

Сведения о выполненных работах и полученных научных результатах
в период с 27.07.2022 г. по 30.06.2023 г.

по проекту **«Влияние поверхностно-активных веществ на дисперсность капель при распылении жидких топлив форсунками»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-79-00092

Руководитель: Перфильева Ксения Григорьевна, канд. физ.-мат. наук

В первый год проекта получен ряд новых научных результатов по влиянию поверхностно-активных веществ на структуру и дисперсные характеристики жидко-капельного аэрозоля в факеле распыла эжекционной форсунки.

Проведен аналитический обзор научной литературы по поверхностно-активным веществам, проанализированы их классификации, влияние различных классов поверхностно-активных веществ на коэффициент поверхностного натяжения модельных жидкостей (в частности, дистиллированной воды, спирта и керосина), их физико-химические свойства, реакционные способности, токсичность и воздействие на окружающую среду. Проведен аналитический обзор научно-технической литературы по исследованию физического содержания процесса распада жидкости при распыливании различными способами. Проведен аналитический обзор результатов теоретических и экспериментальных исследований по влиянию коэффициента поверхностного натяжения жидкости на дисперсность капель в факеле распыла. По результатам проведенного исследования были отобраны наиболее эффективные составы поверхностно-активных веществ для достижения поставленных в проекте целей и методов исследования структуры и дисперсных характеристики жидко-капельного аэрозоля в факеле распыла эжекционной форсунки. Проведена отладка и модификация экспериментальных установок для реализации выбранных методов исследования влияния типа и концентрации поверхностно-активных веществ на дисперсность капель в факеле распыла.

Проведены экспериментальные исследования влияния коэффициента поверхностного натяжения жидкости на дисперсность капель в факеле распыла эжекционной форсунки. Получены новые результаты экспериментального исследования влияния типа и концентрации поверхностно-активных веществ (додецилсульфата натрия, синтанола АЛМ-10) на структуру и дисперсные характеристики жидко-капельного аэрозоля в следующем диапазоне определяемых и определяющих параметров: для эжекционной форсунки с газовым трактом в форме конфузора давление $p = 0.3$ МПа, расход газа $G_g = 5.4$ м³/ч и жидкости $G_l = 1.07$ г/с; для эжекционной форсунки с тангенциальной подачей газа давление $p = 0.3$ МПа, расход газа $G_g = 5.1$ м³/ч и жидкости $G_l = 2.41$ г/с; коэффициент поверхностного натяжения жидкости $\sigma = (33.27-71.25)$ мН/м; при исследовании размера капель в факеле распыла расстояние от среза сопла форсунки до измерительного объема составляло $h = 10$ см, максимальный угол отклонения консоли составлял

$\theta = \pm 6$ градусов, а при исследовании структуры факела распыла расстояние от среза сопла форсунки до измерительного объема – $z = 5$ см.

Обработка результатов измерений размеров образующихся капель в факеле распыла эжекционной форсунки проводилась методом малоуглового рассеяния в рамках моделей монодисперсных и полидисперсных капель. Анализ экспериментальных данных по распыливанию «чистой» дистиллированной воды полученных методом лазерной диагностики показал, что экспериментальные значения соответствуют расчетным (метод малых углов) значениям индикатрисы рассеяния для полидисперсных капель. Расчетные значения индикатрисы рассеяния в рамках модели монодисперсных капель значительно отличаются от экспериментальных, что позволяет сделать вывод о полидисперсном составе жидко-капельного аэрозоля в факеле распыла. Полученные результаты экспериментального исследования по распыливанию «чистой» дистиллированной воды эжекционной форсункой согласуются в пересекающихся диапазонах определяющих параметров с результатами известных работ по данной тематике и указывают на правильный выбор методики обработки результатов экспериментов.

В отличие от существующих данных в литературе, в результате выполнения проекта проведен анализ влияния типа и концентрации поверхностно-активных веществ на размер капель в факеле распыла эжекционной форсунки. Показано, что при введении поверхностно-активных веществ (додецилсульфата натрия и синтанол АЛМ-10) в дистиллированную воду происходит снижение коэффициента поверхностного натяжения, что приводит к изменению дифференциальной функции счетного распределения капель по размерам в факеле распыла. Также обнаружено, что при наличии поверхностно-активных веществ в дистиллированной воде происходит снижение осредненных характеристик факела распыла (среднеарифметического, среднего объемно-поверхностного и среднемассового диаметров).

Экспериментально показано, что снижение коэффициента поверхностного натяжения жидкости приводит к изменению дифференциальной и интегральной функции массового распределения капель по размерам в факеле распыла. Определено, что введение поверхностно-активных веществ в дистиллированную воду приводит к уменьшению медианного диаметра капель (средний диаметр, при котором масса частиц диаметром, равным или меньшим, составляет 50 % от общей массы частиц в факеле распыла). При введении додецилсульфата натрия в дистиллированную воду коэффициент поверхностного натяжения изменяется от 71.25 до 33.5 мН/м и вызывает снижение медианного диаметра капель ~ 10 % (от 9.56 до 8.6 мкм) для форсунки с газовым трактом в форме конфузора, ~ 12.6 % (от 10.53 до 9.2 мкм) для форсунки с тангенциальной подачей газа. При введении синтанол АЛМ-10 в дистиллированную воду коэффициент поверхностного натяжения изменяется от 71.25 до 33.27 мН/м и приводит к уменьшению медианного диаметра капель ~ 16.5 % (от 9.56 до 7.98 мкм) для форсунки с газовым трактом в форме конфузора, ~ 17.2 % (от 10.53 до 8.72 мкм) для форсунки с тангенциальной подачей газа.

Экспериментально обнаружено, что при снижении коэффициента поверхностного натяжения дистиллированной воды от 71.25 до 35 мН/м, за счет введения додецилсульфата натрия и синтанол АЛМ-10 происходит изменение структуры факела распыла. При наличии поверхностно-активных веществ радиальное распределение концентрации капель имеет монотонный характер с максимумом на оси симметрии факела распыла, как и для «чистой» дистиллированной воды. Механизмами разрушения капель в аэрозольном облаке являются развитие неустойчивости Кельвина–Гельмгольца при достижении критического значения числа Вебера $We^* = (\rho u^2 \cdot D) / \sigma \sim 2\pi$ и развитие неустойчивости Рэлея–Тейлора при достижении критического значения числа Бонда $Bo^* = (\rho l \cdot g \cdot D^2) / \sigma \sim 4\pi^2$. При введении поверхностно-активных веществ в дистиллированную воду происходит снижение коэффициента поверхностного натяжения, что приводит к возрастанию значений чисел Вебера и Бонда и, следовательно, к уменьшению размера капель за счет их дробления в аэрозольном облаке.