

УДК 536.36

## ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ВЫПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

С. А. Филатов, М. Н. Долгих, Г. С. Кучинский, А. А. Гункевич, Н. А. Кумейша,  
И. А. Дроздов, П. Н. Кумейша

*Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Неуклонное увеличение потребления топлива в различных отраслях промышленности и на транспорте приводит к росту объема поступающих в атмосферу вредных веществ. Наиболее эффективным в настоящее время является использование комбинированных методов очистки и нейтрализации выхлопных газов включающих как физические так и физико-химические методы, в т.ч. использующие высоковольтный барьерный разряд и каталитические реакции. Трудности использования этих устройств связаны с тем, что отработавшие газы проходят по выпускной системе с большой скоростью и температура их изменяется в широких пределах, а сами нейтрализаторы подвергаются значительным внешним механическим и термическим нагрузкам. При этом в выхлопных газах дизельных двигателей концентрация оксидов углерода и углеводородов значительно ниже, чем у двигателей с искровым зажиганием, однако они в больших количествах выбрасывают оксиды азота и твердые частицы, в основном сажу. Поэтому на дизелях устанавливают не только окислительные нейтрализаторы, но и сажевые фильтры с системами рециркуляции. Один из альтернативных методов нейтрализации отработавших газов и снижения сажеобразования - использование низкотемпературной плазмы в специальных устройствах при различных видах импульсных высоковольтных электрических разрядов (коронный, барьерный и др). При подаче напряжения в электроразрядное устройство в нем создается неравновесная слабоионизированная низкотемпературная плазма, которая воздействует на отработавшие газы. В результате многостадийных химических реакций оксиды азота, серы и углерода разлагаются на нетоксичные молекулы кислорода, азота, серы и углерода. Одновременно происходит конверсия (превращение) оксида азота в его диоксид, который связывается радикалом ОН в азотную кислоту в виде аэрозоля. Аналогичные реакции протекают с диоксидом серы и оксидом углерода, приводя к образованию аэрозолей. Аэрозоли улавливают в достаточно простых электрофильтрах, обеспечивающих степень очистки до 98–99 %.

Для оценки токсичности, особенностей сажеобразования и исследование влияния регулировок, организации рабочего процесса, а также системы каталитической

нейтрализации нами была разработана стендовая установка на базе двигателя Honda GC135, снабженная модульной системой очистки для исследования состава газовых выхлопов и эффективности действия разрабатываемых систем нейтрализации. Автоматизированный экспериментальный стенд включает в себя двигатель внутреннего сгорания (генератор газов), датчик числа оборотов, датчик концентрации кислорода выхлопных газов, датчик давления, датчики температуры, многоканальный цифровой регистратор температуры, модульную систему нейтрализации с портами для подключения активного электроразрядного нейтрализатора и активного акустического демпфера, электроразрядный нейтрализатор (коронатор), управляемый высоковольтный источник с обратной связью. Анализ состава сажи осуществляется с помощью специального сажевого фильтра, устанавливаемого в системе нейтрализации. Анализ состава газов может осуществляться как в реальном времени с помощью прокачиваемой газовой кюветы устанавливаемой в ИК Фурье спектрометр и газового хроматографа, так и по результатам работы двигателя в заданном режиме в течение фиксируемого интервала времени, рис. 1-5.

Использование в стенде двигателя внутреннего сгорания в качестве газогенератора обеспечивает широкий диапазон расходов и состава газов необходимых для исследования систем нейтрализации. Автоматизированная система регистрации параметров стенда на основе персонального компьютера обеспечивает регистрацию основных характеристик режимов работы двигателя и системы нейтрализации. Разработано программное обеспечение для регистрации в реальном времени температуры на входе и выходе системы нейтрализации, концентрации кислорода в газах (на входе или выходе нейтрализатора), дифференциального сигнала датчика давления, числа оборотов двигателя. Модульная структура программного обеспечения и нейтрализатора обеспечивает достаточно простую перестройку системы при изменении ее конфигурации. Разработана энергосберегающая конструкция высоковольтного импульсного источника для электроразрядного сажевого фильтра и электроразрядного нейтрализатора с использованием барьерного разряда. В ходе проведенных предварительных экспериментов подтверждена эффективность предложенных подходов.

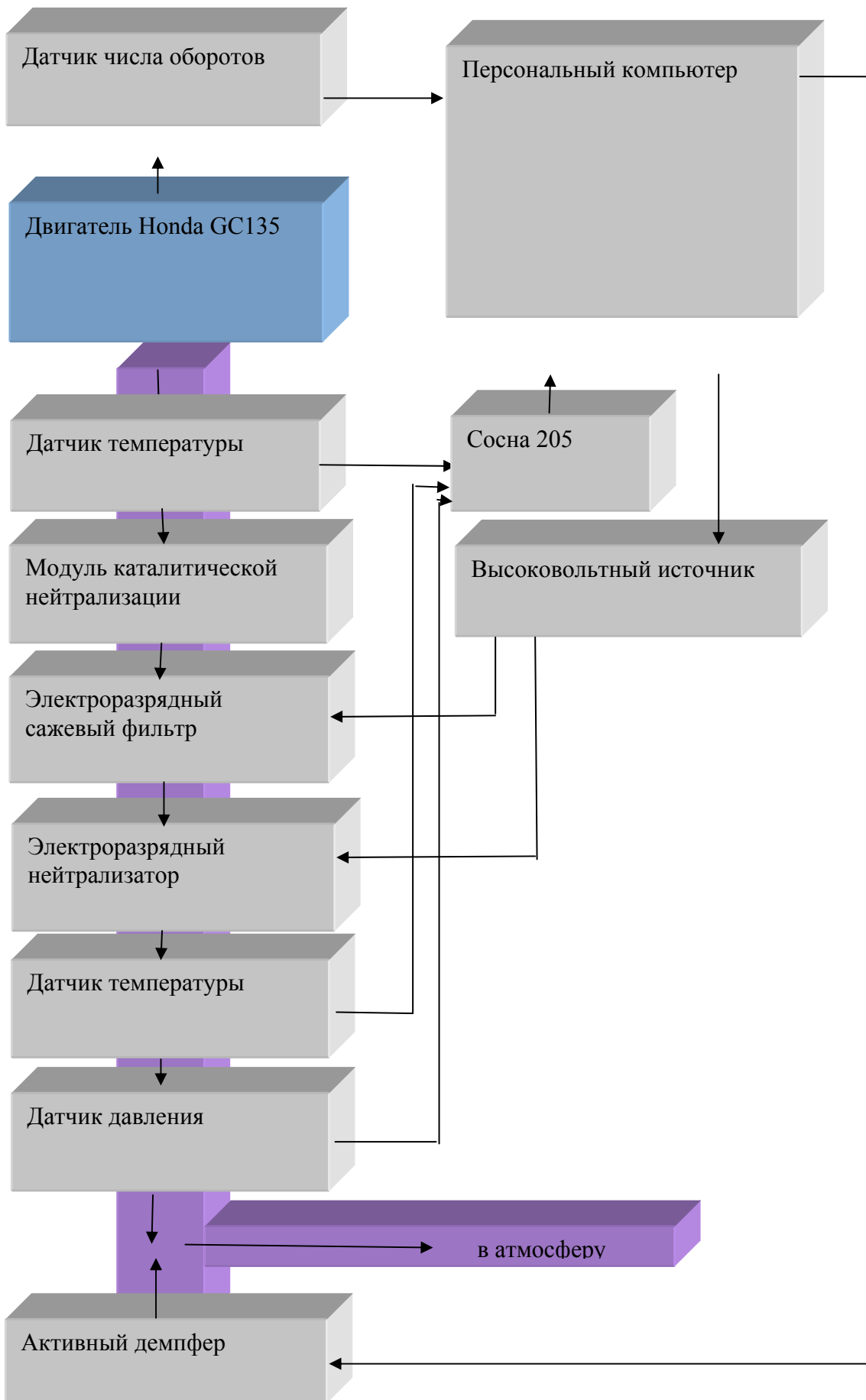


Рис. 1. Блок-схема стенда для оптимизации параметров системы нейтрализации



Рис. 2. Общий вид экспериментального стенда с управляемым высоковольтным источником и системой регистрации температур (вверху), персональным компьютером (в центре) и модульной системой нейтрализации (внизу) при использовании барьерного разряда при напряжении до 40 кВ (частота разрядных импульсов 28 кГц).

С целью оптимизации параметров реакционной камеры в которой происходит барьерный разряд было проведено численное моделирование стационарных и нестационарных течений газов с учетом возникающей турбулентности и рабочих циклов двигателя, которые затем сравнивались с экспериментальными данными, рис. 3-4.

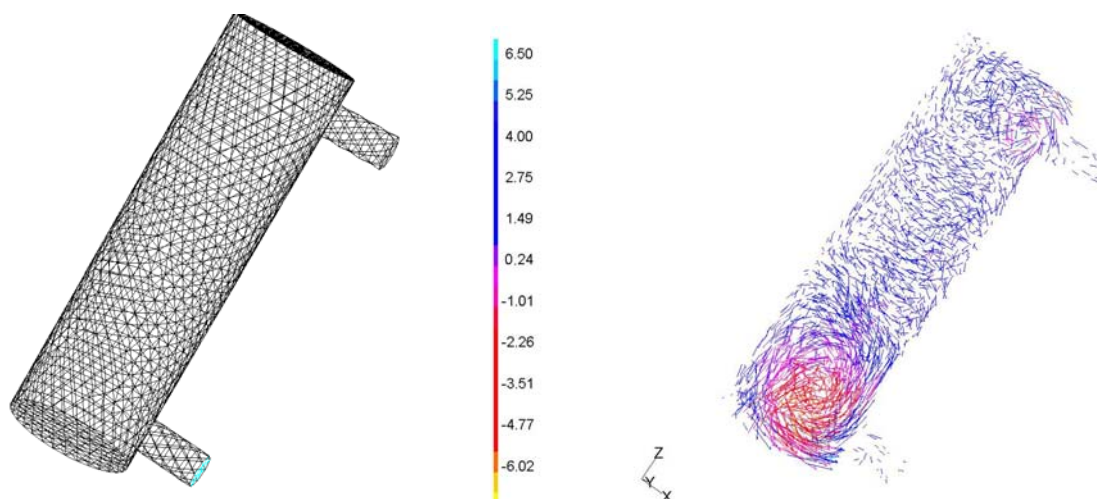


Рис. 3. Расчетная сетка компьютерной модели и гидродинамическая картина течений в реакционной камере экспериментального глушителя

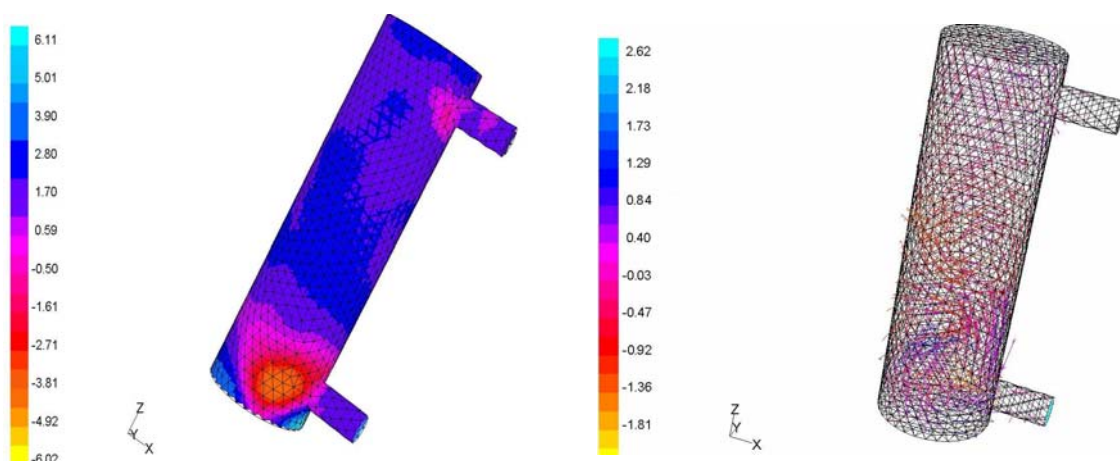


Рис. 4. Распределение давления и потоки в компьютерной модели реакционной камере экспериментального глушителя

Для анализа фракционного состава сажевых частиц был использован атомно-силовой микроскоп. Подготовленное покровное стекло микроскопа вносилось непосредственно в газоотводящий тракт перед реактором на 2 с., после чего проводился анализ осажденных частиц, рис. 5.

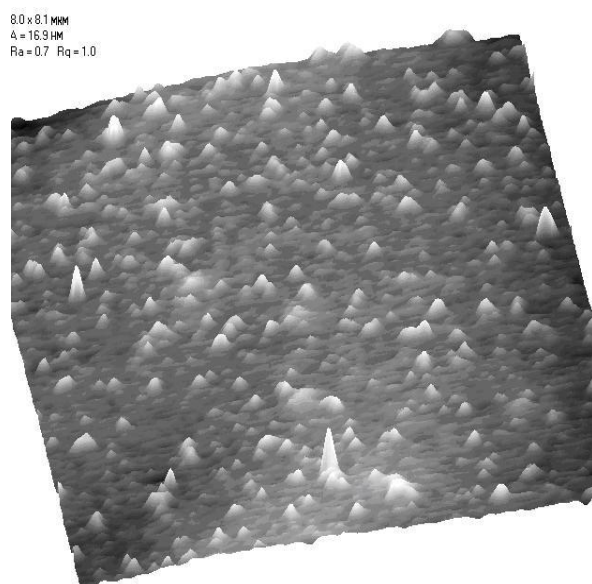


Рис. 5. Изображение сажевых частиц на покровном стекле, полученное с помощью атомно-силового микроскопа

Состав газов до и после реактора определялся с помощью газовой кюветы и ИК Фурье спектрометра. После предварительной промывки газовой кюветы сухим азотом, через кювету прокачивался анализируемый газ и записывался спектр пропускания из которого вычитался спектр пропускания той же кюветы заполненной азотом. Разностный спектр анализировался с целью определения как влияет на состав газов барьерный разряд проходящий в реакционной камере, рис. 6 и позволил определить значительную эффективность доокисления CO до CO<sub>2</sub> при энергозатрате менее 1 Вт на 1 см<sup>3</sup> рабочего объема двигателя. При этом предполагаемый механизм реакции в упрощенном виде может быть представлен, как

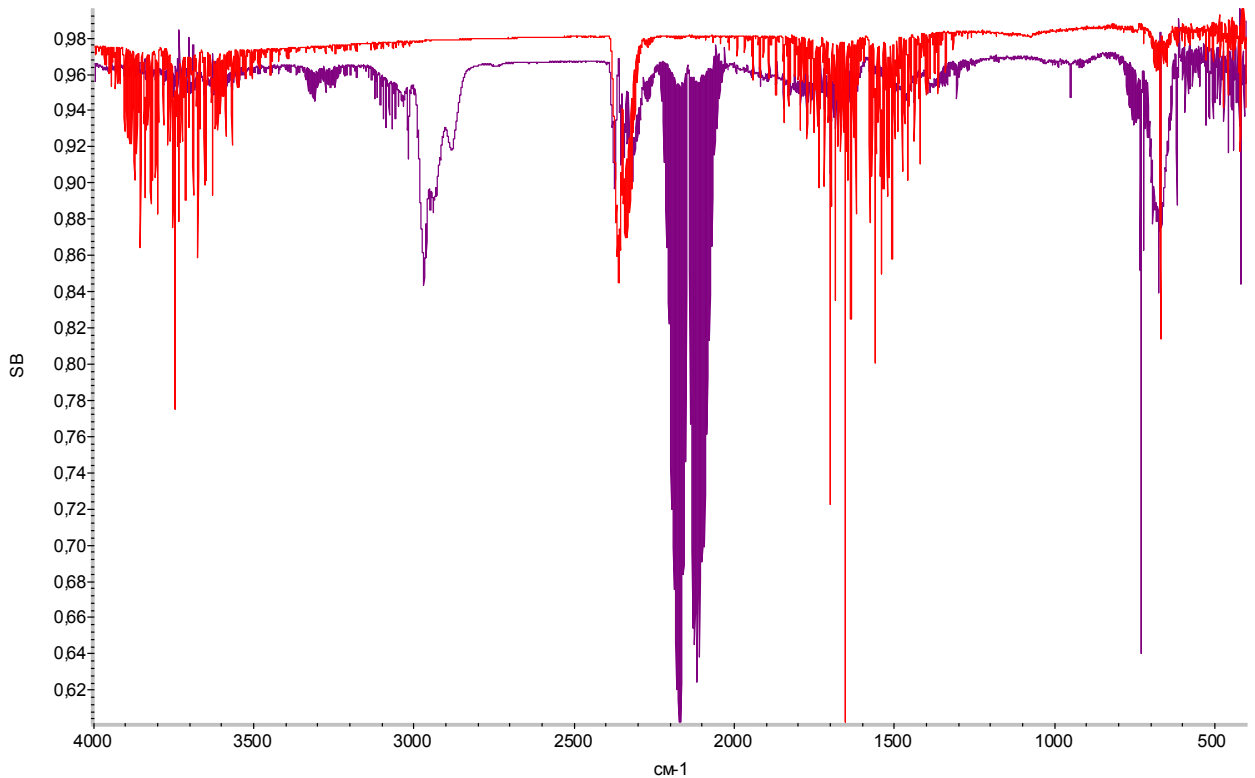
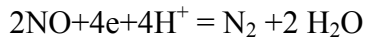


Рис. 6. Изменение спектров поглощения выхлопных газов (нижний спектр) после обработки в барьерном разряде (верхний спектр)

Для анализа теплового режима сажевого фильтра двигателя внутреннего сгорания был использован ИК тепловизор IR SnapShot 550 с разрешением по температуре 0,1°C. Характерные тепловые изображения приведены на снимках представленных ниже. После выхода двигателя на рабочий режим осуществлялась регистрация теплового изображения с одновременной регистрацией температуры корпуса контактным датчиком, рис. 7-8.

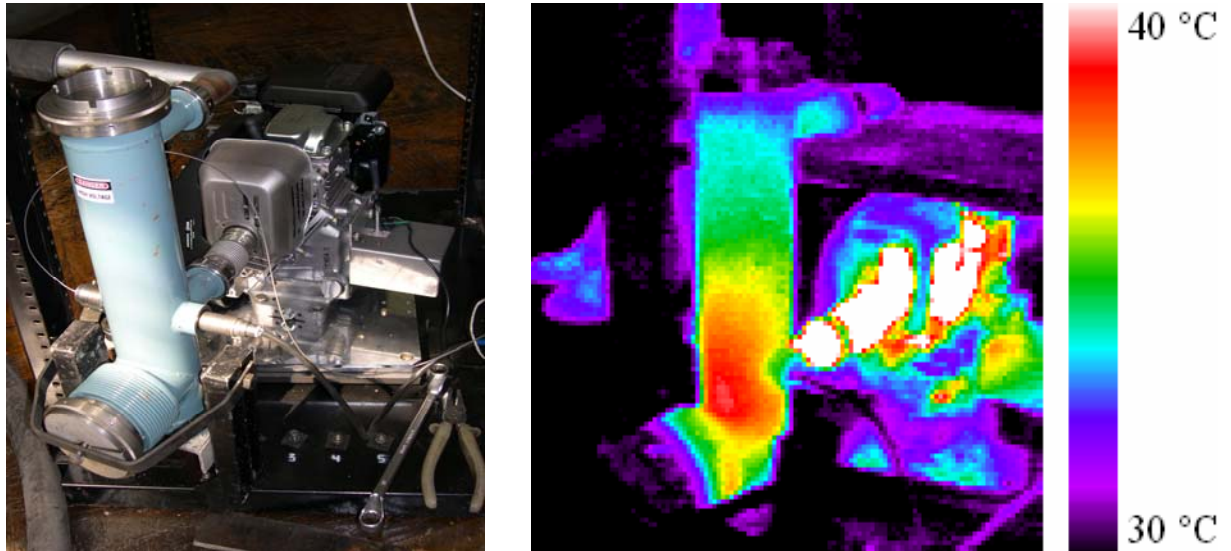


Рис. 7. Работающий двигатель с высоковольтным реактором и его тепловое изображение

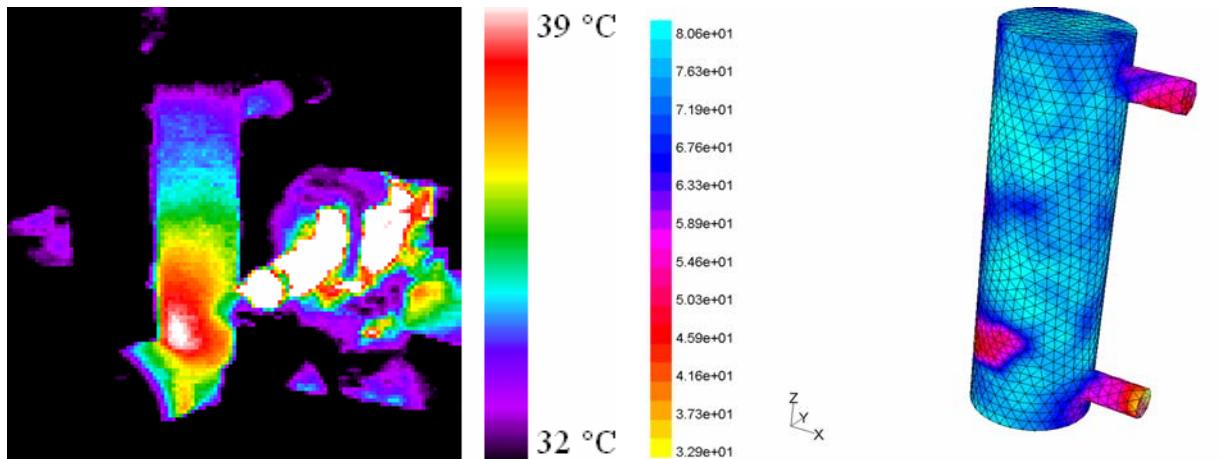


Рис. 8. Термограмма работающего двигателя и высоковольтного реактора (справа приведены результаты численного моделирования распределения температур в реакторе)

Надо отметить, что каталитический процесс нейтрализации продуктов горения протекает, как правило, при температуре выше 300°C и при малых временах контакта, что, соответственно к катализаторам очистки газов предъявляются весьма жесткие требования. высокая активность и избирательность каталитического действия, термостабильность, устойчивость к действию ядов, высокая механическая прочность, большая теплопроводность, в то же время для повышения активности катализатора может быть использована обработка в низкотемпературной плазме, в зоне тлеющего разряда и воздействие СВЧ-излучения. Следует высокую зависимость эффективности применяемых



систем от состава топлива и перспективность использования биодизеля в качестве топлива с низким уровнем сажеобразования.

Таким образом, с целью создания высокоэффективных сажевых фильтров, электроразрядных и каталитических нейтрализаторов выхлопных газов на основе анализа тепловых и гидродинамических режимов выпускной системы разработан макетный образец электроразрядного сажевого фильтра для нейтрализации выхлопных газов, разработаны методики проведения измерений. Осуществлено численное моделирование гидродинамических и тепловых режимов работы разрабатываемых конструкций, что позволило оптимизировать режим работы нейтрализатора и сажевого фильтра, начата работа по созданию бортовой системы электроразрядного сажевого фильтра и нейтрализатора выхлопных газов с удельным энергозатратом барьерного разряда с частотой 28-30 кГц менее 1 Вт на 1 см<sup>3</sup> установленной мощности двигателя.