

**ДИНАМИКА ГОРЕНИЯ СПРЕЯ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

Щепакина Е.А., Соболев В.А., Sazhin S.S.

Самарский университет, г. Самара, shchepakina@yahoo.ru

Университет Брайтона, г. Брайтон, Великобритания

*Ключевые слова: горючий спрей, воспламенение, горение, дизельный двигатель.*

Исследуется процесс воспламенения и горения спрея, где капли горючего рассматриваются как источник эндотермичности [1,2]. Эндотермическая и экзотермическая конкуренция определяет режимы взрыва и их зависимость от физических и химических параметров системы. Среда моделируется как пространственно однородная смесь оптически тонкого горючего газа с монодисперсным распылением испаряющихся сферических капель топлива. Учитываются как конвективный, так и радиационный нагрев капель. Искажение падающего излучения окружающими капельками и эффекты движения капель игнорируются (числа Нуссельта ( $Nu$ ) и Шервуда ( $Sh$ ) берутся равными 2). Предполагается, что падающее излучение имеет спектр черного тела и поглощается внутри капель. Система предполагается адиабатической. В целях применения результатов к дизельным двигателям давление газа предполагается постоянным. Теплопроводность жидкой фазы считается бесконечно большой. Объемная доля жидкой фазы, как предполагается, намного меньше объемной доли газовой фазы. Таким образом, коэффициент теплопередачи смеси контролируется тепловыми свойствами газообразного компонента. Предполагается, что процесс горения, описываемый экзотермической реакцией первого порядка, имеет место только в газовой фазе. Влияние потока Стефана на нагрев капли и испарение игнорируются. В данных предположениях модель процесса описывается системой пяти обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка (для температуры газа, концентраций газа и окислителя, температуры горючих капель, а также радиуса капель) [1,2].

В работе выделены два этапа в динамике исследуемого процесса [3,4]. Первый этап (очень кратковременный) отвечает процессу испарения капель жидкого топлива, второй этап – воспламенению и горению горючей газовой смеси. После окончания первого этапа моделирующая система сводится к одному обыкновенному дифференциальному уравнению для температуры газа, что существенно упрощает анализ. Обоснование такого подхода основано на концепции положительно инвариантных многообразий [5].

Как известно, использование как богатых, так и бедных смесей при работе двигателей внутреннего сгорания невыгодно по ряду причин. Режимная работа двигателей на богатых смесях в условиях недостатка кислорода, помимо увеличения нагаров, увеличения расхода топлива и снижения мощности двигателя, влечет за собой и вредные с экологической точки зрения последствия. Двигатели дымят и загрязняют атмосферу продуктами неполного сгорания топлива. Работа на бедных смесях приводит к снижению мощности двигателей за счет снижения скорости и температуры горения, вызываемого разбавлением горючей смеси инертным азотом и излишним кислородом.

Показано, что редуцированная система предсказывает увеличение температуры газа до предельного значения в течение конечного времени. Достижение этой температуры сопровождается полным истощением либо паров топлива, либо окислителя в зависимости от их исходных концентраций. Получены значения концентраций, при которых обеспечивается полное сгорание топлива с возможно меньшим коэффициентом избытка воздуха.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00876, <https://rscf.ru/project/21-19-00876/>.

### Список литературы

- 1 Radiation effect on thermal explosion in a gas containing evaporating fuel droplets / I. Goldfarb, V. Gol'dshtein, D. Katz, S.S. Sazhin // International J. of Thermal Sciences. 2007. V. 46. P. 358–370.
- 2 Sazhin S.S., Shchepakina E., Sobolev V. Order reduction in models of spray ignition and combustion // Combustion and Flame. 2018. V. 187. P. 122–128.
- 3 Соболев В.А., Щепакина Е.А. Редукция моделей и критические явления в макрокинетике. – М.: Физматлит, 2010. 319 с.
- 4 Sazhin S.S., Shchepakina E., Sobolev V. Order reduction of a non-Lipschitzian model of monodisperse spray ignition // Mathematical and Computer Modelling. 2010. V. 52. Issues 3-4. P.529-537.
- 5 Sazhin S.S., Shchepakina E., Sobolev V. Positively invariant manifolds: concept and applications // Journal of Physics: Conference Series. 2017. V. 811. 012015.

### Сведения об авторах

Щепакина Елена Анатольевна, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры дифференциальных уравнений и теории управления. Область научных интересов: физика горения и взрыва, качественная теория нелинейных динамических систем.

Соболев Владимир Андреевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник. Область научных интересов: теория систем и управление, математическое моделирование химических систем и процессов горения.

Sazhin Sergei S., д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор Школы информатики, техники и математики, Университет Брайтон (Великобритания). Область научных интересов: численное и асимптотическое моделирование тепло- и массопереноса и процессов горения в спреях, моделирование двигателей внутреннего сгорания.

## DYNAMICS OF SPRAY COMBUSTION IN DIESEL ENGINES-LIKE CONDITIONS

Shchepakina E.A., Sobolev V.A., Sazhin S.S.

Samara National Research University, Samara, Russia, shchepakina@yahoo.ru

University of Brighton, Brighton, UK

*Keywords: combustible spray, ignition, combustion, diesel engine.*

The process of fuel spray ignition and combustion is investigated. It is shown that the reduced system predicts an increase in the gas temperature to the limiting value within a finite time. Achievement of this temperature is accompanied by complete depletion of either fuel vapor or oxidizer, depending on their initial concentrations.