минимальное значение показателя энергозатрат при продувке фильтров от пыли в рассматриваемом сечении поверхности отклика при прочих факторах (X_3 , X_4), взятых на нулевом уровне, равно 0,035 кВт и имеет место при диаметре форсунки 2,3 мм и давлении струи воздуха, равном 230 кПа. На основании рис. 4.4 можно также заключить, что оптимальные значения рассматриваемых факторов могут находиться в пределах: диаметр форсунки (1,9-3,7) мм, давление струи воздуха (200-260) кПа.

Двумерное сечение поверхности отклика, описываемого уравнением (4.10) по факторам: скорость перемещения штанги (X_3) и частоты вращения (X_4) представлено на рис. 4.5. (по результатам расчета, приведенного в табл. 4.3).

Таблица 4.2

Вспомогательная таблица для расчетов координат основных точек при построении двумерного сечения для продувки фильтров от пыли при $X_3=0$, $X_4=0$

Величина параметра Y	X_1	X_2	Величина параметра Y	X_1	X_2
0,035	0	0			
0,040	0	$\pm 0,422$	0,100	$\pm 1,275$	0
0,040	$\pm 0,354$	0	0,100	0	$\pm 1,524$
0,050	$\pm 0,612$	0	0,120	$\pm 1,458$	0
0,050	0	$\pm 0,732$	0,120	0	$\pm 1,742$
0,060	0	$\pm 0,945$	0,140	$\pm 1,620$	0
0,060	$\pm 0,791$	0	0,140	0	$\pm 1,936$
0,070	$\pm 0,935$	0	0,160	0	$\pm 2,113$
0,070	0	$\pm 1,118$	0,180	$\pm 1,768$	0
0,080	0	$\pm 1,268$	0,180	0	$\pm 2,276$
0,080	$\pm 1,125$	0	0,180	$\pm 1,903$	0

Аналогично был проведен расчет оптимальных параметров моющего контура регенерационного стенда. Результаты расчета приведены в табл. 4.4 и табл. 4.5 и представлены на рис. 4.6 и рис. 4.7.

Предложенный научно обоснованный расчет позволяет рекомендовать следующую технологию регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателя КамАЗ-740 (табл.4.6).

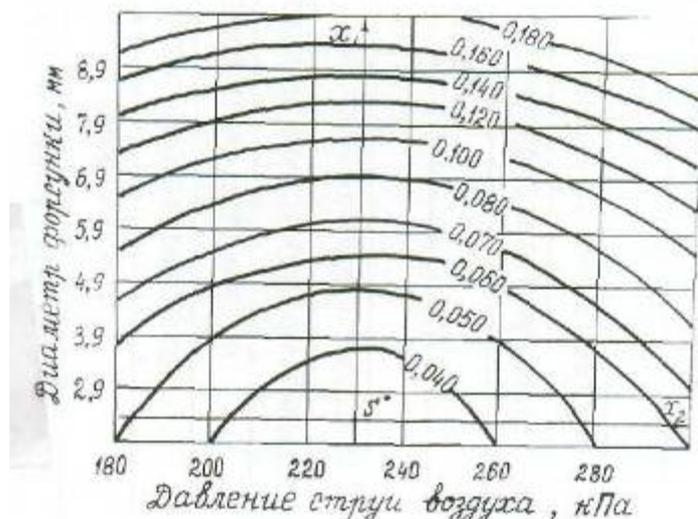


Рис. 4.4. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующей показатель энергозатрат, для продувки фильтров от пыли при $X_3 = 0$, $X_4 = 0$

Таблица 4.3

Вспомогательная таблица для расчета координат основных точек при построении двумерного сечения для продувки фильтров от пыли при $X_1=0$, $X_2=0$

Величина параметра Y	X_3	X_4	Величина параметра Y	X_3	X_4
0,069	0	0	0,089	$\pm 0,845$	0
0,074	$\pm 0,423$	0	0,089	0	$\pm 0,816$
0,074	0	$\pm 0,408$	0,094	$\pm 0,945$	0
0,079	$\pm 0,598$	0	0,094	0	$\pm 0,913$
0,079	0	$\pm 0,577$	0,099	$\pm 1,036$	0
0,084	$\pm 0,732$	0	0,099	0	1,0
0,084	0	$\pm 0,707$			



Рис. 4.5. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующей показатель энергозатрат, для продувки фильтров от пыли при $X_1=0$, $X_2=0$

Таблица 4.4

Вспомогательная таблица для расчета координат основных точек при построении двумерного сечения для мойки фильтров от масла и сажи при $X_3=0$, $X_4=0$

Величина параметра Y	X_1	X_2	Величина параметра Y	X_1	X_2
0,554	0	0			
0,560	0	$\pm 0,420$	0,620	0	$\pm 1,393$
0,560	$\pm 0,369$	0	0,620	$\pm 1,225$	0
0,570	0	$\pm 0,686$	0,640	0	$\pm 1,590$
0,570	$\pm 0,603$	0	0,640	$\pm 1,398$	0
0,580	0	$\pm 0,874$	0,650	0	$\pm 1,680$
0,580	$\pm 0,769$	0	0,650	$\pm 1,477$	0
0,600	0	$\pm 1,163$	0,660	0	$\pm 1,766$
0,600	$\pm 1,022$	0	0,660	$\pm 1,552$	0

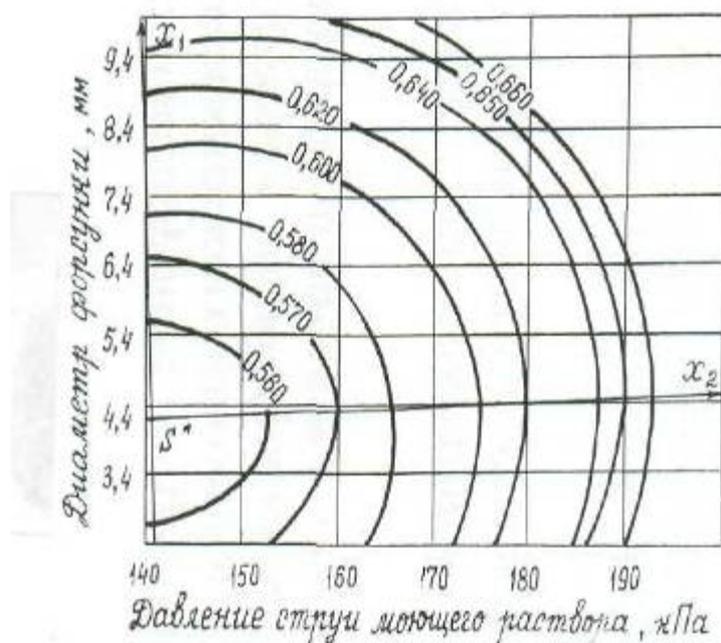


Рис. 4.6. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующей показатель энергозатрат, для мойки фильтров от масла и сажи при $X_3 = 0$, $X_4 = 0$

Таблица 4.6

Вспомогательная таблица для расчета координат основных точек при построении двумерного сечения для мойки фильтров от масла и сажи при $X_1=0$, $X_2=0$

Величина параметра Y	X_3	X_4	Величина параметра Y	X_3	X_4
0,554	0	0	0,660	$\pm 2,102$	0
0,560	$\pm 0,500$	0	0,660	0	$\pm 1,297$
0,560	0	$\pm 0,309$	0,690	$\pm 2,380$	0
0,575	$\pm 0,935$	0	0,690	0	$\pm 1,469$
0,575	0	$\pm 0,577$	0,730	$\pm 2,708$	0
0,600	$\pm 1,384$	0	0,730	0	$\pm 1,671$
0,600	0	$\pm 0,854$			
0,630	$\pm 1,780$	0			
0,630	0	$\pm 1,098$			

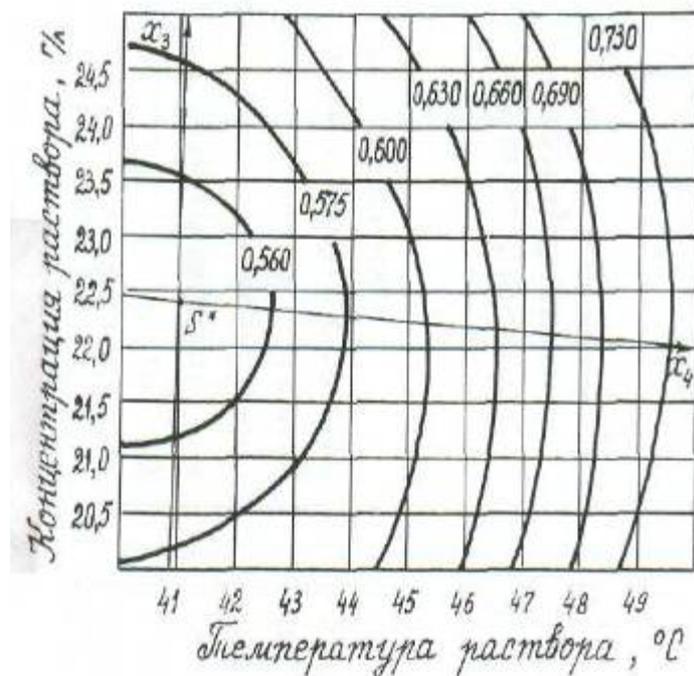


Рис. 4.7. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующей показатель энергозатрат, для мойки фильтров от масла и сажи при $X_1 = 0$, $X_2 = 0$

4.5. Стендовые испытания регенерированных фильтроэлементов

Все фильтроэлементы, регенерированные по разработанной технологии были подвергнуты стендовым испытаниям. Определялись их такие технические показатели как аэродинамическое сопротивление, коэффициент пропуска пыли и пылеемкость.

Методика проведения стендовых испытаний позволила обеспечить получение сравнительных результатов, то есть дать возможность оценить насколько регенерированный картонный фильтрующий элемент лучше или хуже нового.

Таблица 4.6

Технология регенерации картонных фильтрующих элементов
воздухоочистителей двигателя КамАЗ-740

№	Технологический процесс	Параметры	Единица измерения	Значения
1	Процесс отделения пыли от картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей (продувка)	Давление струи продувочного воздуха Диаметр форсунки продувочного контура Частота вращения фильтров Скорость перемещения штанги по фильтру Время продувки фильтра	кПа м об/мин м/с мин	230 $2,3 \cdot 10^{-3}$ 53 $0,35 \cdot 10^{-2}$ 11
2	Процесс отделения масляных загрязнений от картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей (мойка)	Давление струи моещего раствора Концентрация моещего раствора Температура моещего раствора Диаметр форсунки моещего контура Время мойки фильтра	кПа г/л °С м мин	140 22 41 $4,2 \cdot 10^{-3}$ 6
3	Процесс отделения основной влаги от промытых картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей (центрифугирование)	Число оборотов при центрифугировании фильтра Время центрифугирования фильтра	об/мин мин	500 1
4	Процесс досушки картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей горячим воздухом	Температура обдувочного воздуха Время, затрачиваемое на досушки фильтра	°С мин	60 2,3

4.5.1. Аэродинамические свойства

Исследования проводились в соответствии с методикой, изложенной в 3.4.1. Данные рис. 4.8 показывает сопротивление, укомплектованных из нового (1), восстановленных продувкой сухим сжатым воздухом (2) и мойкой моющим раствором (3) фильтроэлементов. На основании полученных аэродинамических характеристик можно отдать предпочтение мокрому способу регенерации.

Разрушение слоя загрязнения при регенерации фильтров происходит по когезионным связям без нарушения адгезионного взаимодействия частиц, с волокнами. Этим объясняется тот факт, что после регенерации картонных фильтрующих элементов их первоначальное аэродинамическое сопротивление полностью невозможно восстановить. Однако в зависимости от эффективности метода регенерации можно значительно снизить сопротивление фильтроэлемента, близко до первоначального. Так, из сравнения данных рис. 4.8 следует, что аэродинамическая характеристика картонного фильтрующего элемента, восстановленного мойкой раствором моющих средств незначительно отличается от нового (еще не использованного) фильтроэлемента: при номинальном расходе воздуха сопротивление нового фильтроэлемента меньше сопротивления, восстановленного мокрым способом на 0,15 кПа.

4.6. Пылеемкость и коэффициент пропуска пыли

Исследования по определению коэффициента пропуска пыли проводились в соответствии с методикой, изложенной в 3.4.2. Результаты сравнительных стендовых испытаний новых и регенерированных фильтров представлены в табл. 4.7.

Данные табл. 4.7 свидетельствуют от том, что коэффициент пропуска пыли в зависимости от расхода воздуха существенно не изменяется. Однако наблюдается незначительное его снижение с уменьшением расхода воздуха.

Кроме того, коэффициент пропуска пыли регенерированных фильтров (после первой, второй и третьей регенерации) ниже, чем у новых фильтров. Это обстоятельство связано с тем, что во время регенерации независимо от ее способа, не все частицы загрязнений, осевшие в порах фильтрационного материала, могут быть удалены из него / 20, 22 /. В результате оставшиеся частицы являются дополнительным фильтром («вторичным фильтрующим слоем»), что оказывает влияние на полноту фильтрации регенерированных фильтров. Улучшение полноты и тонкости очистки регенерированных фильтров в сравнении с новыми является одним из преимуществ регенерации картонных фильтрующих элементов.

После четвертой регенерации наблюдалось значительное повышение коэффициента пропуска пыли восстановленных фильтров: 0,36 - при продувке фильтров от пыли; 0,56 - при мойке фильтров моющим раствором. На основании полученных данных (табл. 4.7) можно рекомендовать, что с точки зрения коэффициента пропуска пыли целесообразно подвергать фильтроэлементы трехкратному регенерированию.

Значительное увеличение коэффициента пропуска пыли после четырехкратной регенерации объясняется, по-видимому следующими

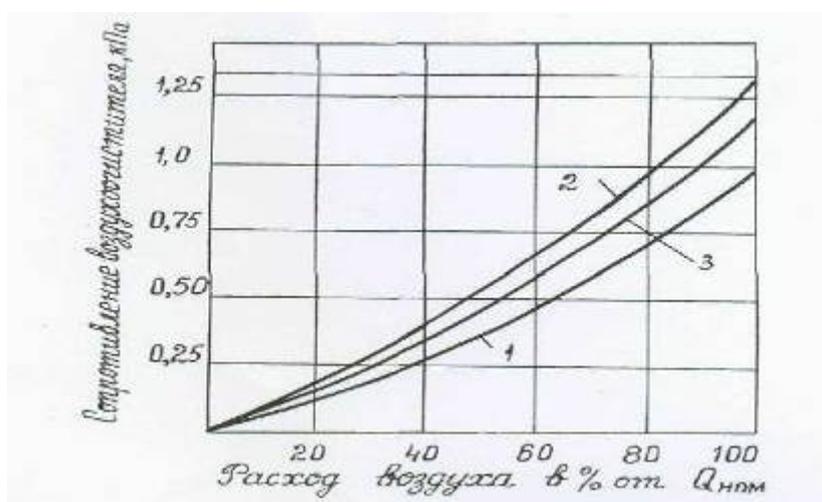


Рис. 4.8. Аэродинамические характеристики фильтров:

- 1 - фильтр с новым картонным фильтрующим элементом;
- 2 - фильтр с картонным фильтрующим элементом, восстановленным продувкой сухим сжатым воздухом;
- 3 - фильтр с картонным фильтрующим элементом, восстановленным мойкой моющим раствором.

Таблица 4.7

Коэффициент пропуска пыли новых и регенерированных фильтров в зависимости от расхода воздуха

Фильтр	Количество регенерации	Способ регенерации	Расход воздуха в % от номинального	
			20	100
Новый (еще не использованный)	-		0,28	0,31
Регенерированный	1	Продувка сухим сжатым воздухом	0,23	0,27
Регенерированный	2	Продувка сухим сжатым воздухом	0,18	0,20
Регенерированный	3	Продувка сухим сжатым воздухом	0,09	0,12
Регенерированный	4	Продувка сухим сжатым воздухом	0,29	0,36
Регенерированный	1	Мойка моющим раствором	0,26	0,30
Регенерированный	2	Мойка моющим раствором	0,23	0,28
Регенерированный	3	Мойка моющим раствором	0,20	0,25
Регенерированный	4	Мойка моющим раствором	0,32	0,56

причинами: хотя фильтрующий материал при изготовлении пропитывается спиртовым раствором фенолформальдегидных смол, что позволяет снизить его влагоемкость до 40%, при мойке фильтров происходит частичное вымывание этих смол, что нарушает структуру фильтрующего материала. Нарушение структуры фильтрующего материала происходит также вследствие многократного воздействия сжатого воздуха и перепада температур во время его досушки.

Результаты стендовых испытаний новых и регенерированных фильтров на пылеемкость приведены в табл. 4.6. Данные табл. 4.8 показывают, что при регенерации картонных фильтрующих элементов мойкой раствором синтетических моющих средств, их пылеемкость хорошо восстанавливается: после первой регенерации пылеемкость практически одинакова с пылеемкостью нового фильтра, после второй регенерации пылеемкость

восстанавливается на 70%. После третьей регенерации картонных фильтрующих элементов раствором моющих средств пылеемкость восстанавливается на 61%.

Разница в пылеемкостях новых и вторично регенерированных фильтров объясняется тем, что в процессе регенерации фильтро-элементов, как уже указывалось ранее, мельчайшие частицы пыли вследствие их высокой адгезионной способности не удаляются полностью с волокон картона. Поэтому при последующем загрязнении фильтрующих элементов происходит более быстрое образование пылевого слоя, что способствует снижению пылеемкости картонных фильтрующих элементов после каждого цикла их регенерации.

Таблица 4.8

Пылеемкость новых и регенерированных фильтров

Фильтр	Количество регенерации	Способ регенерации	Пылеемкость, г
Новый (еще не использованный)	-	-	5115±230
Регенерированный	1	Продувка сухим сжатым воздухом	5055±215
Регенерированный	2	Продувка сухим сжатым воздухом	3140±142
Регенерированный	3	Продувка сухим сжатым воздухом	2530±160
Регенерированный	1	Мойка моющим раствором	5080±193
Регенерированный	2	Мойка моющим раствором	3570±132
Регенерированный	3	Мойка моющим раствором	3120±121

4.7. Ресурс регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740

Одним из основных показателей работы регенерированных картонных фильтрующих элементов является продолжительность их работы до технического обслуживания в километрах пробега. Исследования проводились в соответствии с методикой, изложенной в 3.4.3.

Средние значения сопротивления фильтров приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Сопротивления новых и регенерированных фильтров

Фильтр	Сопротивления фильтров в кПа после пробега автомобилей, тыс. км								
	3	6	9	11,2	12	12,8	15	18	18,3
Новый (еще не использованный)	1,3	1,7	2,4	-	3,0	-	4,2	-	7,0
После первой регенерации	1,5	2,1	2,5	-	3,4	-	4,5	7,0	-
После второй регенерации	2,3	2,8	4,2	-	-	7,0	-	-	-
После третьей регенерации	2,5	3,8	4,8	7,0	-	-	-	-	-

Установлена зависимость сопротивления новых и регенерированных фильтров воздухоочистителей двигателей КамАЗ-70 (рис. 4.9). Из данных рис. 4.9 следует что рост сопротивления фильтров в зависимости от наработки имеет нелинейный характер. Эта зависимости могут быть аппроксимированы уравнениями:

$$\Delta P_T = aT^2 + bT + c \quad (4.13)$$

где ΔP_T – сопротивления через T наработки фильтров, кПа;

T – наработка фильтра, тыс. км;

a, b, c - коэффициенты по результатам эксплуатационных испытаний.

В результате статистической обработки полученных экспериментальных данных методом наименьших квадратов были рассчитаны следующие уравнения для новых и регенерированных фильтров:

$$\Delta P_T^H = 0,0141T^2 + 0,0750T + 0,45$$

$$\Delta P_T^1 = 0,0115T^2 + 0,1228T + 0,5086$$

$$\Delta P_T^2 = 0,0058T^2 + 0,4469T + 0,1229$$

$$\Delta P_T^3 = 0,0063T^2 + 0,5248T + 0,1714$$

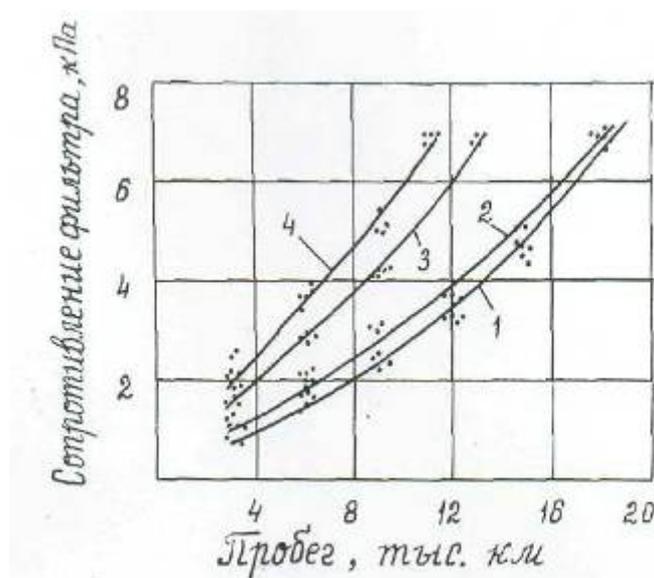


Рис. 4.9. Ресурс новых и регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740: 1-фильтр с новым картонным фильтрующим элементом; 2-фильтр с картонным фильтрующим элементом после первой регенерации; 3-фильтр с картонным фильтрующим элементом после второй регенерации; 4-фильтр с картонным фильтрующим элементом после третьей регенерации.

где ΔP_T^H , ΔP_T^1 , ΔP_T^2 , ΔP_T^3 , - сопротивления новых и регенерированных фильтров после первой, второй к третьей регенерации, кПа.

Из анализа рис. 4.9 следует, что максимальный пробег автомобиля, когда необходимо производить техническое обслуживание загрязненных новых картонных фильтрующих элементов составляет 18,3 тыс.км., а

регенерированных фильтроэлементов с учетом разработанной технологии регенерации после первой, второй и третьей регенерации соответственно через 18,0 тыс.км; 12,8 тыс.км и 11,2 тыс.км. вероятность безотказной работы новых и регенерированных картонных фильтрующих элементов приведена на рис. 4.10.

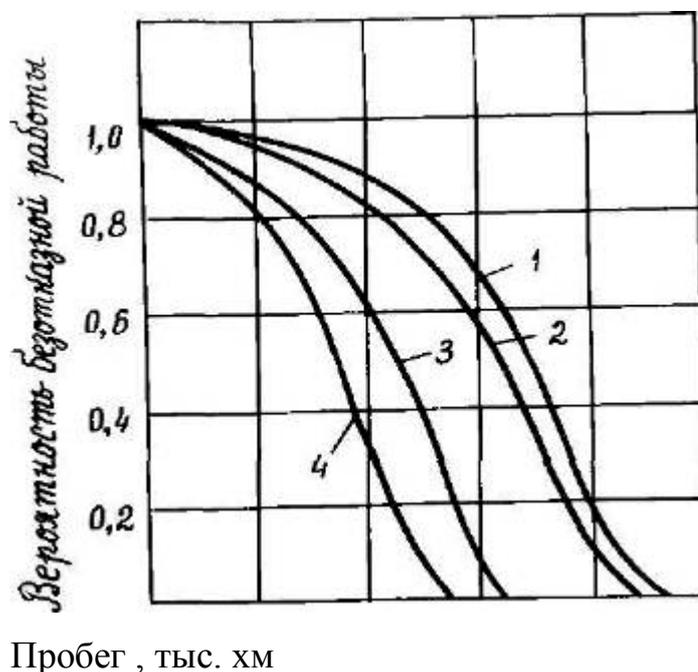


Рис. 4.10. Вероятность безотказной работы новых и регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740:
 1 – фильтр с новым картонным фильтрующим элементом; 2 - фильтр с картонным фильтрующим элементом после первой регенерации; 3 - фильтр с картонным фильтрующим элементом после второй регенерации; 4 - фильтр с картонным фильтрующим элементом после третьей регенерации.

Таким образом, ресурс картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателя КамАЗ-740 может быть увеличен за счет совершенствования технологии их регенерации в 3,4 раза по сравнению с новыми фильтроэлементами.

Увеличение ресурса картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740 должно быть увязано в целом с работой двигателя. Важнейшим условием сохранения основных показателей двигателя является контроль за сопротивлением воздушного фильтра в

процессе эксплуатации автомобиля. Известно, как указывалось в состоянии вопроса, что повышение сопротивления воздушного фильтра на каждые 1 кПа приводит соответственно к потере мощности двигателей до 0,7% и увеличению расхода топлива до 0,6%. Из анализа рис. 4.8 следует, что аэродинамическая характеристика регенерированных фильтров при номинальном расходе воздуха в сравнении с новыми фильтроэлементами увеличивается всего на 0,15 кПа, что соответствует сохранению основных показателей двигателя.

4.8. Влияние эффективности работы регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей на интенсивность изнашивания деталей цилиндропоршневой группы двигателей КамАЗ-740

Эксплуатационные исследования проводились в соответствии с методикой, изложенной в 3.5. На рис. 4.11 приведены средние данные по динамике накопления в масле продуктов износа с начала испытаний до очередной смены масла, то есть за 12 тыс.км пробега автомобиля. Интенсивность изнашивания деталей цилиндропоршневой группы по элементам индикаторам при использовании воздухоочистителей с новыми картонными фильтрующими элементами и с фильтро-элементами после трехкратной регенерации определялась по уравнению (3.15).

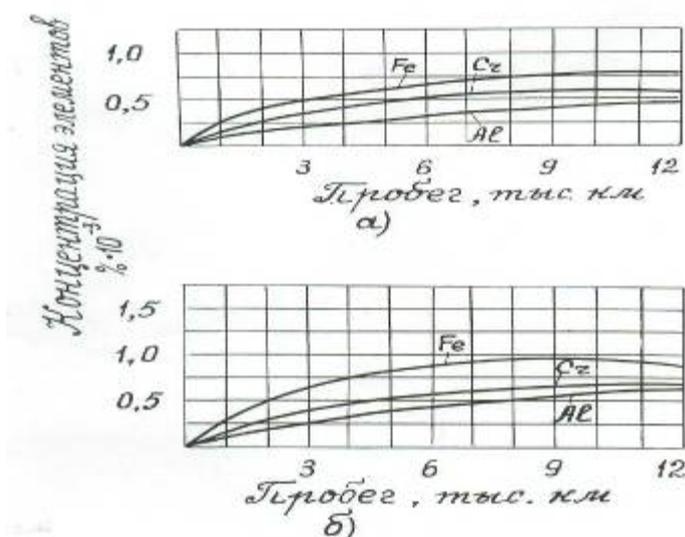


Рис. 4.11. Динамика накопления продуктов износа в масле за пробег автомобилей 12 тыс. км с начала испытаний до очередной смены масла

- а) воздухоочистители с картонными фильтрующими элементами после третьей регенерации
- б) воздухоочистители с новыми картонными фильтрующими элементами.

Данные табл. 4.10 свидетельствуют, что применение в двигателях КамАЗ-740 воздухоочистителей с регенерированными картонными фильтрующими элементами позволило снизить интенсивность изнашивания гильз цилиндров в 1,21 раза, а колец и поршней в 1,15 и 1,27 раза.

Таблица 4.10

Интенсивности изнашивания деталей цилиндропоршневой группы подконтрольных двигателей КамАЗ-740, полученные спектральным анализом масла

Детали двигателя (элемент индикатор)	Воздухоочистители с новыми картонными фильтрующими элементами		Воздухоочистители с картонными фильтрующими элементами после третьей регенерации	
	г/1000 км	доля, %	г/1000 км	доля, %
Гильзы цилиндров (железо)	0,127	100	0,105	82,7
Верхние компрессионные кольца (хром)	0,031	100	0,027	87,1
Поршни (алюминий)	0,066	100	0,052	78,8
Кремний	0,132	100	0,098	74,24

ГЛАВА V. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

5.1. Метод расчета параметров установок для регенерации картонных фильтрующих элементов автомобильных воздухоочистителей любого типа

Результаты, которые получились на основе теоретических и экспериментальных исследований процесса регенерации картонных фильтров, изложенные в предыдущих главах, можно представить в виде метода инженерного расчета, который изложен ниже.

Процесс восстановления фильтрующей способности картонных воздушных фильтров должен отвечать определенным технико-экономическим требованиям: обеспечивать высокую производительность труда, удалять все виды загрязнений, быть экономичным.

На эффективность и качество мойки при использовании струйного метода, как указывалось выше, оказывает влияние состав раствора, его температура, давление струи жидкости и ее расход. Моющее действие растворов улучшается при повышении их концентрации и температуры, чрезмерное же увеличение диаметра форсунки ведет к резкому возрастанию расхода раствора. Задаваясь диаметром форсунки, определяемым с учетом конструктивных особенностей регенерируемого фильтра:

$$X_H = \frac{0,67 R_o}{a} \quad (5.1)$$

и давлением струи моющего раствора в зависимости от его концентрации и температуры:

$$P_{жс} = K_2 \frac{\sigma_{жс} (1 + \cos \Theta) - RT\Gamma \ell_n C}{\ell} \quad (5.2)$$

Рассчитаем расход жидкости циркуляционного насоса и его мощность соответственно из выражений:

$$Q = \mu_2 \frac{\pi d_\phi^2}{4} \sqrt{2gH_2} \quad (5.3)$$

$$N_1 = \frac{Q\gamma \cdot H_2}{102\eta} \quad (5.4)$$

где

$$H_2 = \xi \cdot P_{\text{жс}}$$

при

$$\xi = 10^{-1} \text{ м/кПа}$$

При расчете продувочного контура одним из основных его параметров является давление струи воздуха, которое определяется по следующей формуле

$$P_b = K_1 \left[\frac{\frac{hw\tau}{18\pi H^2} + \frac{4}{3} f\pi\tau^3 \rho g + 12\pi\mu\nu_n\tau \left[1 - \frac{(\tau_n - x)^2}{\tau_n} \right]}{\pi\tau_k^2} + \frac{4\beta\mu\chi i}{a^2(-0,5lg\beta - \lambda)} \right] \quad (5.5)$$

Задаваясь диаметром форсунки продувочного контура, который выбирается с учетом конструктивных особенностей регенерируемого фильтра:

$$X_H = \frac{1,145D_o}{tg\alpha} \quad (5.6)$$

определяем мощность на привод компрессора из следующего выражения:

$$N_2 = \frac{Q \cdot H_1}{102 \cdot \eta} \quad (5.7)$$

где

$$H_1 = \xi \cdot P_{\text{с}}$$

Определяющим параметром при досушке фильтров струей горячего воздуха является его время досушки, которое определяется по следующей формуле:

$$t_c = K_3 \frac{[4\sigma(1 + \cos \Theta) \cdot S_1 - \pi d_n^2 x^2 \rho_{жс} w^2 \tau_1] [C_{жс}(T_{2жс} - T_{1жс}) + \tau_{жс}]}{w^2 \tau_1 x \mu_1 \pi d_\phi^2 \sqrt{2gH_1} \cdot C_\epsilon \rho_\epsilon (T_{2\epsilon} - T_{1\epsilon})} \quad (5.8)$$

Используя выбранное значение диаметра форсунки продувочного контура и давления струи воздуха, определяемого по формуле (5.5), а также задаваясь температурой обдувочного воздуха 60°C, можно рассчитать мощность электрокалорифера, используемого для досушки фильтров:

$$N_3 = \frac{Q_1 C_\epsilon \rho_\epsilon (T_{2\epsilon} - T_{1\epsilon})}{0,24} \quad (5.9)$$

Мощность водонагревателя подогревающего моющий раствор определяется из следующего выражения:

$$N_4 = \frac{M_{жс} C_{жс} (T_{2жс} - T_{1жс})}{0,24} \quad (5.10)$$

где t – время смыва загрязнений с фильтроэлемента.

Данный метод может быть использован при проектировании аналогичных установок для регенерации картонных фильтрующих элементов автомобильных воздухоочистителей любого типа.

Используя данный метод была разработана техническая документация на опытный образец «Установки для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740», по которой изготовлена регенерационная установка (рис. 5.1).

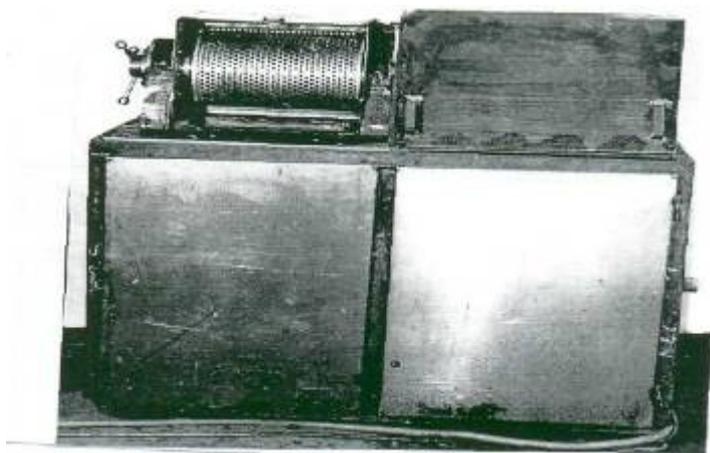


Рис. 4.1. Установка для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ-740

Данную установку рекомендуется использовать в автотранспортных предприятиях при техническом обслуживании воздушных фильтров, используя мощность нескольких автопредприятий, общей мощностью 1500 автомобилей.

ВЫВОДЫ

1. Решена научная задача, направленная на увеличение ресурса картонных фильтрующих элементов в системе очистки воздуха двигателей.

2. Проведены теоретические исследования, позволяющие получить формулы для расчета давления воздушного потока и давления струи моющего раствора при регенерации загрязненных фильтров от пыли, масла и сажи.

Установлена зависимость времени досушки промытых фильтров струей горячего воздуха от давления обдувочного воздуха, его температуры и диаметра форсунки.

3. Экспериментально на спроектированном и созданном стенде подтверждены определяющие параметры процесса регенерации картонных фильтрующих элементов.

4. Доказана работоспособность регенерированных фильтрующих элементов стендовыми и эксплуатационными испытаниями. Регенерация по предложенной технологии позволяет восстанавливать их сопротивление на уровне новых, при этом пылеемкость восстанавливается на 90-95%, а эффективность чистки от пыли улучшается в сравнении новых.

5. Результаты исследований влияния эффективности работы регенерированных картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей на износ деталей цилиндропоршневой группы двигателей КамАЗ - 740 показали, что применение регенерированных фильтроэлементов позволяет снизить интенсивность цилиндров в 1,21 раза, а колец и поршней соответственно в 1,15 и 1,27 раза.

6. Разработана и внедрена «Установка для регенерации картонных фильтрующих элементов воздухоочистителей двигателей КамАЗ - 740.» Техническое обслуживание воздушных фильтров на предложенной установке рекомендуется проводить на базах

централизованного обслуживания автомобилей и крупных автотранспортных предприятий.

7. Кризисный период, наступивший в октябрь 2008 г. во всем мире, очень резко коснулся автомобильной промышленности всего мира, особенно резко упал уровень выпуска запасных частей.

Данная работа отвечает путям преодоления кризисе, поставленных в книги нашего Президента Ислама Абдуганиевича Каримова.

Восстановленный моей технологией картонный фильтрующий элемент (КФЭ) сократит расходы на их приобретение (65 д. не каждый КФЭ) и продлит его жизнь для использования до 3-х раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. «Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условия Узбекистана. Т.% «Узбекистан». 2009. 47с.
2. Акопов В.А., Мирзаев Б.Н., Иброхимов К.И. Регенерация фильтрующих элементов воздухоочистителей КамАЗ. - Ташкент. 1988. -10 с. Рукопись представлена Ташкентским автомобильно-дорожным институтом. Деп. в УзНИИНТН июнь 1988. № 759-88.
3. Антропов Б., Бацула Б.В. Установка для промывки фильтрующих элементов воздухоочистителей. - Автомобильная промышленность. 1977. № 11. с.30-31.
4. Белов С.В., Ложкин В.А., Приходько И.Г. Регенерация фильтров тонкой очистки. М: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. 1983. – 36 с.
5. Бутаков П.Ю. Установка для очистки фильтрующих элементов воздушных фильтров автомобиля КамАЗ. Сахалин: ЦНТИ. 1986. - 4 с.
6. Григорьев М.А. Защита двигателя от абразивного изнашивания - один из путей повышения его народнохозяйственной эффективности. - Автомобильная промышленность., 1983. № 5, с. 6-9.
7. Интернет.
8. . Катаев А., Трынов В. ТО и проверка качества элементов воздушных фильтров. - Автомобильный транспорт Казахстана. 1981. № 1. с.26-27.
9. Курилов В.Н. Влияние аэродинамического сопротивления воздухоочистителя на некоторые показатели работы дизеля ЯМЗ-240Б. - Записки Ленинградского сельскохозяйственного института. т. 280. 1975.
10. Королев С.В. Установка для промывания фильтров автомобилей КамАЗ. Орлов: ЦНТИ. 1986. - 4 с.
11. Лахтин Ю.Б. Исследование воздухоочистителей с фильтропатронами в целях повышения долговечности двигателей внутреннего сгорания. - Дис... канд, техн. наук. - М., 1974. – 168 с.

12. Лахтин Ю.Б. Оценка фильтрующих свойств картонов для очистки воздуха с помощью фракционных коэффициентов пропуска пыли. - Тракторы и сельхозмашины. 1982. № 3. с.30-32.
13. Маев В.Е., Соловьев В.И. Анализ загрязнений воздуха при работе тракторных двигателей в условиях эксплуатации. - Труды НАТИ, вып. 250. 1977. с.3-10.
14. Повышение надежности, долговечности и топливной экономичности автомобилей КамАЗ: Отчет / ТАДИ; Руководитель работы В.А.Акопов. – 609/85, Инв. № 10843. - Ташкент, 1986. - 60 с.
15. Повышение долговечности и надежности дизельных двигателей при мелиоративном производстве: Отчет / ТАДИ; Руководитель работы В.А.Акопов. - 558/83; Инв. № 45243. - Ташкент, 1985. - 65 с.
16. Почтарев Н.Ф. Влияние запыленности воздуха на износ поршневых двигателей. – М.: Военгиз. 1957. - 135 с.
17. . Петров Ю.И. Пост для очистки воздушных фильтров двигателя автомобиля КамАЗ. М.: ЦНТИ. 1982. - 2 с.
18. Понорамев Н.Н. Исследование дисперсного состава пылей и связи с оценкой работы воздухоочистителей. – Труды НАМИ. вып. 42. 1961. с.7-24.
19. Рузаев И.Г., Енукидзе Б.М. Новое поколение воздухоочистителей. - Автомобильная промышленность. 1988. № 1. с.24-28.
20. Рузаев И.Г. Конструкции воздухоочистителей. –Автомобильная промышленность. 1982. №8. с. 38-40
21. Степаненко В., Катаев А.И. Как продлить ресурс двигателя КамАЗ. - Автомобильный транспорт. № 11. 1980. с.53-54.
22. Скокан Ю.В. Устройство для очистки воздушных фильтров автомобилей. Иваново: ЦНТИ. 1985 - 4 с.
23. Установка для очистки воздушных фильтров автомобилей КамАЗ. Иванов: ЦНТИ. 1982. – 2 с.