

3. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года // Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 г. № 1234.
4. Eps operation & maintenance manual (powered by CCVT) / ORMAT SYSTEMS LTD. 2006. – part 2. – 600 p.
5. Piskunov M.V., Voytkov I.S., Vysokomornaya O.V., Vysokomorny V.S. Operation reliability analysis of independent power plants of gastransmission system distant production facilities // EPJ Web of Conferences – 2015 – Vol. 82. – Article number 01011.

### **СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ВОДЯНЫМИ ОГНЕТУШАЩИМИ СОСТАВАМИ**

**Д.В. Антонов**

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

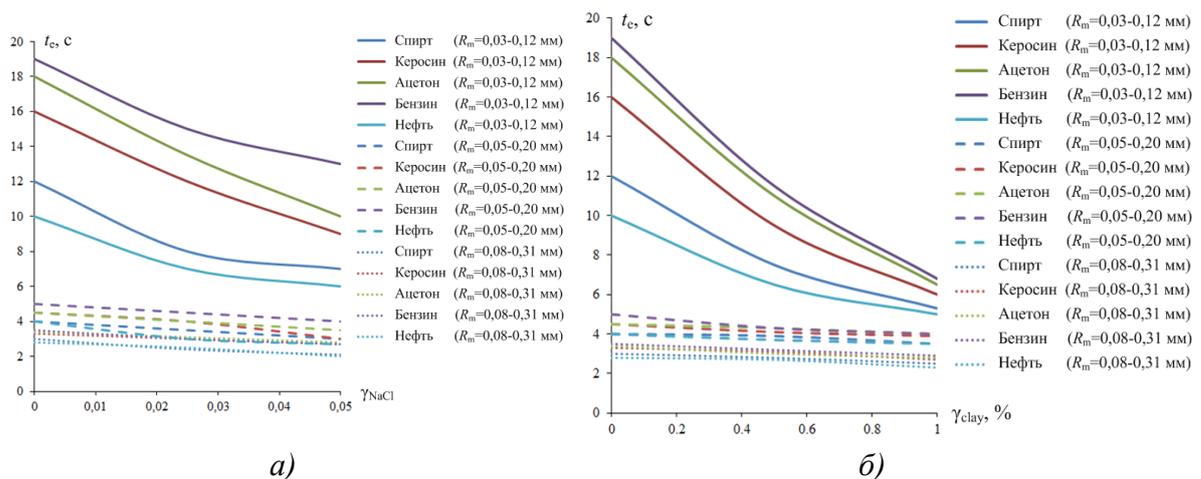
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*

Для использования воды при ликвидации возгораний органических горючих жидкостей необходимо обеспечить полное испарение тушащего состава над поверхностью топлива и создание в этой области парового облака, вытесняющего кислород из зоны пламени. В качестве альтернативы распылению воды до мелкодисперсного состояния с целью повышения интенсивности испарения может быть рассмотрено применение в качестве тушащего состава воды с добавлением твёрдых примесей, наличие которых изменит результирующие теплофизические свойства тушащего состава, а также внесёт специфику в механизмы тепломассопереноса при движении распылённого потока в среде высокотемпературных продуктов сгорания нефти и нефтепродуктов. Представляет интерес количественная оценка характеристик тушения модельных очагов пламени горючих жидкостей огнетушащими составами на основе воды с твёрдыми примесями для анализа эффективности и выбора оптимальных параметров жидкостного потока для ликвидации пламени.

При проведении исследований использован экспериментальный стенд, по основным своим элементам аналогичен использованному в работе [2]. Исследования проводились с использованием панорамных оптических методов визуализации и диагностики гетерогенных потоков Particle Image Velocimetry (PIV) [5], Particle Tracking Velocimetry (PTV) [4], Stereoscopic Particle Image Velocimetry (Stereo PIV) [4] и Shadow Photography (SP) [1]. В качестве тушащего состава применялись водный раствор NaCl размерами частиц около 100 мкм, а также суспензия на основе воды с частицами глины (размеры частиц менее 10 мкм). Относительная массовая концентрация соли в растворе менялась в диапазоне  $\gamma_{\text{NaCl}}=1-5\%$ , массовая концентрация частиц глины в суспензии  $\gamma_{\text{clay}}=0,1-1\%$ .

В результате проведения экспериментальных исследований установлены характерные времена подавления пламени модельных очагов пожара  $t_e$ . На рис. 1, а представлены зависимости характерного времени тушения  $t_e$  горючих жидкостей раствором хлорида натрия от концентрации  $\gamma_{\text{NaCl}}$ .

**СЕКЦИЯ 6. СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ В АРКТИКЕ И ЕГО ПЕРСПЕКТИВЫ.  
СОВРЕМЕННОЕ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ  
АРКТИКИ**



**Рис. 1. Зависимость характерных времён тушения  $t_e$  типичных горючих веществ от величины массовой концентрации соли  $\gamma_{NaCl}$  (а) и частиц глины  $\gamma_{clay}$  (б) для различных начальных размеров капель  $R_m$  ( $U_m \approx 3,5$  м/с;  $U_g \approx 0,4$  м/с)**

Результаты, представленные на рис. 1, а, позволяют сделать вывод о целесообразности применения в качестве тушащего состава при подавлении пламён жидких топлив и органических горючих жидкостей водного раствора NaCl. Наиболее выраженный эффект снижения характерных времён при добавлении в воду хлорида натрия  $t_e$  был получен в условиях формирования жидкостного потока с относительно крупными каплями ( $R_m=0.08–0.31$  мм). При использовании настроек распылителя, позволяющих формировать поток меньшей дисперсности ( $R_m=0.05–0.20$  мм и  $R_m=0.03–0.12$  мм) влияние увеличения концентрации NaCl в тушащем составе не столь значительно. Интенсификацию процессов теплопереноса (прогрева и испарения капель водного раствора NaCl) можно объяснить изменением теплофизических свойств тушащего состава по сравнению с водой без примесей.

На рис. 1, б представлены результаты экспериментов по тушению жидких топлив и органических горючих жидкостей полидисперсным потоком суспензии на основе воды с примесью частиц глины. Значения характерных времён тушения горючих жидкостей  $t_e$  снижаются при увеличении массовой концентрации частиц глины в тушащем составе. Аналогично результатам экспериментов с применением в качестве тушащего состава водного раствора хлорида натрия, в опытах с суспензией на основе воды с примесью глины наибольшая динамика сокращения времён  $t_e$  была зафиксирована для потока с дисперсностью  $R_m \approx 0,08–0,31$  мм. Необходимо отметить, что подавление модельных очагов горючих жидкостей распылённой суспензией осуществлялось за меньшие времена по сравнению с применением раствора хлорида натрия. Такой результат связан со спецификой процессов теплопереноса при движении капли, содержащей твёрдые нерастворимые частицы, в области пламени. В отличие от раствора NaCl, интенсификация испарения которого относительно воды без примесей связана с изменением теплопроводности, ускорение процессов теплопереноса в гетерогенной капле с твёрдыми нерастворимыми частицами можно объяснить тем, что частицы глины благодаря своим оптическим свойствам поглощают и аккумулируют энергию излучения пламени, создавая таким образом дополнительные микроисточники нагрева внутри капли.

Результаты проведённых исследований могут быть использованы при разработке технологий тушения крупных техногенных пожаров распылёнными

огнетушащими жидкостными составами на объектах добычи, транспортировки, хранения и переработки нефти.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-39-00003).

### Литература

7. Dehaeck S., Van Parys H., Hubin A., Van Beeck J. P. A. J. Laser marked shadowgraphy: a novel optical planar technique for the study of microbubbles and droplets // *Experiments in Fluids*. – 2009. – Vol. 47. – Iss. 2. – Pp. 333–341, doi: 10.1007/s00348-009-0668-8.
8. Dmitrienko M. A., Zhdanova A. O., Nyashina G. S. The characteristics of water droplet evaporation in the flames of various flammable liquids // *MATEC Web of Conferences*. – 2015. – Vol. 23. – Article number 01066, doi 10.1051/mateconf/20152301066.
9. Foucaut J. M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields // *Measurement Science and Technology*. – 2002. – Vol. 13. – Pp. 1058–1071.
10. Kreizer M., Ratner D., Liberzon A. Real time image processing for particle tracking velocimetry // *Experiments in Fluids*. – 2010. Vol. 48. – Pp. 105–110.
11. Stepanov E. Yu., Maslov V. P., Zakharov D. L. A stereo PIV system for measuring the velocity vector in complex gas flows // *Measurement Techniques*. – 2009. – Vol. 52. – No. 6. – Pp. 626–631, doi: 10.1007/s11018-009-9318-z.

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГЕОЛОГИИ ПРИ ОСВОЕНИИ АРКТИКИ**

**Ю.К. Атрошенко**

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*

### **Введение**

Сегодня Арктика является одним из перспективных направления освоения с целью развития добычи природных ресурсов. Арктика представляет собой богатейший регион по количеству энергетических ресурсов, в том числе по запасам нефти. Развитие Арктики в России сегодня является одним из приоритетных направлений, однако, его реализация требует значительных объемов инвестиций. Это связано, прежде всего, с необходимостью реализации комплексного и системного подхода к вопросам освоения Арктики. Развитие арктических регионов затрудняется относительно слабо развитой инфраструктурой, что обуславливает важность целенаправленного освоения региона [1, 3]. Процесс освоения связан с использованием высокотехнологичной техники и машин, выполнения сложных технологических процессов. Качество и безопасность технологических процессов в значительной степени определяется метрологическим обеспечением [2, 4].

### **Постановка задачи**

Погрешность измерения температуры с помощью информационно-измерительных систем, включающих  $n$  измерительных устройств, определяется выражением: