

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОГО И БЕЗОПАСНОГО**  
**ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ,**  
**В ТОМ ЧИСЛЕ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО**  
**СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ В АРКТИКЕ**

**П.А. Стрижак, профессор**

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

Бесперебойное обеспечение энергоносителями промышленных предприятий является важнейшим фактором стабильности производственных процессов и эффективного их функционирования [3]. Возникновение новых потребителей энергоресурсов в районах, географически удалённых от централизованных энергосетей, требует поиска экономически выгодных источников энергоснабжения [1, 2]. Зачастую проблема снабжения энергоносителями удалённых промышленных предприятий решается с помощью использования автономных энергоустановок. В частности, для обеспечения функционирования вспомогательного оборудования промышленных предприятий транспортирующих углеводородное сырьё (в том числе пункты телемеханики, радиорелейные станции и т.п.) в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке России успешно используют мини-ТЭС с замкнутым термодинамическим циклом пара.

Мини-ТЭС полностью автономны и автоматизированы, используют в качестве топлива транспортируемое углеводородное сырьё (природный газ), характеризуются длительными межремонтными периодами при условии эксплуатации в соответствии с требованиями завода-изготовителя [4]. Зачастую климатические условия на севере и востоке России характеризуются значительными перепадами температур наружного воздуха. Такие условия эксплуатации являются возможными причинами возникновения нерегламентированных отказов в работе мини-ТЭС, связанных, в частности, с несоответствием температуры рабочей органической жидкости, (используемой в термодинамическом цикле) данным завода-изготовителя. В связи с тем, что конструктивной особенностью рассматриваемой автономной энергоустановки является использование в качестве смазывающей подшипник вала турбины жидкости органического вещества, возвращаемого в цикл после охлаждения воздушного конденсатора, обеспечение требуемых параметров рабочей жидкости является определяющим фактором для обеспечения бесперебойной работы энергоустановки. В условиях, когда температура рабочей жидкости направляемой на смазку подшипника отличается от номинальных значений, возникает риск появления технического сбоя в работе турбогенератора мини-ТЭС. Для предупреждения возникновения нештатных ситуаций в работе рассматриваемых энергоустановок необходимо определить первопричины их возникновения, а также разработать рекомендации по снижению числа отказов в работе автономных мини-ТЭС по причине несоответствия условий эксплуатации требованиям завода-изготовителя.

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

---

Для решения проблемы возникновения отказов в работе автономных мини-ТЭС при эксплуатации в климатических условиях севера и востока России была разработана численная модель, позволяющая прогнозировать нештатные режимы работы энергоустановки в широком диапазоне условий внешней среды (температура окружающего воздуха) и внутренних условий эксплуатации (мощность, вырабатываемая мини-ТЭС) [5]. Разработанная математическая модель [5] включала уравнения энергии для паров рабочего вещества, уравнения теплопроводности для плёнки конденсата и стенки трубки, уравнения диффузии, движения, неразрывности и состояния паров рабочего вещества. Система нестационарных дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями решена методом конечных разностей с использованием неявной четырёхточечной разностной схемы.

Результаты применения разработанной прогностической модели [5] позволяют сделать следующие выводы:

- 1) основным параметром, существенно влияющим на выходную температуру рабочего потока из трубки конденсаторной установки, являются температура окружающей среды и электрическая мощность, а так же начальная температура рабочего вещества на входе в конденсатор;
- 2) при высоких значениях температур наружного воздуха надёжность работы автономной энергоустановки снижается вследствие малой эффективности способа дополнительной интенсификации теплообмена за счёт применения вентилятора для обдува внешних поверхностей трубок конденсатора; существенно большей эффективности охлаждения можно достичь при использовании систем водяного охлаждения поверхностей трубок конденсатора;
- 3) большая вероятность превышения температуры рабочего вещества на участке смазывания подшипников скольжения обусловлена широким диапазоном температур наружного воздуха при различной мощности энергоустановки (по данным завода-изготовителя, температура рабочего вещества на входе в зону смазывания подшипника скольжения не должна превышать 300 К).

Полученные результаты позволяют определить необходимые и достаточные условия безаварийной эксплуатации подшипников скольжения турбогенератора мини-ТЭС.

В случае эксплуатации энергоустановок на номинальных параметрах (3000 Вт и 4000 Вт) повышается вероятность возникновения нештатных ситуаций, связанных с остановом энергоустановок в условиях диапазонов температур наружного воздуха от 283 К и выше и 253 К и выше, соответственно.

Увеличение площади теплообмена между рабочим веществом и наружным воздухом позволит добиться оптимальной температуры рабочего потока на выходе из конденсатора, что обеспечит уменьшение количества технических происшествий связанных с “механической неисправностью турбоагрегата”.

### Литература

1. Кононенко, П.И. Малая энергетика – первооснова больших свершений / П.И. Кононенко, В.Г. Михайлуц, А.Е. Беззубцев-Кондаков // Энергетик. – 2007. – № 3. – С. 43 – 44.
2. Ливинский, А.П. Пути решения проблем автономного энергоснабжения потребителей удалённых регионов России / А.П. Ливинский, И.Я. Редько // Энергетик. – 2010. – № 4. – С. 22 – 26.

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 ОГNETУШАЩИМИ 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  $\gamma_{\text{NaCl}}$ .