

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ИСКРОГАСИТЕЛИ
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

Минск
БГАТУ
2017

Авторы:

доктор технических наук, профессор *В. М. Капцевич*,
кандидат технических наук, доцент *Н. К. Лисай*,
доктор технических наук, профессор *В. М. Константинов*,
П. С. Чугаев, *Д. М. Булыга*, *В. К. Корнеева*, *И. В. Закревский*,
кандидат технических наук, доцент *В. Г. Дашкевич*

Искрогасители для сельскохозяйственной техники / *В. М. Капцевич*,
Н. К. Лисай, *В. М. Константинов* [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2017. –
156 с. : ил. – ISBN 978-985-519-873-5.

В монографии рассмотрены вопросы предотвращения образования потенциальных источников зажигания от систем выпуска выхлопных газов мобильной сельскохозяйственной техники. Рассмотрены требования нормативных документов в области пожарной безопасности, связанные с необходимостью использования искрогасителей. Рассмотрены существующие конструкции искрогасящих устройств, механизмы действия искрогасителей и требования, предъявляемые к ним. Представлена разработка искрогасителя с использованием проницаемого материала на основе металлических сеток, проведены его лабораторные и натурные испытания.

Для научных и инженерно-технических работников сферы технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Может быть полезна студентам, магистрантам и аспирантам.

Табл. 18. Ил. 95. Библиогр. : 89 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом
Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет» (протокол № 1 от 10 февраля 2017 г.)

Рецензенты:

профессор кафедры «Технология металлов» БГАТУ,
доктор физико-математических наук, профессор *Н. К. Толочко*;
генеральный директор Государственного научно-производственного
объединения порошковой металлургии, член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор технических наук, профессор *А. Ф. Ильющенко*

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Литература к введению.....	6
1. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ УБОРКЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИИ УРОЖАЯ	
1.1. Причины возникновения искр при работе сельскохозяйственной и автотракторной техники и их характеристики.....	7
1.2. Требования нормативных документов в области пожарной безопасности Республики Беларусь, связанные с необходимостью использования искрогасителей.....	21
1.3. Анализ пожаров на объектах и технике, занятой в уборке, переработке и хранении урожая.....	24
Литература к главе 1.....	29
2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ИСКРОГАСЯЩИЕ УСТРОЙСТВА И МЕХАНИЗМЫ ИХ ДЕЙСТВИЯ	
2.1. Требования, предъявляемые к искрогасителям.....	32
2.2. Динамические искрогасители.....	33
2.3. Фильтрационные искрогасители.....	67
Литература к главе 2.....	77
3. РАЗРАБОТКА СЕТЧАТОГО ИСКРОГАСИТЕЛЯ	
3.1. Общие сведения о сетчатых материалах и их свойствах.....	81
3.2. Сетчатый материал для изготовления искрогасителя.....	93
3.3. Разработка модели сетчатого материала искрогасителя.....	100
3.4. Расчет сетчатого искрогасителя.....	107
Литература к главе 3.....	112
4. ИСПЫТАНИЯ СЕТЧАТОГО ИСКРОГАСИТЕЛЯ	
4.1. Лабораторные испытания сетчатого материала искрогасителя.....	114

4.1.1. Методики проведения исследований.....	114
4.1.2. Испытания сетчатого материала.....	119
4.2. Натурные испытания сетчатого искрогасителя.....	129
4.2.1. Методика проведения натуральных испытаний.....	129
4.2.2. Результаты натуральных испытаний.....	133
Литература к главе 4.....	145
5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИСКРОГАСИТЕЛЕЙ НА МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ УБОРКЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИИ УРОЖАЯ.....	
Литература к главе 5.....	152

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается тенденция увеличения количества чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, последствия которых существенно влияют на жизнь и здоровье людей, экологическую и экономическую деятельность.

Пожары и взрывы, как группа чрезвычайных ситуаций, причиняют значительный материальный ущерб, зачастую вызывают тяжелые травмы и гибель людей. Ущерб от пожаров и взрывов в промышленно развитых странах превышает более 1 % национального дохода и имеет тенденцию постоянного роста [1]. В Республике Беларусь наибольшие убытки от пожаров и других чрезвычайных ситуаций отмечаются в энергетике и сельском хозяйстве.

Значительное число чрезвычайных ситуаций достаточно часто связано с интенсивным использованием новых технологий и материалов с недостаточно изученными пожаро-взрывоопасными характеристиками, старением и износом основных производственных мощностей, инженерных коммуникаций, отсутствием возможности их оперативного обновления, а также отсутствием элементарных средств противопожарной защиты.

В связи с этим разработка комплекса экономических, социальных, организационных, научно-технических и правовых мер, совершенствование деятельности сил и средств, направленных на предупреждение и ликвидацию пожаров является достаточно актуальной и важной проблемой.

Сельское хозяйство является стратегической отраслью Республики Беларусь, обеспечивающей продовольственную безопасность страны. С изобретением самоходных машин люди сразу же приспособили эти машины для облегчения ручного труда в сельском хозяйстве, после чего изменилась технология уборки сельскохозяйственных культур. Однако в процессе эксплуатации данных видов техники возникла достаточно серьезная проблема: пожар на полях, засеянных зерновыми культурами, так как солома и ворох от зерновых представляет собой легковоспламеняющуюся массу [2].

Основным решением данной проблемы является предотвращение образования потенциальных источников зажигания от систем выпуска выхлопных газов техники сельскохозяйственных объектов.

Согласно нормативно-правовым актам [3], действующим в Республике Беларусь, на системах выпуска отработанных газов сельскохозяйственной техники должны быть установлены искрогасители, предотвращающие образование источников зажигания на сельскохозяйственных объектах.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что более 80 % всей техники, используемой в сельском хозяйстве Республики Беларусь, не оборудовано искрогасителями или они обладают низкой эффективностью искроулавливания, что приводит к пожарной опасности. Также на сегодняшний день не определены оптимальные параметры пористой структуры огнепреграждающих устройств.

При конструировании и изготовлении искрогасителей необходимо руководствоваться техническими нормативными правовыми актами (ГОСТ и СТБ) и нормами пожарной безопасности (НПБ) Республики Беларусь, в соответствии с которыми должен выполняться ряд требований к эффективности работы, конструкции, массогабаритным характеристикам, надежности данных устройств и т. д.

Литература к введению

1. Палмер, К. Н. Гашение пламени металлическими сетками // Вопросы горения. Материалы VI и VII международных симпозиумов по горению / К. Н. Палмер. – М. : Metallurgizdat. – 1963. – С. 174–182.

2. Стрижевский, И. И. Промышленные огнепреградители / И. И. Стрижевский, В. Ф. Заказнов. – М. : Химия, 1974. – 264 с.

3. Об утверждении правил пожарной безопасности Республики Беларусь. ППБ Беларуси 01–2014 : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 14 марта 2014 г., № 3 : в ред. постановления МЧС Респ. Беларусь от 14.02.2017 г. // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2016.

1. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАБОТЕ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ УБОРКЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИИ УРОЖАЯ

1.1. Причины возникновения искр при работе сельскохозяйственной и автотракторной техники и их характеристики

Анализ пожаров, происходящих при эксплуатации автотракторной и сельскохозяйственной техники, показывает [1], что создание чрезвычайных ситуаций начинается с образования искр в выхлопных газах автотранспортных средств. В большинстве случаев, образующиеся искры представляют собой твердые горящие частицы, движущиеся в газовом потоке, а в отдельных случаях – горящие капли жидкостей, например, моторных масел или топлив.

Причиной искрообразования в двигателях внутреннего сгорания автомобилей, тепловозов, сельскохозяйственных машин (тракторы, комбайны, теплогенераторы и др.) является нагар (рис. 1.1), образующийся на внутренних стенках выпускной системы. Нагар представляет собой коксообразные отложения, состоящие из высококонденсированной органической части и зольного остатка от сгорания топлива и масла, и имеющихся в нем примесей. Микроструктура нагара представлена на рис. 1.2. При сгорании бензина нагара образуется меньше, так как он содержит меньше тяжелых углеводородов, склонных к коксообразованию. Более активно нагар образуется при сгорании среднедистиллятных топлив, содержащих асфальтены, в частности, дизельного топлива. В основном нагар представляет собой смесь карбенов и карбоидов – сажи (до 60 %), асфальтенов (до 6 %), смол, масла (до 30 %) и золы (до 4 %).



Рис. 1.1. Нагар в системе рециркуляции выхлопных газов (VW Passat) [2]

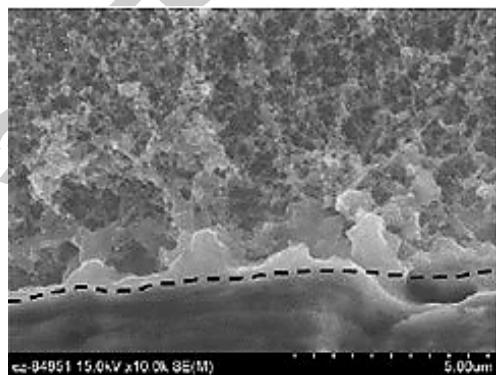
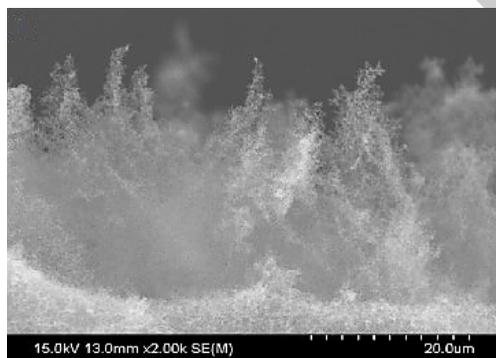
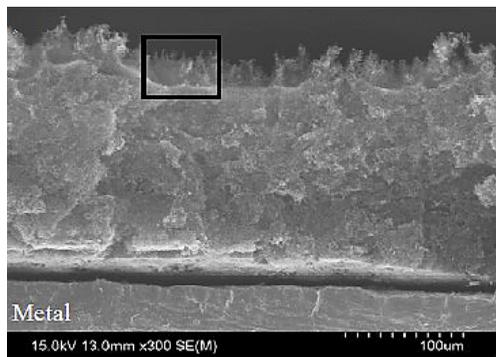


Рис. 1.2. Микроструктура нагара, образовавшегося в выхлопной системе дизеля после 2 ч работы, в различных форматах растровых изображений: (пунктирная линия – граница раздела металл – нагар) [3]

В работе [4] отмечается, что при сгорании 100 кг дизельного топлива в двигателе образуется примерно 150 г нагара. Увеличенному образованию нагара способствуют неполнота сгорания топлива, если двигатель плохо отрегулирован, проникновение в камеры сгорания моторного масла, имеющего большую склонность к коксообразованию и более высокую зольность, чем дизельное топливо. Коксование увеличивается за счет содержания металлической и минеральной пыли. Образованию нагара способствует низкое качество распыла топлива, длительная работа дизеля без нагрузки, особенно при низких температурах охлаждающей жидкости, ухудшение воздухообеспечения двигателя. Толщина нагара может быть весьма существенна. В работе [4] автор приводит случай пожара груза пиломатериалов, возникшего от искры тепловоза ТЭ-3. Было установлено, что выхлопные трубы тепловоза имели нагар толщиной не менее 10 мм.

Вибрация двигателя и машины в целом способствуют периодическому отрыву кусочков нагара и выбросу их с потоком выхлопных газов в атмосферу в виде горящих частиц (искр).

По статистическим данным, доля пожаров от искр тепловозов в пожарах подвижного состава с грузом превышает 30 % [4]. Аналогичные случаи связаны с сельхозтехникой и автотранспортом, особенно на селе, где в местах работы автомобилей часто присутствуют материалы, способные к загоранию от искры (сено, солома и т. п.). Особенно пожароопасным представляется использование зерновых комбайнов, так как при их эксплуатации образуется большое количество легковоспламеняющейся пыли.

По своей природе и потенциальной опасности частица нагара близка к обычной частице (искре). Только ее уносит не конвективный поток, а выхлопные газы. Радиус разлета таких частиц зависит от высоты расположения выхлопной трубы двигателя.

Как отмечено в [5], перечисленные проблемы являются не только прерогативой отечественной техники в силу ее изношенности и низкого качества. Дж. Де Хаан отмечает, что в США «...многие пожары травы и валежника вдоль железнодорожного полотна возникли из-за искр, выпускаемых дизельными локомотивами. При некоторых режимах работы двигателя, они вылетают в горящем виде и могут зажечь сухую траву вдоль полотна и даже в нескольких футах от него. Во многих штатах требуют устанавливать

искрогасители на всех двигателях, работающих в пожароопасной зоне, но иногда их не устанавливают по недосмотру или даже намеренно снимают при техническом обслуживании». Кроме того, «...Система выхлопа внедорожных мотоциклов и грузовиков тоже может выпускать горячие частицы углерода. Некоторые транспортные средства могут работать в лесных районах, только если на них установлены искрогасители» [6].

Искры, образующиеся при сгорании твердых топлив, могут быть различных размеров, начальной температуры, химического состава. Чем частица больше и горячее, тем больше шансов (при прочих равных условиях) возникновения пожара. В [7, 8] и некоторых других публикациях приводят следующие данные, первоисточником которых является, по всей вероятности, ГОСТ 12.1.004–85 [9]. Там указывается, что искра диаметром 2 мм пожароопасна, если имеет температуру 1000 °С, диаметром 3 мм – 800 °С, 5 мм – 600 °С.

В [8] указывается, что искра представляет опасность до тех пор, пока она охлаждается до начальной температуры 200–250 °С, то есть до температуры воспламенения таких сгораемых материалов, как бумага, древесина, ткани и т. д.

В работах [10, 11] по результатам численного анализа возможностей зажигания моторных топлив одиночными углеродистыми и металлическими частицами делается вывод: пары бензина могут воспламениться углеродистой частицей, образующейся, например, при раздувании костров. Загорание может произойти при пролете частицы над поверхностью разлитого и испаряющегося бензина. Необходимым условием для этого является температура частицы более 1000 К, а такие температуры у подобных частиц вполне возможны.

В то же время, авторы работ [10, 11] считают маловероятным возможность зажигания от подобных частиц дизельного топлива: как в паровой фазе, так и при падении в разлитую жидкость. Для такого зажигания нужна температура частицы более 1273 К, а она у них не превышает 1100 К.

Экспериментально показано, что искры способны инициировать тление (с переходом в пламенное горение) таких материалов, как хлопок, очесы хлопчатобумажного производства, древесные опилки, солома. Соответствующие данные со ссылкой на результаты исследования ВНИИЖТа приводятся в [12].

От пламенного горения тление отличается более низкой температурой в зоне горения, медленной скоростью распространения и повышенной устойчивостью. Протекает тление обычно в диффузионном режиме, то есть скорость процесса определяется скоростью подачи, проникновения (диффузии) кислорода воздуха в зону горения. В случае активного притока в зону тления окислителя (кислорода воздуха) скорость тления возрастает, оно может перейти в пламенное горение.

Самопроизвольное распространение тления в среде тлеющего материала происходит и поддерживается благодаря тому, что от зоны тления к границе с подогреваемой средой подводится теплота с мощностью, достаточной для нагревания горючей среды от начальной температуры до температуры зажигания, вызывающей тление [13].

Д. Драйздейл [14] иллюстрирует процесс распространения тления на примере горизонтально расположенного целлюлозного стержня (рис. 1.3). Волна тления, с помощью которой происходит распространение процесса тления, имеет три зоны:

1. Зона пиролиза, характеризующаяся резким подъемом температуры, где происходит выделение летучих продуктов разложения исходного материала;

2. Зона углистого остатка, где температура достигает максимума, прекращается выделение летучих и начинается гетерогенное горение углистого остатка.

3. Зона углистого остатка, где прекращается тепловыделение и температура медленно падает.

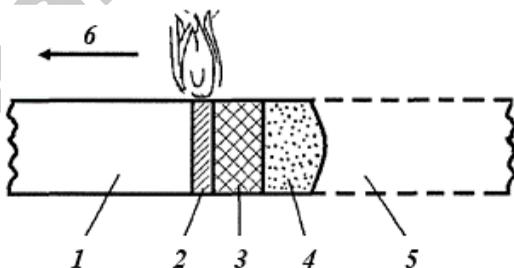


Рис. 1.3. Распространение тления вдоль горизонтального целлюлозного стержня [54, 14]: 1 – свежая целлюлоза; 2, 3, 4 – зоны волны тления; 5 – углистый остаток и пепел; б – направление распространения тления

Данные по возможным расстояниям разлета искр, в пределах которых от этих искр может возникнуть горение, достаточно противоречивы.

Так, основываясь на данных [15], К. Д. Поль утверждает, что максимальное расстояние, на котором искры еще сохраняют способность воспламенять, равно 10 м. Минимальное расстояние между такими легковоспламеняющимися материалами, как солома, стружки, опилки, древесная шерсть, солома, сено и т. д., и выхлопной трубой двигателя внутреннего сгорания должно быть не менее 8 м, а минимальное расстояние до стен зданий, в которых находятся легковоспламеняющиеся материалы – 4 м.

Дж. Де Хаан [6] считает, что точный ответ в данном случае вообще невозможен, можно установить некоторые принципы. Так, например, очень важную роль играет ветер, так как такие искры поднимаются с воздушным потоком, улетают недалеко и медленно падают, если их не унесет ветер. Другим фактором является тип материала, который горит. Очень маленькие фрагменты и тонкие материалы, такие, как бумага, как правило, полностью сгорают, прежде чем попадут на какую-либо горючую поверхность. Фрагменты дерева, стружки или гофрированного картона горят значительно дольше и улетают дальше, прежде, чем зажгут что-либо еще. В последнем случае наблюдалась дистанция около 12 метров (40 футов). Легкие предметы могут переноситься на расстояние до 6 метров (20 футов), если не учитывать ветер. Другим фактором является высота, которую они могут достичь. Чем выше горящие фрагменты поднимаются, тем больше времени у них имеется, чтобы сгореть полностью или остыть, и тем дольше они подвержены воздействию воздушных потоков. Расстояния разлета искры свыше 9–12 метров считается маловероятным [6].

В работе [8] показано, что для искр размером 3,5 мм, что соответствует их средней величине, время охлаждения до пожаробезопасной величины составляет 5 с. Далее отмечается, что для определения средней скорости полета искры следует пользоваться коэффициентом 0,5–0,7. Так, при скорости ветра 20 м/с скорость полета искры будет равна $0,6 \cdot 20 = 12$ м/с, а дальность полета составит $12 \cdot 5 \text{ с} = 60$ м [8]. Аналогичный расчет приводится в [7].

Приведенный расчет подразумевает практически сколь угодно большое расстояние разлета, лишь бы оно было пропорционально

(с коэффициентом 0,5–0,7) скорости ветра, очевидно, что это не так. Время охлаждения, равное 5 с, берется для разогретой металлической частицы, в данном же случае имеет место горящая частица органического материала. Она может и затухнуть, а может и продолжать гореть, пока не выгорит вся органика, и ее температура не снижается последовательно, как у металлической частицы, образующейся при коротком замыкании или сварке.

Более серьезные расчеты приводятся в [16]. Авторами рассматривается двумерный случай движения частиц в конвективной колонке и в атмосфере после выпадения из колонки, для чего предложены соответствующие уравнения (система уравнений). Отмечается, что при пожарах образуются в основном частицы, имеющие сферическую или цилиндрическую форму. Приведена также система уравнений, описывающих координаты траектории полета частицы. Уравнения решались численно на ЭВМ методом Рунге-Кутты.

Для оценки влияния различных параметров, входящих в уравнения, на дальность полета частицы выполнялись численные эксперименты. При этом параметры задавались для цилиндрических частиц длиной менее 2 см или сферических частиц с радиусом сферы менее 0,5 см. Из приводимых авторами графиков видно, что дальность разлета находится в пределах 40–45 мм лишь для самых мелких превышает 50 м. Но такие мелкие частицы, скорее всего, уже не имеют необходимой зажигательной силы.

Результаты расчетов сопоставлялись авторами с данными натурных экспериментов, проведенных при сжигании домов IV и V степеней огнестойкости размером 15×15×5 м и штабелей древесины 6×6×3 м. Распределение частиц по размерам d в зависимости от расстояния представлено на рис. 1.4. При горении высота кромки факела равнялась 10–15 м, скорость восходящего потока 7–10 м/с, скорость ветра 4–6 м/с. Для таких начальных условий рассчитанные дальности заброса частиц составили 0–40 м, что хорошо согласуется с данными рис. 1.4 [16].

Если рассчитать результаты данного натурального эксперимента по приведенным в [8] формулам, то получится, что дальность полета искр составляет 15 м. В натурном же эксперименте (рис. 1.4) дальность разлета частиц была, как минимум, в 2 раза больше.

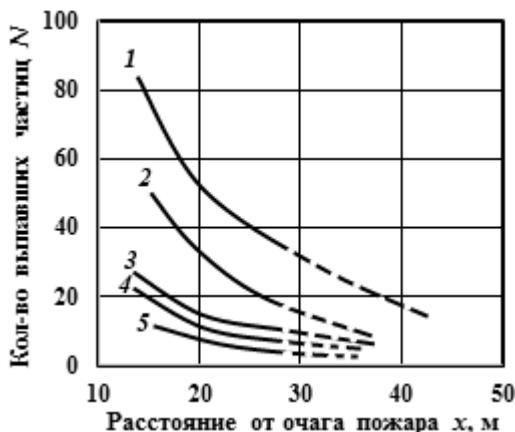


Рис. 1.4. Зависимость количества выпавших частиц данного размера N от расстояния до очага пожара x : 1 – $d = 0,5$ мм; 2 – $d = 1$ мм; 3 – $d = 2$ мм; 4 – $d = 3$ мм; 5 – $d = 5$ мм

Еще один практический пример приводится в [7] со ссылкой на [17]. По данным следственного эксперимента, при прохождении грузового тяжеловесного поезда была зафиксирована дальность полета горящих искр, вылетающих из паровозной трубы, до 42 м. Тление (свечение) искр после их соприкосновения с землей и находящимися на ней предметами наблюдалось в течение 3–5 с. Размеры погасших частиц колебались от 1 до 3,5 мм.

Причины образования сажи

Как было отмечено ранее, основным компонентом нагара – источника образования искр – является сажа.

Отработавшие газы (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) представляют собой многокомпонентную смесь газов, паров, капель, жидкостей и дисперсных твердых частиц (более 1000 различных химических образований) [18].

При идеальном протекании процесса сгорания стехиометрической смеси углеводородного топлива с воздухом в продуктах неполного сгорания должны присутствовать лишь N_2 , CO_2 , H_2O . В реальных условиях ОГ содержат также продукты неполного сгорания (оксид углерода (II) и (IV), углеводороды, альдегиды, твердые частицы, перекисные соединения, избыточный кислород),

продукты термических реакций взаимодействия азота с кислородом (оксиды азота) и неорганические соединения тех или иных веществ, имеющих в топливе (сернистый ангидрид и т. д.).

Рассмотрим подробнее процессы образования в цилиндрах дизеля сажи.

Выделение сажи – специфическая особенность дизелей, и ее количество в ОГ зависит от условий смесеобразования и горения, которые, как известно, определяются очень многими факторами: режимами работы дизеля, химическими и физическими свойствами топлива, конструктивными особенностями камеры сгорания, параметрами топливной аппаратуры и т. д.

Сажа, смешанная с ОГ, образует дым. Различают два его цвета – серый и черный. Первый в своем составе имеет пары, капли топлива, масла и воды, то есть в нем много несгоревших углеводородов, но мало сажи. Он наблюдается при пуске и в период прогрева двигателя. Черный же дым состоит из почти свободной от углеводородов сухой сажи. Дым оценивается как «видимый» уже при содержании в нем 133 мг/м^3 ОГ и как дым средней черноты – при 600 мг/м^3 [19].

Сажа представляет собой частицы углерода неправильной формы с линейными размерами $0,3\text{--}100 \text{ мкм}$ [20] (рис. 1.5). Большая часть сажевых образований имеет размер $0,4\text{--}5 \text{ мкм}$, а первичные структуры сажи, образующиеся в камерах сгорания дизелей, являются частицами сферической формы диаметром $0,015\text{--}0,17 \text{ мкм}$ с удельной поверхностью $75 \text{ м}^2/\text{г}$, которые из-за коагуляции в процессе сгорания образуют вторичные и третичные структуры, выбрасываемые с ОГ из системы выпуска дизеля в атмосферу [21].

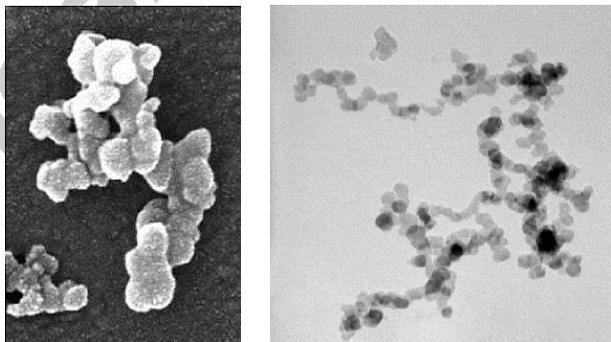


Рис. 1.5. Типичные частицы сажи, образовавшиеся при сгорании топлива в дизеле [2, 22]

В дизеле одновременно существуют два режима горения: кинетический (подготовленной смеси) и диффузионный (образующейся во фронте пламени смеси за счет поступления в него топлива окислителя) [23]. Состав продуктов горения (и соответственно состав отработавших газов) зависит от соотношения количеств топлива, сгорающего в кинетическом и диффузионном режимах, и характеристик указанных режимов горения. В частности, чем больше период задержки воспламенения, тем больше накапливается готовой к воспламенению смеси, выше скорость нарастания давления и давление сжатия.

Характерной особенностью диффузионного режима горения является образование сажи. Процесс сажеобразования эндотермичный, то есть требующий затрат тепла. Поэтому чем большее количество топлива сгорает в диффузионном режиме, тем больше образуется сажи, ниже температура во фронте пламени, но при этом увеличивается теплоотдача за счет излучения частиц сажи. Последнее приводит к дополнительному нагреву поверхностей, образующих камеру сгорания, что крайне нежелательно (в отличие от горения топлив в печах и каминах).

Любое топливо (даже газообразное) при реализации диффузионного типа горения образует сажу, что характеризуется предельной высотой ламинарного пламени $h_{пр}$ (рис. 1.6 [24]).

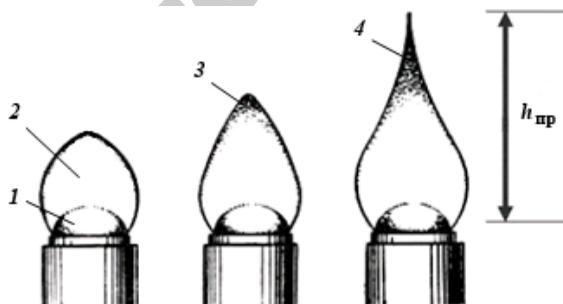


Рис. 1.6. Схема образования сажи при диффузионном горении:
 1 – темная зона, 2 – светящаяся зона, 3 – начало образования сажи,
 4 – появление жгута копоти, $h_{пр}$ – предельная высота пламени,
 при которой происходит появление жгута сажи

При диффузионном горении зона образования сажи непосредственно примыкает к фронту пламени. Это определяется недостатком

окислителя и высоким значением температуры пламени $T_{пл}$, при которых и идет процесс крекинга (рис. 1.7) [23].

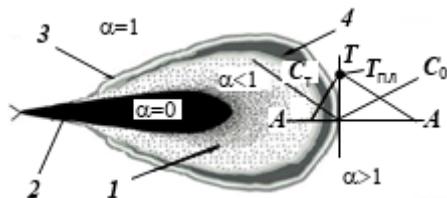


Рис. 1.7. Схема образования сажи при диффузионном горении топливного факела:

1 – пары топлива внутри топливного факела (зона с $\alpha < 1$),
 2 – жидкое ядро топливного факела ($\alpha = 0$), 3 – фронт диффузионного пламени ($\alpha = 1$),
 4 – зона образования сажи ($\alpha < 1$), $T_{пл}$ – температура во фронте
 диффузионного пламени, C_0 , C_T – приведенные концентрации окислителя и топлива,
 T – температурное поле, А-А – сечение, перпендикулярное
 поверхности диффузионного фронта пламени

Образование сажи – объемный процесс термического разложения углеводородов при недостатке кислорода (пиролиз). Происходит при значениях коэффициента избытка воздуха $\alpha = 0,33-0,7$ и описывается уравнением [20]



Количество образующейся сажи находится в прямой зависимости от температуры и давления в зоне пиролиза. Это количество резко увеличивается с ростом температуры и давления. На образование сажи оказывают влияние также и свойства топлива. Схема возможных механизмов образования сажи показана на рис. 1.8 [19, 20].

Максимальное содержание сажи в продуктах горения соответствует равновесной температуре, то есть температуре, при которой процесс характеризуется равновесием между скоростями горения и распада топлива. Уменьшение или увеличение температуры по сравнению с равновесной уменьшает содержание сажи.

Из множества полициклических ароматических углеводородов, обладающих канцерогенным действием, в ОГ дизеля в больших количествах содержится бензапирен. Поэтому канцерогенные свойства ОГ принято характеризовать бензапиреном. Бензапирен $C_{20}H_{12}$ хорошо адсорбируется и удерживается на дизельной саже [19, 21].

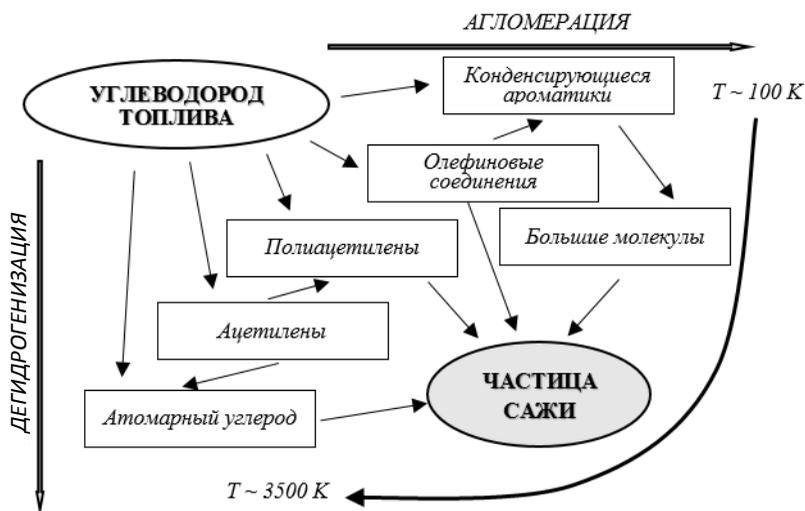


Рис. 1.8. Схема образования сажи

Бензапирен образуется в результате гидролиза тяжелых фракций топлива и моторных масел при температуре 670–970 К при значительном недостатке кислорода [21]. Износ цилиндропоршневой группы и повышенный расход масла в десятки раз увеличивают содержание бензапирена в ОГ дизеля [25].

В ОГ дизелей содержится свыше 200 различных углеводородов, основными из которых являются этан, метан, этилен, бензол, пропан, ацетилен [19, 21, 26].

Углеводороды в ОГ дизеля состоят из исходных и промежуточных соединений углеводородов топлива. Основным местом образования углеводородов в камере сгорания является «зона гашения пламени» шириной 0,05–0,38 мм [20]. Реакция горения смеси в этой зоне замедляется, «замораживая» продукты промежуточных реакций. Данные зоны образуются в результате гашения пламени вблизи сравнительно холодных стенок камеры сгорания. Также СН образуются в зонах срыва пламени, ядре, хвосте струи, на топливной пленке, стенках и в результате вторичного впрыскивания топлива [21].

Количество СН в ОГ зависит от отношения поверхности камеры сгорания к ее объему, количества остаточных газов в цилиндре,

степени турбулентности заряда, состава смеси, давления и температуры процесса сгорания, протекания процесса догорания, а также от наличия подтекающего смазочного масла и топлива, что способствует повышению выброса сажи.

Наряду с образованием сажи происходит ее выгорание. При этом сажа, диффундирующая из зоны своей наибольшей концентрации через фронт пламени в сторону избытка окислителя, сгорает. Та же часть сажи, что диффундирует внутрь, то есть в сторону жидкого топлива, не сгорает, обуславливая содержание сажи в ОГ дизеля. Количество образующейся сажи пропорционально цикловой подаче топлива.

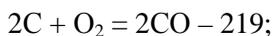
Поверхность углеродистых частиц изрезана огромным количеством микротрещин и пор различных форм и размеров, то есть отличается высокой степенью порозности. Поры могут быть сквозными, причем внутренняя поверхность пор может быть больше внешней поверхности частицы сажи. Горение сажи (твердого углерода) – гетерогенный процесс: углерод – твердая фаза, окислитель – газ.

Скорость этого процесса определяется как кинетикой горения самих частиц (на поверхности и в глубине), так и диффузионным переносом кислорода и продуктов сгорания у горячей поверхности частицы. Вследствие порозности углерод горит не только на поверхности, но и внутри.

При теоретическом анализе не учет внутреннего горения частиц сажи приводит к большим ошибкам при обработке экспериментального материала.

При горении (окислении) углерода за счет реагирования с кислородом, диоксидом углерода и парами воды образуются CO и CO₂.

Принято считать реакцию горения углерода реакцией первого порядка. Основные реакции окисления углерода следующие (справа указаны тепловые эффекты реакции: «-» – реакция эндотермична, то есть для ее протекания необходимы затраты тепла; «+» – реакция экзотермична, то есть при протекании реакции выделяется тепло), кДж/моль:





Количество образующейся сажи пропорционально величине цикловой подачи топлива, то есть нагрузке на двигатель. Именно содержание сажи обуславливает черный цвет ОГ, соответственно уровень непрозрачности (или дымности) потока ОГ пропорционален нагрузке на двигатель.

Согласно определению, данному в международных стандартах по оценке экологического уровня двигателей с воспламенением от сжатия, дисперсные частицы (*PM*) – это все твердые и жидкие вещества, присутствующие в смеси отработавших газов и воздуха при температуре смеси не более 52 °С [23].

К твердым веществам относятся сажа *C* (углерод), твердые сульфаты MSO_4 и часть суммарных углеводородов с углеродным числом от C_{18} и выше. При этом в сажу переходит около 25 % масла, попавшего в камеру сгорания (*КС*) и сгоревшего (полностью или частично); это количество масла определяет значение такого показателя, как «расход масла на угар». Кроме того, к *PM* относятся зола и кокс топлива и масла (*ЗКТиМ*), а также продукты износа деталей двигателя (*ПИ*). Однако содержание *ЗКТиМ* и *ПИ* незначительно, поэтому отдельно их выделяют только в случае определения химического состава *PM*.

Жидкая часть *PM* представлена частью суммарных углеводородов с углеродным числом от C_5 до C_{17} , а также парами серной кислоты.

В Германии согласно государственным стандартам принято, что дисперсные частицы, содержащиеся в ОГ дизелей, представляют собой элементарный углерод – сажу (в отличие от органического углерода: углерода, входящего в состав молекул, например, углеводородов). При этом считается, что степень вредности твердых и жидких веществ различна, поэтому их нельзя объединять. Тем более что часть веществ (углеводороды с углеродным числом от C_5 и выше), находясь в газообразном состоянии, входят в состав суммарных углеводородов и нормируются отдельно.

Дисперсные частицы, имеющие аэродинамический диаметр не более 2,5 мкм, обозначают *PM*2,5. Частицы размером 2,5–10 мкм обозначают *PM*10 [23].

Содержащиеся в отработавших газах дисперсные частицы могут быть как однородными (все частицы почти одинакового размера), так и неоднородными (частицы имеют большой спектр размеров). Указанная особенность может отражаться в модальности дисперсности – одномодальное и бимодальное распределения (рис. 1.9) [23].

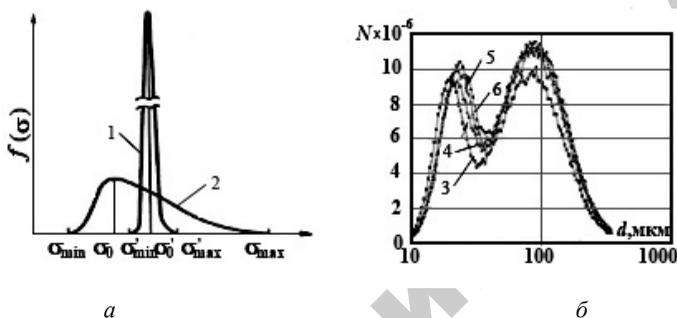


Рис. 1.9. Характер однородности (а) и бимодальности (б) дисперсных частиц, содержащихся в ОГ:

1 – однородное распределение; 2 – неоднородное распределение.

Модальность дана при различной температуре ОГ

(по оси абсцисс – аэродинамический диаметр РМ, по оси ординат – количество РМ в 1 см³): 3 – 372 °С; 4 – 286 °С; 5 – 190 °С; 6 – 70 °С

1.2. Требования нормативных документов в области пожарной безопасности Республики Беларусь, связанные с необходимостью использования искрогасителей

Можно привести много примеров, когда искра становится причиной пожара. Происхождение этих искр может быть различным, в том числе и от работы двигателя автомобиля, трактора или другого самоходного агрегата.

В отдельных случаях одна искра, попав на горючий материал, становится началом большого пожара. Именно поэтому в ряде нормативных актов по пожарной и промышленной безопасности Республики Беларусь идет неоднократное упоминание о технических устройствах, именуемых искрогасителями. Назначение данных

устройств заключается в предотвращении выброса из выхлопной системы трактора или автомобиля высокотемпературных частиц сажи и нагара.

Согласно нормативно-правовым актам, таким как «Правила пожарной безопасности Республики Беларусь: ППБ Беларуси 01–014» [27] на территорию складов, взрыво- и пожароопасных зон, а также эстакады данных складов, не допускается въезд тракторов, автомобилей, тепловозов и другого механизированного транспорта с двигателями внутреннего сгорания без искрогасителей на системах удаления отработанных газов и не укомплектованных первичными средствами пожаротушения (п. 81). Изложенные в них требования являются обязательными для всех юридических и физических лиц, находящихся на территории Республики Беларусь.

Так, п. 697 [27] предусматривает, что выпускные трубы двигателей самоходных шасси, косилок, тракторов, автомобилей и комбайнов, применяемых при уборке хлеба, заготовке грубых кормов, должны быть оборудованы исправными искрогасителями. Наличие искрогасителей обязательно и для тракторов, занятых на вспашке, если эти работы производятся одновременно с жатвой возле участков с необранным хлебом или грубыми кормами. Водитель транспортного средства с ДВС не реже 2–3 раз в смену должен очищать поверхность двигателя, коллектора, выхлопной трубы, искрогасителя от пыли, нагара (п. 698).

Документ [27] устанавливает определенные ограничения для транспортных средств и других механизмов с двигателями внутреннего сгорания (п. 619). Подъезд железнодорожного и автомобильного транспорта ближе 5 м, а тракторов – 10 м к навесам и штабелям без искрогасителей не допускается. В этих местах должны быть установлены ограничительные брусья. Подъезд автотранспорта к закрытым складам, навесам и штабелям должен осуществляться стороной, противоположной выхлопной трубе, при этом глушитель должен быть оборудован исправным и соответствующим нормативным требованиям искрогасителем.

Зерносушильные комплексы шахтного и колонкового типа производительностью более 12 т в час должны быть оборудованы исправными устройствами комплексной защиты, обеспечивающими автоматическое обнаружение очагов возгорания в зоне сушки, звуковую и световую сигнализацию о возникновении возгораний,

искроуловителями, обеспечивающими улавливание искр из потока теплоносителя, а также подачу воды в зону сушки для ликвидации возгораний [27, п. 666]. При устройстве и эксплуатации зерносушильных комплексов, оборудованных теплогенераторами, работающими на твердом топливе, дымовые трубы теплогенераторов должны быть оборудованы искрогасителями (п. 667.2). После каждой смены работы сушилки необходимо удалить золу из топочного пространства, осадочных камер, циклона-искрогасителя и камеры смешения (п. 682).

При эксплуатации автозаправочных станций (АЗС) и передвижных автомобильных заправочных станций (ПАЗС) также большое внимание уделяется пожарной безопасности. Согласно п. 732.6 [27] на территории АЗС, ПАЗС не допускается въезд тракторов, не оборудованных искрогасителями. Перед началом эксплуатации ПАЗС на специально выделенной площадке необходимо, чтобы на выхлопной трубе автомобильной цистерны был установлен искрогаситель [27, п. 735.6]. Также при опорожнении автомобильной цистерны ее двигатель не должен работать, за исключением случаев, когда автомобили оборудованы насосами для перекачки сжиженных газов с приводами от двигателя автомобиля и имеют исправный искрогаситель на выхлопной трубе [27, п. 749].

Не только автотранспорт должен иметь исправное искрогасительное устройство, но и железнодорожный транспорт. К примеру, согласно п. п. 439, 440 [28] у тепловозов, дизель-поездов, где конструкцией выпускной системы дизеля предусмотрена установка искрогасительных устройств, последние должны быть исправны, а сетка не иметь прогаров. В установленные сроки должны производиться их очистка от несгоревших частиц и нагара, а также регулирование обеспечивающих эжекцию зазоров, которые должны соответствовать технической документации. Паровозы, работающие на твердом топливе, должны быть оборудованы искрогасительными устройствами и резиновым шлангом для смачивания угля. Наличие в искрогасительных устройствах зазоров в местах соединений отбойных и других листов между собой, в местах крепления сетки, возле конуса, парорабочих труб и в других местах более 2 мм, а также сеток с размерами ячеек, не соответствующими чертежам, не допускается. Также согласно п. 546 [28] при подаче под слив-налив железнодорожных цистерн с легковоспламеняющимися

(ЛВЖ) и горючими (ГЖ) жидкостями должно быть прикрытие из двух пустых или груженых негорючими грузами вагонов. Паровозы должны работать только на жидком топливе. Локомотивы должны быть оборудованы искрогасителями.

На контейнерных площадках, сортировочных платформах и площадках по переработке тяжеловесных грузов согласно п. 320.3 [28] запрещается производить маневровые работы тепловозами, паровозами без искрогасительных приборов.

Система выпуска отработавших газов двигателя автотракторной техники должна обеспечивать гашение искр в отработавших газах. В местах соединения прорыв газов и искр согласно п. 4.3.2, 4.3.3 [29] не допускается. Искрогаситель (глушитель) выпускной системы двигателя должен соответствовать требованиям п. 4.3.4 [30].

Анализируя руководящие документы можно сделать вывод, что искрогаситель является необходимым устройством противопожарной защиты объектов хозяйствования, транспорта, лесного хозяйства и энергетики.

1.3. Анализ пожаров на объектах и технике, занятой в уборке, переработке и хранении урожая

Проанализируем статистику пожаров в Республике Беларусь (по данным МЧС Республики Беларусь). По рис. 1.10 видно, что в период с 2002 по 2016 гг. на объектах и технике, занятой в уборке, переработке и хранении урожая произошло в общем количестве 511 пожаров [31].

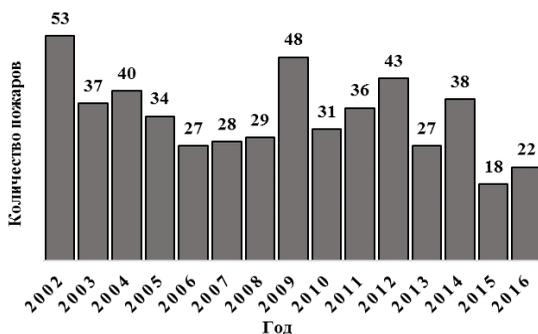


Рис. 1.10. Статистика общего количества пожаров в Республике Беларусь в период с 2002 по 2016 гг.

Основные источники возникновения пожаров на объектах и технике занятой в уборке, переработке и хранении урожая представлены на рис. 1.11 [31]: в 51,3 % случаев причиной возникновения пожаров послужили трактора, в 18,3 % – комбайны, 16,4 % произошли на зерносушильных комплексах, 8,1 % – на зерноскладах.

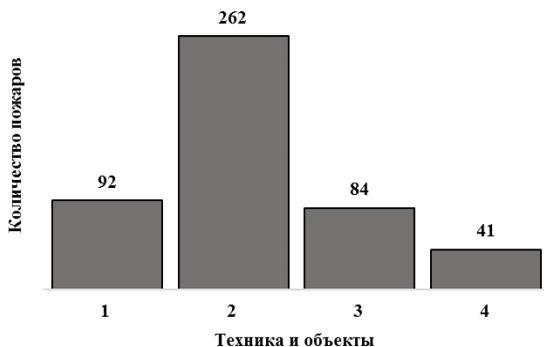


Рис. 1.11. Основные источники возникновения пожаров на объектах и технике занятой в уборке, переработке и хранении урожая в период с 2002 по 2016 гг.:

1 – комбайн; 2 – трактор; 3 – зерносушильный комплекс; 4 – зерносклад

С 2002 года огнем уничтожено 14 строений. Наибольшее количество пожаров произошло в Минской (6 строений; 54,5 %) и Витебской (3 строения; 27,3 %) областях (рис. 1.12).

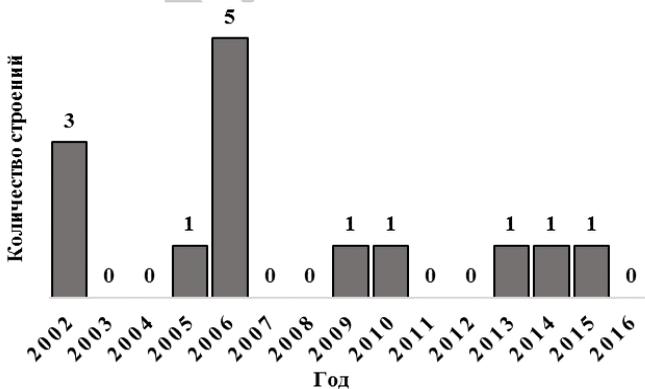


Рис. 1.12. Уничтожено строений в результате пожаров в период с 2002 по 2016 гг.

Согласно рис. 1.13 [21] в Республике Беларусь в период с 2002 по 2016 гг. пожарами уничтожено 167 единиц техники. Наибольшее количество техники уничтожено в Минской (27 единиц; 26,0 %), Брестской, Витебской и Могилевской (17; 16,3; 10 % соответственно) областях.

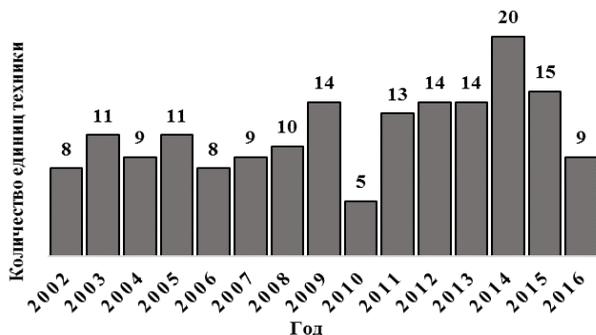


Рис. 1.13. Последствия пожаров, приведших к уничтожению техники (единиц), в период с 2002 по 2016 гг.

Пожарами также уничтожено 560 т зерна и грубых кормов (рис. 1.14) [31]. Наибольшее количество зерна и кормов уничтожено в Могилевской (137 т; 33,0 %) и Витебской (136 т; 32,8 %) областях.

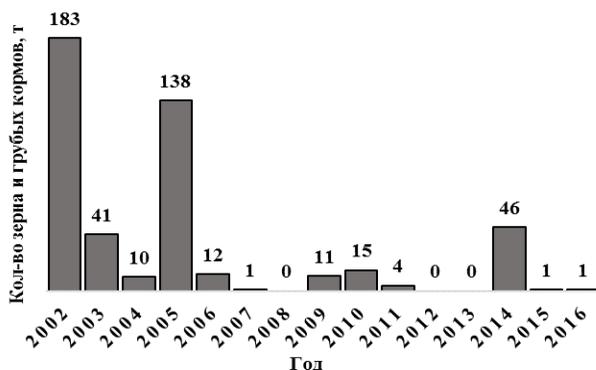


Рис. 1.14. Последствия пожаров, приведших к уничтожению зерна и грубых кормов (т) в период с 2002 по 2016 гг.

Основные причины пожаров на объектах и технике занятой в уборке, переработке и хранении урожая в период с 2002 по 2016 гг.

представлены на рис. 1.15 [31]. Общее количество пожаров, произошедших по причинам, связанным с «человеческим фактором», составило 53 % (271), в том числе 22,7 % (116) связано с нарушением правил эксплуатации электросетей и электрооборудования; 11,4 % (58) – с неосторожным обращением с огнем; 15,5 % (79) – с нарушением технологического регламента (процесса); 3,5 % (18) – с поджогом.

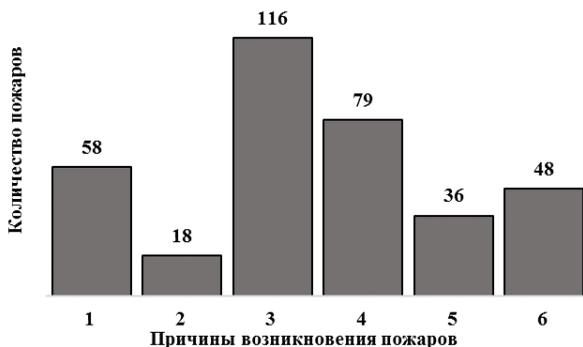


Рис. 1.15. Основные причины пожаров на объектах и технике занятой в уборке, переработке и хранении урожая в период с 2002 по 2016 гг.:

1 – неосторожное обращение с огнем; 2 – поджог; 3 – нарушение эксплуатации электросетей и электрооборудования; 4 – нарушение технологического регламента (процесса); 5 – механическое разрушение узлов, деталей; конструктивный недостаток оборудования

По причине «Неосторожное обращение с огнем» основными источниками загорания являлись непотушенная спичка (27 пожаров) и непотушенная сигарета (папироса и др.) (24 пожара). В восьми случаях источник загорания установлен не был.

По причине «Поджог» основными источниками загорания были непотушенная спичка (13 пожаров) и открытый огонь зажигалки (1 пожар). В четырех случаях источник загорания установлен не был.

По причине «Нарушение правил эксплуатации электросетей и электрооборудования» основными источниками загорания явились короткое замыкание (105 пожаров), переходные сопротивления в сетях (12 пожаров), дуговой разряд (4 пожара), искра от двигателя внутреннего сгорания (3 пожара), перегрузка в электросетях (2 пожара) и ток утечки (1 пожар).

По причине «Нарушение технологического регламента (процесса)» основными источниками загорания были нагретая поверхность

сушилки (24 пожара), нагретый газ сушилок (7 пожаров), воздействие на вещество тепла (20 пожаров), искра от двигателя внутреннего сгорания (6 пожаров).

По причине «Механическое разрушение узлов, деталей» основными источниками зажигания явились искра от двигателя внутреннего сгорания (14 пожаров), воздействие на вещество тепла (6 пожаров), разогрев от трения подшипника (перекос, заклинивание, дефект смазки и др.) (10 пожаров).

По причине «Конструктивный недостаток электрооборудования» основными источниками зажигания явились короткое замыкание (37 пожаров) и искра от двигателя внутреннего сгорания (2 пожара).

В 54,7 % случаев пожаров их виновниками стали рабочие сельскохозяйственных предприятий, в 10,8 % – руководители или другие должностные лица, в 6,3 % – рабочие промышленных предприятий (рис. 1.16) [31].

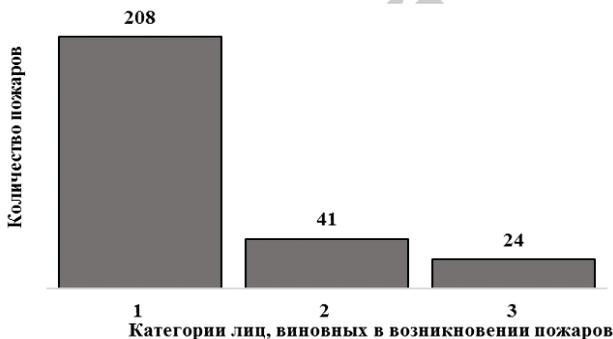


Рис. 1.16. Основные категории лиц, виновных в возникновении пожаров на объектах и технике занятой в уборке, переработке и хранении урожая в период с 2002 по 2016 гг.:

1 – рабочий сельского хозяйства; 2 – руководитель или другое должностное лицо; 3 – рабочий промышленности

Практическая значимость исследуемой проблемы обусловлена следующим. Во всех развитых странах проводится большая профилактическая работа с целью повышения пожарной безопасности проведения технологических процессов сельскохозяйственного производства, эксплуатации промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений. Благодаря этим мероприятиям удается своевременно зафиксировать и предотвратить переход многих

возгораний в пожары. Однако, несмотря на проведение многочисленных противопожарных мероприятий, ежедневно в мире происходят тысячи небольших и десятки крупных пожаров и взрывов, в том числе и от искр системы выпуска выхлопных газов сельскохозяйственной и автотракторной техники, которые становятся причиной экологических катастроф, человеческих жертв и наносят значительный материальный ущерб. Поэтому использование искрогасящих устройств на объектах и технике, занятой в уборке, переработке и хранении урожая, является актуальным.

Литература к главе 1

1. Таубкин, С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С. И. Таубкин. – М. : ВНИИПО, 1999. – 600 с.
2. Abd-Elhady, M. S. Fouling problems in exhaust gas recirculation coolers in the automotive industry / M. S. Abd-Elhady, M. R. Malayeri and H. Miiller-Steinliageir // Proceedings of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning VIII. – 2009. – P. 125–133.
3. Storey, J. M. E. Exhaust gas recirculation cooler fouling in diesel applications: fundamental studies, deposit properties and microstructure / J. M. E. Storey [et. al] // Proceedings of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning. – 2011. – P. 65–73.
4. Таубкин, С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С. И. Таубкин. – М. : ВНИИПО, 1999. – 600 с.
5. Чешко, И. Д. Анализ экспертных версий возникновения пожара : в 2 кн. / И. Д. Чешко, В. Г. Плотников. – Санкт-Петербург : ООО «Типография «Береста», 2010. – Кн. 1. – 708 с.
6. Кольцов, К. С. Самовозгорание твердых веществ и материалов и его профилактика / К. С. Кольцов, Б. Г. Попов. – М. : Химия, 1978. – 160 с.
7. Веселовский, В. С. Самовозгорание промышленных материалов / В. С. Веселовский [и др.]. – М. : Наука, 1964. – 246 с.
8. Мержанов, А. Г. Современное состояние теории теплового взрыва / А. Г. Мержанов, Ф. И. Дубовицкий // Успехи химии. – М., 1966. – Т. 35. – Вып. 4. – С. 656–683.
9. Пузырев, Н. Г. Взрывчатые вещества, пиротехника, средства инициирования в послевоенный период. Люди, наука, производство / Н. Г. Пузырев [и др.]. – М. : ОАО «НитроВзрыв», 2001. – 936 с.

10. Bowes, P. C. Self-heating: evaluating and controlling the hasards / P. C. Bowes. – London, 1984. – 500 p.

11. Барзыкин, В. В. К нестационарной теории теплового взрыва / В. В. Барзыкин [и др.] // Новосибирск, 1964. – № 3. – С. 118–125.

12. Поль, К. Д. Естественно-научная криминалистика (опыт применения научно-технических средств при расследовании отдельных видов преступления) / Пер. с нем. – М. : Юр. лит., 1985. – 304 с.

13. Горст, А. В. Пороха и взрывчатые вещества / А. В. Горст. – М. : Машиностроение, 1974. – 178 с.

14. Киселев, Я. С. Проблемы самовозгорания органических материалов. Сообщение 2. Прогноз и профилактика самовозгорания / Я. С. Киселев, В. Я. Киселев // Пожаровзрывобезопасность. – М., 1992. – № 2. – С. 19–27.

15. Лиогенькая, А. Н. Заключение специалиста № 12 от 20.03.2007 / А. Н. Лиогенькая // СЭУ ФПС ИПЛ МЧС России по Вологодской области. – Вологда, 2007.

16. Правила морской перевозки опасных грузов (Правила МОПОГ) : РД 31.15.01–89 ; в 2 т. – Введ. 15.03.1990. – М. : В/О «Мортехинформреклама», 1990. – Т. 2. – 912 с.

17. Дулов, А. В. Из истории криминалистической экспертизы в России / А. В. Дулов, И. Ф. Крылов. – М., 1960. – 166 с.

18. Чернецов, Д. А. Анализ процесса образования токсичных компонентов в камере сгорания дизельных двигателей / Д. А. Чернецов, В. П. Капустин // Вопросы современной науки и практики / Университет им. В. И. Вернадского. – Тамбов, 2011. – № 1(32). – С. 54–58.

19. Горбунов, В. В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В. В. Горбунов, Н. Н. Патрахальцев. – М. : Изд-во РУДН, 2008. – 214 с.

20. Дмитриевский, А. Токсичность автомобильных двигателей / А. Дмитриевский // Осн. средства. – 2000. – № 2. – С. 89–93.

21. Лиханов, В. А. Снижение токсичности автотракторных дизелей / В. А. Лиханов, А. М. Сайкин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 120 с.

22. Сажевый фильтр с каталитическим покрытием. Устройство и принцип действия : пособие по программе самообразования 336. – Вольфсбург : ФОЛЬКСВАГЕН Груп Рус, 2005. – 36 с.

23. Кульчицкий, А. Р. Токсичность поршневых ДВС. Образование вредных веществ при горении топлив : учеб. пособие /

А. Р. Кульчицкий. – Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 80 с.

24. Воинов, А. Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А. Н. Воинов. – М. : Машиностроение, 1977. – 277 с.

25. Говорущенко, Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н. Я. Говорущенко. – М. : Транспорт, 1990. – 135 с.

26. Гутаревич, Ю. Ф. Охрана окружающей среды от загрязнения выбросами двигателей / Ю. Ф. Гутаревич. – Киев : Урожай. – 2002. – 223 с.

27. Об утверждении правил пожарной безопасности Республики Беларусь. ППБ Беларуси 01–2014 : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 14 марта 2014 г., № 3 : в ред. постановления МЧС Респ. Беларусь от 14.02.2017 г. // Консультант Плюс : Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2016.

28. Об утверждении и введении в действие правил пожарной безопасности Республики Беларусь на железнодорожном транспорте. ППБ 2.10-2001 и норм оснащения подвижного состава первичными средствами пожаротушения : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 17 апр. 2001 г., № 4 : в ред. постановления МЧС Респ. Беларусь от 10.06.2014 г. // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.

29. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Требования пожарной безопасности и методы испытаний : СТБ 1556–2005. – Введ. 01.01.06. – Минск : Госстандарт, 2006. – 12 с.

30. Система стандартов пожарной безопасности. Огнепреградители сухие. Общие технические требования и методы испытаний : СТБ 11.05.05–2009. – Введ. 01.07.09. – Минск : Госстандарт, 2008. – 7 с.

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ИСКРОГАСЯЩИЕ УСТРОЙСТВА И МЕХАНИЗМЫ ИХ ДЕЙСТВИЯ

2.1. Требования, предъявляемые к искрогасителям

Искрогаситель – устройство в виде лабиринта или циклона, устанавливаемое на выхлопных коллекторах различных транспортных средств, препятствующее уносу в атмосферу раскаленных частиц топлива и обеспечивающее улавливание и тушение искр в продуктах горения, которые образуются при работе двигателей внутреннего сгорания.

Функциональное назначение искрогасителя: во-первых, улавливание и охлаждение раскаленных твердых частиц – искр, образующихся при работе двигателей внутреннего сгорания, во-вторых, ликвидация пламени, то есть гомогенного кинетического режима горения паровоздушной смеси.

Искрогаситель, как любое техническое изделие, обязан соответствовать целому ряду технических нормативных правовых актов (ТНПА) и нормам пожарной безопасности (НПБ) Республики Беларусь. На корпусе искрогасителя должны отсутствовать вмятины, царапины и дефекты антикоррозийного покрытия. В технической документации на искрогаситель должно быть указано для какого типа двигателя он может использоваться и при каких условиях (давление, температура и т. д.). Конструктивные элементы искрогасителя должны выдерживать силовые нагрузки, возникающие при резком увеличении оборотов двигателя или при неполном сгорании топлива. Конструкция искрогасителя должна быть такой, чтобы исключать замерзание воды в пламегасящем элементе. Корпус искрогасителя, а также места его крепления к выхлопной трубе обязаны быть герметичными и исключать пропуск искры через зазоры или неплотности. При продолжительной работе в нем не должно быть прогаров, через которые возможен вылет искр или распространение пламени.

В связи с вышеизложенным нами сформулирован ряд требований, предъявляемых к искрогасителям для обеспечения их эффективной и надежной работы:

1. *Искрогасители должны обладать огнепреграждающей и искрогасящей способностью.* При работе искрогасителя необходимо

чтобы происходило уменьшение скорости движения искр, их оседание на искроулавливающем материале или на корпусе искрогасителя. Кроме твердых горящих частиц искрогаситель должен обеспечивать тушение движущихся с газовым потоком горящих жидких частиц (остатков несгоревшего топлива и масла).

2. *Искрогасители должны обеспечивать минимальный перепад давления в системе выпуска.* При увеличении сопротивления движению потокам выхлопных газов происходит неполное очищение цилиндров двигателя от продуктов сгорания топлива, что в свою очередь приводит к падению мощности двигателя и увеличенному расходу топлива.

3. *Искрогаситель должен обладать надежной конструкцией,* что подразумевает его способность на протяжении длительного времени сохранять свои свойства в условиях вибрации, значительных перепадов температур и динамического воздействия газового потока.

Искрогаситель сухого типа представляет собой устройство, устанавливаемое на выхлопных коллекторах различных транспортных средств, силовых агрегатов, и обеспечивающее улавливание и тушение искр в продуктах горения, образующихся при работе топок и двигателей внутреннего сгорания.

Такие искрогасители сухого типа по способу гашения искр классифицируют на динамические и фильтрационные [1].

2.2. Динамические искрогасители

Динамические искрогасители – искрогасители, в которых выхлопные газы очищаются от искр под действием сил тяжести и инерции. Динамические искрогасители подразделяются на искроуловители гравитационного, инерционного и центробежного типа [2]. Ими оборудуют, например, дымовые каналы дымогазовых сушилок, котельных, вагранок, системы выпуска выхлопных газов автомобилей, тракторов, комбайнов, тепловозов и т.п.

Гравитационный искроуловитель (рис. 2.1) работает следующим образом. Искры, взвешенные в потоке дымовых газов, поступают в осадительную камеру, где скорость газового потока за счет увеличения живого сечения резко падает. Подъемные силы, действующие на искру, уменьшаются, а силы тяжести (гравитации)

в этих условиях становятся достаточными для выделения (выпадения) из потока отходящих газов взвешенных механических частиц (искр). Искры оседают на дне камеры, и по мере накопления их удаляют путем периодической очистки.

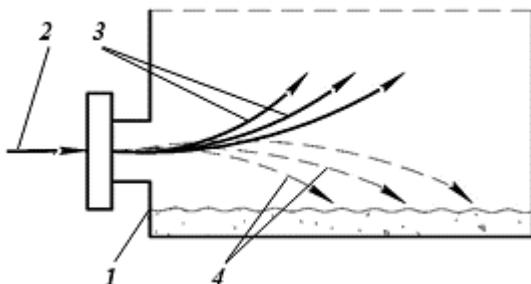


Рис. 2.1. Схема гравитационного искроуловителя:

- 1 – осадительная камера; 2 – смесь потока дымовых газов с искрами;
3 – направление движения дымовых газов; 4 – направление движения искр

Гравитационные искрогасители используются при малых скоростях движения очищаемого газового потока, например, в печных трубах, и поэтому в анализируемой нами литературе (искрогасители для выхлопных систем двигателей внутреннего сгорания) данные о них отсутствуют.

Инерционный искроуловитель (рис. 2.2) одновременно использует не только силы инерции, но и гравитационные силы и эффект охлаждения искр. Газовый поток, проходя через лабиринтную систему перегородок и встречая на своем пути препятствия, вынужден круто изменять направление своего движения. Искры, обладая значительной, по сравнению с газом, массой, по инерции ударяются о перегородки. При этом они теряют скорость и под действием сил тяжести оседают на дно уловителя. Кроме того, при ударах частицы разрушаются (измельчаются), их удельная теплоотдающая поверхность становится больше и за счет этого обеспечивается большая скорость охлаждения (гашения) искр. Принцип гашения искр в инерционном и других типах уловителей имеет важное значение, так как ни один искроуловитель не обеспечивает на 100 % улавливание искр, и поэтому часть из них, наиболее мелких по размерам, вместе с отходящими газами выбрасывается наружу.

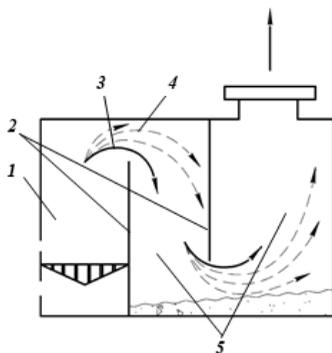


Рис. 2.2. Схема инерционного искроуловителя:
 1 – топка; 2 – перегородка; 3 – направление движения дымовых газов;
 4 – направление движения искр; 5 – искроосадительная камера

Схема примера искрогасителя двигателя внутреннего сгорания инерционного типа представлена на рис. 2.3 [3]. Искрогаситель содержит суживающийся к выходному сечению корпус 1, разделенный перегородками 2, установленными в виде пирамиды, на две камеры 3 и 4, сообщенные соответственно с впускным 5 и выпускным 6 отверстиями. Перегородки снабжены отверстиями 7, образованными односторонней отбортовкой в продолговатых углублениях. Продолговатые углубления выполнены в виде, по меньшей мере, трех чередующихся по обе стороны каждой перегородки одинаковых по длине зон 8, 9 и 10 с разным направлением отбортовки в разных зонах, причем отбортовка первой со стороны входа газа зоны 8 ориентирована к впускному отверстию 5, а последующих зон 9 и 10 – в сторону выпускного отверстия.

Устройство работает следующим образом. Выпускные газы поступают в корпус 1 через впускное отверстие 5, расширяются в камере 3 и, огибая отбортовки перегородок 2, через отверстие 7 направляются во вторую камеру 4 и далее через выпускное отверстие 6 выбрасываются в атмосферу. Наличием односторонних отбортовок, выполненных в виде чередующихся по длине зон-рядов с разным направлением, и взаиморасположением последних с корпусом, имеющим сужение к выходному его сечению, обеспечивает не только отбрасывание искр в застойные зоны и их частичное гашение, но и рациональное использование отбортовки по высоте

и сечениям расширяющейся пирамиды, как с внешней стороны, так и с внутренней, которые, с одной стороны, увеличивают путь искр за счет направления их обратно в расширяющийся газовый поток, то есть искры многократно огибают поверхности отбортовок по высоте и сечениям пирамиды, и, с другой стороны, создается возможность по зонам-рядам изменять параметры (плотность, давление, температуру) газового потока для обмена энергии между самими частицами искр, что способствует более эффективному искрогашению.

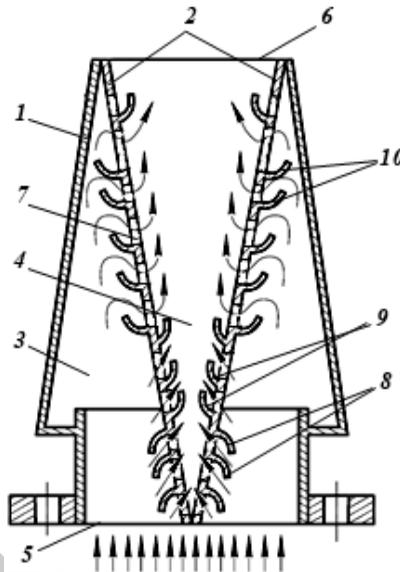


Рис. 2.3. Схема искрогасителя двигателя внутреннего сгорания (SU947448)

Примером искрогасителя инерционного типа также является глушитель-искрогаситель двигателя внутреннего сгорания, схема которого представлена на рис. 2.4 [4]. Глушитель-искрогаситель содержит корпус 1 с впускным 2 и выпускным 3 патрубками, центральную перфорированную трубу 4, установленную в корпусе при помощи поперечных перегородок 5 и 6, образующих с его стенками камеры 7–9. Перегородка 5, установленная со стороны впускного патрубка 2, выполнена с перфорацией 10, расположенной у стенок корпуса 1, а перегородка 6 со стороны выпускного патрубка 3 – сплошной. В центральной трубе размещена заглушка 11, распо-

женная в одной плоскости с перегородкой 5. Перфорация в перегородке 5 выполнена в виде клиновидных отверстий, примыкающих внешней кромкой к цилиндрической стенке корпуса 1. К перегородкам 5 и 6 прикреплены своими торцами дугообразные пластины 12, у каждой из которых один торец совмещен с внутренней кромкой клиновидного отверстия и его длина превышает длину кромки, а другой прикреплен к стыку сплошной перегородки 6 с цилиндрической стенкой корпуса 1.

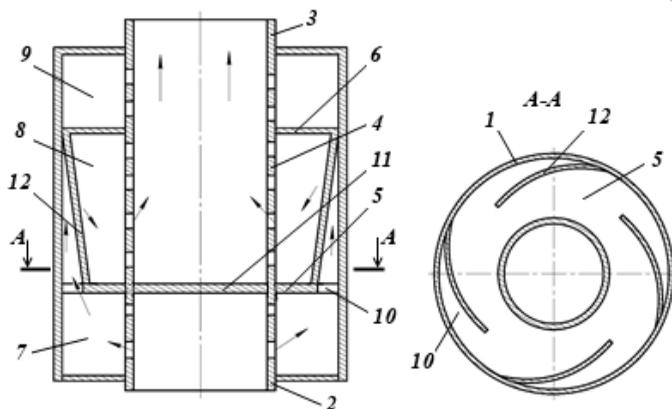


Рис. 2.4. Схема глушителя-искрогасителя двигателя внутреннего сгорания (SU989112)

Глушитель-искрогаситель работает следующим образом. Выпускные газы через впускной патрубок 2 поступают в центральную трубу 4, после чего через перфорацию в трубе проникают в камеру 7, а затем через отверстия в перегородке 5 попадают в пространство камеры 8 между стенкой корпуса 1 и дугообразными пластинами 12. Здесь поток газа прижимается к стенкам корпуса 1 и пластинам 12, а также частично приобретает вращательное движение. Из камеры 8 газы через перфорацию попадают в центральную трубу 4 и выходят в атмосферу через патрубок 3, претерпевая на пути расширение в камере 9. Вследствие того, что дугообразные пластины установлены у стенок глушителя между перегородками с наклоном к стенкам и к перегородкам, а также вследствие установки заглушки в плоскости перегородки с перфорацией, несгоревшие частицы при движении отработавших газов истираются о пластины, отбрасываются на стенки

корпуса глушителя (которые являются наиболее холодными деталями глушителя, так как с внешней стороны охлаждаются окружающим воздухом) и, приобретая вращательное движение, охлаждаются и истираются при движении по нему. В связи с тем, что длина торца пластин превышает длины внутренней кромки клиновидных отверстий, весь поток газа направляется на пластины, что способствует исключению возможности попадания несгоревших частиц в выпускной патрубков, минуя поверхности пластин и стенок корпуса.

Искрогаситель [5] для выпускных систем двигателей внутреннего сгорания также является искрогасителем инерционного типа (рис. 2.5). Искрогаситель состоит из корпуса 1 с контейнером 2 сбора частиц, впускного 3 и выпускного 4 патрубков и поперечной перегородки 5 с наклонными приливами 6 с направляющими втулками 7. Перегородка 5 выполнена с каплеобразными отверстиями 8 с криволинейной осью и делит корпус 1 на входную 9 и выходную 10 камеры.

При работе по впускному патрубку 3 отработавшие газы попадают во входную камеру 9 корпуса 1, далее через направляющие втулки 7 приливов 6 и каплеобразные отверстия 8 газы, получая вращательное движение, попадают в выходную камеру 10, где происходит искрогашение. При этом более тяжелые несгоревшие частицы отбрасываются к стенкам цилиндра и собираются в контейнере 2, а ОГ выбрасываются в атмосферу через выпускной патрубков 4.

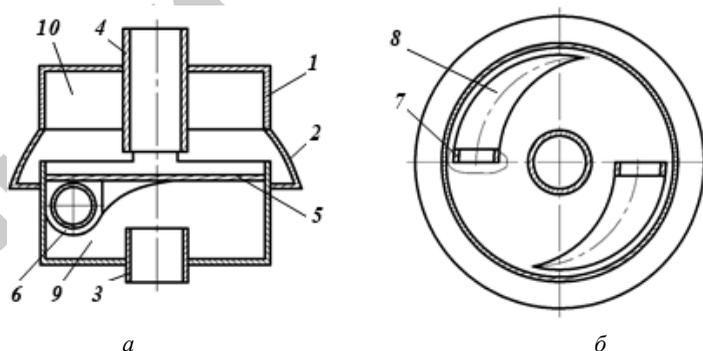


Рис. 2.5. Схема искрогасителя (SU1000565):
а – продольный разрез; б – поперечный разрез

На рис. 2.6 представлена схема еще одного глушителя-искрогасителя для двигателя внутреннего сгорания [6] инерционного типа. Глушитель-искрогаситель содержит корпус 1 с торцовыми стенками 2 и 3 и, по меньшей мере, один впускной 4 и выпускной 5 патрубков, снабженные внутренними перфорированными участками 6 и 7, причем последние расположены параллельно и по разные стороны от оси корпуса 1. Отверстия их перфорации ориентированы в сторону внутренней поверхности корпуса 1 и выполнены различной формы и размера, а свободные концы участков 6 и 7 сопряжены с противоположными торцовыми стенками 3 и 2. Корпус 1 выполнен в форме усеченного конуса, ориентированного большим основанием в сторону выпускного патрубка 5. Внутренний участок 7 выпускного патрубка 5 в поперечном сечении выполнен в форме части круга, сопряженного основанием с поверхностью корпуса 1, а отверстия его перфорации размещены в зоне сопряжения с корпусом 1.

Глушитель-искрогаситель работает следующим образом. Выхлопные газы поступают через впускной патрубок 4 в полость корпуса 1, при этом искры частично дробятся об стенку корпуса 1, а в последнем создается стоячая волна, так как газы в полости патрубка 4, имеющего меньший диаметр, из него выходят не сразу, а задерживаются и создают в ней колебания, которые дополнительно дробят имеющиеся там искры и сглаживают звуковые сопротивления отработанных газов. Колебания происходят с затуханием, кроме того, после остановки двигателя собравшийся в нижней части полости корпуса 1 конденсат под углом выходит наружу по патрубку 5, что обеспечивает отсутствие конденсата в корпусе 1.

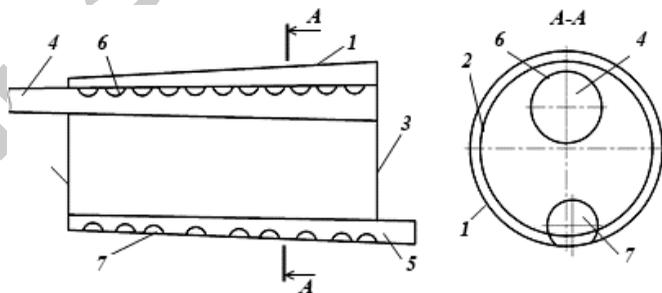


Рис. 2.6. Схема глушителя-искрогасителя двигателя внутреннего сгорания (SU1789739)

Схема глушителя-искрогасителя [7] также инерционного типа представлена на рис. 2.7. Глушитель-искрогаситель содержит корпус 1, к которому с одной стороны закреплен впускной патрубок 2 и с другой стороны – выпускной патрубок 3. Внутри корпуса 1 установлены поперечные перегородки 4.

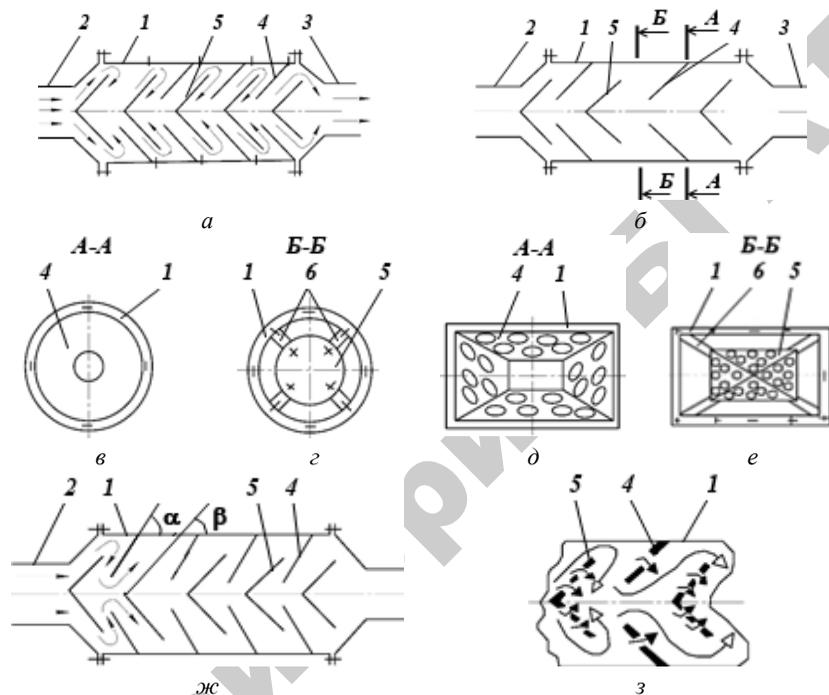


Рис. 2.7. Глушитель-искрогаситель (SU1815349):

- a* – схема с равномерным расположением вдоль корпуса перегородок и рассекателей (со схемой движения газов), продольное сечение;
- б* – схема с переменным расположением вдоль корпуса перегородок и рассекателей;
- в* – схема при цилиндрическом исполнении корпуса (показана одна из перегородок, поперечное сечение А–А);
- г* – то же (показан один из рассекателей, поперечное сечение Б–Б);
- д* – перегородка с отверстиями перфорации, выполненная в форме усеченной пирамиды; *е* – рассекатель с отверстиями перфорации, выполненный в форме пирамиды;
- ж* – схема с различными углами конусности перегородок и рассекателей (α – угол наклона образующей перегородки к продольной оси корпуса, β – угол наклона образующей рассекателя к продольной оси корпуса);
- з* – схема движения газов в глушителе-искрогасителе с перфорированными перегородками и рассекателями

При исполнении корпуса *1* цилиндрическим, перегородки *4* выполнены в форме поверхности усеченного конуса, большое основание которого облегает корпус *1* изнутри.

При исполнении корпуса *1* с поперечным сечением в виде многоугольника, перегородки *4* выполнены в форме боковой поверхности усеченной пирамиды с большим основанием, облегающим стенки корпуса *1* изнутри без зазора. Вершина перегородок *4* направлена в сторону впускного патрубка *2*, а меньшее основание перегородок *4* представляет собой отверстие. Между перегородками *4* расположены рассекатели *5*.

При исполнении корпуса *1* цилиндрической формы рассекатели *5* выполнены в виде конусов и установлены на держателях *6* с образованием кольцевого зазора, то есть диаметр основания конуса рассекателя *5* меньше диаметра большего основания перегородки *4* (или внутреннего диаметра корпуса *1*). В то же время диаметр основания конуса рассекателя *5* больше диаметра меньшего основания перегородки *4*.

При исполнении корпуса *1* с поперечным сечением в виде многоугольника рассекатели *5* выполнены в форме боковой поверхности пирамиды с основанием, меньшим большего основания усеченной пирамиды перегородки *4*. В то же время, основание рассекателя *5* больше меньшего основания перегородки *4*. Таким образом, проекции рассекателя *5* и перегородки *4* в поперечном сечении перекрывают корпус *1*. Целесообразно, чтобы число ребер оснований перегородки *4* и рассекателя *5* было равно числу ребер сечения корпуса *1*, а основания указанных элементов подчинялись геометрической пропорции. Угол конусности перегородок *4* больше угла конусности рассекателей *5*, однако при упрощенном исполнении глушителя-искрогасителя эти углы могут быть равны друг другу, то есть $\alpha = \beta$. Перегородки *4* и рассекатели *5* расположены с чередованием друг с другом вдоль корпуса *1* глушителя-искрогасителя как равномерно, так и неравномерно. В последнем случае шаг расстановки перегородок *4* и рассекателей *5* вдоль корпуса *1* увеличивается в сторону выпускного отверстия глушителя-искрогасителя. Рассекатели *5* могут быть перфорированы. Отверстия перфорации в отдельных случаях могут быть выполнены и на перегородках *4*.

Поток газов с фронтом повышенного давления через впускной патрубок *2* входит в полость корпуса *1*, ударяется о ближайший к входному отверстию рассекатель *5*, рассекается последним и в виде

струй и направляется в стороны к периферийной части корпуса 1. При этом газы расширяются. Ударившись о стоящую вслед за первым рассекателем перегородку 4, газы резко меняют свое направление и направляются перегородкой 4 к центру глушителя-искрогасителя. В центре глушителя-искрогасителя встречные потоки газов соударяются друг с другом, теряют часть своей энергии. Газы после соударения устремляются через отверстие основания перегородки 4 в сторону следующего рассекателя 5, где вновь рассекаются последним и отбрасываются к периферии. Вновь осуществляется расширение газов, и газы резко меняют свое направление при встрече со следующей перегородкой 4. Описанные процессы последовательного расширения газов и столкновения их потоков повторяются до тех пор, пока газы не достигнут выпускного патрубка 3, через который они выбрасываются в атмосферу. Расширению газов повышенного фронта давления способствует также расположение перегородок 4 и рассекателей 5 с переменной частотой вдоль корпуса 1, а именно увеличение шага расстановки перегородок и рассекателей в сторону выпускного патрубка 3. Неравенство углов конусности перегородок и рассекателей 5 также позволяет добиться эффекта расширения газов, так как пространство между смежными перегородками и рассекателями в случае $\alpha > \beta$ представляет собой диффузор. При исполнении перегородок 4 и рассекателей 5 перфорированными незначительная часть газов, кроме того, проникает через отверстия перфорации и соударяется с основным потоком, что дополнительно снижает энергию движущегося потока.

Аналогичные процессы происходят и в варианте исполнения глушителя искрогасителя с сечением корпуса в виде многоугольника. Однако направление газовых потоков в этом случае несколько усложняется за счет наличия ребер и граней пирамидообразных рассекателей 5 и перегородок 4 соответствующей формы. Газ при этом, кроме всего, рассекается указанными ребрами и наблюдается частичное столкновение потоков газа и на поверхности граней. Предложенный глушитель-искрогаситель позволяет обеспечить эффективное гашение искр за счет соударения горящих частиц искр с поверхностями перегородок 4 и рассекателей 5 и за счет резкого изменения направлений потоков газа. Эффективное шумоглушение достигается за счет периодически повторяющихся процессов расширения газа, соударения встречных струй основного потока и соударения поступающего через отверстия перфорации газа с основным потоком. В глушителе-

искрогасителе используются однотипные элементы, что позволяет ускорить внедрение в производство. Кроме технических эффектов достигается социальный эффект, выражающийся в снижении шума и, следовательно, уменьшении воздействия его на человека.

В *центробежных* искроуловителях циклонного типа (рис. 2.8) газовому потоку вместе с искрами на входе через тангенциальный патрубок сообщается вращательное (винтообразное) движение. В результате образующихся центробежных сил частицы искр отбрасываются к стенкам циклона. При этом их скорость резко падает, они измельчаются и, охлаждаясь, гасятся. Под действием гравитационных сил частицы, скользя по стенкам циклона, оседают в нижней его части (в бункере).

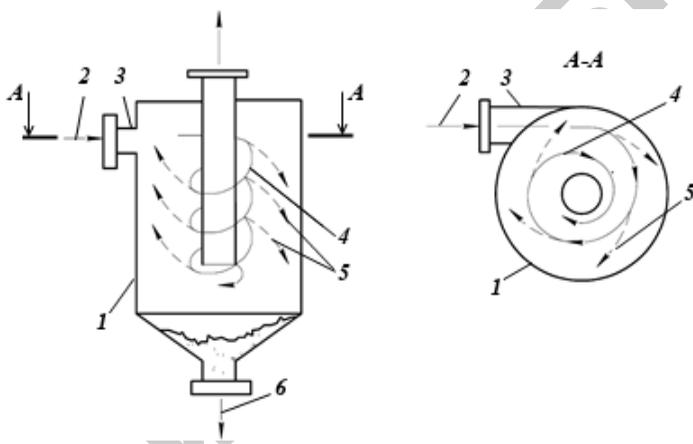


Рис. 2.8. Схема центробежного искроуловителя циклонного типа (SU1815349):

- 1 – корпус искроуловителя; 2 – смесь потока дымовых газов с искрами;
- 3 – тангенциальный патрубок; 4 – направление движения дымовых газов;
- 5 – направление движения искр; 6 – выгрузка охлажденных искр

Искрогаситель для выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания [8] центробежного типа представлен на рис. 2.9. Искрогаситель содержит улитку 1 с тангенциальным впускным 2 и осевым выпускным 3 патрубками. В полости улитки 1 размещен центростремительный направляющий аппарат 4 с изогнутыми лопатками 5. Перегородка 6 установлена у последней направляющей лопатки по ходу движения выхлопных газов, образуя зазор между улиткой и перегородкой. Значение зазора определяется по отношению к диаметру

улитки. Относительное значение зазора у перегородки $\sigma = \Delta/D$, где Δ – зазор между улиткой и перегородкой, мм; D – диаметр улитки, мм. Экспериментально установлено, что относительный зазор между улиткой и перегородкой составляет 0,018–0,035. Наличие перегородки *б*, установленной у последней направляющей лопатки по ходу движения выхлопных газов, препятствует свободному и неограниченному круговому движению выхлопных газов в улитке, что уменьшает гидравлическое сопротивление искрогасителя. Экспериментально установлено, что при уменьшении относительного зазора σ от 0,035 до 0,018 происходит уменьшение гидравлического сопротивления без снижения эффективности искрогашения. При дальнейшем уменьшении относительного зазора σ гидравлическое сопротивление искрогасителя уменьшается, но при этом ухудшается эффект искрогашения.

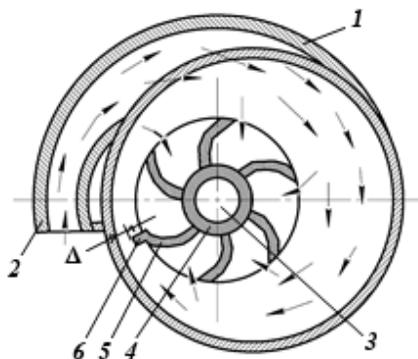


Рис. 2.9. Искрогаситель для выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания (RU 2016213) (поперечный разрез)

Искрогаситель работает следующим образом. Поток выхлопных газов, содержащий раскаленные частицы, входит в улитку *1* через тангенциальный впускной патрубок *2*. Поток газа в улитке *1* приобретает вращательное движение, а раскаленные частицы под действием центробежной силы отбрасываются к ее стенкам. Из улитки *1* выхлопные газы через межлопаточные каналы выбрасываются в атмосферу. Перегородка *б* уменьшает сечение для прохода выхлопных газов у последней лопатки *5*, препятствует свободному и неограниченному круговому движению газов в улитке, что приводит к уменьшению

количества выхлопных газов, поступающих во входную часть искрогасителя, и уменьшает общее гидросопротивление искрогасителя.

На рис. 2.10 представлен искрогаситель-глушитель выхлопных газов [9], который также является центробежным.

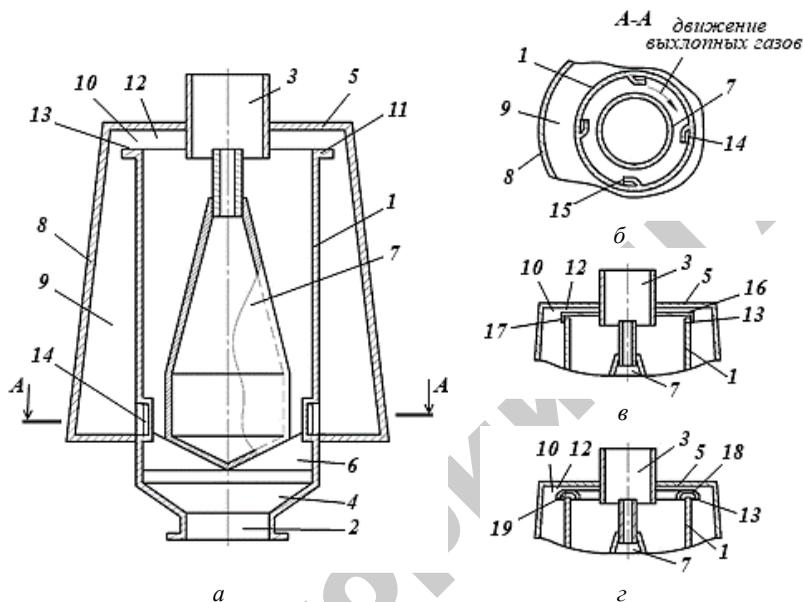


Рис. 2.10. Схема искрогасителя-глушителя выхлопных газов (RU 2189465):

a – продольный разрез; *б* – разрез А-А;

в – диск горловины акустического резонатора, установленный на выходной кромке стенки корпуса в виде отсекающего дефлектора;

z – отсекающий дефлектор, выполненный в виде кольцевого желоба

Искрогаситель-глушитель содержит корпус 1, сообщенные с ним впускной 2 и выпускной 3 патрубки, торцовые входную 4 и выходную 5 стенки, завихритель 6, установленный во входной части корпуса 1, сопряженный с центральным обтекателем 7; образованную оболочкой 8, размещенной вокруг корпуса 1, круговую осадочную камеру 9, выполненную в виде акустического резонатора, горловина 10 которого соединяет полость круговой осадочной камеры 9 с полостью корпуса 1 и образована поверхностью торцевой выходной стенки 5 и поверхностью диска 11, установленного в кольцевом зазоре 12, на выходной кромке 13 стенки корпуса 1. Искрогаситель-глушитель

содержит (рис. 2.10, *а* и 2.10, *б*) перепускные отверстия, расположенные за завихрителем *б* по направлению осевого движения выхлопных газов, выполненные в виде перепускных каналов *14*, которые ориентированы в корпусе *1* тангенциально относительно его стенки и обращены своими выходными сечениями *15* в полость корпуса *1* по ходу кругового движения газового потока. Диск *11* горловины *10* акустического резонатора может быть выполнен и установлен на выходной кромке *13* стенки корпуса *1* в виде отсекающего дефлектора *16* (рис. 2.10, *в*), образующего между своей поверхностью и выходной кромкой *13* стенки корпуса *1* отсекающий канал *17*. Отсекающий дефлектор может быть выполнен в виде кольцевого желоба *18* (рис. 2.10, *з*), при установке которого на выходной кромке *13* стенки корпуса *1* образуется криволинейный отсекающий канал *19*.

Искрогаситель-глушитель работает следующим образом. Искрогаситель-глушитель устанавливается в выпускном тракте двигателя внутреннего сгорания и работает в вертикальном положении, при этом впускной патрубок *2* (рис. 2.10, *а*) расположен внизу. Выхлопные газы через впускной патрубок *2* поступают в корпус *1* и, пройдя через завихритель *б*, приобретают круговую составляющую скорости, после чего по спиральной траектории движутся в корпусе *1* вокруг обтекателя *7* в направлении к кольцевому зазору *12*, горловине *10* и входному сечению выпускного патрубка *3*. При спиральном движении тяжелые твердые и жидкие фракции выхлопных газов отбрасываются центробежными силами к внутренней стенке корпуса *1* и выбрасываются из корпуса *1* через горловину *10* в круговую осадочную камеру *9*, где эти фракции осаждаются под действием силы тяжести, а очищенные газы через выпускной патрубок *3* отводятся из корпуса *1* в атмосферу. Температура среды в зоне осаждения пожароопасных продуктов в круговой осадочной камере *9* значительно ниже, чем в корпусе *1* искрогасителя-глушителя, поэтому уменьшается вероятность возгорания и выноса в окружающую среду этих продуктов. Эффект искроулавливания усиливается при соединении круговой осадочной камеры *9* с полостью корпуса *1* перепускными каналами *14*, размещенными в стенке корпуса *1* за завихрителем *б* по ходу осевого движения газового потока, где действует пониженная величина аэродинамического сопротивления выпуску отработавших газов в корпусе *1*

искрогасителя-глушителя. При таком соединении круговой осадочной камеры 9 и корпуса 1 часть выхлопных газов перетекает из корпуса 1 через горловину 10 в круговую осадочную камеру 9, а затем через перепускные каналы 14 – обратно в корпус 1. Возникающая при этом циркуляция газов снижает пульсации давления и завихрения газового потока в области входного сечения выпускного патрубка 3 и стабилизирует круговое течение газов в этой области, что предотвращает выброс еще не осажденных тяжелых продуктов из корпуса 1 и круговой осадочной камеры 9 в выпускной патрубков 3. Тангенциальное расположение перепускных каналов 14 с обращением их выходных сечений 15 в полость корпуса 1 по ходу кругового движения газового потока обеспечивает эффект эжекции этих каналов, что предотвращает выхревой заброс газов из корпуса 1 через перепускные каналы 14 в круговую камеру 9 и способствует вышеописанной циркуляции. Отвод в круговую осадочную камеру 9 тяжелых фракций, особенно жидкого пожароопасного конденсата, находящегося в круговом движении с газовым потоком в области горловины 10, ускоряется при установке диска 11 на выходной кромке 13 стенки корпуса 1 в виде отсекающего дефлектора 16 с образованием отсекающего канала 17. Отсекающий дефлектор 16 задерживает тяжелые фракции, движущиеся по стенке или вблизи стенки корпуса 1 и по отсекающему каналу 17 направляет их в круговую осадочную камеру 9, что уменьшает возможность попадания указанных фракций на поверхности торцевой выходной стенки 5 и выпускного патрубка 3 и выноса их в окружающую среду. Еще больший эффект улавливания и отвода тяжелых фракций в круговую осадочную камеру 9 достигается при выполнении отсекающего дефлектора в виде кольцевого желоба 18, который под действием осевой составляющей скорости спирального движения выхлопных газов в корпусе 1 принудительно направляет тяжелые фракции с частью газов в круговую осадочную камеру 9 по криволинейному отсекающему каналу 19, не нарушая при этом стабильности кругового течения газового потока в области выпускного патрубка 3. Круговая осадочная камера 9 и горловина 10, выполняя функции отвода и накопления пожароопасных фракций выхлопных газов, служат одновременно для снижения интенсивности шума, издаваемого выпускной системой двигателя внутреннего сгорания, представляя собой акустический резонатор, то есть акустическую

колебательную систему «акустическая масса горловины 10 – акустическая емкость круговой осадочной камеры 9». Наибольшее заглушение в этом резонаторе достигается в области его собственной частоты, которая определяется геометрическими размерами круговой осадочной камеры 9 и горловины 10. Размеры перепускных каналов 14 и отсекающих каналов 17 и 19 подбираются таким образом, чтобы они не оказывали отрицательного влияния на работу круговой осадочной камеры 9 и горловины 10 как акустического резонатора. Снижение интенсивности шума выхлопных газов в искрогасителе-глушителе осуществляется при движении и перемешивании газов на завихрителе 6 и за ним в корпусе 1, а также в круговой осадочной камере 9 с горловиной 10, представляющих собой акустический резонатор. Таким образом, предлагаемое изобретение позволит повысить эффективность искрогашения путем улучшения условий для отвода и осаждения тяжелых фракций из выхлопных газов и увеличить шумоглушение в требуемом диапазоне частот за счет использования круговой осадочной камеры в качестве акустического резонатора.

Вихревой искрогаситель [10] центробежного типа представлен на рис. 2.11. На конце выхлопной трубы двигателя внутреннего сгорания 1 установлены: крыльчатка 2 (с несколькими лопатками, равномерно расположенными по окружности), полый конусообразный корпус 3 и защитный колпак 4. Эти детали стягиваются, уплотняются и закрепляются при помощи стержня 5 и прокладок 6 (например, из асбестового шнура). Выхлопные газы, насыщенные искрами, попадая через выхлопную трубу в крыльчатку, меняют направление потока и, приобретая в ней вращательное движение, направляются к основанию конусообразного корпуса 3. Далее, вследствие вращательного движения потока и наличия конуса, окружная скорость и, следовательно, центробежная сила твердых частиц потока выхлопных газов непрерывно возрастают по мере приближения к выходному отверстию. Движение твердых частиц выхлопных газов происходит по спирали (по стенке образующей конуса), что значительно увеличивает путь перемещения искры при соприкосновении ее с конусом внутренней поверхности. За время прохождения искр в конусе они растираются по его внутренней поверхности, измельчаются, отдавая тепло, и гаснут. Мощность, поглощаемая конусным искрогасителем и выходной трубой,

такая же, как и у других искрогасителей и составляет 300–450 Вт. Вместо крыльчатки может применяться двойной конус, обеспечивающий тангенциальный вброс выхлопных газов в корпус искрогасителя. Предложенный вихревой искрогаситель может устанавливаться на двигатели самоходных машин, как противопожарное средство и как аппарат, позволяющий применить эжекционное устройство в первой ступени воздухоочистителя.

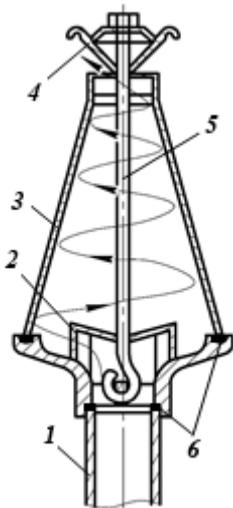


Рис. 2.11. Схема вихревого искрогасителя (SU 102510)

Пример еще одного глушителя-искрогасителя выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания [11] центробежного типа представлен на рис. 2.12. Глушитель-искрогаситель содержит цилиндрический корпус 1, в днищах которого установлены впускной 2 и выпускной 3 патрубки. Внутри корпуса 1 концентрично расположена перфорированная вставка 4, которая разделяет его на две полости: центральную и периферийную (искрогасительную). Центральная полость разделена при помощи перегородки 5 с переходными патрубками 6, размеченными по окружности и имеющими загнутые выходные концы, направленные в одну сторону по касательной к окружности их расположения, на расширительные камеры шумоглушения 7 и 8. Впускной патрубков 2 соединен с газовыхлопным трубопроводом двигателя, а выпускной патрубков 3 – с атмосферой. Искрогасительная полость

(кольцевое пространство между корпусом 1 и вставкой 4) разделена перегородками 9 на искрогасительные отсеки 10, отдельные для нижней и верхней камер шумоглушения 7 и 8 и предназначенные для улавливания негазообразных выбросов и транспортировки их в съемный накопитель 11, выполненный в виде короба, охватывающего впускной патрубок 2. Для соединения отсеков 10 с накопителем 11 в нижнем днище глушителя-искрогасителя имеются специальные окна 12. Нижняя камера 7 и нижние отсеки 10 являются основными глушителями и искроуловительными устройствами и содержат на входе неподвижные направляющие лопатки 13, предназначенные для закручивания входящих в глушитель выхлопных газов. Верхняя камера 8 и верхние отсеки 10 представляют собой дополнительные шумоглушители и искрогасительные устройства, в которых тангенциальное движение газов обеспечивается расположенными касательно к окружности загнутыми выходными концами переходных патрубков 6. Перфорация во вставке 4 выполнена в виде продолговатых углублений 14 с отверстиями 15, ориентированными по направлению закрутки.

Глушитель работает следующим образом. Выхлопные газы, пройдя через впускной патрубок 2 и направляющие лопатки 13, приобретает в камере шумоглушения 7 вращательное движение. Возникающие при этом центробежные силы сепарируют тяжелые несгоревшие частицы топлива и другие негазообразные отбросы, которые, скользя по стенке вставки 4, попадают в углубления 14 и далее через имеющиеся в них отверстия 15 попадают в искрогасительные отсеки 10 и опускаются через окна 12 вниз в накопитель 11. Продукты сгорания, освободившись в камере 7 от основной массы искр (несгоревших частиц топлива), поступают из камеры 7 через патрубки 6 в камеру 8, где снова, получив вращательное движение при выходе через загнутые концы патрубков 6, по тому же принципу, как и в камере 7, очищаются от остатков негазообразных отбросов и через впускной патрубок 3 выходят в атмосферу. Отсепарированные и уловленные в верхних и нижних отсеках искры спускаются вниз и попадают в накопитель 11. Очистка глушителя-искрогасителя практически сводится к съему и очистке накопителей 11 от накопившихся там твердых несгоревших частиц топлива и других негазообразных выбросов. При введении соответствующих устройств, например, заслонок, перекрывающих окна в нижнем днище корпуса, съем и очистка накопителя 11 может

осуществляться и при работающем двигателе. Таким образом, снабжение глушителя лопаточным завихрителем и выполнение перфорации в виде продолговатых углублений с отверстиями, ориентированными по направлению закрутки, позволяет повысить эффективность глушителя-искрогасителя и уменьшить засоряемость перфорированной вставки.

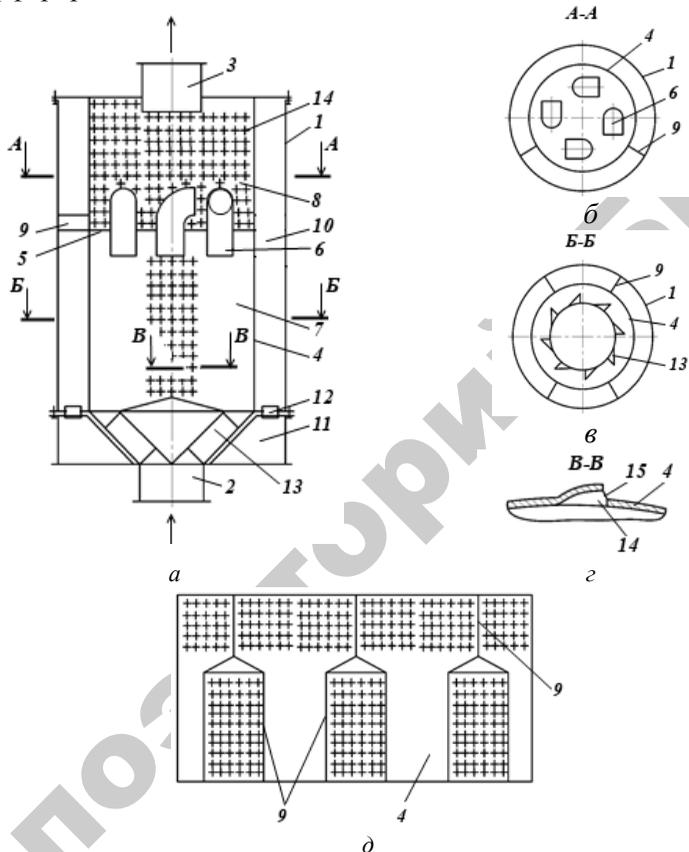


Рис. 2.12. Глушитель-искрогаситель выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания (SU808671):

- a* – продольный разрез; *б* – разрез А-А на рисунке *a*; *в* – разрез Б-Б на рисунке *a*;
- z* – местный разрез В-В стенки цилиндрической части искрогасительных отсеков в месте расположения искроуловительной впадины с отверстием;
- д* – развёртка цилиндрической части расширительных камер с продольными перегородками, образующими отдельные искрогасительные отсеки

Глушитель-искрогаситель [12] центробежного типа представлен на рис. 2.13. Глушитель-искрогаситель содержит цилиндрический корпус 1 с рассекателями 2, впускной патрубком 3 с эжектором 4 и выпускной патрубком 5. Рассекатели 2 выполнены в виде концентрично расположенных в корпусе 1 цилиндрических пластин *a* с прямолинейными направляющими участками *b*. Смесительная камера эжектора 4 выполнена в виде диффузора 6, который подсоединен к корпусу 1 тангенциально. Направляющие участки *b* рассекателей 2 разделяют выходное сечение диффузора 6 на равные части. Кроме того, рассекатели 2 и выходное сечение диффузора 6 могут быть выполнены равными по ширине.

Глушитель-искрогаситель работает следующим образом. Отработавшие газы двигателя внутреннего сгорания через впускной патрубок 3 поступают в газовый эжектор 4. В минимальном сечении смесительной камеры 6 эжектора 4 создается разрежение, и окружающий воздух поступает в эжектор 4. Тангенциальное подсоединение смесительной камеры 6 эжектора 4 обеспечивает закрутку смеси отработавших газов и эжектируемого воздуха в корпусе 1. Направляющие участки *b* рассекателей 2 делят поток газов на равные части, которые затем под действием центробежных сил прижимаются к цилиндрической стенке корпуса 1 и цилиндрическим пластинам *a* рассекателей 2, в результате чего происходит истирание искры. Толщина каждой части потока при этом уменьшается, что приводит к увеличению количества движения каждой части потока газов по сравнению с его среднерасходным значением и, как следствие, к более интенсивному истиранию искр. Конструкция рассекателей 2 обеспечивает также отклонение более тяжелых слоев эжектируемого холодного воздуха к цилиндрической стенке корпуса 1 и цилиндрическим пластинам *a* рассекателей 2, чем достигается совместный эффект истирания и охлаждения искр. Выполнение рассекателей 2 и выходного сечения диффузора 6 равными по ширине позволяет повысить эффективность искрогашения, так как этот процесс происходит по всей ширине потока газов. В атмосферу поток газов выходит через выпускной патрубок 5. Таким образом, выполнение рассекателей в виде концентрично расположенных в корпусе цилиндрических пластин с прямолинейными направляющими участками и обеспечение тангенциального подвода смеси отработавших газов и эжектируемого воздуха в корпусе глушителя-

искрогасителя позволяет повысить эффективность искрогашения и, как следствие, пожаробезопасность силовых установок.

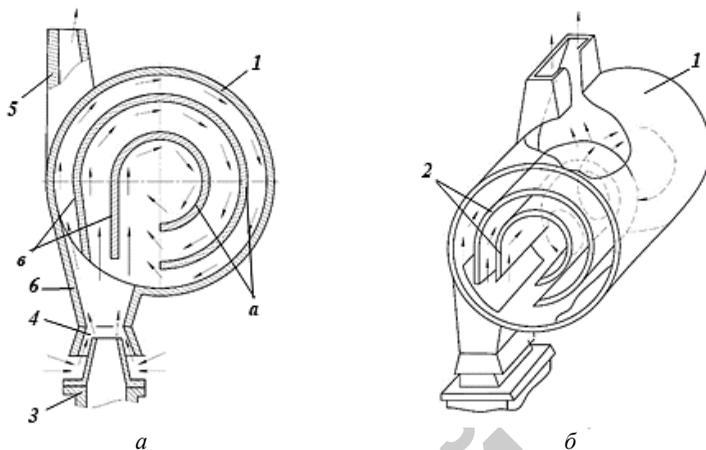


Рис. 2.13. Глушитель-искрогаситель (SU1059232):

а – поперечный разрез;

б – общий вид в аксонометрии с местными разрезами по корпусу

На рис. 2.14 представлено устройство для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания [13], которое, по сути, является искрогасителем центробежного типа. Устройство для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания содержит соосно размещенные камеру 1 вращения, камеру 2 разделения, конфузор 3 и выпускной патрубков 4, а также устройство закручивания потока, например, тангенциально подключенный к камере вращения впускной патрубков в виде эжектора 5, и шлакоборник 6, сообщающийся с камерой вращения через эжектор.

Камера 1 вращения соединена через конфузор 3 с камерой 2 разделения, на боковой стенке которой выполнены равномерно расположенные по окружности сечения отверстия 7 и примыкающие к ним тангенциально по ходу вращения газа патрубки 8, выполненные в виде трубы Вентури и сообщающиеся с полостью шлакоборника 6, который концентрично охватывает обе камеры и выполнен в виде закрытого кожуха, один из торцов которого соединен со шлакоудаляющей трубой 9, а между днищем камеры вращения и этим торцом установлен с зазором между ними

отбойник 10 частиц (газа). Каналы могут быть выполнены на конфузоре 3 (рис. 2.14, *з*), при этом стенки соседних каналов образуют ребра 11, имеющие сечение в виде аэродинамического профиля (рис. 2.14, *д*). Торцы шлакоборника 6, днище камеры 1 вращения и отбойник 10 частиц (газа) могут иметь сферическую поверхность.

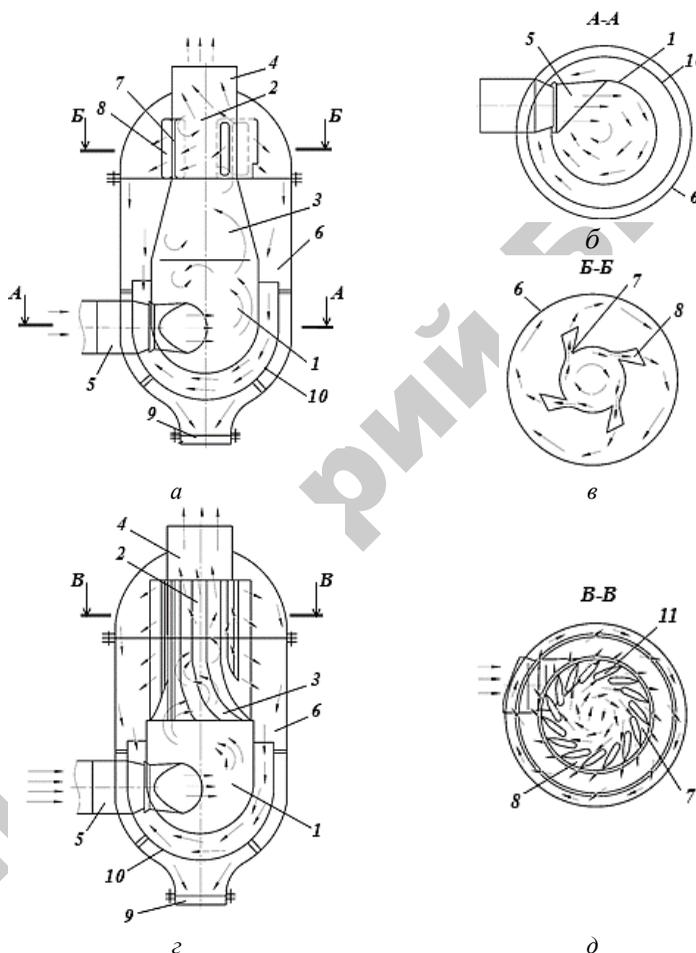


Рис. 2.14. Устройство для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания (SU1101571):

a – схема устройства; *б* – сечение А–А на рисунке *a*; *в* – сечение Б–Б на рисунке *a*; *з* – вариант устройства; *д* – разрез В–В на рисунке *з*

Устройство работает следующим образом. Поток выхлопных газов вместе с искрами и частицами шлака (сажа, отделившиеся от трубопроводов раскаленные куски ржавчины, кокса и т.п.) поступает через впускной патрубок 5 в камеру 1 вращения, где этот поток закручивается и, вращаясь, перемещается к конфузору 3, где закручивается еще больше, перемещаясь к камере 2 разделения. Под действием центробежных сил частицы шлака отбрасываются к стенкам камеры вращения и конфузора 3, перемещаясь по ним, поступают в камеру 2 разделения, где по инерции влетают и отсасываются вместе с газом через отверстия 7 в патрубки 8 и в полость шлакоборника 6. Очищенный поток газа выбрасывается через выпускной патрубок 4 в атмосферу.

Отделенные от потока газа частицы шлака при движении в патрубках 8 и при выходе в полость шлакоборника 6 также получают ускорение и вращение и под действием центробежных сил отбрасываются и прижимаются к стенке шлакоборника и, перемещаясь по ней, поступают через зазор между отбойником 10 и шлакоборником 6 в шлакоудаляющую трубу 9, а газы через зазор между отбойником 10 и днищем камеры 1 вращения отсасываются эжектором 5 и, смешавшись с потоком выхлопных газов из двигателя внутреннего сгорания, вновь поступают в камеру 1 вращения.

Соединение камеры вращения непосредственно через конфузор 3 с камерой 2 разделений позволяет увеличить скорость вращения частиц шлака и действующие на них центробежные силы в камере 2 разделения (что способствует повышению эффективности очистки выхлопных газов), а также снизить аэродинамическое сопротивление. Выполнение на стенке камеры 2 разделения отверстий 7, равномерно расположенных по окружности сечения, и тангенциально примыкающих к ним по ходу вращения потока газа патрубков 8, сообщающихся с полостью шлакоборника 6, позволяет, создавая разрежение в полости шлакоборника с помощью эжектора, производить отсос части газа с частицами с периферии вращающегося потока через эти отверстия и каналы в полость шлакоборника и придать частицам в полости шлакоборника вращательное движение, а выполнение патрубков 8 в виде трубы Вентури позволило увеличить скорость входа газа в эти отверстия до величины круговой скорости потока газа на периферии камеры разделения или даже превысить ее, тем самым расширив зону захвата частиц

на входе в каждое отверстие без дополнительных затрат энергии и повысив эффективность устройства в целом.

Еще один пример глушителя-искрогасителя [14] центробежного типа представлен на рис. 2.15. Глушитель-искрогаситель содержит корпус 1 с торцовыми стенками 2 и 3, вихревой камерой 4, снабженной тангенциальным впускным патрубком 5, конусным соединительным участком 6 с решеткой 7 в его основании, камерой выпуска 8, снабженной выпускным патрубком 9 и разделительной перегородкой 10, отделяющей ее от вихревой камеры 4. Глушитель-искрогаситель работает следующим образом. Поток отработавших газов подается через тангенциальный впускной патрубок 5 в вихревую камеру 4, где закручивается с последующим ускорением при переходе на меньший радиус, и через конусный соединительный участок 6 и решетку 7 попадает в камеру выпуска 8. В камере выпуска 8 поток расширяется и выбрасывается наружу через выпускной патрубок 9. При этом раскаленные частицы, вступая в контакт с поверхностями глушителя-искрогасителя, оседают на них и сгорают. Таким образом, реализация изобретения позволяет повышать эффективность искрогашения.

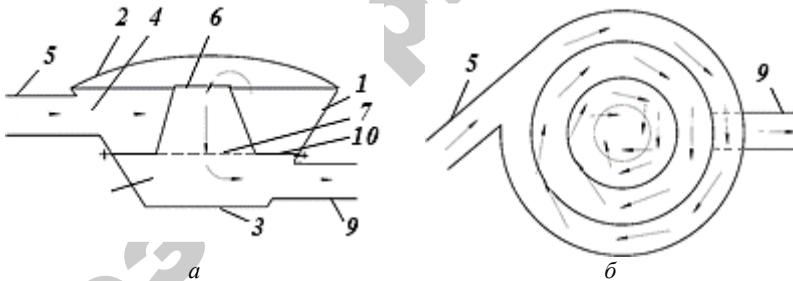


Рис. 2.15. Глушитель-искрогаситель (SU1110913):
а – продольный разрез; б – вид сверху

В работе [15] представлен искрогаситель (рис. 2.16) для двигателей внутреннего сгорания, который также является искрогасителем центробежного типа. Искрогаситель содержит корпус 1 с впускным и выпускным патрубками (не показаны), размещенную в нем поперечную перегородку 2, делящую корпус на входную 3 и выходную 4 камеры, и установленные в перегородке 2 тангенциальные перепускные патрубки 5 и 6, выполненные в виде наклонных

приливов с каплеобразными отверстиями (не показаны) в перегородке 2 и размещенные соответственно во входной 3 и выходной 4 камерах. Перепускные патрубки 5 и 6 имеют противоположное направление их сужения и попарно совмещены максимальными поперечными сечениями, которые располагаются перпендикулярно перегородке, проходят через ее центр и выполнены полукруглыми с диаметром, совмещенным с образующей внутренней поверхности корпуса. Для крепления перегородки 2 к корпусу 1 предусмотрены лапки 7.

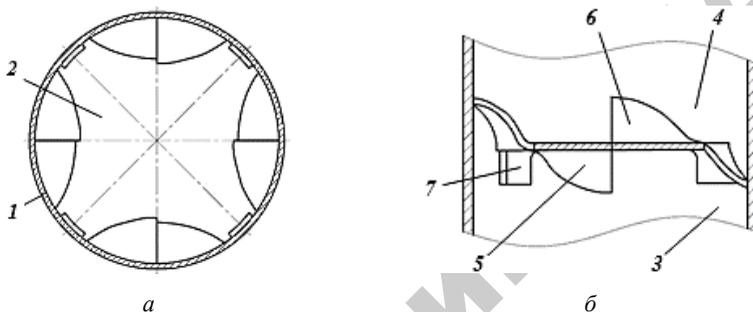


Рис. 2.16. Искрогаситель (SU1174573):
a – поперечный разрез; *б* – продольный разрез

Искрогаситель работает следующим образом. При работе двигателя ОГ, поступающие во входную камеру 3 через перепускные патрубки 5 и 6, приобретая вращательное движение, поступают в выходную камеру 4. В выходной камере 4 происходит отделение тяжелых частиц, содержащихся в отработавших газах. В результате расположения отверстий перепускных патрубков 5 и 6 на максимально возможном удалении от центра поперечной перегородки 2 удается полностью использовать как полезный объем искрогасителя, так и кинематическую энергию газов, что повышает степень очистки газов и позволяет уменьшить габариты искрогасителя. Таким образом, реализация изобретения позволяет повысить эффективность искрогашения путем улучшения использования полезного объема и кинетической энергии газов.

Глушитель-искрогаситель [16] центробежного типа представлен на рис. 2.17. Глушитель-искрогаситель содержит цилиндрический корпус 1 с рассекателями 2, впускной патрубков 3 с эжектором 4.

выпускной тангенциально расположенный патрубок 5, дополнительный выпускной патрубок 6, который подсоединен к корпусу 1 тангенциально против вращения газового потока, и тангенциально подсоединенную к корпусу 1 ловушку 7 твердых частиц. Рассекатели 2 выполнены в виде концентрично расположенных в корпусе 1 цилиндрических оболочек с прямолинейными участками *a*, направляющими поток газов. Смесительная камера эжектора 4 выполнена в виде диффузора 8, который подсоединен к корпусу 1 тангенциально. Направляющие участки *a* рассекателей 2 разделяют выходное сечение диффузора 8 на части, причем дополнительный выпускной патрубок 6 отделен от впускного патрубка 5 перегородкой 9, установленной между внутренней поверхностью корпуса 1 и периферийным рассекателем 2. При этом выпускные кромки *b* рассекателей 2 расположены за входной кромкой патрубка 6, а между выпускными кромками *b* рассекателей 2 и дном корпуса 1 образована тупиковая камера, в которой установлен перфорированный экран 10.

Глушитель-искрогаситель работает следующим образом. Отработавшие газы через впускной патрубок 3 поступают в эжектор 4. В минимальном сечении смесительной камеры 8 эжектора 4 создается разрежение, и окружающий воздух поступает в эжектор 4. Тангенциальное подсоединение смесительной камеры 8 обеспечивает закрутку смеси отработавших газов и эжектируемого воздуха в корпусе 1. Направляющие участки *a* рассекателей 2 делят поток газов на части, которые затем под действием центробежных сил прижимаются к цилиндрической стенке корпуса 1 и цилиндрическим оболочкам рассекателей 2, в результате чего происходит истирание искр. Толщина каждой части потока при этом уменьшается, что приводит к увеличению количества движения каждой части потоков по сравнению с его среднерасходным значением и, как следствие, к более интенсивному истиранию искр.

Конструкция рассекателей 2 обеспечивает также отклонение более тяжелых слоев эжектируемого холодного воздуха к цилиндрической стенке корпуса 1 и к стенкам оболочек рассекателей 2, чем достигается совместный эффект истирания и охлаждения искр. При этом под действием центробежных сил периферийные слои потока, прижимаясь к цилиндрической стенке корпуса 1, позволяют частицам и продуктам неполного сгорания проникнуть в тангенциально подсоединенную к корпусу 1 ловушку 7 твердых частиц, вследствие

чего периферийные слои потока очищаются и отводятся через выпускной патрубок 5 непосредственно в атмосферу, не смешиваясь с центральными слоями потока, так как выпускной патрубок 5 отделен от дополнительного патрубка 6 перегородкой 9. Причем центральные слои потока газа по рассекателям 2 направляются в тупиковую камеру, расположенную между выпускными кромками 6 рассекателей 2 и днищем корпуса 1. В связи с тем, что кромки 6 рассекателей 2 расположены за входной кромкой патрубка 6, а между кромками 6 и днищем корпуса образована тупиковая камера, в которой установлен перфорированный экран 10, за кромками 6 рассекателей 2 для центральных слоев потока газов, закрученных вокруг них, поддерживается вращательное движение газа непосредственно в тупиковой камере, при этом газ прижимается к перфорированному экрану 10 и из центральных слоев потока отделяются искры и продукты неполного сгорания, которые проникают через его перфорацию в полость, расположенную между экраном 10 и днищем корпуса 1. Благодаря тому, что тангенциально корпусу 1 против вращения газового потока установлен дополнительный выпускной патрубок 6, отделенный от выпускного патрубка 5 перегородкой 9, установленной между внутренней поверхностью корпуса 1 и периферийным рассекателем 2, исключается проникновение твердых частиц искр непосредственно через патрубок 6 за счет реверсирования газового потока (изменения его траектории на 180°), так как за входной его кромкой расположены выпускные кромки 6 рассекателей 2, которые препятствуют периферийным слоям центрального потока проникнуть в полость дополнительного выпускного патрубка 6. С помощью перегородки 9 между внутренней поверхностью корпуса 1 и периферийным рассекателем 2 обеспечивается раздельное истечение потоков через выпускные патрубки, вследствие чего исключается смешение периферийного очищенного потока газа с центральными слоями потока. Массы газа, находящиеся в тупиковой цилиндрической камере, вовлекаются во вращение вращающимся потоком газа одной массы относительно другой, отбирая от нее часть энергии (количества движения) при их взаимодействии между собой и тем самым снижая пик пульсации скоростей вращения потоков. В момент наступления фазы отрицательных значений колебаний энергия вращательного движения газа в тупиковой камере передается основному потоку и, таким образом,

происходит сглаживание пульсации скорости потока, то есть тупиковая камера выполняет роль демпфера колебаний вращательных потоков газа и является одновременно ловушкой для удаления из центральных слоев потока частиц неполного сгорания, что повышает эффективность искрогашения и заглушающих свойств на основной частоте.

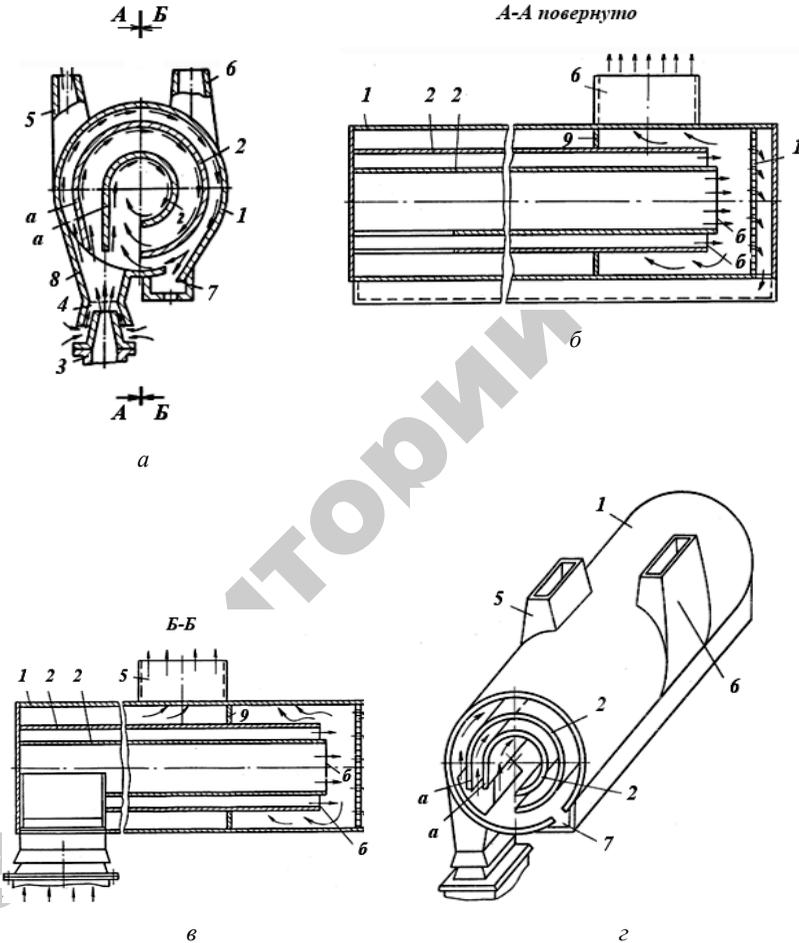


Рис. 2.17. Глушитель-искрогаситель (SU1260541):
a – поперечный разрез; *б* – разрез А–А на рисунке *a*;
в – разрез Б–Б на рисунке *a*; *г* – аксонометрия

За выпускными кромками выпускных патрубков 5 и 6 обеспечивается сдвиг фаз выхлопа при движении газа с разными угловыми скоростями, вследствие чего дополнительно происходит наложение волн, колебания давления ослабевают и результирующая амплитуда равна разности амплитуд складываемых колебаний, то есть в глушителе-искрогасителе достигается высокая реализация сглаживания пульсаций газового потока.

На рис. 2.18 представлен еще один пример искрогасителя для двигателей внутреннего сгорания [17] центробежного типа. Искрогаситель содержит цилиндрический корпус 1, соосные впускной 2 перфорированный и выпускной 3 патрубки, частично размещенные в корпусе 1, и завихритель, выполненный в виде радиально изогнутых трубок 4, установленных в отверстиях перфорации на боковой поверхности впускного патрубка 2, причем диаметр трубок 4 составляет 0,2–0,35 диаметра впускного патрубка 2, а выходной торец последнего снабжен заглушкой 5. Радиально изогнутые трубки 4 могут быть установлены ярусно с радиальным смещением отверстий перфорации патрубка 2 в соседних ярусах, а их количество равно отношению диаметров в квадрате впускного патрубка 2 и трубок 4.

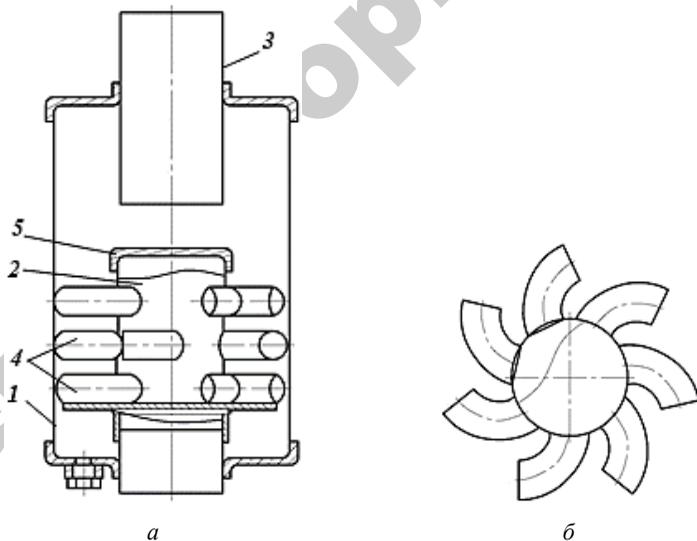


Рис. 2.18. Искрогаситель для двигателя внутреннего сгорания (SU1453067):
 а – продольный разрез; б – поперечный разрез (без корпуса)

Искрогаситель работает следующим образом. Выхлопные газы, содержащие несгоревшие частицы, через впускной патрубок 2 падают в радиально изогнутые трубки 4, где приобретают вращательное по отношению к корпусу 1 направление движения, что обеспечивает отбрасывание несгоревших частиц к периферии и далее под действием силы тяжести падение в зазор, образованный корпусом 1 и патрубком 2, выполняющий роль контейнера. Расположение трубок 4 ярусно с радиальным смещением обеспечивает эффективное искрогашение и шумоглушение при незначительном гидравлическом сопротивлении. Очищенные выхлопные газы затем через выпускной патрубок 3 выбрасываются в атмосферу.

Авторами [18] предложено устройство для очистки выхлопных газов (рис. 2.19), являющееся искрогасителем центробежного типа. Устройство для очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания содержит цилиндрические, соосно размещенные кольцевые камеры вращения 1 и разделения 2, конфузор 3, установленный между ними, выпускной патрубок 4, впускной патрубок 5 с эжектором, пассивная часть 6 которого сообщена с зоной шлакоборника 7, расположенной между камерой 1 вращения и отбойником 8, при этом внешняя стенка 9 камеры 2 разделения снабжена равномерно расположенными по окружности отверстиями 10 с тангенциальными по ходу вращения газа каналами 11, сообщающимися с полостью шлакоборника 7. Внутренняя стенка 12 камеры 2 разделения снабжена равномерно расположенными по окружности отверстиями 13 с примыкающими к ним каналами 14, установленными под углом против направления вращения газа в камере 2 разделения и сообщающимися с полостью выпускного патрубка 4. Впускной патрубок 5 с эжектором подключен к камере 1 вращения соосно через завихритель 15, сообщающий камеру 16 смещения эжектора с полостью камеры 1 вращения. Стенки 9 и 12 камеры 2 разделения с отверстиями 10 и 13 и каналами 11 и 14 могут быть выполнены в виде равномерно расположенных по окружности направляющих ребер 17 и 13 аэродинамического профиля, а выпускной патрубок 4 может быть снабжен решеткой, образованной радиальными ребрами 19, имеющими наклон в сторону, противоположную направлению вращения газа в полости выпускного патрубка 4. В шлакоборнике 7 может быть предусмотрен отстойник для отделения жидкой фазы, поступающей через отверстия в пылесборнике. Все элементы устройства размещены в корпусе 21.

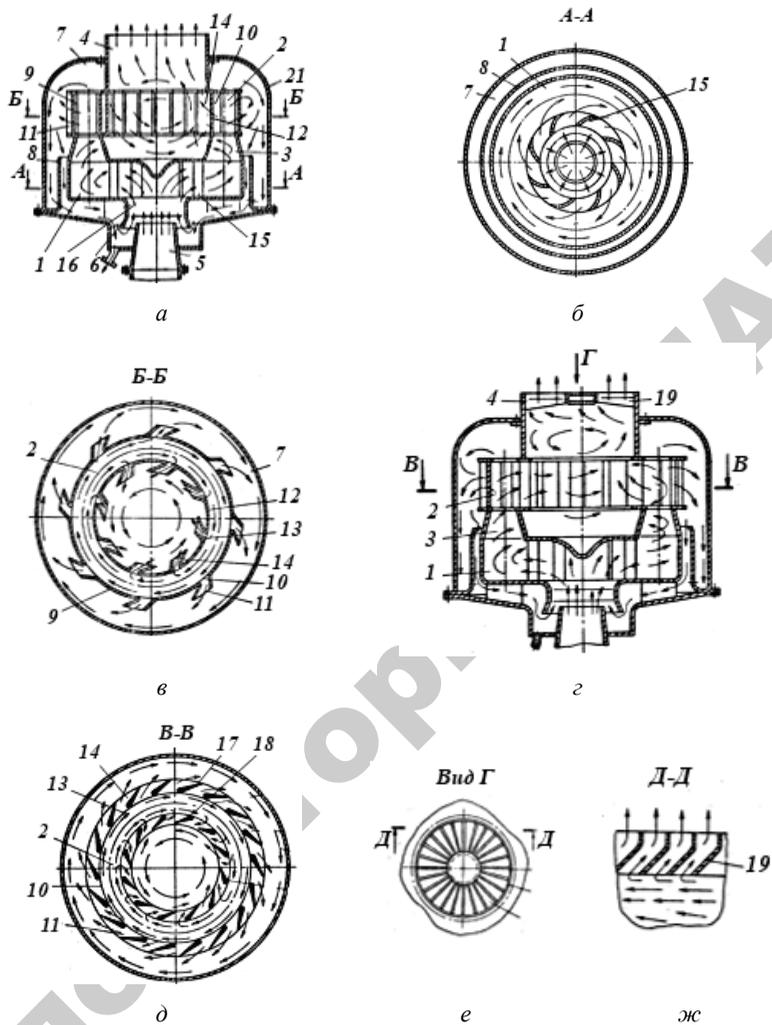


Рис. 2.19. Устройство для очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания (SU1534194):

a – общий вид; *б* – сечение А-А на рисунке *a*; *в* – сечение Б-Б на рисунке *a*;
г – вариант устройства; *д* – сечение В-В на рисунке *г*; *е* – вид Г на рисунке *г*;
ж – сечение Д-Д на рисунке *е*

Устройство работает следующим образом. Поток выхлопных газов вместе с искрами и частицами шлака (сажа, раскаленные куски

кокса и т.п.) поступает через впускной патрубок 5 в лопаточный завихритель 13, в кольцевую камеру 1 вращения, где закручивается и, вращаясь, перемещается к конфузору 3, где закручивается еще больше, перемещаясь к камере 2 разделения. Под действием центробежных сил частицы шлака отбрасываются к стенкам камеры 1 вращения и конфузора 3, перемещаясь по ним, поступают в камеру 2 разделения, где по инерции влетают и отсасываются вместе с частью газа через отверстия 10 и каналы 11 в полость шлакоборника 7. Отделенные от потока газа частицы шлака при движении в каналах 11 и при выходе в полость шлакоборника 7 получают ускорение и вращение, под действием центробежных сил отбрасываются и прижимаются к стенке шлакоборника 7, где дополнительно истираются и измельчаются и, постепенно теряя скорость, опускаются в нижнюю часть шлакоборника 7, а газы через зазор между отбойником 8 и стенкой камеры 1 вращения отсасываются эжектором и, смешиваясь с потоком выхлопных газов из двигателя, поступают в камеру 1 вращения. Из камеры 2 разделения вращающийся поток газа перетекает из своего внутреннего слоя, очищенного от частиц пыли, благодаря действию центробежных сил, в отверстия 13, равномерно расположенные по окружности стенки 12, и, резко изменив направление, поступает в примыкающие к отверстиям каналы 14, а затем в полость выпускного патрубка 4. При этом скорость выхода газа через отверстия 13 меньше скорости вращения газа в камере 2 разделения, что приводит к тому, что частицы продолжают движение и вращение в камере 2 разделения, несмотря на отток газа из нее, медленно приближаясь к периферии под действием центробежных сил. Резкое изменение направления движения газа на входе в каналы 14 отделяет особо крупные, неорганизованные частицы, не поддающиеся действию центробежных сил благодаря силам инерции, а также благодаря отражению их от цилиндрической поверхности стенки 12 или от поверхности стенок каналов 14. Такие частицы после многократного отражения, потеряв скорость, попадают либо в шлакоборник 7 через отверстия 10 и каналы 11, либо выпадают на дно камеры 1 вращения. В полости выпускного патрубка 4 потоки газа, получившие ускорение в каналах 14, закручиваются в обратном направлении и, вращаясь, поднимаются вверх к выходу из выпускного патрубка 4, где, например, обтекая радиальные

ребра 19 решетки, изменяют направление движения еще раз и выходят в атмосферу. Большой объем полости выпускного патрубка 4, малые скорости движения газа, действие сил тяжести способствуют осаждению даже самых мелких частиц в нижнюю часть этой полости, откуда они могут удаляться при систематической разборке устройства продувкой сжатым воздухом или промывкой.

На рис. 2.20 представлен искрогаситель-глушитель выхлопных газов [19] центробежного типа. Искрогаситель-глушитель содержит корпус 1 с входной 2 и выходной 3 торцовыми стенками, впускной 4 и выпускной 5 патрубками и обтекатель 6, установленный в корпусе 1 между патрубками 4 и 5 соосно с выпускным патрубком 5 и образующий с внутренней поверхностью корпуса 1 кольцевой проточный канал 7. Обтекатель 6 выполнен в виде цилиндрическо-конической резонансной камеры 8, сопряженной основанием цилиндра с входной торцовой стенкой 2 и соединенной конической горловиной с полостью выпускного патрубка 5, размещенного частично в корпусе 1, а впускной патрубок 4 выполнен тангенциальным. Коническая горловина может быть снабжена отрезком трубы 9, частично размещенным в последней и полости выпускного патрубка 5. Искрогаситель-глушитель может быть снабжен дефлекторными лопатками 10, установленными на поверхности конической части между цилиндрической частью резонансной камеры 8 и входным срезом выпускного патрубка 5. Дефлекторные лопатки 10 в продольном сечении могут быть выполнены в форме неправильной трапеции. Входная торцовая стенка 2 корпуса 1 может быть выполнена в виде части спирали, а направление закрутки последней и дефлекторных лопаток 10 может быть одинаковым.

Искрогаситель-глушитель работает следующим образом. Выхлопные газы через впускной патрубок 4 поступают в кольцевой проточный канал 7 цилиндрическо-диффузорной формы, где продолжают движение по спирали вокруг обтекателя 6 в направлении к входному срезу выпускного патрубка 5. Тяжелые фракции выхлопных газов отбрасывают при таком движении к стенкам корпуса 1 и по инерции проходят к выхлопной торцовой стенке 3, где удерживаются в состоянии вращения вокруг выпускного патрубка 5, а очистные газы отводятся через патрубок 5 и выбрасываются в окружающую среду.

Резонансная камера 8 обеспечивает снижение интенсивности шума выхлопных газов в диапазоне ее собственных частот и одновременно, являясь аэродинамическим обтекателем 6, снижает аэродинамическое сопротивление искрогасителя-глушителя и повышает эффективность искрогашения. Снижение интенсивности шума на высоких и частично на средних частотах осуществляется при перемешивании выхлопных газов и резких изменениях направления их движения. Дефлекторные лопатки 10 усиливают эффект шумоглушения на высоких и средних частотах за счет дросселирования газов, а входная торцовая стенка 2 в виде спирали обеспечивает более плавный вход газов в проточный кольцевой канал 7 и увеличение осевой составляющей скорости их движения, что снижает аэродинамическое сопротивление и повышает эффективность искрогашения.

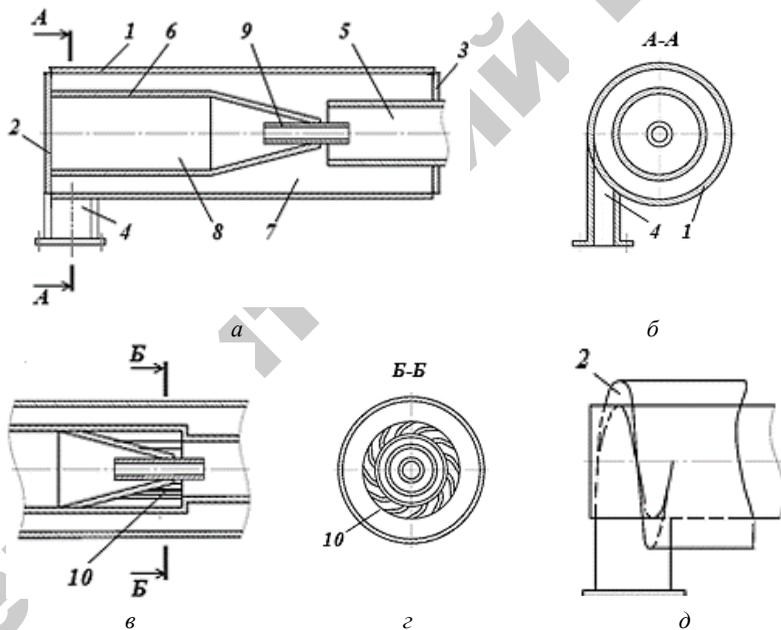


Рис. 2.20. Искрогаситель-глушитель выхлопных газов (SU1643747):

- a* – продольный разрез; *б* – разрез А–А на рисунке *a*;
- в* – частичный продольный разрез (вариант с дефлекторными лопатками);
- г* – разрез Б–Б на рисунке *в*;
- д* – участок в зоне входной торцовой стенки, выполненный в виде части спирали

Несмотря на то, что в настоящее время динамические искрогасители получили наибольшее распространение, они имеют существенные недостатки: эти устройства обладают повышенным гидравлическим сопротивлением и не могут быть использованы для предотвращения образования искр при высоких скоростях движения выхлопных газов.

2.3. Фильтрационные искрогасители

Фильтрационные искрогасители – искрогасители, в которых выхлопные газы очищаются путем фильтрации через пористые перегородки. В отличие от динамических, фильтрационные искрогасители обладают малым гидравлическим сопротивлением. Они характеризуются простотой изготовления и обслуживания. Их основной недостаток заключается в небольшой механической прочности пористой среды при повышенных температурах. В качестве пористых перегородок в фильтрационных искрогасителях могут использоваться металлические сетчатые, волокновые или порошковые проницаемые материалы. Такие материалы достаточно прочны, выдерживают большие ударные нагрузки, имеют сравнительно большую пористость и проницаемость. Спеченные порошковые материалы в настоящее время нашли применение в качестве огнепреградителей (пламегасителей) для локализации пламени как медленногорящих газозвоздушных смесей, так и наиболее быстрогорящих смесей горючих газов и паров в смеси с кислородом при атмосферном и повышенном давлениях. Волокновые материалы нашли применение в качестве сажевых фильтров, устанавливаемых в выхлопных системах ДВС.

Искроуловитель [20] фильтрационного типа представлен на рис. 2.21. Устройство предназначено для задержания и гашения искр, выбрасываемых с отработавшими газами выхлопных труб двигателей тракторов. Искроуловитель насаживается горловиной 1 на конец выхлопной трубы двигателя и закрепляется на нем стяжным хомутом 2. В кожухе 3 искроуловителя установлен конус 4, который направляет выхлопные газы на отражающую поверхность 5, выполненную в виде металлической щетки или проволочной набивки. Поверхность 5 устанавливается у выходного отверстия, вследствие чего газы, отражаясь, выходят в атмосферу, а твердые

искровые частицы улавливаются проволочной набивкой. Особенностью данного устройства и его преимуществом является применение в качестве отражающих поверхностей проволочной набивки, которая не только отражает искры, но и задерживает их.

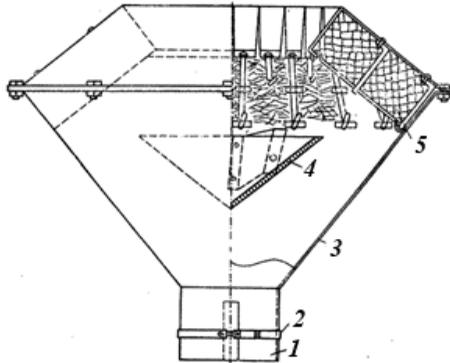


Рис. 2.21. Искроуловитель (SU85074)

Глушитель шума [21], представленный на рис. 2.22, одновременно является искрогасителем фильтрационного типа. Глушитель шума содержит цилиндрический корпус 1 с торцевыми стенками 2. Внутри корпус 1 разделен при помощи поперечных перегородок 3 на камеры. Впускной перфорированный патрубок 4 и выпускные перфорированные патрубки 5, каждый из которых имеет в нижней части торцевую стенку, размещены к оси корпуса 1 под углом $\alpha = 5-15^\circ$. Патрубки 4 и 5 расположены в корпусе 1 параллельно один другому, а оба выпускных патрубка 5 расположены симметрично относительно плоскости, проходящей через ось корпуса 1 и впускного патрубка 4. Внутренняя полость каждой камеры корпуса 1 заполнена наполнителем 6, который выполнен, например, из стальной винтообразной стружки. Глушитель шума работает следующим образом. Отработанные выхлопные газы через впускной перфорированный патрубок 4 поступают во внутренние полости камер корпуса 1, после чего проходят через наполнитель 6 в перфорированные выпускные патрубки 5 и выходят в атмосферу. Предлагаемый глушитель шума обеспечивает полное сгорание несгоревших частиц при движении отработавших газов и снижает шум за счет расширения внутри камер корпуса 1 отработавших

газов. Наличие наполнителя *б* позволяет обеспечить полное гашение искр.

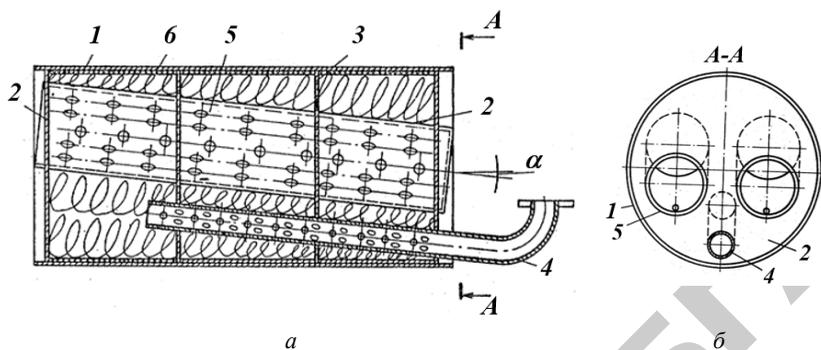


Рис. 2.22. Глушитель (SU1745998):
а – общий вид (разрез); *б* – разрез А–А на рисунке *а*

В работе [22] представлен искрогаситель двигателя внутреннего сгорания фильтрационного типа (рис. 2.23). Искрогаситель содержит корпус *1* с торцовыми стенками *2* и *3*, и с соосными впускным *4* и выпускным *5* патрубками, завихритель *6* и контейнер *7* сбора частиц, причем завихритель *6* и контейнер *7* размещены соответственно между впускным *4* и выпускным *5* патрубками, а выпускной патрубок *5* частично расположен в корпусе *1*. В последнем установлен дефлектор *8* с проходным отверстием и перфорированный отражатель *9*, выполненный в виде усеченного конуса, причем меньшее основание *10* отражателя выполнено сплошным и размещено со стороны впускного патрубка *4*, большее основание сопряжено с торцевой стенкой *3*, а дефлектор *8* размещен между завихрителем *6* и отражателем *9*. Завихритель *6*, дефлектор *8* и отражатель *9* делят корпус *1* на камеры *11–14*. Дефлектор *8* может быть выполнен в виде кольца или в виде усеченного конуса, причем меньшее его основание размещено со стороны впускного патрубка *4*. Диаметр отверстий перфорации отражателя *9* не превышает 3,5 мм, а диаметр проходного отверстия дефлектора *8* не превышает диаметра меньшего основания *10* отражателя.

Искрогаситель работает следующим образом. Отработавшие газы через впускной патрубок *4* поступают в камеру *11*, далее на завихритель *6*, где происходит сепарация искр и сбор их

в контейнер 7. Крупные частицы, не вовлекшиеся во вращательное движение, при выходе из камеры 12 и попадании на дефлектор 8 формируются в вертикальный поток и направляются в основание 10 отражателя 9 для возвращения их в камеру 12. Часть возвратившихся частиц подхватывается потоком и направляется в контейнер 7. Те частицы, которые не возвращаются в камеру 12, задерживаются перфорацией отражателя 9. Очищенные выпускные газы собираются в камере 14 и выбрасываются в атмосферу через патрубок 5.

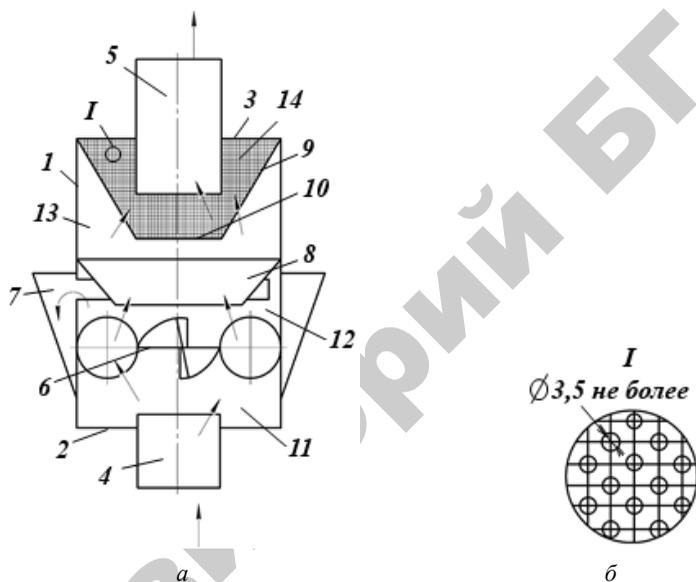


Рис. 2.23. Искрогаситель (SU1332046):
а – продольный разрез; б – узел I на рисунке а

Наибольшее применение в качестве фильтрационных искрогасителей получили искрогасители, в которых пористая перегородка выполнена из сетчатых материалов.

Первые искрогасители фильтрационного типа на основе металлических сеток были запатентованы в США в 19 веке [23–25] и предназначались для улавливания искр и сажи в дымоходах бытовых печей и выхлопных системах паровых машин. Схемы таких устройств показаны на рис. 2.24.

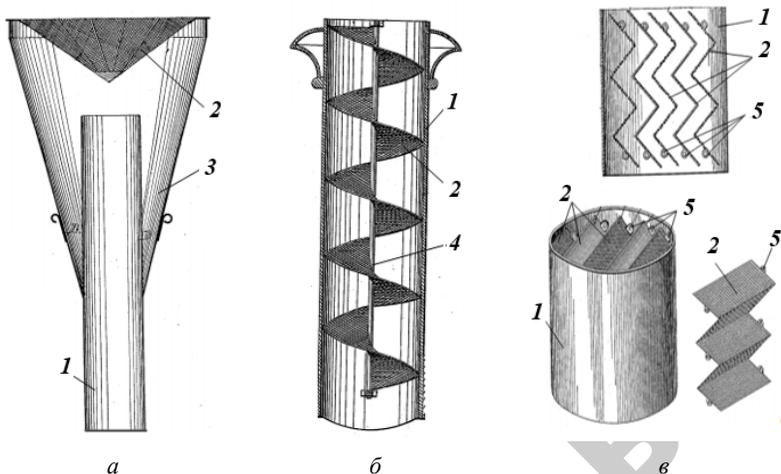


Рис. 2.24. Искрогасители с различной формой сетчатых элементов:
а – конусный (US1037); *б* – спиральный (US488864);
в – гофрированный (US561695);
 1 – дымоход; 2 – сетчатый элемент; 3 – металлический конус;
 4 – металлический стержень; 5 – уши

Конструкция искрогасителя фильтрационного типа [26] представлена на рис. 2.25. Искрогаситель содержит два фильтрационно-искрогасящих элемента: пакет из двух смещенных друг относительно друга колосниковых решеток 3 и 4, закрепленных в корпусе искрогасителя 2 при помощи кронштейнов 6, и плетеной металлической сетки 5.

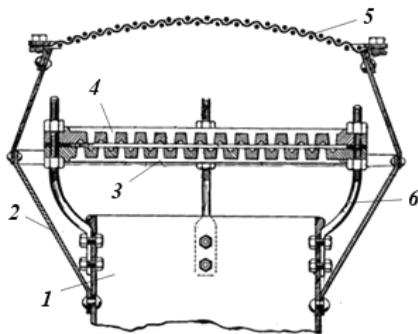


Рис. 2.25. Схема искрогасителя фильтрационного типа (US906083)

Искрогаситель работает следующим образом. Отработанные газы проходят по дымовой трубе 1 и попадают в искрогаситель 2, где искры первоначально задерживаются в каналах колосниковых решеток 3 и 4 или, ударяясь о ребра решеток, гаснут и падают вниз. Более мелкие горящие частицы, прошедшие через колосниковые решетки 3 и 4, задерживаются плетеной металлической сеткой 5.

Как показывает анализ литературных источников (патентная база RU, SU, US), приведенная выше классификация искрогасителей является условной, т.к. существующие искрогасители для выхлопных систем двигателей внутреннего сгорания, в основном, являются комбинированными, сочетая в себе различные механизмы гашения искр.

Например, работа глушителя-искрогасителя выхлопных газов [27] основана на инерционном и центробежном механизмах гашения искр (рис. 2.26). Глушитель-искрогаситель содержит цилиндрическую камеру 1 с плоскими торцевыми стенками 2, внутри которой установлены две незамкнутые цилиндрические оболочки 3 с основанием переменной кривизны, и плоскую наклонную перегородку 4, расположенную между оболочками 3. Оболочка 3 и перегородка 4 своими поверхностями образуют поворотно-поточный направляющий канал 5 и отводящий канал 6, которые сообщаются соответственно с впускным 7 и выпускным 8 патрубками, размещенными соосно на противоположных торцевых стенках 2 камеры 1. Поверхности оболочек 3 и стенки камеры 1 образуют поточный кольцевой канал 9. Выхлопные газы, пройдя через впускной патрубок 7, попадают в направляющий канал 5, который обеспечивает направленный впуск газов в проточный кольцевой канал 9 камеры 1. В проточном канале 9 газовый поток движется по круговой траектории, при этом крупные твердые и капельные частицы под действием центробежных сил отбрасываются к стенкам камеры 1, а газы, содержащие некоторое количество мелких частиц, движутся вблизи поверхности оболочки 3. Очистка газов от этих мелких частиц осуществляется инерционным способом при входе газов в отводящий канал 6 вследствие резкого изменения направления их движения на 180°. При этом частицы под действием инерционных сил продолжают движение по проточному кольцевому каналу 9, а очищенный газ по отводящему каналу 6 поступает в выпускной патрубок 8 и далее – в атмосферу. Частицы, дойдя до среза направляющего канала 5, увлекаются поступающим из него в проточный

канал 9 газовым потоком и вновь совершают движение по круговой траектории этого канала. Так как частицы постоянно находятся в движении в проточном кольцевом канале камеры, они разрушаются при трении о поверхность стенок, их размеры уменьшаются и создаются условия для их полного сгорания. При движении по каналам глушителя-искроуловителя происходят резкие изменения направления движения газов, их интенсивное перемешивание и расширение, что обеспечивает снижение интенсивности шума, создаваемого газовым потоком.

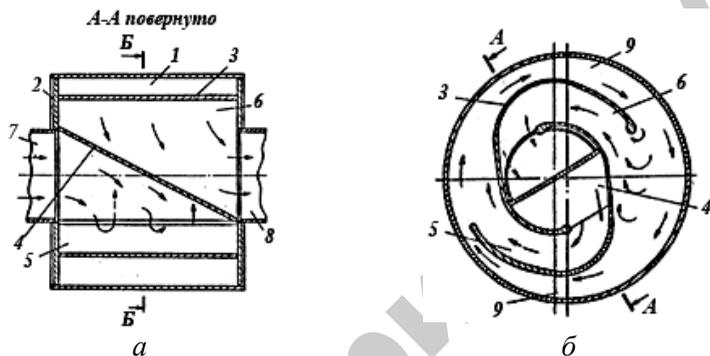


Рис. 2.26. Глушитель-искрогаситель (SU937739):
a – продольный разрез; *б* – поперечный разрез

На рис. 2.27 показана конструкция искрогасителя [28], принцип действия которого основан на инерционном и фильтрационном механизмах гашения искр. Искрогаситель содержит корпус 1, снабженный торцовыми стенками 2 и 3 с соосными впускным 4 и выпускным 5 патрубками, и отражатель 6, выполненный в виде усеченного конуса с заглушенным меньшим основанием. Искрогаситель снабжен сеткой 7 и цилиндром 8. Впускной патрубок 4 частично размещен в корпусе 1 и снабжен по меньшей мере двумя поясами 9 и 10 перфорации, выполненными в зонах торцевой стенки 2 и выходного среза патрубка 4. Сетка 7 выполнена в виде трубы и сопряжена выходным торцом со стороны выпускного патрубка 5 с торцевой стенкой 3 корпуса 1, а входным торцом – с меньшим основанием отражателя 6. Цилиндр 8 установлен коаксиально с охватом впускного патрубка 4 и с образованием кольцевого зазора и сопряжен с внутренней поверхностью отражателя 6 в зоне его большего основания.

Искрогаситель работает следующим образом. Выхлопные газы через впускной патрубок 4 поступают в полость отражателя 6 и, отражаясь от заглушенного меньшего его основания, через зазор между патрубком 4 и цилиндром 8 поступают в полость корпуса 1. При этом часть газов через пояса 9 и 10 перфорации патрубка 4, изменив направление движения на 90° , также поступает в полость корпуса 1, где происходят их взаимное перемешивание, потеря тепловой энергии и искрогашение. Далее газы, пройдя через сетку 7, задерживающую крупные несгоревшие частицы, через выпускной патрубок 5 выбрасываются в атмосферу.

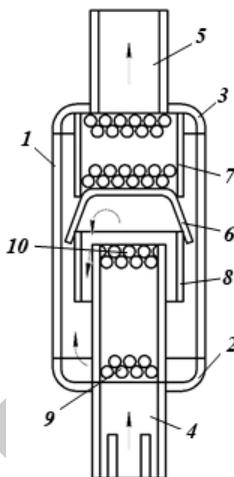


Рис. 2.27. Схема искрогасителя (SU1430567)

Устройством, сочетающим в себе инерционный, центробежный и фильтрационный механизмы гашения искр, является двухконтурный искрогаситель двигателя внутреннего сгорания [30], конструкция которого приведена на рис. 2.28. Искрогаситель ДВС содержит корпус 1 с торцовыми и боковыми стенками 2 и 3 и впускным 4 и выпускным 5 патрубками, завихритель 6, дефлектор 7, размещенные между впускным 4 и выпускным 5 патрубками.

Перфорированный отражатель 8 выполнен в виде усеченного конуса, меньшее основание 9 которого выполнено сплошным и размещено со стороны впускного 4 патрубка, а большее основание 10 сопряжено с торцевой стенкой 2.

В дефлекторе 7 выполнено проходное отверстие 11 и он расположен между отражателем 8 и завихрителем 6. В корпусе 1 искрогасителя, в полости 12, между дефлектором 7 и завихрителем 6 по периметру выполнены жалюзи 13, ориентированные против потока газа, выходящего из завихрителя 6. В корпусе в зоне жалюзи 13 выполняются дренажные отверстия 14, сообщающие полость 12 с контейнером 15 сбора частиц, который в свою очередь выполняется в виде кожуха 16, охватывающего корпус 1 с образованием полости от одной торцевой стенки со стороны впускного патрубка 4 до другой торцевой стенки со стороны выпускного 5 патрубка. На боковых стенках корпуса 1, образующих полость 17, между отражателем 8 и дефлектором 7 выполнены ряды отверстий 18 перфорации, диаметр которых не может превышать 3 мм и которые сообщают контейнер 15 с полостью 17.

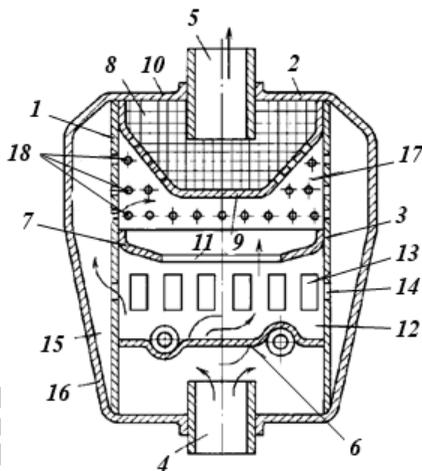


Рис. 2.28. Схема двухконтурный искрогаситель двигателя внутреннего сгорания (RU2010984)

Искрогаситель работает следующим образом. Отработавшие газы через впускной 4 патрубок поступают на завихритель 6, где происходит сепарация искр, которые благодаря жалюзи 13 через дренажные отверстия 14 собираются в контейнере 15. Частицы, не вовлекшиеся во вращательное движение на завихрителе 6, при выходе из полости 12 и попадании на дефлектор 7 формируются

в вертикальный поток и направляются на основание 10 отражателя 8 и возвращаются в полость 12. Часть возвратившихся частиц подхватываются потоком и направляются в контейнер 15. Частицы, которые не возвращаются в полость 12, задерживаются перфорацией отражателя 8. Дополнительно к вертикальному потоку частиц примешивается боковой поток, проходящий между корпусом 1 и кожухом 16, очищаемый также в отверстиях перфорации 18 корпуса 1 полости 17, что в конечном итоге приводит к попаданию очищенных в двух контурах искрогасителя газов в атмосферу.

На рис. 2.29 в качестве примеров представлены фотографии искрогасителей, используемых в автотракторной и сельскохозяйственной технике.

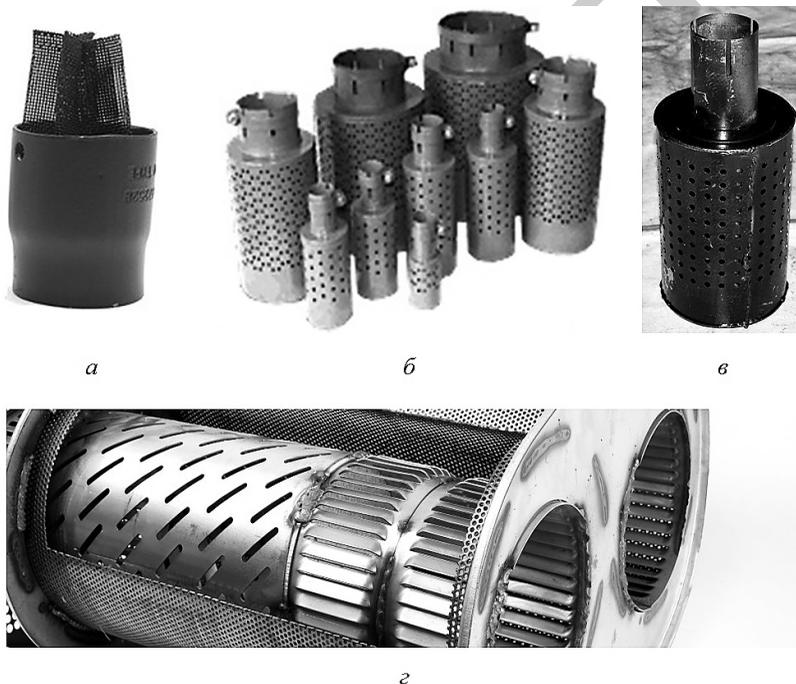


Рис. 2.29. Искрогасители: а – искрогаситель АМ108146 (John Deere); б – искрогасители ИСГ (ТУ 3689-019-10524112-2001, для автотранспорта, въезжающего на территорию района высокой пожароопасности – нефтеперерабатывающие заводы, нефтехранилища и нефтебазы, АЗС), в – искрогаситель 130-1201010-И2 (ЗИЛ 130, ГАЗ 53, ГАЗ 3307); г – искрогаситель Dipeх (Дания)

Литература к главе 2

1. Огнепреградители и искрогасители. Общие технические требования. Методы испытаний : ГОСТ Р 53323–2009. – Введ. 01.01.10. – М. : Стандартинформ, 2009. – 10 с.

2. Клубань, В. С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса / В. С. Клубань, А. П. Петров, В. С. Рябиков – М. : Стойиздат, 1987. – 476 с.

3. А. с. 947448 СССР, МПК F 01 N 3/06. Искрогаситель двигателя внутреннего сгорания / С. Н. Талалаев [и др.] ; заявитель производственное объединение «Ворошиловский тепловозостроительный завод им. Октябрьской революции». – № 3210654/24-06 ; заявл. 28.11.80 ; опубл. 30.07.82, Бюлл. № 28. – С. 162.

4. А. с. 989112 СССР, МПК F01 N 3/06, F01 N1/00. Глушитель-искрогаситель двигателя внутреннего сгорания / В. Ф. Передрий, М. С. Егорычева ; заявители В. Ф. Передрий, М. С. Егорычева. – № 3322292/25-06 ; заявл. 20.07.81 ; опубл. 15.01.83, Бюлл. № 2. – С. 147.

5. А. с. 10000565 СССР, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель / В. Н. Варламов; заявитель Головное специализированное конструкторское бюро по двигателям малого литража Производственного объединения «Владимирский тракторный завод им. А. А. Жданова». – № 2994926/25-06 ; заявл. 15.10.80 ; опубл. 05.03.83, Бюлл. № 8. – С. 113.

6. А. с. 1789739 СССР, МПК F01 N 7/00. Глушитель-искрогаситель двигателя внутреннего сгорания / Л. Д. Дядченко [и др.]. – № 4875002/06 ; заявл. 15.10.90 ; опубл. 23.01.93, Бюлл. № 3. – С. 150.

7. А. с. 1815349 СССР, МПК F01 N 1/08. Глушитель-искрогаситель / Р. Г. Нуруллин. – № 4916126/06 ; заявл. 05.03.91 ; опубл. 15.05.93, Бюлл. № 18. – С. 148.

8. Пат. 2016213 РФ, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель для выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания / А. В. Тютюнов [и др.] ; заявитель Акционерное общество открытого типа «Брянский машиностроительный завод». – № 5061704/06 ; заявл. 04.09.1992 ; опубл. 15.07.1994, Бюлл. № 33. – С. 160.

9. Пат. 2189465 РФ, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель-глушитель выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания / В. Г. Гусаков [и др.]; заявитель Государственное унитарное предприятие Всероссийский научно-исследовательский институт тепловозов и путейых

машин. – № 2001116614/06 ; заявл. 20.06.2001 ; опубл. 20.09.2002, Бюлл. № 38. – С. 130.

10. А.с. 102510 СССР, МПК F01 N 3/06. Вихревой искрогаситель / М. Н. Кубата, И. А. Коваль, В. Ф. Кривокобыльский ; заявитель Министерство автомобильного тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР. – № 28404/451623 ; заявл. 17.03.1955 ; опубл. 10.04.1956. – С. 86.

11. А.с. 808671 СССР, МПК F01 N 1/00, F01 N 3/00. Глушитель-искрогаситель выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания / Г. Н. Быстров. – № 2765704/25-06 ; заявл. 10.05.79 ; опубл. 28.02.81, Бюлл. № 8. – С. 99.

12. А.с. 1059232 СССР, МПК F01 N 3/06, F01 N 1/08. Глушитель-искрогаситель / В. А. Ренов [и др.] ; заявитель Производственное объединение «Ворошиловградский тепловозостроительный завод им. Октябрьской революции». – № 3479268/25-06 ; заявл. 06.08.82 ; опубл. 07.12.83, Бюлл. № 45. – С. 136.

13. А.с. 1101571 СССР, МПК F01 N 3/06. Устройство для очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания / С. П. Винник [и др.] ; заявитель Производственное объединение «Ворошиловградский тепловозостроительный завод им. Октябрьской революции». – № 3501154/25-06 ; заявл. 15.10.82 ; опубл. 07.07.84, Бюлл. № 25. – С. 83.

14. А.с. 1110913 СССР, МПК F01 N 1/08. Глушитель-искрогаситель для двигателя внутреннего сгорания / П. Д. Синица. – № 3602049/25-06 ; заявл. 03.06.83 ; опубл. 30.08.84, Бюлл. № 32. – С. 97.

15. А.с. 1174573 СССР, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель / В. Н. Варламов ; заявитель Головное специализированное конструкторское бюро по двигателям малого литража Производственного объединения «Владимирский тракторный завод им. А. А. Жданова». – № 3657516/25-06 ; заявл. 31.10.83 ; опубл. 23.08.85, Бюлл. № 31. – С. 127–128.

16. А.с. 1260541 СССР, МПК F01 N 3/06, 1/08. Глушитель-искрогаситель / С. Н. Талалаев, Г. С. Носко ; заявитель производственное объединение «Ворошиловградский тепловозостроительный завод им. Октябрьской революции». – № 3844946/25-06 ; заявл. 21.01.85 ; опубл. 30.09.86, Бюлл. № 36. – С. 121.

17. А.с. 1453067 СССР, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель для двигателя внутреннего сгорания / Т. И. Михайленко, Т. А. КапрANOVA ; заявитель производственное объединение «Владимирский тракторный завод им. А. А. Жданова». – № 4228729/25-06 ; заявл. 26.01.87 ; опубл. 23.01.89, Бюлл. № 3. – С. 130–131.

18. А.с. 1534194 СССР, МПК F01 N 3/06. Устройство для очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания / С. П. Винник [и др.] ; заявитель производственное объединение «Ворошиловградский тепловозостроительный завод им. Октябрьской революции». – № 4395299/25-06 ; заявл. 17.03.88 ; опубл. 07.01.90, Бюлл. № 1. – С. 130–131.

19. А.с. 1643747 СССР, МПК F01 N 1/02, 3/06. Искрогаситель-глушитель выхлопных газов / В. Г. Гусаков [и др.] ; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский тепловозный институт. – № 4679415/06 ; заявл. 18.04.89 ; опубл. 23.04.91, Бюлл. № 15. – С. 119–120.

20. А.с. 85074 СССР, МПК F01 N 3/06. Искроуловитель / Я. И. Квитко ; заявитель Министерство сельского хозяйства СССР. – № 357365 ; заявл. 5.06.47 ; опубл. 01.01.50. – С. 80.

21. А.с. 1745998 СССР, МПК F01 N 3/06. Глушитель шума / А. Л. Репин, А. В. Ралдугин. – № 4843314/06 ; заявл. 27.06.90 ; опубл. 07.07.92, Бюлл. № 25. – С. 130.

22. А.с. 1332046 СССР, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель двигателя внутреннего сгорания / В. Н. Варламов ; заявитель филиал Научно-исследовательского и конструкторско-технологического института тракторных и комбайновых двигателей. – № 4059965/25-06 ; заявл. 18.02.86 ; опубл. 23.08.87, Бюлл. № 31. – С. 131–132.

23. Patent US1037A. Improved spark-arrester to be used in locomotive and other steam-engines / В. Briscoe. – № 1037 ; patented Dec. 15, 1838. – United States Patent office.

24. Patent US488864A. Spark-arrester / J. E. Zimmerman. – № 488864 ; patented Dec. 27, 1892. – United States Patent office.

25. Patent US561695A. Spark-arrester / J. T. Bright. – № 561695 ; patented June 9, 1896. – United States Patent office.

26. Patent US906083A. Spark-arrester / O. N. Terry. – № 906083 ; patented Dec. 8, 1908. – United States Patent office.

27. А.с. 939739 СССР, МПК F01 N1/00, F01 N 3/06. Глушитель-искрогаситель выхлопных газов / В. Г. Гусаков, А. В. Гудков,

Б. В. Нагорный. – № 2988617/25-06 ; заявл. 03.10.80 ; опубл. 23.06.82, Бюлл. № 28. – С. 163.

28. А.с. 1430567 СССР, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель / Н. М. Пустобаев, В. М. Нарушев. – № 4191290/25-06 ; заявл. 05.12.86 ; опубл. 15.10.88, Бюлл. № 38. – С 138–131.

29. А.с. 1701952 А1 СССР, МПК F01 N 3/06. Искрогаситель для двигателя внутреннего сгорания / С. Д. Ярош [и др.] ; заявитель производственное объединение «Минский тракторный завод им. В. И. Ленина». – № 4726764/06 ; заявл. 11.05.89 ; опубл. 30.12.91, Бюлл. № 48. – С. 126.

30. Пат. 2010984 РФ, МПК F01 N 3/06. Двухконтурный искрогаситель двигателя внутреннего сгорания / А. В. Кузьмичев [и др.] ; заявитель А. В. Кузьмичев [и др.]. – № 92002110/06 ; заявл. 26.10.1992 ; опубл. 15.04.1994, Бюлл. 28. – С. 128.

3. РАЗРАБОТКА СЕТЧАТОГО ИСКРОГАСИТЕЛЯ

3.1. Общие сведения о сетчатых материалах и их свойствах

Сетчатые материалы на основе металлических проволочных сеток широко применяются для очистки различных жидкостей и газов. Они имеют ряд преимуществ над другими фильтрующими материалами, обусловленных сочетанием высокой прочности и проницаемости, стабильностью пористой структуры, способностью к многократной и практически неограниченной регенерации [1].

В соответствии с [2] металлические проволочные сетки классифицируют по следующим признакам: способу изготовления, форме ячеек, размеру ячеек, величине открытого сечения сеток, виду и состоянию металлов и сплавов применяемой проволоки, форме поперечного сечения и виду поверхности проволоки, виду поверхности сетчатого полотна.

По способу изготовления сетки подразделяются (рис. 3.1):

– *сетка тканая*, образованная перекрестным переплетением проволок основы (проволок, проходящих вдоль полотна сетки) с проволоками утка (проволоками, проходящими поперек полотна сетки) (рис. 3.1, а);

– *сетка плетеная*, состоящая из круглых или плоских спиралей, образованная вплетением последующей спирали в предыдущую (рис. 3.1, б);

– *сетка крученая*, образованная путем попеременного скручивания каждой проволоки с одной из рядом расположенных (рис. 3.1, в);

– *сетка щелевая* из колосников фасонного сечения, собранная из отдельных проволочных колосников фасонного сечения, скрепленных между собой соединительными шпильками, расположенными на определенном расстоянии друг от друга (рис. 3.1, г);

– *сетка сварная*, образованная из проволок, расположенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях и сваренных в местах их пересечения (рис. 3.1, д);

– *сетка сборная* из предварительно деформированной проволоки, образованная перекрестным переплетением гладких или предварительно

деформированных проволок основы с предварительно деформированными проволоками утка (рис. 3.1, е).

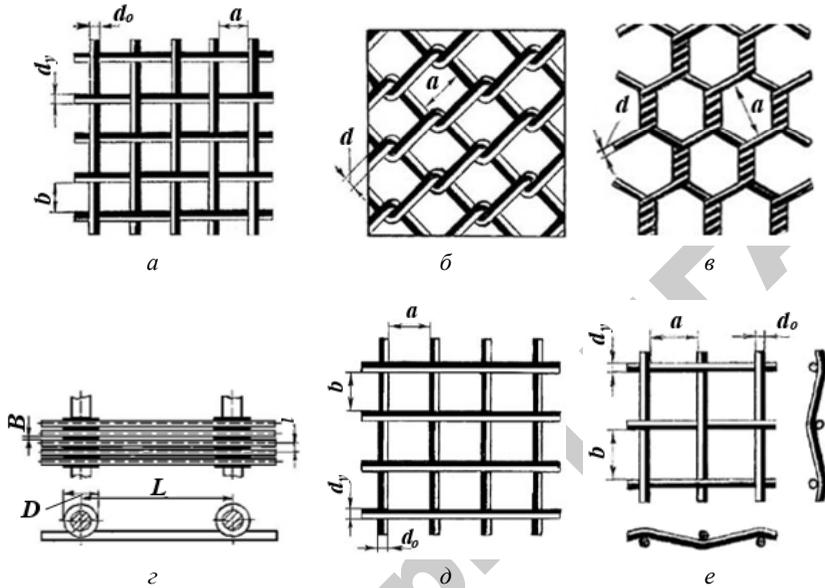


Рис. 3.1. Виды сеток, полученных различными способами

По форме ячеек в свету сетки подразделяются на сетки с квадратными, прямоугольными, ромбическими, шестигранными, трапециевидными и нулевыми ячейками.

По размерам ячеек в свету сетки подразделяют на наимельчайшую – площадь ячейки в свету до $0,0025 \text{ мм}^2$, мельчайшую – от $0,025$ до $0,25 \text{ мм}^2$, мелкую – от $0,25$ до 1 мм^2 , среднюю – от 1 до 25 мм^2 , крупную – от 25 до 625 мм^2 , особо крупную – более 625 мм^2 .

По открытому (живому) сечению сетки различают с малым открытым сечением – до 25% , с нормальным открытым сечением – от 25 до 50% , с большим открытым сечением – от 50 до 75% , с особо большим открытым сечением – свыше 75% всей площади сетки. Открытое сечение сетки (поверхностная пористость) определяется отношением площади ячеек в свету ко всей площади сетки, выраженном в процентах. Формулы для определения этой характеристики для сеток, полученных различными способами, представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Формулы для расчета открытого сечения сеток, изготовленных различными способами

Способ изготовления	Выражение	Обозначения
Сетки тканые, сварные, сборные	$M = \frac{ab 100}{(a + d_o)(b + d_y)}$	a и b – соответственно размеры между проволоками основы и утка; d_o и d_y – соответственно диаметры проволоки основы и утка;
Сетка плетенная	$M = \frac{a^2 100}{(a + d_o)^2} \sin \alpha$	α – угол ячейки ромба;
Сетка крученая	$M = \frac{1,73a^2 100}{1,73a^2 + 2ad_o}$	B – ширина щели;
Сетка щелевая	$M = \frac{B(L - D) 100}{Ll}$	L – расстояние между осями соединительных шпилек; D – внешний диаметр петли; l – расстояние между осями проволочных колосников

Материалом проволоки сетки может быть углеродистая или высоколегированная сталь, цветные металлы и сплавы.

По состоянию металла сетки подразделяются на изготовленные из нагартованной или отожженной проволоки.

В зависимости от формы поперечного сечения проволоки, используемой при изготовлении, сетки могут быть из круглой, квадратной, трапециевидной, Т-образной, плоской и проволоки периодического профиля.

По виду поверхности проволоки сетки могут быть: изготовленные из светлой, темной, травленой, оцинкованной, луженой стальной проволоки или из проволоки, покрытой пластиком.

По виду поверхности полотна сетки подразделяются на непокрытые и покрытые в полотне (оцинкованные, луженые, окрашенные, покрытые пластиком).

Для очистки жидкостей и газов применяют в основном тканые сетки из проволоки круглого сечения с квадратными, прямоугольными или нулевыми ячейками, имеющие простое (полотняное) или саржевое переплетения, так как они обладают достаточно низким удельным сопротивлением (табл. 3.2) [3]. В табл. 3.3 приведены основные параметры металлических сеток, применяемых для очистки жидкостей и газов [2].

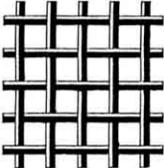
Таблица 3.2

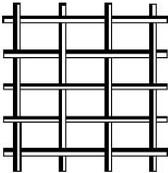
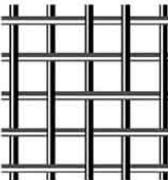
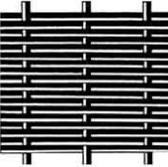
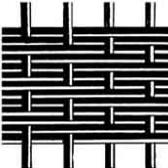
Удельное сопротивление и тонкость отсева различных материалов

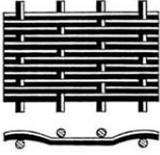
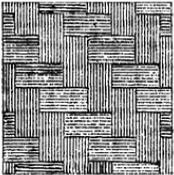
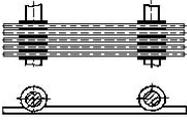
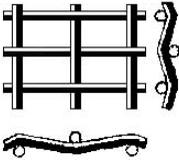
Наименование фильтрующего материала	Удельное сопротивление, $r \cdot 10^3$	Тонкость отсева, мкм
Сетка фильтровая саржевого переплетения		
10/100	$12,2 \cdot 10^{-2}$	220
14/100	$18,2 \cdot 10^{-2}$	186
16/130	$24,4 \cdot 10^{-2}$	163
20/160	$32,4 \cdot 10^{-2}$	124
24/240	$122,5 \cdot 10^{-2}$	72
Сетка тканая с квадратной ячейкой		
0315	$3,65 \cdot 10^{-2}$	315
0200	$9,25 \cdot 10^{-2}$	200
0100	$18,8 \cdot 10^{-2}$	100
0063	$26,9 \cdot 10^{-2}$	63
0040	$36 \cdot 10^{-2}$	40

Таблица 3.3

Характеристики сеток, используемых для очистки жидкостей и газов

Наименование сетки	Внешний вид	Конструктивные особенности	Размерные характеристики
Сетки тканые			
Сетка тканая полотняного переплетения с квадратными ячейками		Переплетение проволоки основы и утка через одну проволоку	Размеры стороны ячейки 0,04–20,0 мм; диаметр проволоки 0,03–3,0 мм

Наименование сетки	Внешний вид	Конструктивные особенности	Размерные характеристики
Сетка тканая полотняного переплетения с прямоугольными ячейками		Переплетение проволок основы и утка через одну проволоку. Диаметр проволоки утка больше диаметра проволоки основы или равен ему	Размеры стороны ячейки между проволоками основы 0,14–3,0 мм и утка 0,16–6,0 мм; диаметры проволоки основы 0,1–0,7 мм и утка 0,1–1,0 мм
Сетка тканая саржевого переплетения с квадратными ячейками		Переплетение проволок основы и утка через две проволоки. Диаметр проволоки утка больше диаметра проволоки основы или равен ему	Размер стороны ячейки 0,04–1,0 мм; диаметры проволок основы и утка 0,03–0,55 мм
Сетка тканая полотняного переплетения фильтровая (с нулевыми ячейками)		Проволоки основы переплетаются через одну с проволоками утка вплотную	Число проволок на 1 дм: основы 24–200, утка 870–2260; диаметры проволоки основы 0,18–0,7 мм и утка 0,12–0,4 мм
Сетка тканая саржевого переплетения односторонняя фильтровая (с нулевыми ячейками)		Проволоки основы переплетаются через две с проволоками утка вплотную	Число проволок на 1 дм: основы 24–685, утка 290–6250; диаметры проволоки основы 0,05–1,2 мм и утка 0,032–0,7 мм

Наименование сетки	Внешний вид	Конструктивные особенности	Размерные характеристики
Сетка тканая саржевого переплетения двухсторонняя фильтровая (с нулевыми ячейками)		Проволоки основы переплетаются поочередно через две с проволоками утка вплотную	Число проволок на 1 дм: основы 24–200; утка 260–1100; диаметры проволоки основы 0,2–1,0 мм и утка 0,14–0,6 мм
Сетка тканая саржевого переплетения порядковая фильтровая (мультиплекс)		Пряди основы переплетаются с прядями утка вплотную	Число прядей основы и утка на 1 дм 140, проволок в пряди основы 5; утка 8; диаметры проволоки прядей основы 0,18 мм и утка 0,12 мм
Сетка щелевая из колосников фасонного сечения			
Сетка щелевая из колосников фасонного сечения		Сетки собраны из отдельных колосников фасонного сечения	Размер щели 0,09–20,0 мм; диаметр проволок заготовки 2,2–7,5 мм
Сетки сборные из предварительно деформированной проволоки			
Сетка частично рифленая с прямоугольными ячейками		Проволоки основы переплетаются с проволоками утка, имеющими изгибы в местах переплетения	Размеры стороны ячейки между проволоками основы 0,7–2,5 мм и утка 2,3–50,0 мм; диаметр проволоки 0,5–1,8 мм

Рассмотрим сетки полотняного переплетения с квадратной ячейкой и фильтровые сетки. Характеристики, описывающие

внутреннее строение сеток, относится к структурным: пористость, скавжность, средний размер пор, характер распределения пор, форма пор и др. [4].

На рис. 3.2 и 3.3 приведены конструкции сеток с квадратными ячейками и фильтровых сеток полотняного переплетения соответственно.

Размерный ряд сеток с квадратными ячейками регламентирован стандартами [5, 6], согласно которым номер сетки этой конструкции обозначает размер ячейки в свету в мм, а номер фильтровой сетки характеризует номинальное число проволок основы на 1 дм. Стандарт определяет также номинальные диаметры переплетаемых проволок для каждого номера сетки, характеризуемых диаметрами проволок основы d_o и утка d_y и расстояниями между проволоками основ l , между порами вдоль проволок основы t_o и между проволоками утков t_y [1].

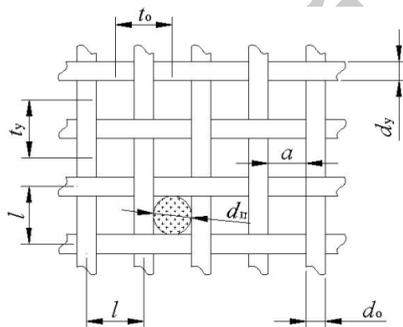


Рис. 3.2. Сетки с квадратными ячейками

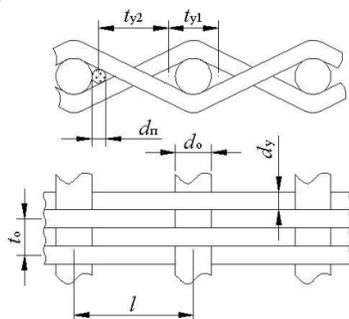


Рис. 3.3. Фильтровые сетки полотняного переплетения

Если в качестве определяющих размеров принять диаметры d_o и d_y и расстояние l , то остальные геометрические параметры сетки можно выразить через безразмерные коэффициенты n_d и n_l :

$$n_d = \frac{d_y}{d_o}; \quad n_l = \frac{l}{d_o}.$$

Для сеток с квадратными ячейками $n_d = 1$, $n_l > 2$, а для фильтровых сеток $n_d < 1$, $n_l > 2$.

Определим структурные характеристики сеток, выражая их через эти безразмерные коэффициенты. Это позволит выразить структурные характеристики в общем виде, не связывая их с конкретными размерами сеток.

Пористость определяется отношением объема пор V_{Π} к полному объему, занимаемому сеткой V :

$$\Pi = \frac{V_{\Pi}}{V}. \quad (3.1)$$

Для сеток с квадратной ячейкой

$$V = 2d^3 n_l^2, \quad (3.2)$$

а для фильтровых сеток

$$V = d_o^3 (1 + 2n_d) n_l n_d. \quad (3.3)$$

Объем, занимаемый порами, равен разности между объемом V и объемом, занимаемым металлом сетки V_M :

$$V_{\Pi} = V - V_M.$$

Для сеток с квадратной ячейкой

$$V_M = \frac{\pi}{2} d_o^3 \left(\arcsin \frac{2}{n_l} + \sqrt{n_l^2 - 4} \right), \quad (3.4)$$

а для фильтровых сеток

$$V_M = \frac{\pi}{4} d_o^3 \left(n_d + n_d^2 (1 + n_d) \arcsin \frac{1 + n_d}{n_l} + \sqrt{n_l^2 - (1 + n_d)^2} \right). \quad (3.5)$$

Из уравнений (3.1)–(3.5) следует, что для сеток с квадратной ячейкой значения пористости равны

$$\Pi = 1 - \frac{\pi}{4} \frac{\arcsin(2/n_l) + \sqrt{n_l^2 - 4}}{n_l^2}, \quad (3.6)$$

а для фильтровых сеток

$$\Pi = 1 - \frac{\pi}{4} \frac{1 + n_d \left((1 + n_d) \arcsin \frac{1 + n_d}{n_l} + \sqrt{n_l^2 - (1 + n_d)^2} \right)}{n_l (1 + 2n_d)}. \quad (3.7)$$

Для описания структурных свойств сеток (скважность, коэффициент извилистости) рассмотрим их модельное представление. Для этого представим сетку в виде листа с перфорированными извилистыми по его толщине квадратными отверстиями для сеток с квадратной ячейкой и отверстиями в виде криволинейных треугольников, расположенных в плоскости, перпендикулярной поверхности листа, для фильтровых сеток. Толщина листа равна толщине сетки [1]. В такой модели форма пор характеризуется размерами поперечного сечения поровых каналов, их извилистостью и скважностью.

Скважность определяется отношением суммарной площади поперечных сечений поровых каналов F_{Π} к площади листа F :

$$c = \frac{F_{\Pi}}{F}. \quad (3.8)$$

Извилистость поры характеризуется коэффициентом извилистости, характеризуемым отношением длины поры l_{Π} к толщине листа H :

$$\xi = \frac{l_{\Pi}}{H}. \quad (3.9)$$

Перемножив формулы (3.8) и (3.9), получим уравнение, связывающее коэффициент извилистости с пористостью и скважностью:

$$\xi = \frac{\Pi}{c}. \quad (3.10)$$

Скважность для сеток с квадратной ячейкой равна

$$c = \frac{(n_l - 1)^2}{n_l^2}. \quad (3.11)$$

При определении скважности фильтровых сеток учитывают, что течение жидкости в них осуществляется через отверстия в виде криволинейных треугольников, расположенных в плоскости, перпендикулярной поверхности листа (рис. 3.3), и полагают, что площадь этих отверстий равна средней площади поры по толщине сетки. С учетом этого для фильтровых сеток

$$c = \frac{\frac{\sqrt{n_l^2 - (1 + n_d^2)}}{(1 + n_d)} + \operatorname{arctg} \frac{1 + n_d}{\sqrt{n_l^2 - (1 + n_d^2)}} - \frac{\pi}{2}}{(1 + n_d) \left(\sqrt{n_d^2 - (1 + n_d)^2} + \operatorname{arctg} \frac{1 + n_d}{\sqrt{n_l^2 - (1 + n_d)^2}} \right)}. \quad (3.12)$$

При определении размеров пор будем полагать, что он равен максимальному диаметру вписанной окружности в сечение порового канала. Тогда размер пор для сеток с квадратной ячейкой равен

$$d_{\text{п}} = d_0 (n_l - 1). \quad (3.13)$$

Для фильтровых сеток размер пор определяется диаметром окружности, вписанной в криволинейный треугольник и расположенной в плоскости, перпендикулярной полотну сетки (рис. 3.3). Тогда

$$d_{\text{п}} = \frac{d_0 (n_l - n_d - 1)}{n_l + n_d + 1}. \quad (3.13)$$

Распределение пор по поверхности сетки можно характеризовать расстояниями между порами по двум взаимно перпендикулярным направлениям (рис. 3.2, 3.3) соответственно вдоль проволок основы – t_0 и утков – t_y . Для сеток с квадратными ячейками

$$t_0 = d_0 n_l, \quad (3.14)$$

а для фильтровых сеток

$$t_0 = 2d_0 n_d,$$

$$t_{y1} = \frac{2d_0 n_l}{n_l + n_d + 1}, \quad (3.15)$$

$$t_{y2} = \frac{d_0 n_l (n_l + n_d - 1)}{n_l + n_d + 1}.$$

Структурные характеристики, рассчитанные по приведенным формулам, для сеток с квадратной ячейкой и фильтровых сеток плотняного переплетения представлены в табл. 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4

Структурные характеристики сеток с квадратной ячейкой

№ сетки	d_0 , мм	l , мм	Π	c	ξ	d_n , мм
2,5	0,5	3,0	0,87	0,695	1,25	2,5
2,0	0,5	2,5	0,845	0,64	1,32	2,0
1,6	0,45	2,05	0,83	0,61	1,36	1,6
1,25	0,4	1,65	0,82	0,57	1,44	1,25
1,0	0,35	1,35	0,80	0,55	1,45	1,0
0,9	0,35	1,25	0,79	0,52	1,52	0,9
0,8	0,3	1,1	0,79	0,53	1,49	0,8
0,7	0,3	1,0	0,76	0,49	1,55	0,7
0,63	0,25	0,88	0,78	0,51	1,53	0,63
0,56	0,23	0,79	0,77	0,501	1,54	0,56
0,5	0,22	0,72	0,76	0,486	1,56	0,5
0,45	0,18	0,63	0,78	0,51	1,53	0,45
0,4	0,15	0,55	0,79	0,53	1,49	0,4
0,355	0,15	0,505	0,77	0,50	1,54	0,355
0,315	0,14	0,455	0,76	0,48	1,58	0,315
0,28	0,14	0,42	0,74	0,44	1,68	0,28
0,25	0,13	0,38	0,74	0,43	1,72	0,25
0,224	0,13	0,354	0,71	0,4	1,77	0,224
0,2	0,13	0,33	0,7	0,37	1,89	0,2
0,18	0,13	0,31	0,69	0,35	1,97	0,18
0,16	0,12	0,28	0,67	0,32	2,09	0,16
0,14	0,09	0,23	0,7	0,37	1,89	0,14
0,125	0,09	0,215	0,67	0,34	1,97	0,125

№ сетки	d_o , мм	l , мм	Π	c	ξ	d_n , мм
0,112	0,08	0,192	0,69	0,34	2,03	0,112
0,1	0,07	0,17	0,68	0,346	1,96	0,1
0,09	0,07	0,16	0,67	0,32	2,09	0,09
0,08	0,055	0,135	0,69	0,35	1,97	0,08
0,071	0,055	0,126	0,67	0,32	2,09	0,071
0,063	0,045	0,108	0,69	0,34	2,03	0,063
0,056	0,04	0,096	0,69	0,34	2,03	0,056

Таблица 3.5

Структурные характеристики фильтровых сеток

№ сетки	d_o , мм	d_y , мм	l , мм	t_o , мм	t_{y1} , мм	t_{y2} , мм	Π	c	ξ	d_n , мм
24	0,7	0,4	4,16	0,8	1,112	3,058	0,72	0,33	2,12	0,4
28	0,6	0,4	3,57	0,8	0,94	2,63	0,71	0,28	2,46	0,34
32	0,6	0,4	3,12	0,8	0,908	2,212	0,70	0,27	2,55	0,308
36	0,5	0,4	2,77	0,8	0,756	2,024	0,69	0,23	2,95	0,256
40	0,5	0,35	2,5	0,7	0,746	1,754	0,70	0,26	2,65	0,246
44	0,45	0,3	2,27	0,6	0,576	1,594	0,70	0,27	2,55	0,226
48	0,45	0,3	2,08	0,6	0,662	1,418	0,68	0,26	2,6	0,212
52	0,45	0,28	1,92	0,56	0,63	1,29	0,68	0,26	2,68	0,202
56	0,4	0,28	1,78	0,56	0,58	1,21	0,68	0,24	2,75	0,18
60	0,4	0,28	1,66	0,56	0,568	1,092	0,67	0,24	2,75	0,168
64	0,35	0,22	1,56	0,44	0,5124	1,05	0,69	0,27	2,48	0,162
68	0,35	0,22	1,47	0,44	0,5044	0,97	0,69	0,26	2,57	0,154
72	0,3	0,2	1,38	0,4	0,4912	0,90	0,69	0,26	2,57	0,141
76	0,3	0,2	1,31	0,4	0,4252	0,90	0,69	0,26	2,57	0,129
80	0,28	0,18	1,25	0,3	0,4096	0,85	0,69	0,27	2,48	0,125
90	0,28	0,16	1,11	0,32	0,40	0,71	0,68	0,28	2,43	0,121
100	0,25	0,16	1,00	0,32	0,3548	0,65	0,68	0,25	2,72	0,104
120	0,22	0,16	0,83	0,32	0,301	0,533	0,66	0,23	2,87	0,091
160	0,2	0,14	0,625	0,28	0,238	0,387	0,63	0,22	2,8	0,059
200	0,18	0,12	0,5	0,24	0,225	0,275	0,60	0,2	3,15	0,045

Для получения сетчатого фильтрующего материала (СФМ) с высокой производительностью наиболее целесообразно применение тканых металлических сеток с квадратными ячейками из различных металлов: низкоуглеродистой и высоколегированной стали, латуни, молибдена, фосфористой бронзы, платины, никеля, монель-металла и др., что позволяет применять их в термически и химически агрессивных средах. Варьируя типы тканых сеток и число их слоев, можно получить СФМ с анизотропной структурой пор, обеспечивающие номинальную тонкость фильтрования от 5 до 100 мкм и более.

3.2. Сетчатый материал для изготовления искрогасителя

Разрушение различных изделий и инструмента в подавляющем большинстве случаев начинается с поверхности. Поэтому объемное упрочнение материалов не всегда является эффективным с экономической точки зрения. Одним из основных методов поверхностного упрочнения стальных изделий является химико-термическая обработка (ХТО) в порошковых средах [7]. Получаемые, например цинковые диффузионные покрытия, образуют барьерные слои, имеющие высокую стойкость в условиях атмосферной коррозии. Есть предпосылки считать, что такие слои обеспечат также стойкость и в более специфичных условиях эксплуатации и разрушающего действия среды, в частности, при использовании в составе искрогасителей.

Искрогасители служат для предотвращения выброса искр и продуктов сгорания с высокой температурой и устанавливаются в выхлопной системе различной автомобильной спецтехники, работающей в условиях с высокими требованиями к пожарной безопасности. Одним из вариантов, реализующим искровую защиту, является использование в искрогасителе сетчатого материала. Этот материал должен иметь высокие искрогасящие свойства, жаростойкость, коррозионную стойкость, должен быть технологичен и рассчитан на длительную эксплуатацию. Отметим, что сетка автомобильного искрогасителя, как правило, не подвергается чистке и на ней образуется слой сажи за время эксплуатации.

Учитывая недефицитность исходного материала и его невысокую стоимость, для изготовления сетчатого искрогасителя

и проведения дальнейших исследований нами была выбрана тканая металлическая сетка полотняного переплетения с квадратными ячейками из углеродистой стали марки 08 ГОСТ 1050–88. При интенсивном воздействии на такой сетчатый материал температуры пламени из-за интенсивного окисления при температуре 450–500 °С, он начинает прогорать [8]. Поэтому для повышения жаропрочности материала сетки ее предварительно подвергали алитированию и цинкованию.

Для насыщения стальной сетки использовался порошковый метод, смеси были приготовлены на основе чистых элементов (последние могут быть заменены ферросплавами) с добавкой инертного наполнителя и активатора.

Насыщающий порошок представляет собой смесь, состоящую из насыщающего металла, активатора (аммоний хлористый – NH_4Cl , ГОСТ 2210) и инертного наполнителя (окись алюминия – Al_2O_3 , ГОСТ 3136). Для случая алитирования в качестве металлической составляющей применяли чистый алюминий марки ПА-2 (ГОСТ 5494), а для цинкования – порошок ПЦ-2 (ГОСТ 12601).

Испытания на жаростойкость проводили по методике, описанной в ГОСТ 6130 «Методы определения жаростойкости». Для испытаний применялись фрагменты сеток размером 100×80 мм, диаметр проволоки сетки 0,4 мм, материал – сталь 08. Образцы сеток были скручены по спирали, для установки в керамические тигли, обеспечивающие условия для беспрепятственного проникновения газовой среды и сохранения осыпающихся окислов.

Измерения жаростойкости проводились весовым методом, который заключался в определении увеличения массы образца, подвергающегося коррозии в процессе испытаний, а также уменьшения массы образца после удаления продуктов коррозии с его поверхности. Испытания проводились циклами разной длительности. Это связано с приближением условий испытания к реальным условиям эксплуатации. Для получения данных о коррозии проводились измерения коррозионного повреждения после испытаний в течение 2, 5, 10, 15, 20 часов.

Нагрев производили в печи СНОЛ 1,6,2,5.1/11-И2. Температура нагрева варьировалась от 400 до 800 °С.

Для оценки коррозионной стойкости сетчатых материалов использовали стандартные методы коррозионных испытаний в соответствии со стандартом ASTM B 117. Испытания проводили с использованием комплекса коррозионных испытаний S 120 ip в камере соляного тумана.

В общее время испытаний входит 15 циклов последовательно чередующихся режимов. Оценку коррозионной стойкости производили по площади пораженной коррозией и по времени до появления продуктов коррозии на поверхности сеток.

Для диффузионного насыщения были выбраны такие элементы как алюминий и цинк. Традиционно алюминий относят к элементам, повышающим жаростойкость (окалиностойкость), цинк – к повышающим коррозионную стойкость [9]. Но существует проблема обеспечения жаростойкости цинковых покрытий до значения температуры 500–600 °С (это условие необходимо для надежной работы искрогасителя). В литературе есть только некоторые сведения о жаростойкости диффузионных цинковых покрытий, и они свидетельствуют о повышении ее относительно стальной поверхности, но на какой уровень – не отмечается. Данные о коррозионной стойкости алитированных слоев неоднозначны. Отмечается, что алитированный слой обладает лучшим, чем цинковый слой, сопротивлением коррозии в атмосфере и морской воде [10].

После обработки наблюдается повышенная хрупкость диффузионных слоев и сетчатого материала в целом. Очевидно, что после алитирования образовавшиеся алюминиды резко снижают пластичность проволоки. Это известный факт, который в ряде технологий является недопустимым, поэтому, например, при жидкостном алитировании в расплав вводят кремний, который снижает толщину алюминидных фаз, способствует образованию слоя твердого раствора большей толщины с более высокой пластичностью.

Для исследования структуры и свойств материала были выбраны образцы сеток с толщиной слоя не превышающей 0,1 мм (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Характеристика образцов с диффузионно-легированным покрытием

Тип покрытия, вид ХТО	Ориентировочный химический и фазовый состав [10, 11]	Толщина слоя, мм
Диффузионное, цинкование	α -твердый раствор, γ -фаза (до 72 % Zn), δ_1 -фаза (до 93 % Zn), ζ -фаза (до 93,6 % Zn)	0,04–0,06
Диффузионное, алитирование	α -твердый раствор, FeAl ₃ (59,18 % Al), Fe ₂ Al ₅ (54,71 % Al), FeAl ₂ (49,13 % Al), FeAl (32,57 % Al), Fe ₃ Al (до 26,8 % Al)	0,05–0,08

Качество поверхности после проведения диффузионного насыщения таких сетчатых материалов признано удовлетворительным, в местах сплетения остается небольшое количество насыщающей смеси, что является вполне допустимо.

Испытания отдельно взятой проволоки после термодиффузионной обработки на пластичность однократным изгибом показали, что угол изгиба до появления трещины у рассматриваемых термодиффузионных покрытий достаточный для обеспечения должного уровня технологичности обрабатываемым материалам. Установлено, что с увеличением толщины диффузионного слоя уменьшается угол изгиба до появления трещины. Однако отсутствует линейная корреляция между толщиной слоя и углом, это можно объяснить различным вкладом толщины диффузионного слоя в общую жесткость проволоки, увеличением поверхностных дефектов, изменением напряженного состояния и ослаблением прочностных свойств стальной сердцевины. Отметим также, что упругие свойства реализуемых диффузионных слоев (в основном структура состоит из интерметаллидов) высокие и в ряде случаев происходит скалывание диффузионного слоя.

Важным является и то, что угол изгиба проволоки до появления трещины, как правило, значительно превышает угол характеризующий разрушение проволоки на фрагменты. Минимальный угол, при котором наблюдается зарождение трещины на диффузионном слое или разрушение проволоки для всех рассматриваемых проволок составляет не менее 25°.

Ранее систематические исследования, посвященные изучению влияния состава и структуры диффузионных цинковых покрытий на жаростойкость, не выполнялись. В результате проведенных нами предварительных испытаний на жаростойкость установлена критическая температура, после которой происходит достаточно быстрое разрушение диффузионного цинкового покрытия – 600 °С. Внешний вид сетчатых материалов с цинковыми и алитированными слоями после испытаний на жаростойкость и характеристика потери массы образцов представлены на рис. 3.4 и 3.5. Отметим, что на поверхности зона поражения проявляется бурым цветом. Какого-либо отслоения и разрушения всего покрытия не наблюдалось. Бурый налет (окалина) довольно рыхлый и механически легко удалялся. Его основу можно предположить – окись цинка и железа.

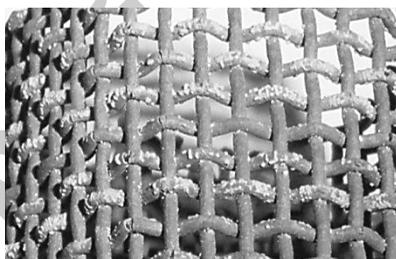
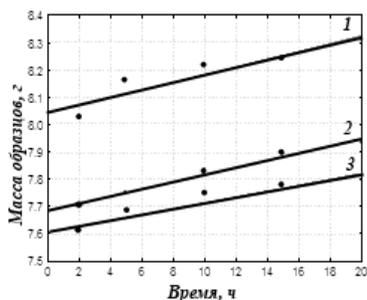


Рис. 3.4. Характеристика жаростойкости и внешний вид диффузионных цинковых слоев в результате испытаний при температуре 600 °С

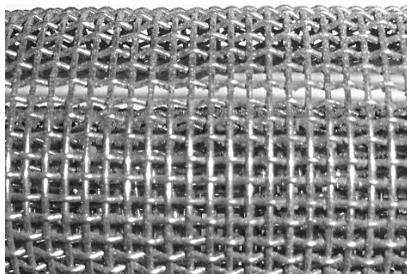
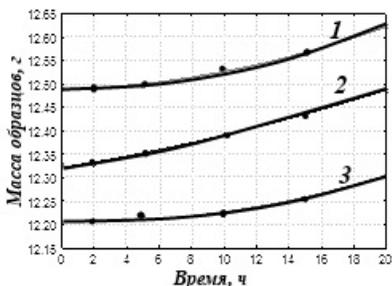
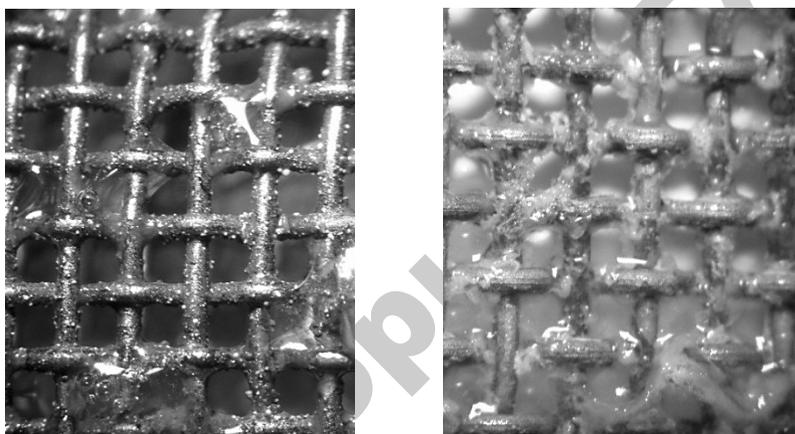


Рис. 3.5. Характеристика жаростойкости и внешний вид диффузионных алитированных слоев в результате испытаний при температуре 800 °С

При исследовании коррозионной стойкости диффузионных покрытий установлена низкая стойкость алитированных слоев (рис. 3.6). Первые очаги коррозии наблюдались уже через 8 часов испытаний. Площадь поражения после 40 часов составила около 40 %, что может оказаться не достаточным для работоспособности сетчатых материалов в атмосферных условиях в течение нескольких лет. Возникающие микрогальванопары в слое интерметаллидов и основы вызывают разрушение покрытия. Очаги коррозии большей частью появляются в местах сплетения – местах, где потенциально может задерживаться влага и выпадать конденсат.



a

б

Рис. 3.6. Внешний вид алитированной (*a*) и оцинкованной (*б*) сеток после испытания в камере соляного тумана длительностью 40 ч

Интерес вызывает изменение коррозионной стойкости алитированных слоев, преимущественно в кислых средах, в результате оксидирования. Известно, что наиболее простым и надежным способом защиты алюминия и его сплавов от коррозии является химическое и электрохимическое оксидирование. В результате анодного окисления образуется оксидная пленка, состоящая из кристаллической γ -модификации Al_2O_3 . Это соединение устойчиво против действия ряда органических соединений, некоторых минеральных солей. Однако этот процесс практически не реализуем для термодиффузионных алитированных слоев за счет того, что

в процесс окисления вмешивается железо, образуя более рыхлые и проницаемые пленки. То есть образуется неоднородная оксидная пленка с относительно низкой химической стойкостью. Тем не менее, очевидно, что предварительное высокотемпературное окисление алитированных слоев при температуре, когда происходит активное окисление, изменит условия получения оксидных пленок, их свойства и, соответственно, изменит эксплуатационные характеристики покрытий. Таким образом, для исследуемого состава и структуры алитированных слоев на сетчатых материалах исследовалось изменение характеристики коррозионной стойкости при проведении предварительного высокотемпературного окисления сетчатого материала при температуре 800–850 °С в течение 20 мин.

На рис. 3.7 представлены результаты исследования коррозионной стойкости сетчатых материалов в 10%-м водном растворе HNO_3 (рис. 3.7, а), в 1%-м водном растворе HCl (рис. 3.7, б) и в 1%-м водном растворе H_2SO_4 (рис. 3.7, в). Испытания продолжались 25 ч при температуре 25 °С.

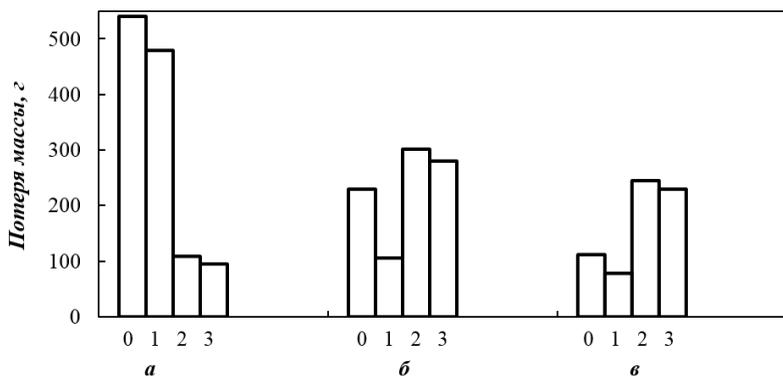


Рис. 3.7. Коррозионная стойкость сетчатых материалов в 10%-м водном растворе HNO_3 (а), в 1%-м водном растворе HCl (б), в 1%-м водном растворе H_2SO_4 (в):
 0 – без обработки, 1 – цинкование, 2 – алитирование,
 3 – алитирование с последующим высокотемпературным окислением

В основном на образцах регистрируется местная неравномерная или язвенная коррозия.

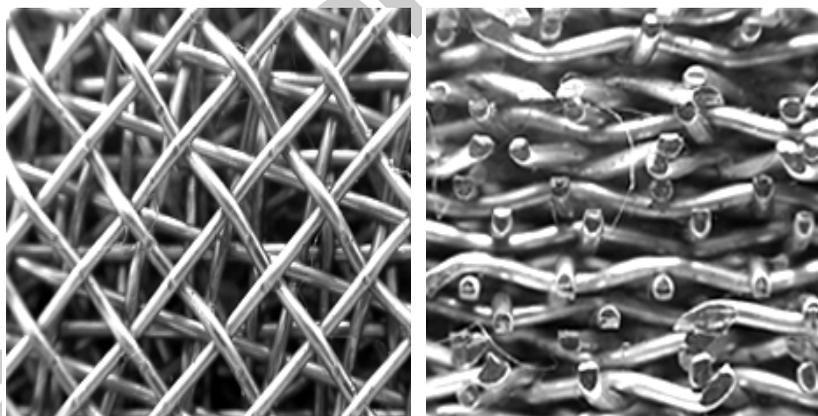
Установлено, что рассматриваемые диффузионные слои имеют низкую стойкость в кислых средах. Коррозионная стойкость

алитированных слоев оказалась ниже только для раствора азотной кислоты, для соляной и серной кислот за 25 ч испытаний потеря массы не превысила 400 г/м^2 . Коррозионная стойкость образцов алитированных сеток при предварительном высокотемпературном окислении увеличилась в растворах соляной и серной кислоты на 10–15 %. В растворе азотной кислоты сильному разрушению подвергались диффузионные цинковые слои.

Необходимо отметить, что проведенные исследования по стойкости изучаемых покрытий полностью не отражают условия реальной эксплуатации сетчатого материала, который будет работать в атмосфере выхлопных газов, богатых сернистыми и другими соединениями. Для подтверждения эффективности повышения эксплуатационных свойств разработанных покрытий необходимы, прежде всего, натурные испытания.

3.3. Разработка модели сетчатого материала искрогасителя

Пакеты сеток получают укладкой стопкой сеток с квадратной ячейкой одна на другую. Фотография структуры данного материала приведена на рис. 3.8, а на рис. 3.9 приведено модельное представление фрагмента конструкции сетчатого пакета.



a

б

Рис. 3.8. Структура сетчатого пакета:

a – вид в направлении, перпендикулярном плоскости укладки сеток;

б – вид в направлении, параллельном плоскости укладки сеток

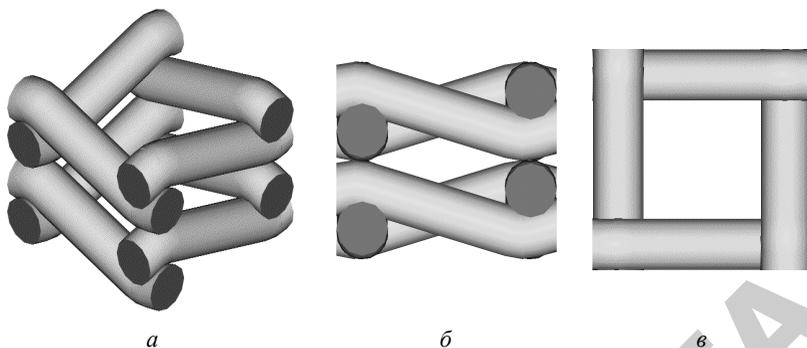


Рис. 3.9. Модельное представление фрагмента конструкции сетчатого пакета:
a – изометрия; *б* – вид сбоку; *в* – вид сверху

Пакет сеток в отличие от однослойной сетки (табл. 3.7) обеспечивает более эффективное улавливание летящих частиц определенного размера, его грязеемкость и длительность работы выше, отсутствует неконтролируемый проскок твердых частиц.

Таблица 3.7

Сравнительная характеристика пакета сеток и однослойной сетки

Сетчатый пакет	Однослойная сетка
Эффективность захвата частиц определенного размера	
Многослойный сетчатый пакет характеризуется высокой эффективностью удаления твердых частиц определенного размера, что обеспечивается высокой вероятностью задержания частиц в многочисленных приемных и раздаточных каналах многослойного сетчатого пакета	Однослойный сетчатый материал состоит из одного фильтрующего слоя, поэтому эффективность удаления частиц определенного размера в этом случае меньше, поскольку, в соответствии с законами статистики, через него может проходить больше частиц
Грязеемкость и продолжительность цикла фильтрования	
Более длительные циклы фильтрования, характерные для сетчатого пакета, обеспечивают	Когда емкость для захвата частиц небольшая, тогда перепад давления растет очень быстро

Сетчатый пакет	Однослойная сетка
его лучшее функционирование в периоды высокого содержания твердых частиц, а также создают условия для снижения затрат на очистку пакета	и фильтровальные циклы укорачиваются, что характерно для однослойного сетчатого материала. Поэтому он нуждается в регенерации в три-четыре раза чаще, чем сетчатый пакет
Предотвращение прорыва твердых частиц	
Сетчатый пакет не подвержен разрыву и деформации. Чем выше перепад давления на нем, тем плотнее сжаты между собой сетчатые диски. Благодаря этому сетчатый пакет не допускает неконтролируемого прорыва частиц. Твердые частицы накапливаются на поверхности дисков и удаляются при промывке пакета. При повышении концентрации частиц учащаются циклы промывки, но при этом качество фильтрования не ухудшается	При использовании однослойного сетчатого материала даже крупные частицы могут пройти через него и попасть в очищенную среду. Это обусловлено следующими причинами: – под действием большого перепада давления крупная частица может пройти («продавиться») через единственный фильтрующий слой; – разрыв сетки приводит к образованию свободного прохода для проникновения частиц в фильтрат; – деформированный участок сетки также может создать условия для беспрепятственного прохода частиц

При расчете свойств сетчатого пакета воспользуемся подходами, апробированными для порошковых, волоконных и ячеистых материалов. Данные подходы основаны на построении элементарных ячеек, выделяемых из регулярной упаковки структурных элементов пористого тела.

Модель элементарной ячейки сетчатого пакета в виде прямоугольного параллелепипеда представлена на рис. 3.10. Его размеры характеризуются диаметром проволоки d и шагом плетения проволоки в сетке l .

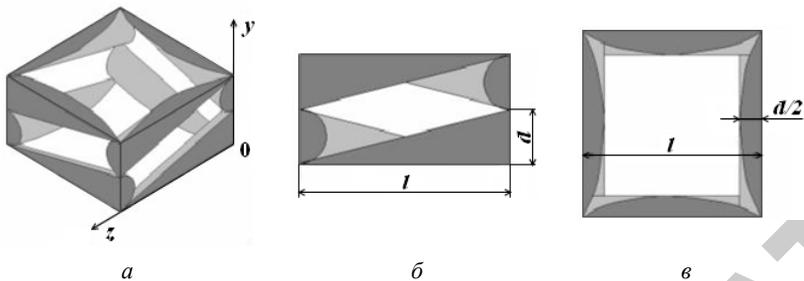


Рис. 3.10. Модель элементарной ячейки объемно-сетчатого фильтрующего материала:

a – общий вид; *б* – вид сбоку; *в* – вид сверху

К структурным свойствам проницаемых материалов, согласно [12], относятся пористость, удельная поверхность и размеры пор.

Пористость Π определяется отношением объема пор $V_{\text{п}}$ к полному объему пористого тела V [12].

Для рассматриваемой элементарной ячейки $V = 2dl^2$ и $V_{\text{п}} = 1 - \frac{\pi}{2}d^2l$.

Тогда

$$\Pi = 1 - \frac{\pi d}{4l}. \quad (3.16)$$

Удельная поверхность $S_{\text{уд}}$ равна отношению площади поверхности каркаса элементарной ячейки $S_{\text{пов}}$ к ее объему V .

Как следует из рис. 3.10, $S_{\text{пов}} = 2\pi dl$. Тогда

$$S_{\text{уд}} = \frac{\pi d}{l}. \quad (3.17)$$

Размеры пор определяются максимальными диаметрами окружности, вписанными в сечения граней элементарной ячейки, и будут характеризоваться значениями $d_{\text{пу}}$ – в направлении оси OY :

$$d_{\text{пу}} = l - d. \quad (3.18)$$

Гидродинамические свойства сетчатого пакета определяются коэффициентом проницаемости при различных режимах фильтрации.

Расчет вязкостного k_{μ} коэффициента проницаемости сетчатого пакета проведем по аналогии с расчетом гидродинамических свойств ячеистого материала, рассмотренного в работе [13]. С этой целью воспользуемся известным уравнением Дарси, описывающим течение жидкости в пористой среде:

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{\mu}{k_{\mu}} v, \quad (3.19)$$

где Δp – перепад давления на слое пористого материала;
 H – толщина фильтрующего слоя;
 μ – динамическая вязкость жидкости;
 v – скорость фильтрации.

Для этого случая схема течения жидкости через элементарную ячейку представлена на рис. 3.11.

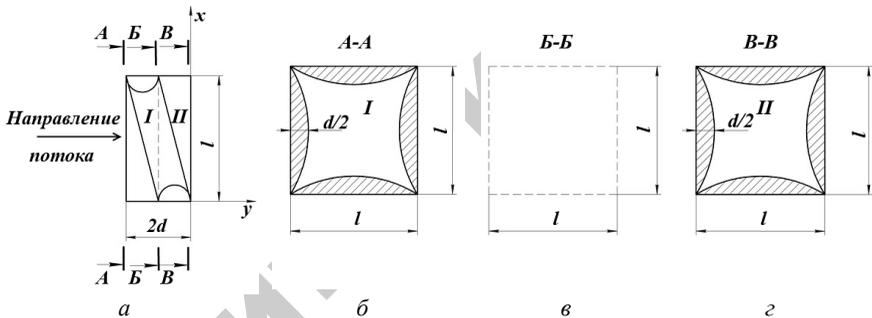


Рис. 3.11. Схема течения жидкости через элементарную ячейку модели ОСФМ вдоль оси OY:

а – деление ячейки на области; б – сечение А-А; в – сечение – Б-Б;
г – сечение В-В

Для вывода формулы для определения $k_{\mu y}$ определим вспомогательные величины.

Для этого случая площадь сечения элементарной ячейки равна $S_{0y} = l^2$; площади поперечных сечений на входе в ячейку (S_{1y}), в центре ячейки (S_{2y}) и на выходе из ячейки (S_{3y}):

$$S_{1y} = \frac{4}{3} ld, \quad S_{2y} = l^2, \quad S_{3y} = \frac{4}{3} ld = S_{1y}; \quad (3.20)$$

периметры соответствующих сечений N_{1y} , N_{2y} , N_{3y} :

$$N_{1y} = 4(l-d), \quad N_{2y} = 0, \quad N_{3y} = 4(l-d); \quad (3.21)$$

длины l_{1y} , l_{2y} , l_{3y} соответствующих сечений:

$$l_{1y} = l_{3y} = d, \quad l_{2y} = 0; \quad (3.22)$$

скорости жидкости или газа в соответствующих сечениях v_{1y} , v_{2y} , v_{3y} :

$$v_{1y} = v_{3y} = \frac{3}{4}v \frac{l}{d}, \quad v_{2y} = v; \quad (3.23)$$

гидравлические радиусы соответствующих сечений R_{1y} , R_{2y} , R_{3y} :

$$R_{1y} = R_{3y} = \frac{ld}{3(l-d)}, \quad R_{2y} = \infty. \quad (3.24)$$

Критерии Рейнольдса Re_{1y} , Re_{2y} , Re_{3y} для потока в соответствующих сечениях:

$$Re_{1y} = Re_{3y} = \frac{1}{4} \frac{\nu \rho}{\mu} \frac{l^2}{(l-d)}, \quad Re_{2y} = \infty. \quad (3.25)$$

Формула Дарси-Вейсбаха для определения потерь давления на вязкое трение в пределах элементарной ячейки примет следующий вид:

$$\Delta p_{\mu} = \frac{8l_1 \rho v_1^2}{Re_1 R_1} + \frac{8l_2 \rho v_2^2}{Re_2 R_2} + \frac{8l_3 \rho v_3^2}{Re_3 R_3}. \quad (3.26)$$

Подставляя выражения (3.22)–(3.25) в (3.26), получим

$$\Delta p_{\mu} = 108 \nu \mu \frac{(l-d)^2}{ld^2}. \quad (3.27)$$

Потери давления на вязкое трение в пористом теле толщиной H возрастут в H/h раз, следовательно, выражение (3.27) примет вид:

$$\frac{\Delta p_{\mu}}{H} = 54 \nu \mu \frac{(l-d)^2}{ld^3}. \quad (3.28)$$

Подставляя полученное выражение (3.27) в (3.19), найдем k_{μ} :

$$k_{\mu} = \frac{ld^3}{54(l-d)^2}, \quad (3.29)$$

Рассмотрим течение газового потока через сетчатый пакет, состоящий из a слоев сетки (рис. 3.12).

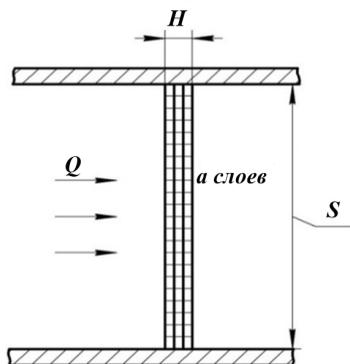


Рис. 3.12. Схема течения газового потока через искрогаситель с одним сетчатым пакетом

Согласно закону Дарси [12] расход газа может быть рассчитан следующим образом:

$$Q = \frac{k_{\mu} \Delta P}{\mu H} S, \quad (3.30)$$

где Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$;

ΔP – перепад давления на сетчатом пакете, Па;

H – толщина сетчатого пакета, м;

S – площадь поверхности сетчатого пакета, м^2 .

Если учесть, что толщина одного слоя сетки равна диаметру проволоки d , то толщину сетчатого пакета, состоящего из нескольких слоев сетки, можно выразить, как

$$H = a d, \quad (3.31)$$

где a – количество слоев сетки в пакете.

Подставляя (3.29) и (3.31) в (3.30) получим

$$Q = \frac{ld^2}{54(l-d)^2 a \mu} \Delta P \cdot S. \quad (3.32)$$

Уравнение (3.32) позволяет установить взаимосвязь между количеством газа Q , проходящего через сетчатый пакет, перепадом давления ΔP на сетчатом материале и площадью поверхности сетчатого пакета S .

3.4. Расчет сетчатого искрогасителя

Воспользуемся уравнением (3.32) для расчета сетчатого искрогасителя, состоящего из нескольких пакетов сеток и установленного на выходе выхлопной системы двигателя внутреннего сгорания.

Расход выхлопных газов Q для четырехтактного двигателя внутреннего сгорания можно выразить через объем цилиндров $V_{ц}$ и частоту вращения коленчатого вала n [14]:

$$Q = \frac{V_{ц} n}{2}. \quad (3.33)$$

Значения величин объемов цилиндров и частот вращения коленчатых валов, рассматриваемых для расчета дизельных двигателей, которыми оснащена сельскохозяйственная техника, представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Характеристики дизельных двигателей

Марка двигателя	Мощность, кВт	$V_{ц}$, см ³	n , об/мин	Марки сельскохозяйственной техники
СМД 62/64	121,3	9150	2100	Т-150, Т-156, Т-150К, ДТ-75, КСК-4-1, КС-6, СКПР-6
Д 260	200	7100	2200	МТЗ-1221, МТЗ-1522
Д 240	55,1	4740	2200	МТЗ-80, МТЗ-82, МТЗ-82.1

С учетом формулы (3.33) определим значение перепада давления газа ΔP на сетчатом искрогасителе, состоящем из одного пакета сеток, используя выражение (3.32):

$$\Delta P = \frac{27(l-d)^2 a \mu n V_{II}}{l d^2} S. \quad (3.34)$$

Уравнение (3.34) позволяет устанавливать взаимосвязь между перепадом давления и площадью сеток пакета искрогасителя в зависимости от диаметра проволоки и шага плетения сетчатого материала, а также характеристик двигателя, а именно, объема цилиндров двигателя и частоты вращения коленчатого вала.

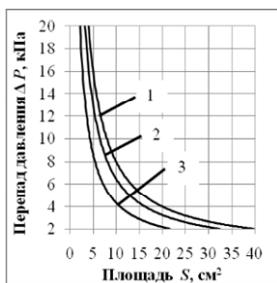
Используя полученное выражение (3.34) установим взаимосвязь перепада давлений ΔP от площади сетчатых пакетов S для различных типов двигателей (см. табл. 3.8) и возможных вариантов искрогасителей. Рассмотрим три варианта искрогасителей, каждый из которых представляет собой пакет из трех сеток одного диаметра d и с одним шагом плетения l . Структурные параметры пакета сеток искрогасителей трех вариантов представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

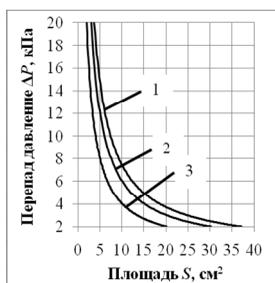
Структурные параметры пакета сеток искрогасителя

Варианты искрогасителей	d , мкм	l , мкм
Вариант 1	300	1100
Вариант 2	350	1350
Вариант 3	400	1650

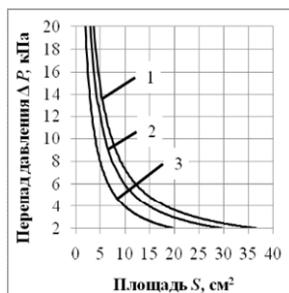
Результаты расчетов, выполненные для различных вариантов искрогасителей (табл. 3.9) и типов двигателей (табл. 3.8) представлены на рис. 3.13.



a



б



в

Рис. 3.13. Зависимость перепада давления ΔP на сетчатых искрогасителях от их площади S для различных типов двигателей:

a – вариант 1 ($d = 300$ мкм, $l = 1100$ мкм); *б* – вариант 2 ($d = 350$ мкм, $l = 1350$ мкм);

в – вариант 3 ($d = 400$ мкм, $l = 1650$ мкм; 1 – двигатель СМД 62/64;

2 – двигатель Д 260; 3 – двигатель Д 240

Рассмотрим случай (вариант 4), когда искрогаситель выполнен из трех рассмотренных выше пакетов сеток, последовательно расположенных один за другим в его корпусе. В этом случае общий перепад давления на искрогасителе ΔP_{Σ} будет равен сумме перепадов на каждом из пакетов:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3, \quad (3.35)$$

где $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ – перепады давлений на первом, втором и третьем пакетах, соответственно.

Рассчитаем для этого случая зависимость изменения перепада давления ΔP_{Σ} от площади сеток пакетов и их структурных параметров (d и l). На рис. 3.14 приведены результаты этих расчетов.

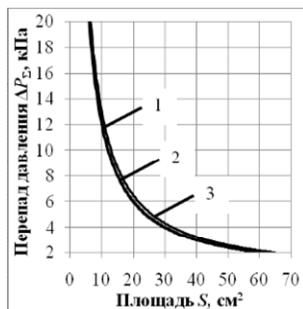


Рис. 3.14. Зависимость перепада давления ΔP_{Σ} на сетчатом искрогасителе, выполненном из трех пакетов сеток, от его площади S для различных типов двигателей:

1 – двигатель СМД 62/64; 2 – двигатель Д 260; 3 – двигатель Д 240

Представленные на рис. 3.13 и 3.14 зависимости позволяют определять площадь сетчатого пакета в зависимости от перепада давления на искрогасителе для рассмотренных типов двигателей. В табл. 3.10 представлены результаты расчетов.

Таблица 3.10

Значения площадей сетчатых пакетов в зависимости от перепада давления на искрогасителе

Тип двигателя	Перепад давления, ΔP , Па	Площади пакетов S , см ²			
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
СМД 62/64	20	4,0	3,7	3,7	6,5
	18	4,4	4,1	4,1	7,2
	16	5,0	4,7	4,6	8,1
	14	5,7	5,3	5,2	9,3
	12	6,6	6,2	6,1	10,8
	10	8,0	7,5	7,3	13,0
	8	10,0	9,3	9,1	16,2
	6	13,3	12,4	12,2	21,6
	4	19,9	18,6	18,2	32,4
	2	39,8	37,3	36,5	64,8

Тип двигателя	Перепад давления, ΔP , Па	Площади пакетов S , см ²			
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Д 260	20	3,2	3,0	3,0	6,1
	18	3,6	3,4	3,3	6,7
	16	4,1	3,8	3,7	7,6
	14	4,6	4,3	4,2	8,7
	12	5,4	5,1	5,0	10,1
	10	6,5	6,1	5,9	12,1
	8	8,1	7,6	7,4	15,2
	6	10,8	10,1	10,0	20,2
	4	16,2	15,1	14,8	30,3
	2	32,4	30,3	29,6	60,7
Д 240	20	2,2	2,0	2,0	5,9
	18	2,4	2,3	2,2	6,6
	16	2,7	2,5	2,5	7,4
	14	3,1	2,9	2,8	8,5
	12	3,6	3,4	3,3	9,9
	10	4,3	4,0	4,0	11,9
	8	5,4	5,1	5,0	14,8
	6	7,2	6,7	6,6	19,8
	4	10,8	10,1	9,9	29,7
	2	21,6	20,2	19,8	59,4

Анализ графических зависимостей (рис. 3.13, 3.14) и результатов расчетов (табл. 3.10) показывает, что в случае использования искрогасителя, выполненного из трех пакетов сеток (рис. 3.14), перепад давления на нем практически не зависит от типа двигателя, в отличие от искрогасителей из одного пакета сеток (рис. 3.13).

Это позволяет прийти к заключению, что искрогаситель, выполненный из трех пакетов сеток, является универсальным и может быть использован на различных двигателях сельскохозяйственной техники.

Известно [15], что оптимальный перепад давления ΔP на системах глушения выхлопных газов в зависимости от режимов работы двигателя изменяется в диапазоне от 15 до 60 кПа. При проектировании искрогасителя следует учитывать, что его установка приведет к увеличению этого перепада давления. Будем считать, что допустимый перепад давления ΔP на искрогасителе не должен превышать 6–10 кПа. Кроме того, при обосновании площади пакетов следует учитывать, что в процессе работы имеется вероятность частичной блокировки пор сетки сажестыми загрязнениями. В этой связи, считаем необходимым дополнительно увеличить площадь пакетов в 4–6 раз. Тогда для обеспечения данного перепада давления (6–10 кПа) на искрогасителе необходимо выбрать площадь пакетов сеток, равную 72–80 см².

Литература к главе 3

1. Синельников, Ю. И. Пористые сетчатые материалы / Ю. И. Синельников [и др.]. – М. : Металлургия, 1983. – 64 с.
2. Сетки металлические проволочные. Типы, основные параметры и размеры : ГОСТ 2715–75. – Введ. 01.01.77. – М. : Издательство стандартов, 1976. – 20 с.
3. Емельянов, Л. А. Фильтрация дизельного топлива / Л. А. Емельянов. – М. : Машгиз, 1962. – 354 с.
4. Бродский, Г. С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г. С. Бродский. – М. : «Журнал «Горная промышленность» Издатель НПК «ГЕМОС Лтд.», 2003. – 360 с.
5. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия ГОСТ 6613–86 – Введ. 01.01.88. – М. : Издательство стандартов, 2001. – 12 с.
6. Сетки проволочные тканые фильтровые. Технические условия ГОСТ 3187–76 – Введ. 01.01.77. – М. : Издательство стандартов, 1994. – 7 с.
7. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Г. В. Борисенко [и др.]; под ред. Л. С. Ляховича. – М. : Металлургия, 1981. – 421 с.

8. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Г. В. Борисенко [и др.]. – М. : Metallurgy, 1981. – 424 с.
9. Минкевич, А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А. Н. Минкевич. – М. : Машиностроение, 1965. – 491 с.
10. Рябов, В. Р. Алитирование стали / В. Р. Рябов. – М. : Metallurgy, 1973. – 240 с.
11. Проскуркин, Е. В. Диффузионные цинковые покрытия / Е. В. Проскуркин, Н. С. Горбунов. – М. : Metallurgy, 1972. – 247 с.
12. Витязь, П. А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, Р. А. Кусин. – Минск : НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.
13. Леонов, А. Н. Пористые проницаемые материалы: теория проектирования изделий и технологий / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. К. Шелег. – Минск : Тонпик, 2003. – 220 с.
14. Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений : ГОСТ 17.2.2.01–84. – Введ. 01.07.85. – М.: Стандартиформ, 2006. – 11 с.
15. Выхлопная система, глушители [Электронный ресурс] / DRAGONS RACE CLUB. – 2013. – URL: <http://dragonsraceclub.forum2x2.ru/t91-topic>. – Дата обращения: 21.01.2014.

4. ИСПЫТАНИЯ СЕТЧАТОГО ИСКРОГАСИТЕЛЯ

4.1. Лабораторные испытания сетчатого материала искрогасителя

4.1.1. Методики проведения исследований

Методика исследования огнепреграждающей способности.

Схема установки для определения огнепреграждающей способности представлена на рис. 4.1. Установка предназначена для определения способности сетчатого материала гасить пламя, образующееся в процессе работы ДВС в пожароопасном режиме. Установка состоит из паяльной лампы 1, переходника 2 с прибором 3 для контроля температуры (пирометром) и дифференциальным манометром 4, корпуса 5 с установленным в нем сетчатым материалом огнепреграждающего элемента 6 и прибором 7 для контроля температуры (пирометром), поддона 9 для легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) с крышкой 8.

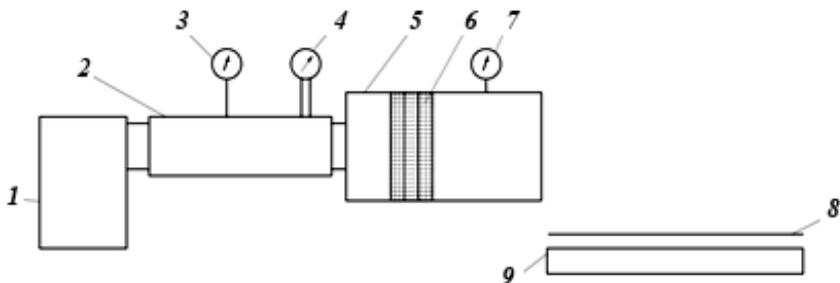


Рис. 4.1. Схема установки для определения огнепреграждающей способности

Корпус 1 для установки сетчатого материала (рис. 4.2) снабжен входным 2 и выходным 3 фланцами. Внутри корпуса установлены распорки 4, которые позволяют регулировать расположение сетчатого материала 5. В корпус помещается сетчатый материал и располагается в требуемом положении. Распорки позволяют располагать материал под углами 90, 40, 60° относительно оси движения газовой смеси. После установки сетчатого материала корпус закрывается фланцем, который фиксирует установленный сетчатый материал за счет распорок. После сборки корпус устанавливается

на основание и крепится. Расстояние между корпусом с установленным сетчатым материалом искрогасителя и поддоном для ЛВЖ должно составлять 50 мм. В качестве источника пламени в установке в пожароопасном режиме используется паяльная лампа. В качестве индикатора проскока пламени используется ЛВЖ (например, бензин).

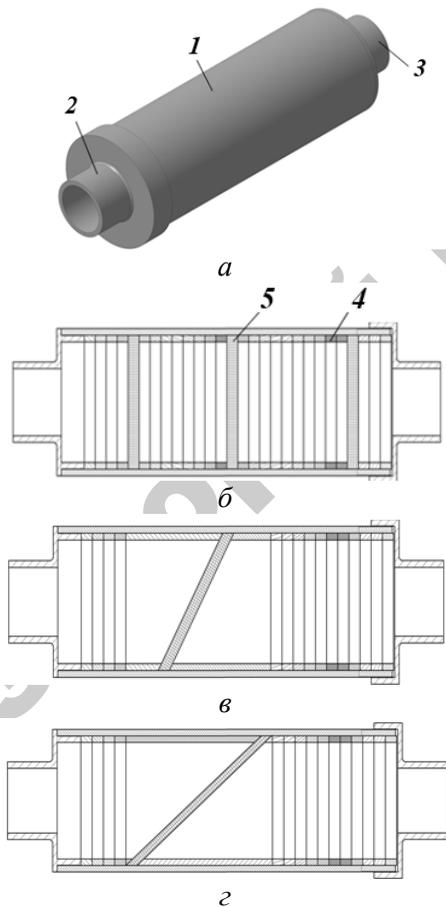


Рис. 4.2. Корпус для установки сетчатого материала:

a – внешний вид корпуса;

б – установка пакетов сетчатого материала под углом 90°;

в – установка пакетов сетчатого материала под углом 60°;

г – установка пакетов сетчатого материала под углом 40°

Установка (см. рис. 4.1) работает следующим образом. Искрогаситель устанавливают и закрепляют на стенде так, чтобы обеспечить герметичность испытываемого изделия и переходника. В поддон 9, расположенный непосредственно на выходе искрогасителя, наливают ЛЖВ и накрывают поддон крышкой 8 (лист из негорючего материала). Разжигают паяльную лампу, дают пламени стабилизироваться в течение не менее 60 с и размещают сопло паяльной лампы в переходнике 2 для крепления корпуса 5 с установленным в нем огнепреграждающим элементом из сетчатого материала 6, убирают с поддона 9 негорючий лист 8. Время воздействия пламени составляет 300 с.

В процессе проведения испытаний контролируется температура на входе и выходе сетчатого материала пирометрами 3 и 7, а также перепад давления на сетчатом материале дифференциальным манометром 4.

Процесс проскока пламени через сетчатый материал 6 фиксируют визуально, используя в качестве индикатора зажигание бензина, налитого в поддон 9.

При отсутствии воспламенения бензина в поддоне считается, что искрогаситель выдержал испытание.

При проведении испытаний должны соблюдаться следующие условия: температура окружающего воздуха должна составлять 20 ± 5 °С; относительная влажность воздуха – не более 85 %.

Методики исследования искрогасящей способности. Схема установки для определения искрогасящей способности представлена на рис. 4.3. Установка предназначена для определения способности сетчатого материала задерживать горячие частицы (искры), образующиеся при работе ДВС автотракторной техники. Установка состоит из компрессора 1, нагревателей 2 и 7, пирометров 3 и 6, вентиля 4, смесительной камеры 5, устройства для ввода искр 8, поршня устройства для ввода искр 9, дифференциального манометра 10, корпуса для установки сетчатого материала 11, сетчатого материала 12 и устройства, регистрирующего проскок искр (видеокамера) 13.

Устройство для введения искр состоит из трубы 3, к которой присоединен фланец 6 для крепления корпуса 7 (рис. 4.4). На входном конце устройства для введения искр установлен штуцер 2 для подключения подачи воздуха от компрессора, а на выходе –

установлено крепление для искрогасителя. Для введения частиц служит корпус 7 с накидной гайкой 8 и поршнем 9.

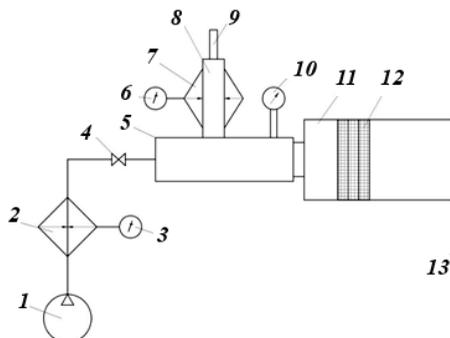


Рис. 4.3. Схема установки для определения искрогасящей способности сетчатого материала

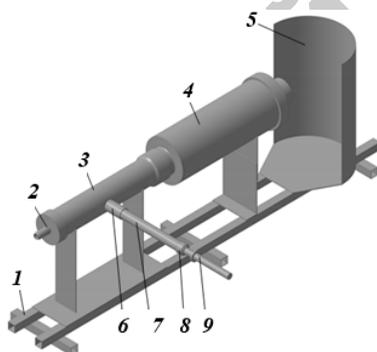


Рис. 4.4. Схема стенда для определения искрогасящей способности сетчатого материала: 1 – корпус; 2 – штуцер; 3 – устройство для введения искр; 4 – корпус для установки сетчатого материала; 5 – экран; 6 – фланец; 7 – корпус; 8 – накидная гайка; 9 – поршень

Установка работает следующим образом. Искрогаситель устанавливают и закрепляют на стенде так, чтобы обеспечить герметичность испытываемого изделия и смесительной камеры. В корпус 7 устройства 3 для введения искр устанавливают фольгу и зажимают фланцем 6, засыпают навеску угля и закрывают фольгой. Фольгу прижимают накидной гайкой 8 и устанавливают поршень 9. К штуцеру 2 подключают компрессор и подают воздушный поток.

Устройство для введения искр разогревают газовой горелкой до температуры 500–600 °С. В установившийся воздушный поток в течении 3–5 секунд поршнем 9 вводят навеску нагретого угля.

Проскочившие искры фиксируются на выходе искрогасителя видеокамерой.

При проведении испытаний должны соблюдаться следующие условия: температура окружающего воздуха должна составлять 20 ± 5 °С; относительная влажность воздуха не более 85 %.

Методика определения перепада давления на искрогасителе.

Для определения перепада давления на сетчатом материале используют установку, представленную на рис. 4.5. Установка состоит из ротаметра 1, манометров 2 и 4, искрогасителя 3 с сетчатым материалом, компрессора 5 и вентиля 6.

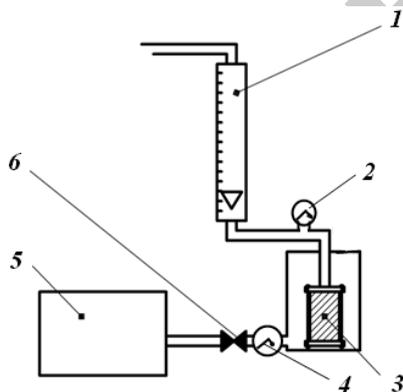


Рис. 4.5. Схема испытаний для определения перепада давления на искрогасителе

Испытания по определению перепада давления на сетчатом материале проводятся при давлении 0,1 МПа.

Установка работает следующим образом. Для определения перепада давления на сетчатом материале искрогасителя компрессором 5 создается газовый поток, соответствующий потоку выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания мобильной сельскохозяйственной техники. Величина газового потока регулируется вентилем 6 и контролируется ротаметром 1. Перепад давления определяется по разнице показаний манометров 4 и 2. Данная установка позволяет создать условия, приближенные к работе двигателя на минимальных и максимальных режимах работы ДВС.

Методика определения максимальной температуры корпуса искрогасителя. Определение максимальной температуры поверхности корпуса искрогасителя проводят на выхлопных коллекторах транспортных средств и силовых агрегатов, на которых устанавливают искрогасители, или оборудовании, имитирующем условия эксплуатации работы топок и двигателей внутреннего сгорания, при номинальной мощности силового агрегата.

Для проведения испытаний по определению максимальной температуры поверхности корпуса искрогасителя используют:

- электрические термопреобразователи хромель-алюмелевые с диаметром спая не менее 0,5 и не более 1,5 мм. На каждый искрогаситель устанавливают три хромель-алюмелевых термопреобразователя: по одному на входе и выходе искрогасителя; третий – в центральной части корпуса искрогасителя;

- вторичные приборы для измерения температуры в интервале от 0 до 1300 °С, имеющие класс точности 0,5.

Проведение испытаний по определению максимальной температуры поверхности корпуса искрогасителя осуществляют в следующем порядке.

Искрогаситель размещают на выхлопном коллекторе силового агрегата.

Включают силовой агрегат и выводят его на режим работы, соответствующий номинальной мощности.

Фиксируют показания температуры каждого электрического термопреобразователя в течение одного часа при непрерывной работе силового агрегата в режиме, соответствующем номинальной мощности.

По результатам измерений определяют максимальное значение температуры из показаний трех электрических термопреобразователей, которое принимают за максимальную температуру поверхности корпуса искрогасителя.

4.1.2. Испытания сетчатого материала

Согласно разработанным методикам проведения исследований нами разработаны установки для определения огнепреграждающей и искрогасящей способности, а также установка для определения перепада давления.

При проведении испытания сетчатого материала на способность искро- и пламегашения для контроля температуры в процессе испытаний использовался пирометр высокотемпературный DT-9862 (рис. 4.6).



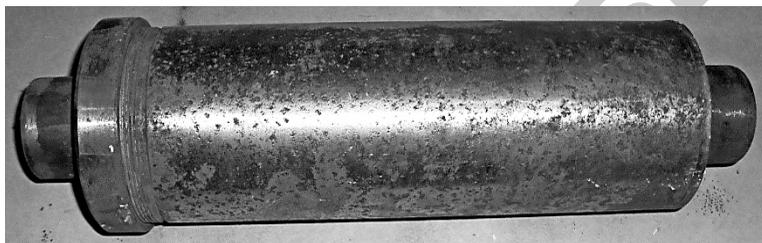
Рис. 4.6. Пирометр высокотемпературный DT-9862 с видеоскопом

При проведении испытания сетчатого материала на способность искро- и пламегашения для контроля перепада давления в процессе испытаний использовался измеритель дифференциального давления, скорости, объемного расхода и температуры воздуха (дифманометр-термоанемометр) DT – 8920 (рис. 4.7).

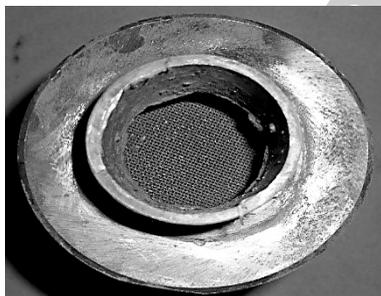


Рис. 4.7. Измеритель дифференциального давления, скорости, объемного расхода и температуры воздуха (дифманометр-термоанемометр) DT – 8920

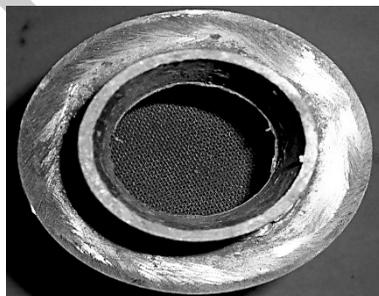
Испытания сетчатого материала искрогасителя на огнепреграждающую способность. Для проведения исследования сетчатого материала на огнепреграждающую способность согласно схеме (см. рис. 4.1) был изготовлен корпус, в котором имеется возможность устанавливать сетки с разными структурными параметрами ячеек (рис. 4.8). Корпус представляет собой трубу из углеродистой стали диаметром 100 мм и длиной 500 мм с входным и выходным отверстиями диаметром 50 мм. Для того чтобы можно было реализовать различные схемы установки сетчатого материала (рис. 4.2, б, в, г) с разным количеством сеток и различными структурными параметрами, корпус трубы с двух сторон выполнен разборным.



a



б



в

Рис. 4.8. Опытный образец искрогасителя для проведения исследований на огнепреграждающую способность

a – вид сверху; *б* – вид с одного торца; *в* – вид с другого торца

При проведении испытаний использовались методы непосредственных и косвенных измерений. При проведении испытаний соблюдались следующие условия:

- температура окружающего воздуха 18 ± 5 °С;
- относительная влажность воздуха 70 ± 10 %;

Порядок проведения испытаний для определения огнепреграждающей способности был следующим:

- собирали оборудование согласно схеме, приведенной на рис. 4.1;
- наливали бензин в поддон, накрывали поддон листом из негорючего материала;

- разжигали паяльную лампу и поддерживали ее горячей в течение не менее 60 с так, чтобы температура пламени на расстоянии 200 мм от края сопла лампы составляла 800 ± 20 °С;

- размещали паяльную лампу в переходнике таким образом, чтобы ее сопло входило в него на расстояние 80 ± 5 мм от корпуса для установки сетчатого материала; убирали с поддона негорючий лист. Время воздействия пламени составляло 300 ± 5 с. Температуру корпуса искрогасителя измеряли через каждые 30 с.

Общий вид установки для определения огнепреграждающей способности сетчатого материала представлен на рис. 4.9.



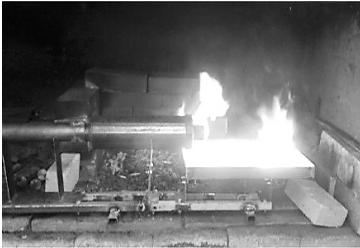
Рис. 4.9. Общий вид установки для определения огнепреграждающей способности сетчатого материала

При оценке огнепреграждающей способности сетчатого материала проводились шесть вариантов испытаний: без сетчатого материала и с использованием сетчатых материалов с различным количеством пакетов сеток по 3 сетки в каждом пакете, различным диаметром проволоки и шагом плетения сетки, а также углом наклона сетчатого материала к воздушному потоку (табл. 4.1). Также в табл. 4.1 приведены температуры корпуса на выходном патрубке.

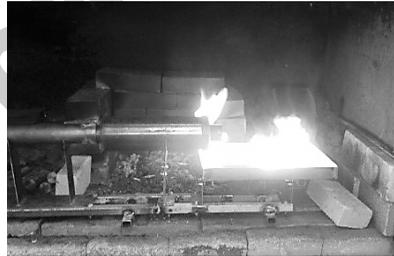
Варианты испытаний

Вариант испытаний	Диаметр проволоки, мкм	Шаг плетения, мкм	Количество пакетов	Угол наклона сетчатого материала, град	Температура корпуса на выходном патрубке, °С
I	Без сетчатого материала				330
II	400	1650	1	90	316
III	300	1000	3	90	180
IV	300	1000	1	60	160
V	140	400	3	90	160
VI	140	400	1	60	140

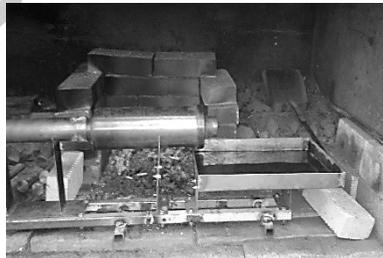
Результаты испытаний показали (рис. 4.10): в варианте I просок пламени произошел через 10 с; в варианте II просок пламени произошел через 40 с, в вариантах III, IV, V и VI просок пламени в течение 300 с отсутствовал.



а



б



в

Рис. 4.10. Результаты испытаний:

а – вариант I; б – вариант II; в – варианты III, IV, V и VI

Определение температуры корпуса искрогасителя. Температура корпуса для установки сетчатого материала измерялась в трех точках (рис. 4.11) и рассчитывалось среднее значение.

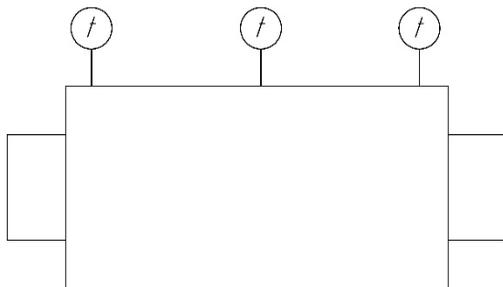


Рис. 4.11. Схема измерения температуры корпуса

Результаты измерений температуры корпуса для установки сетчатого материала по времени для различных вариантов испытаний приведены на рис. 4.12.

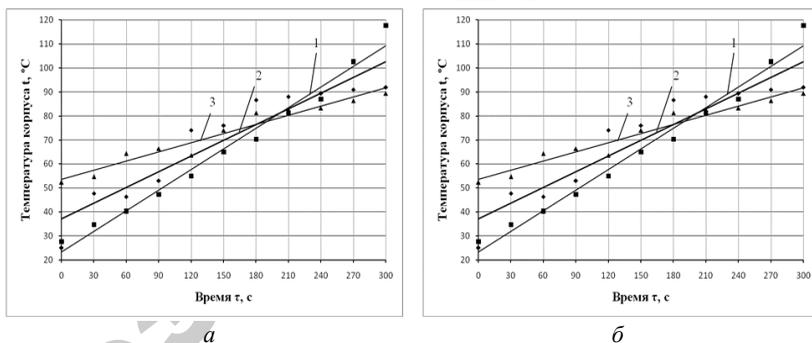


Рис. 4.12. Графические зависимости температуры корпуса для установки сетчатого материала по времени: *а* – сетчатый материал с шагом плетения 1000 мкм: 1 – вариант I, 2 – вариант III, 3 – вариант IV, *б* – сетчатый материал с шагом плетения 400 мкм: 1 – вариант I, 2 – вариант V, 3 – вариант VI

Согласно графическим зависимостям, представленным на рис. 4.12 видно, что с увеличением угла наклона пакета сетчатого материала наблюдается уменьшение температуры корпуса в процессе проведения испытания. Это связано с увеличением площади поперечного сечения сетчатого материала, которая, в свою очередь,

уменьшает сопротивление движению воздушного потока и способствует более равномерному распределению температуры по корпусу искрогасителя. Равномерное распределение температуры уменьшает риск воспламенения горючих веществ от перегретых частей корпуса искрогасителя и способствует его более интенсивному охлаждению.

В результате проведения лабораторных испытаний было установлено, что оптимальное количество пакетов сетчатого материала, устанавливаемое в искрогаситель должно быть не менее трех. Это подтверждают представленные на рис. 4.13 фотографии внешнего вида пакетов сетчатого материала.

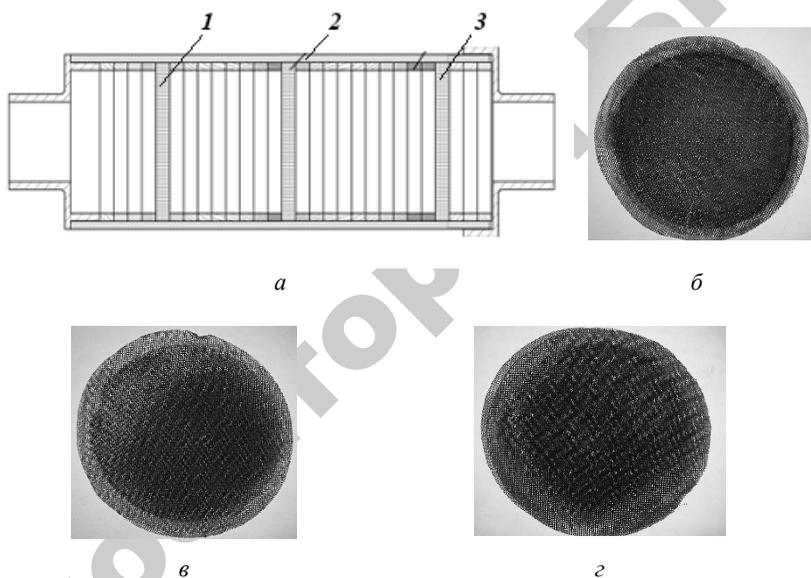


Рис. 4.13. Зоны термического влияния на сетчатых пакетах
а – схема расположения пакетов сетчатого материала:

1 – первый пакет, 2 – второй пакет, 3 – третий пакет;

б – внешний вид первого пакета; в – внешний вид второго пакета;

г – внешний вид третьего пакета

Согласно расположению зон термического воздействия (потемнения) из рис. 4.13 видно, что наиболее сильно термическому влиянию подвержен первый пакет, а на последнем пакете зоны

термического воздействия практически отсутствуют. Изменение угла наклона на распределение зон термического воздействия по сетчатым пакетам не влияет. Это позволяет сделать вывод, что наиболее рациональная конструкция искрогасителя должна состоять не менее чем из трех пакетов сетчатого материала.

Испытания сетчатого материала искрогасителя на искрогасящую способность. Порядок проведения испытаний для определения искрогасящей способности был следующий:

- собиралось оборудование согласно схеме, приведенной на рис. 4.3;
- просеивались частицы угля через сита с размером ячеек 3,0 и 2,0 мм общей массой 300 г [1];
- размещалась трубка Пито дифманометра-термоанемометра ДТ-8920 в воздушный поток;
- засыпались угольные частицы в устройство для ввода искр;
- измерялся перепад давления на сетчатом материале и регистрировался на видеокамеру проскок искр через сетчатый материал или его отсутствие.

Общий вид установки для определения искрогасящей способности сетчатого материала представлен на рис. 4.14.



Рис. 4.14. Общий вид установки для определения искрогасящей способности сетчатого материала

В результате проведения лабораторных испытаний было установлено, что проскок искр наблюдался на пакетах сетчатого материала с диаметром проволоки 400 мкм и шагом плетения 1650 мкм

полотняного плетения. На сетчатых пакетах с шагом плетения 1000 и 400 мкм и разными углами наклона проскок искр не регистрировался.

Определение перепада давления на сетчатом материале искрогасителя. Установка для определения перепада давления на сетчатом материале искрогасителя представлена на рис. 4.15.

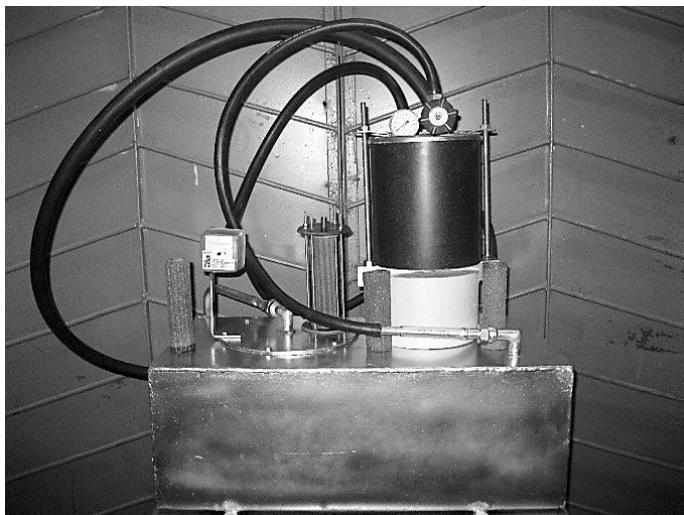


Рис. 4.15. Установка для определения перепада давления на искрогасителе

Результаты изменения перепада давления на сетчатых материалах в зависимости от угла наклона и размера ячеек сетчатого материала проведены в табл. 4.2 и на рис. 4.16 и 4.17.

Таблица 4.2

Перепад давления и скорость воздушного потока на сетчатых материалах

Угол наклона сетчатого материала, град	Шаг плетения сетчатого материала, мкм	Перепад давления на сетчатом материале, кПа	Скорость воздушного потока, м/с
90	1000	0,388	39,4
90	1000	0,447	40,0

Угол наклона сетчатого материала, град	Шаг плетения сетчатого материала, мкм	Перепад давления на сетчатом материале, кПа	Скорость воздушного потока, м/с
90	1000	0,364	37,4
60	1000	0,441	37,0
60	1000	0,380	40,5
60	1000	0,478	38,1
90	400	0,427	37,9
90	400	0,341	36,3
90	400	0,470	37,8
60	400	0,493	36,0
60	400	0,427	36,1
60	400	0,454	37,0

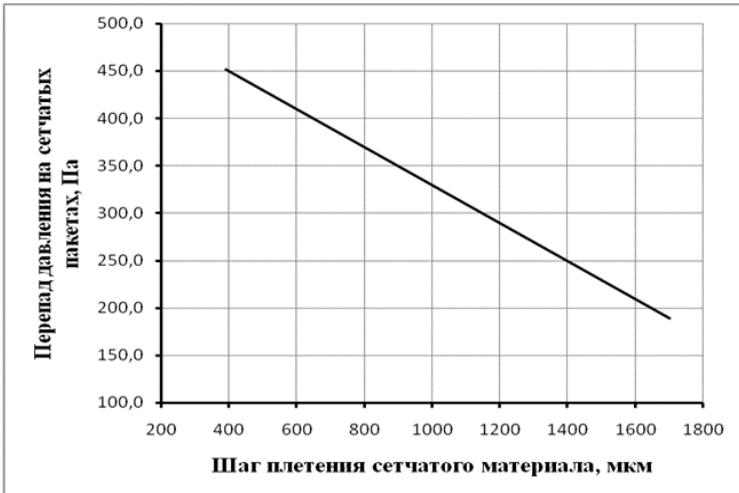


Рис. 4.16. Графическая зависимости влияния размера ячеек сетчатого материала на перепад давления

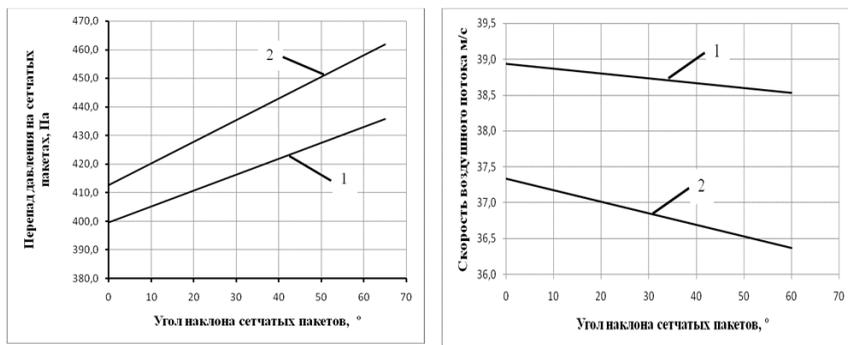


Рис. 4.17. Графические зависимости влияния угла наклона сетчатого материала на перепад давления и скорость воздушного потока:

- 1 – сетчатые пакеты с шагом плетения 1000 мкм;
- 2 – сетчатые пакеты с шагом плетения 400 мкм

В результате анализа графических зависимостей перепада давления и скорости воздушного потока от угла наклона сетчатого материала установлено:

- уменьшение шага плетения пакетов сетчатого материала увеличивает перепад давления на искрогасителе, а количество установленных пакетов не оказывает значительного влияния на перепад давления;

- изменение угла наклона сетчатого материала увеличивает перепад давления на искрогасителе и уменьшает скорость проходящего газового потока на входе в искрогаситель. Увеличение перепада давления может быть вызвано поворотом воздушного потока, проходящего через ячейки сетчатых пакетов, что создает дополнительное сопротивление движению и приводит к уменьшению скорости потока. Перепад давления значительно увеличивается с уменьшением шага плетения сетчатого материала, поэтому использовать сетчатые пакеты с мелким шагом плетения и дополнительным наклоном не рационально.

4.2. Натурные испытания сетчатого искрогасителя

4.2.1. Методика проведения натурных испытаний

Для определения работоспособности сетчатого искрогасителя выхлопной системы ДВС мобильной сельскохозяйственной техники

при работе на сельскохозяйственных объектах при уборке урожая разработана следующая программа и методика испытаний.

Объект испытаний. Сетчатый искрогаситель выхлопной системы ДВС мобильной сельскохозяйственной техники (краткое наименование: Искрогаситель).

Область применения. Искрогаситель предназначен для установки в выхлопных системах ДВС мобильной сельскохозяйственной техники.

Искрогаситель должен обеспечивать:

- задержку и гашение искр в выхлопной системе ДВС;
- гашение пламени в выхлопной системе ДВС.

Состав устройства.

При проведении теоретических исследований было показано, что для сетчатого искрогасителя, состоящего из трех пакетов сеток, перепад давления на нем практически не зависит от типа двигателя. Это позволило прийти к заключению, что такой искрогаситель является универсальным и может быть использован на различных типах двигателей сельскохозяйственной техники. Обоснован выбор площади пакетов сеток универсального искрогасителя ($72\text{--}80\text{ см}^2$), обеспечивающей перепад давления на нем, равный $6\text{--}10\text{ кПа}$.

Согласно проведенным лабораторным испытаниям обоснован выбор сетчатого материала искрогасителя, состоящего из трех пакетов сеток полотняного переплетения из углеродистой стали марки 08 ГОСТ 1050–88 (шаг плетения – 1000 мкм , диаметр проволоки – 800 мкм) с алитированным и оцинкованным слоем (количество сеток в каждом пакете – 3 шт., диаметр сетки – 100 мм , расстояние между пакетами – 65 мм).

Разработанная конструкция универсального искрогасителя представлена на рис. 4.18, а состав устройства – в табл. 4.3.

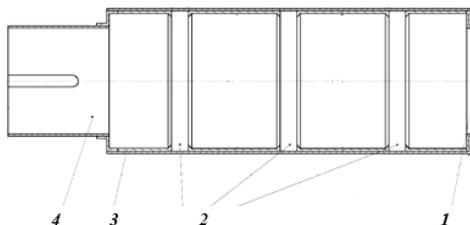


Рис. 4.18. Конструкция универсального искрогасителя:

- 1 – выходной патрубок; 2 – пакеты сетчатого материала; 3 – корпус;
4 – входной патрубок

Состав устройства

Наименование	Технические характеристики
Корпус	Диаметр – 100 мм; длина – 300 мм; сталь 08 ГОСТ 1050–88
Сетчатый материал, расположение в корпусе	Количество пакетов – 3; количество сеток в пакете – 3; расположение в корпусе – рис. 4.18; диаметр сетки – 100 мм; характеристики материала: шаг плетения – 1000 мкм, диаметр проволоки – 800 мкм; сталь 08 ГОСТ 1050–88 с алитированным и оцинкованным поверхностным слоем
Входной патрубок	Диаметр – 50 мм; сталь 08 ГОСТ 1050–88
Выходной патрубок	Диаметр – 100 мм; сталь 08 ГОСТ 1050–88

Цель испытания: оценка подтверждения работоспособности искрогасителя в реальных условиях при работе мобильной сельскохозяйственной техники на сельскохозяйственных объектах при уборке урожая.

В ходе проведения испытаний выполняется:

- 1) визуальная оценка искро- и пламегашения;
- 2) контроль потери мощности (из-за роста перепада давления в выпускной системе), контролируемый расходом топлива;
- 3) визуальный контроль внешнего вида корпуса и сетчатого материала до и после испытаний;
- 4) контроль температуры корпуса в месте расположения сетчатого материала (не должна превышать 200 °С) до и после испытаний.

Общие положения и условия проведения испытаний:

– испытания проводятся в ГП «Мостовская сельхозтехника» Мостовского р-на Гродненской обл.;

– испытания по настоящей методике проводятся приемочной комиссией, состав которой определяется в установленном порядке;

– испытания устройства проводятся при нормальных климатических условиях при следующих значениях климатических факторов: температура окружающего воздуха 25 ± 10 °С; относительная влажность воздуха от 0 до 100 %; атмосферное давление от 700 до 800 мм рт. ст.;

– дополнительные условия по проведению испытаний устанавливаются соответствующими разделами настоящей программы и методики испытаний;

– при проведении работ по установке и эксплуатации искрогасителя должна обеспечиваться безопасность обслуживающего персонала в соответствии с системой стандартов безопасности труда и соблюдением норм пожарной безопасности. Все работы по установке, эксплуатации и техническому обслуживанию искрогасителя должны выполняться персоналом, прошедшим инструктаж;

– настоящая методика испытаний может дополняться и уточняться в установленном порядке по взаимному согласованию с ГП «Мостовская сельхозтехника».

Порядок и методика проведения испытаний. Испытания по настоящей программе и методике испытаний проводятся в соответствии с табл. 4.4.

Таблица 4.4

Содержание и порядок испытаний

Порядок испытаний	Содержание испытаний
Этап 1	Проверка комплектности и качества испытуемого устройства
Этап 2	Установка искрогасителя на выпускную систему, запуск двигателя и измерение температуры корпуса
Этап 3	Визуальная оценка искрогасящей способности
Этап 4	Визуальная оценка пламегасящей способности
Этап 5	Контроль потери мощности двигателя
Этап 6	Измерение температуры корпуса после завершения испытаний, демонтаж искрогасителя, разборка искрогасителя и визуальный осмотр корпуса и сетчатого материала на наличие повреждений

Обработка, анализ и оценка результатов испытаний. Результаты проведения испытаний оформляются актами рабочей комиссии. Результаты считаются положительными, если устройство испытано в полном объеме и последовательности, которые установлены настоящей методикой, и соответствует всем требованиям, по которым

проводятся испытания. При выявлении недостатков приемочная комиссия принимает решение об устранении выявленных недостатков и определяет сроки их устранения. После устранения недостатков, проводятся повторные испытания.

4.2.2. Результаты натурных испытаний

Натурные испытания являются важным этапом научно-исследовательской работы. Они позволяют подтвердить работоспособность разрабатываемого устройства в реальных условиях его эксплуатации, а также выявить недостатки, которые в ряде случаев невозможно обнаружить при его разработке и проведении лабораторных испытаний.

Особенностью испытаний является проведение их на работающей мобильной сельскохозяйственной технике на сельскохозяйственных объектах.

Натурные испытания искрогасителей проводились в ГП «Мостовская сельхозтехника» Мостовского р-на Гродненской обл.

Искрогаситель с тремя пакетами алитированных сеток (рис. 4.19) был установлен на тракторе МТЗ-80, который выполнял работы по транспортировке урожая пшеницы, агрохимические работы по известкованию кислых почв и внесению удобрений.



Рис. 4.19. Искрогаситель (выхлопная система МТЗ-80)

Искрогаситель с тремя пакетами оцинкованных сеток (рис. 4.20) был установлен на автомобиле ГАЗ-52, являющимся мобильной станцией технического обслуживания тракторов и автомобилей.



Рис. 4.20. Искрогаситель (выхлопная система ГАЗ-52)

Согласно разработанной программе и методике натурные испытания искрогасителей проводились по следующим этапам.

Этап 1. Проверка комплектности и качества испытуемого устройства. Проверка комплектности производилась в соответствии с конструкторской документацией на устройство. Качество испытуемого устройства оценивалось визуальным контролем расположения сетчатых пакетов в корпусе, отсутствием зазора между сетчатым пакетом и корпусом, отсутствием повреждения сеток, равномерностью нанесения покрытия, качества сварного соединения пакетов (рис. 4.21). В результате проверки комплектности оборудования и качества испытуемого устройства несоответствия не выявлены.

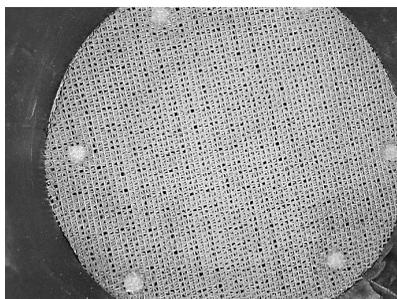


Рис. 4.21. Проверка качества искрогасителя

Этап 2. Установка искрогасителя на выпускную систему, запуск двигателя и измерение температуры корпуса. Была произведена установка искрогасителя на выхлопную систему двигателей трактора МТЗ-80 и автомобиля ГАЗ-52. Произведены запуск двигателей и проверена герметичность выхлопной системы. При проверке герметичности выхлопной системы двигателя, видимые дефекты (трещины, прогары, видимые неплотности соединительных посадок) отсутствовали. Видимых утечек выхлопных газов из соединительных посадок не наблюдалось. Двигатель прогревали до рабочей температуры в режиме холостого хода, измеряли температуру корпуса искрогасителя в месте расположения каждого из трех пакетов с помощью пирометра высокотемпературного ДТ-9862 с видеоскопом; плавно повышали обороты коленчатого вала двигателя до максимально допустимых, измеряли температуру корпуса (табл. 4.5, рис. 4.22).

Таблица 4.5

Температура корпуса искрогасителя

Обороты двигателя, об/мин	Температура корпуса искрогасителя, °С		
	Первый пакет	Второй пакет	Третий пакет
800	35	35	35
2200	130	150	150

В результате установки искрогасителя на выхлопную систему и измерения температуры можно утверждать: даже при максимальных оборотах двигателя температура корпуса искрогасителя не превышает 150 °С, что позволяет сделать вывод:

– частицы нагара (сажа), попавшие в искрогаситель, не будут являться источником образования искр, а горящие искры, замедляя свое движение в нем, будут догорать;

– такая температура искрогасителя в зоне расположения пакета сеток гарантирует их неразрушение (непрогорание).



Рис. 4.22. Измерение температуры корпуса искрогасителя

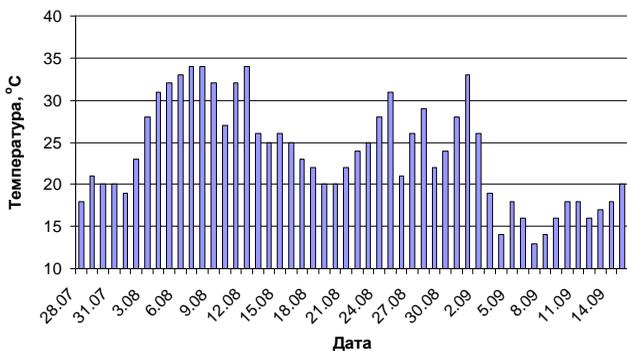
В результате установки искрогасителя на выхлопную систему и измерения температуры несоответствия не выявлены.

Этапы 3 и 4. Визуальная оценка искро- и пламегасящей способности. Трактор МТЗ-80 с установленным искрогасителем был задействован на агрохимических работах по известкованию кислых почв, внесению удобрений, при уборке урожая пшеницы в период с 28.07.2015 г. по 15.09.2015 г.

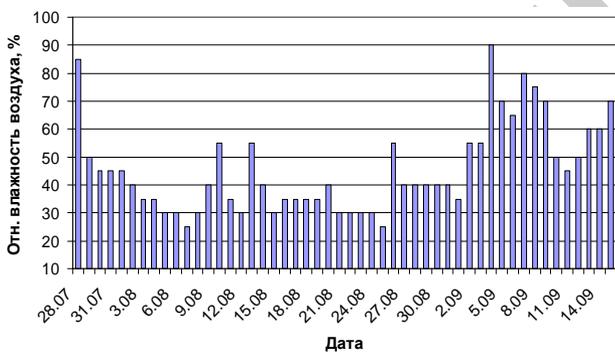
Значения климатических факторов в период проведения натурных испытаний (температура окружающего воздуха, относительная влажность воздуха и атмосферное давление) представлены на рис. 4.23.

В процессе эксплуатации водителем транспортного средства проводился визуальный контроль отсутствия появления искр и пламени из искрогасителя. Случаев фиксирования наличия искр и пламени не выявлено.

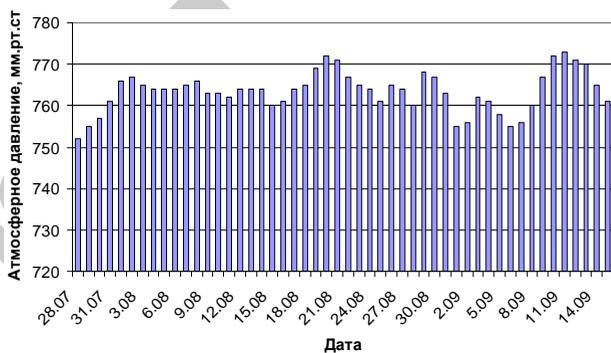
В результате визуальной оценки искро- и пламегасящей способности несоответствий не выявлено.



a



b



v

Рис. 4.23. Значения климатических факторов в период проведения натурных испытаний: *a* – температура окружающего воздуха; *b* – относительная влажность воздуха; *v* – атмосферное давление

Этап 5. Контроль потери мощности двигателя. Трактор МТЗ-80 с установленным искрогасителем был задействован на агрохимических работах по известкованию кислых почв, внесению удобрений, при уборке урожая пшеницы, а автомобиль ГАЗ-52 с установленным искрогасителем – для технического обслуживания тракторов и автомобилей в период с 28.07.2015 г. по 15.09.2015 г.

После проведения испытаний проведена сравнительная оценка удельного расхода топлива с установленным искрогасителем и условного расхода топлива без установленного искрогасителя (табл. 4.6, 4.7).

Таблица 4.6

Количество использованного топлива МТЗ-80

Тип выхлопной системы	Расход топлива, л	Наработка двигателя, моточас	Удельный расход топлива, л/моточас
Без использования искрогасителя	220,3	30,1	7,32
С использованием искрогасителя	221,4	30,2	7,33

Таблица 4.7

Количество использованного топлива ГАЗ-52

Тип выхлопной системы	Расход топлива, л	Пробег, км	Удельный расход топлива, л/100 км
Без использования искрогасителя	100,5	638	15,75
С использованием искрогасителя	100,9	640	15,77

Анализ данных (табл. 4.6, 4.7), полученных в процессе проведения испытаний, позволяет сделать вывод, что установка искрогасителя

на выхлопных системах транспортных средств не оказывает существенного влияния на расход топлива, что свидетельствует об отсутствии потери мощности двигателей.

Этап 6. Измерение температуры корпуса после завершения испытаний, демонтаж искрогасителя, разборка искрогасителя и визуальный осмотр корпуса и сетчатого материала на наличие повреждений. Прогревали двигатель трактора МТЗ-80 до рабочей температуры в режиме холостого хода, измеряли температуру корпуса искрогасителя в месте расположения каждого из трех пакетов; плавно повышали обороты коленчатого вала двигателя до максимально допустимых, измеряли температуру корпуса искрогасителя в месте расположения каждого из трех пакетов (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Температура корпуса искрогасителя

Обороты двигателя, об/мин	Температура корпуса искрогасителя, °С		
	Первый пакет	Второй пакет	Третий пакет
800	38	33	32
2200	125	145	110

В результате измерения температуры можно утверждать: даже при максимальных оборотах двигателя температура корпуса искрогасителя после проведения натурных испытаний не превышает 150 °С, что позволяет сделать вывод:

– частицы нагара (сажа), попавшие в искрогаситель, не являлись источником образования искр, а горячие искры, замедляли свое движение в нем и догорали;

– такая температура искрогасителя в зоне расположения пакета сеток гарантирует их неразрушение (непрогорание).

Демонтировали искрогаситель с выпускной системы двигателя трактора МТЗ-80. Разбирали искрогаситель и визуально оценивали отсутствие повреждений на элементах корпуса и на сетчатых искрогасящих элементах (рис. 4.24).



Рис. 4.24. Искрогаситель после проведения испытаний:
a – корпус искрогасителя; *б* – вид со стороны входного патрубка;
в – вид со стороны выходного патрубка;
г – первый пакет сеток (со стороны входного патрубка);
д – второй пакет сеток (в середине корпуса);
е – третий пакет сеток (со стороны выходного патрубка)

Визуальная оценка внешнего вида искрогасителя в целом, корпуса, входного и выходного патрубков показала отсутствие механических повреждений (трещин, вмятин и т.п.) и заметных следов

коррозии (рис. 4.24, *а, б, в*). Визуальная оценка внешнего вида сетчатых пакетов также показала отсутствие механических повреждений (разрыв сетки, деформация ячеек сетки), термических повреждений (прожог сетчатого материала), следов коррозии (рис. 4.24, *г, д, е*). На наружных поверхностях сетчатых пакетов, а также между сетками в каждом пакете обнаружены продукты сгорания топлива в виде мельчайших частиц сажи, а также их агломераты, которые могли быть сгоревшими и задержанными искрами. Анализ дисперсного состава, проведенный на микроскопе МИКМЕД-6 с помощью программного обеспечения для захвата и обработки видеоизображений микрообъектов САК0.468211.003 РПО, показал, что сетчатый материал способен задерживать частицы продуктов сгорания размерами от 8 до 550 мкм (рис. 4.25), и тем самым выполнять функции сажеуловителя топлива.

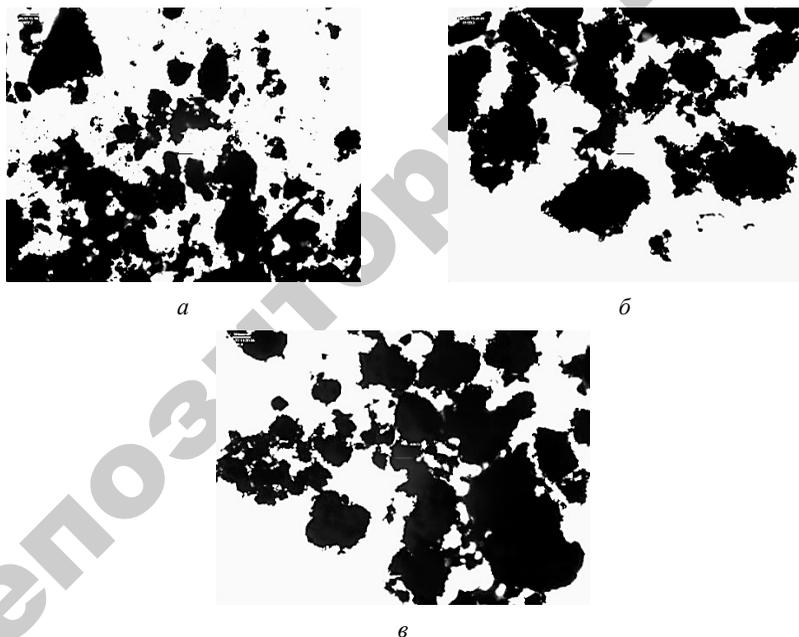


Рис. 4.25. Фотографии сажестых частиц, задержанных сетчатым материалом искрогасителя:
а – первый пакет сеток (со стороны входного патрубка);
б – второй пакет сеток (в середине корпуса);
в – третий пакет сеток (со стороны выходного патрубка)

В результате измерения температуры корпуса после завершения испытаний, демонтажа искрогасителя, разборки искрогасителя и визуального осмотра корпуса и сетчатого материала на наличие повреждений несоответствий не выявлено.

В процессе эксплуатации алитированного сетчатого материала появились зоны спекшейся сажи и темный налет, довольно прочно связанный с поверхностью диффузионного слоя (рис. 4.26, а, б), что является предположительно следствием химического взаимодействия. Алитированный слой сохранил свою сплошность, дефектов не обнаружено. Структура не претерпела заметных изменений (рис. 4.26, в).

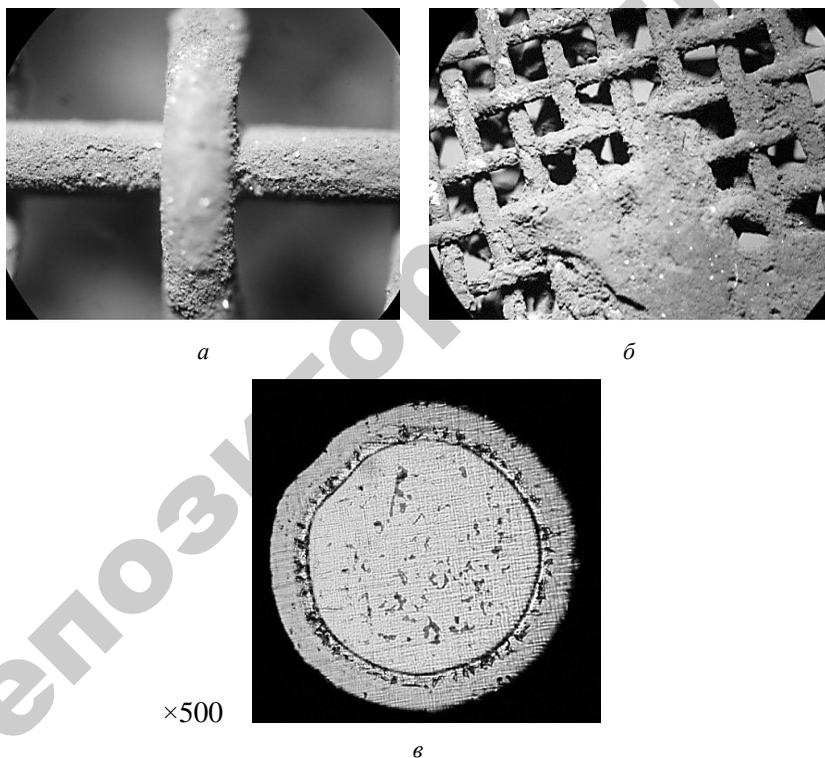
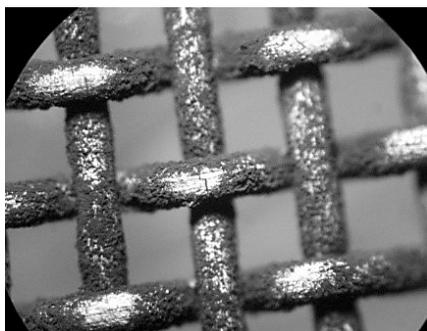
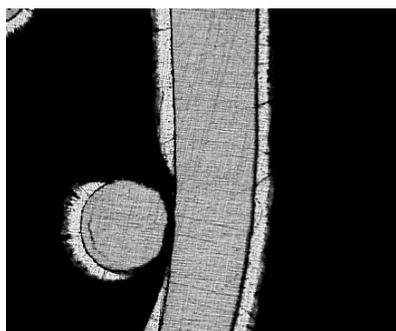


Рис. 4.26. Внешний вид (а, б) и микроструктура (в) алитированного сетчатого материала после длительной эксплуатации в реальных условиях в составе искрогасителя

Налет сажи с поверхности оцинкованного сетчатого материала легко удаляется, не образуя прочных химических соединений (рис. 4.27, *а*). Однако в процессе эксплуатации оцинкованного сетчатого материала увеличилось количество радиальных трещин по всему диффузионному слою и в переходной зоне к основному металлу, кроме того, встречаются участки, где в месте сплетения часть диффузионного покрытия отделилась (рис. 4.27, *б*, *в*).



а



×200

б



×1000

в

Рис. 4.27. Внешний вид (*а*) и микроструктура (*б*, *в*) оцинкованного сетчатого материала после длительной эксплуатации в реальных условиях в составе искрогасителя

Оба покрытия в техническом плане выполнили свою функцию и, как отмечено выше, не получили повреждений при эксплуатации,

которые могли бы быть обнаружены визуально. Тем не менее, в результате микроанализа установлено отслоение фрагмента покрытия у оцинкованных сеток (см. рис. 4.27). Предположительно такое отделение покрытия от основы произошло при демонтаже сеток, однако нельзя исключать вариант и частичного разрушения покрытия при эксплуатации. Установленные по микрошлифам очаги разрушения незначительны и не способны активно влиять на стойкость всего материала. Разрушение покрытия, наиболее вероятной причиной которого является термоциклирование при работе материала, не так опасно, количество таких участков крайне мало и составляет не более 10 % от всей анализируемой площади.

С точки зрения экономической составляющей, по оценке авторов, стоимость алитирования сетчатого материала приблизительно на 20–30 % выше аналогичного термодиффузионного цинкования.

Таким образом, алитированные покрытия более предпочтительны для применения в качестве защитных на сетчатые материалы, работающие в составе искрогасителей, прежде всего по причине более высокой жаростойкости и обеспечения целостности покрытия, особенно если нагрев поверхности элемента при работе составляет более 500 °С.

Технологические свойства полученного сетчатого материала после цинкования и алитирования следует считать удовлетворительными для применения в качестве элемента искрогасителей. Минимальный угол, при котором наблюдается зарождение трещины на диффузионном слое или разрушение проволоки, составляет не менее 25°.

Проводя сравнительную оценку коррозионной стойкости в камере соляного тумана двух рассматриваемых типов диффузионных покрытий, установлено, что алитированные слои значительно уступают по коррозионной стойкости цинковым. Первые очаги коррозии наблюдались уже через 8 часов испытаний. Площадь поражения после 40 часов составила около 40 %.

Исследования жаростойкости позволили установить пригодность оцинкованных диффузионных слоев для работы в условиях окислительного воздействия кислорода воздуха при нагреве до температуры 600 °С.

Проведенные натурные испытания показали, что разработанный сетчатый искрогаситель успешно прошел натурные испытания в соответствии с разработанной программой и методикой их проведения. Испытания подтвердили работоспособность искрогасителя в реальных условиях при работе мобильной сельскохозяйственной техники на сельскохозяйственных объектах: искрогаситель обеспечивает задержку и гашение искр и пламени в выхлопной системе двигателей внутреннего сгорания, не снижает мощность двигателя транспортного средства, а также является сажеуловителем.

Литература к главе 4

1. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности : ГОСТ 12.2.002–91. – Введ. 01.07.92. – М. : Издательство стандартов, 1992. – 30 с.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИСКРОГАСИТЕЛЕЙ НА МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ УБОРКЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИИ УРОЖАЯ

Согласно Правилам пожарной безопасности Республики Беларусь для объектов сельскохозяйственного производства (ППБ Беларуси 01–2014) на системах выпуска отработанных газов сельскохозяйственной техники должны быть установлены искрогасители, предотвращающие образование источников загорания на сельскохозяйственных объектах.

Работа (въезд) транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания без исправных искрогасителей на выхлопных трубах на территории складов, ферм, взрыво- и пожароопасных зон не допускается (п. 81, 163 ППБ Беларуси 01–2014).

Выпускные трубы двигателей самоходных шасси, косилок, тракторов, автомобилей и комбайнов, применяемых при уборке хлеба, заготовке грубых кормов, должны быть оборудованы исправными искрогасителями. Наличие искрогасителей обязательно и для тракторов, занятых на вспашке, если эти работы производятся одновременно с жатвой возле участков с необранным хлебом или грубыми кормами. Водитель транспортного средства с ДВС не реже 2–3 раз в смену должен очищать поверхность двигателя, коллектора, выхлопной трубы, искрогасителя от пыли, нагара (п. 698 ППБ Беларуси 01–2014).

Зерносушильные комплексы шахтного и колонкового типа производительностью более 12 т в час должны быть оборудованы: исправными устройствами комплексной защиты, обеспечивающими автоматическое обнаружение очагов возгорания в зоне сушки, звуковую и световую сигнализацию о возникновении возгораний; искроуловителями, обеспечивающими улавливание искр из потока теплоносителя, а также подачу воды в зону сушки для ликвидации возгораний (п. 666 ППБ Беларуси 01–2014). При устройстве и эксплуатации зерносушильных комплексов, оборудованных теплогенераторами, работающими на твердом топливе, дымовые трубы теплогенераторов должны быть оборудованы искрогасителями (п. 667.2 ППБ Беларуси 01–2014). После каждой смены работы су-

шилки необходимо удалить золу из топочного пространства, осадочных камер, циклона-искрогасителя и камеры смешения (п. 682 ППБ Беларуси 01–2014).

Согласно Постановлению Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь «Об утверждении правил технической эксплуатации автозаправочных станций» (4 декабря 2003 г., № 38) на территории АЗС запрещается заправлять гусеничные тракторы и тракторы на резиновом ходу, у которых отсутствуют искрогасители (п. 245.5).

Согласно СТБ 1556–2005 «Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Требования пожарной безопасности и методы испытаний» система выпуска отработавших газов двигателя автотракторной техники должна обеспечивать гашение искр в отработавших газах. В местах соединения прорыв газов и искр не допускается (п.п. 4.3.2)

Искрогаситель (глушитель) выпускной системы двигателя должен соответствовать требованиям, сформулированным нами ранее.

Перед выездом в поле, выездом в склад водители должны проверить исправность и надежность крепления искрогасителя, надежность крепления электрооборудования, устранить подтекание масла и топлива в системах.

Однако анализ пожаров, возникавших в Республике Беларусь при работе мобильной техники на сельскохозяйственных объектах при уборке, переработке и хранении урожая в 2014–2015 гг., позволяет сделать вывод, что многие из приведенных выше требований ТНПА не выполняются или выполняются частично. Причины возникновения пожаров объясняются либо отсутствием искрогасителей на технике, либо не нашли объяснений. Можно предположить с большой вероятностью, что причинами возникновения могли быть отсутствие искрогасителя, его неисправность, либо неправильная эксплуатация.

Ниже приведены примеры возгораний на сельскохозяйственных объектах, взятые из интернет-источников.

5 августа 2015 г. произошло возгорание стерни в поле возле д. Збураж Брестской обл. (рис. 5.1) [1]. Огонь повредил 3 га пшеницы и 5 га стерни. В качестве причин рассматривались версии: неосторожное обращения с огнем со стороны неустановленного лица; отсутствие искрогасителя на технике, участвовавшей в уборке.



Рис. 5.1. Возгорание стерни в поле возле д. Збураж Брестской обл.

7 августа 2015 г., из-за пожара в Смолевичском р-не Минской обл. около Кургана Славы уничтожены зерновые на площади 7 га (рис. 5.2) [2]. Также поврежден лес на площади 2 га. Причина пожара не установлена.



Рис. 5.2. Пожар в Смолевичском р-не Минской обл.

В Малоритском р-не Брестской обл. возле д. Сушитница 6 августа 2015 г. сгорел зерноуборочный комбайн КЗС-1218 «Палессе GS12», а также 1,5 га зерновых и 1 га стерни [3]. Причина не установлена, одна из версий – отсутствие искрогасителя на технике, участвовавшей в уборке.

31 июля 2015 г. произошло возгорание остатков стеблей злаков в Минске в районе ул. Карастояновой и Долгиновский тракт [4]. Горела стерня и сухая трава. Кроме того, в поле в Минском р-не возле с. Малый Тростенец также горела стерня и сухая трава (рис. 5.3). Причиной возгорания в жару мог быть любой источник огня, в частности, отсутствие или неисправность искрогасителя.



Рис. 5.3. Пожар в с. Малый Тростенец Минского р-на

25 июля 2014 г. возле д. Стриевка Гродненского р-на загорелся пресс-подборщик John Deere (рис. 5.4) [5]. Причина возгорания неизвестна.



Рис. 5.4. Пожар в д. Стриевка Гродненского р-на

Возле д. Купятичи Пинского р-на Брестской обл. 30.08.2015 на поле сгорело 24 т соломы (рис. 5.5) [6]. Скирду высотой около четырех метров пламя уничтожило полностью. Причина неизвестна.



Рис. 5.5. Пожар в д. Купятичи Пинского р-на Брестской обл.

В г. Кировске Могилевского р-на 26.10.2014 г. произошел пожар на территории ОАО «Кировск-лен» (рис. 5.6) [7]. В результате пожара уничтожено около 1000 т льнотресты, поврежден навес. Причина пожара устанавливалась Следственным комитетом.



Рис. 5.6. Пожар в г. Кировске Могилевского р-на

В Оршанском р-не Витебской обл. 9 августа 2015 г. в результате пожара на пшеничном поле уничтожено 2,5 га пшеницы (рис. 5.7) [8]. Кроме того, повреждена жатка и кабина зерноуборочного комбайна. Во время уборочных работ на поле работало 3 комбайна. В этот же день произошло возгорание стога соломы (63 т) в районе д. Грязево (рис. 5.8). Причины возгораний неизвестны.



Рис. 5.7. Пожар в Оршанском р-не



Рис. 5.8. Пожар в д. Грязево Оршанского р-на

25 августа 2015 г. в д. Узболоть Воложинского р-на произошло возгорание трактора и прицепного устройства – рулонного пресс-

подборщика; от них загорелось 10 га стерни (рис. 5.9) [9]. В результате повреждена кабина, уничтожены колеса трактора, повреждено прицепное устройство и уничтожены его колеса, выгорела стерня.



Рис. 5.9. Пожар в д. Узболоть Воложинского р-на

В августе 2014 г. в СПК «Красный боец» Кировского р-на Могилевской обл. при проведении уборочных работ произошло возгорание зерноуборочного комбайна [10]. Автор статьи (Александр Журавский, инспектор ИНиП РОЧС) отмечает, что сельскохозяйственная техника может быть допущена к работе только после тщательной регулировки систем питания, зажигания и смазки. Помимо других противопожарных мероприятий, автор подчеркивает о необходимости оборудования выхлопных труб двигателей машин надежными искрогасителями.

Литература к главе 5

1. Оранжевый уровень опасности: огонь добрался до пшеницы на полях [Электронный ресурс] // Зялёны партал. – 2015. – URL: <http://greenbelarus.info/articles/06-08-2015/oranzhevyu-uroven-opasnosti-ogon-dobral-sya-do-pshenicy-v-polyah>. – Дата обращения: 07.08.2015.
2. В Смолевичском районе пожар уничтожил зерновые площадью 7 гектар [Электронный ресурс] // Grodno24. – 2015. – URL: <http://grodno24.com/belarus/v-smolevichskom-rajone-pozhar-unichtozhil-zernovyie-ploshhadyu-7-gektar.html>. – Дата обращения: 09.08.2015.

3. В Малоритском районе на поле сгорел комбайн и 1,5 га зерновых [Электронный ресурс] // Tut.by. – 2015. – URL: http://news.tut.by/accidents/459497.html?utm_campaign=news-feed&utm_medium=rss&utm_source=rss-news. – Дата обращения: 07. 08 2015.

4. В тушении полей под Минском задействован вертолет МИ-8 [Электронный ресурс] / Руслан Дубровский // NESBEL.BY: национально-аналитическая газета Беларуси. – 2014. – URL: <http://newsbel.by/07/31/pod-minskom-goryat-polya/>. – Дата обращения: 31.07.2015.

5. Очередная импортная сельхозтехника не выдержала темпы уборки в Беларуси и загорелась. Случай возле Гродно [Электронный ресурс] // AutoGrodno.by. – 2014. – URL: <http://autogrodno.by/22-news/2/6237-ocherednaya-importnaya-selkhoztekhnika-ne-vyderzhala-tempy-uborki-v-belarusi-i-zago-relas-sluchaj-vozle-grodno.html>. – Дата обращения: 31.07.2014.

6. В Пинском районе на поле сгорело 24 тонны соломы [Электронный ресурс] // Новости «24 часа». – 2015. – URL: <http://www.ctv.by/novosti-bresta-i-brestskoy-oblasti/v-pinskom-rayone-na-pole-sgorelo-24-tonny-solomy>. – Дата обращения: 1.09.2015.

7. Кировск: пожар уничтожил около тысячи тонн льняной соломы [Электронный ресурс] // Новости «24 часа». – 2014. – URL: <http://www.ctv.by/novosti-mogileva-i-mogilevskoy-oblasti/kirovsk-pozhar-unichtozhil-okolo-tysyachi-tonn-lyanyoy-solomy>. – Дата обращения: 26.10.2014.

8. Пожар в Оршанском районе уничтожил 63 тонны соломы и 2,5 га пшеничного поля [Электронный ресурс] // ОТТБ. Охрана труда. Технологии безопасности. – Минск, 2015. – URL: <http://trudohrana.org/pozhar-v-orshanskom-rajone-unichtozhil-63-tonny-solomy-i-25-ga-pshenichnogo-polya/>. – Дата обращения: 10. 08. 2015.

9. В Воложинском районе спасатели отстояли от огня деревню Узболоть [Электронный ресурс] // МЧС Республики Беларусь. – 2015. – URL: http://mchs.gov.by/rus/main/events/news/~year_m22=2015~month_m22=8~page_m22=1~news_m22=56663. – Дата обращения: 26.08.2015.

10. Зерноуборочные работы – без пожаров [Электронный ресурс] / Александр Журавский // МЧС Республики Беларусь. – 2015. – URL: http://mchs.gov.by/rus/main/events/region/print/~year_m22=2015~page_m22=32~news_m22=53508. – Дата обращения: 20.07.2015

ДЛЯ ЗАМЕТОК

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

ДЛЯ ЗАМЕТОК

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Научное издание

Капцевич Вячеслав Михайлович,
Лисай Николай Константинович,
Константинов Валерий Михайлович и др.

**ИСКРОГАСИТЕЛИ
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

Ответственный за выпуск *В. М. Капцевич*
Редактор *Д. О. Бабакова*
Корректор *Д. О. Бабакова*
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 11.12.2017 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 9,07. Уч.-изд. л. 7,09. Тираж 100 экз. Заказ 460.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.