

преобразователь класса точности 0,25. Видно (рис. 2), что обоснованный выбор длительности выполнения измерения в условиях наличия воздушного зазора позволяет получить требуемый уровень точности измерений температуры.

### **Заключение**

Проанализированы схемы измерительных систем температуры, используемых в системах контроля и управления процессами, выполнен расчет погрешности измерительных систем в условиях наличия воздушного зазора между объектом измерения и первичным преобразователем.

### **Литература**

1. Игумнова Т.Н., Корелкин А.Ю. Инвестиции в Арктику: планы и перспективы // Вопросы образования и науки: теоретический и методический аспекты: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Том 3. – 2015. – 164 с.
2. Кочарян С.А., Пронин А.Н. Особенности и современное состояние обеспечения единства гидрологических измерений // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Метрология гидроакустических измерений». – 2013. – С. 174–196.
3. Селин В.С., Российская Арктика: современные проблемы и перспективы развития // Журнал экономических реформ. – 2014. – № 3 (15). – С. 134-144.
4. Atroshenko Y.K., Strizhak P.A., Yashutina O.S. Determination of Necessary Time of Measurements of Surface Thermocouple Depending on Conditions of Technological Process // EPJ Web of Conferences. – 2014. – 01061.

## **НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ТИПА ORMAT В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

**А.С. Бек**

Научный руководитель инженер-исследователь О.В. Высокоморная

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

Энергообеспечение промышленных предприятий является важнейшим фактором бесперебойного и эффективного их функционирования [4]. Основной проблемой при введении новых энергопотребителей в удаленных от централизованной энергосистемы районах, является поиск экономически выгодного источника энергоснабжения [2, 3]. Зачастую проблема снабжения энергией удалённых промышленных объектов решается с применением автономных энергоисточников. В частности, для обеспечения функционирования вспомогательного оборудования (крановые узлы, пункты телемеханики и др.) магистральных газопроводов в России успешно используются мини-ТЭС малой мощности с замкнутым термодинамическим циклом. Однако их эксплуатации в суровых климатических условиях характеризуются значительными перепадами температур воздуха, что может привести к нерегламентированным отказам в работе мини-ТЭС (тепловых электрических станций), связанных, в частности, с несоответствием температуры рабочего вещества (органическая жидкость), используемого в термодинамическом цикле, проектным значениям. Указанное несоответствие зачастую является причиной отказа мини-ТЭС вследствие высокой

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

температуры на выходе из воздушного конденсатора [1, 6]. Кроме того, конструкция рассматриваемого автономного источника энергоснабжения предусматривает использование в качестве смазывающей подшипник вала турбины жидкости органическое рабочее вещество, возвращаемое в цикл после охлаждения в конденсаторе. В условиях, когда температура направляемой на смазку подшипника жидкости превышает регламентные значения [5], возникает риск возникновения сбоя в работе турбогенератора установки. Для предупреждения возникновения нештатных ситуаций необходимо оценить условия их возникновения, а также разработать рекомендации для снижения числа отказов в работе автономных мини-ТЭС по причине несоответствия условий эксплуатации регламенту завода-изготовителя. Цель работы – проведение численных исследований для определения параметров рабочего вещества мини-ТЭС на стадии смазывания подшипника скольжения турбогенератора при эксплуатации в климатических условиях Восточной Сибири и Дальнего Востока России.

Физическая и математическая постановки решаемой задачи тепломассопереноса представлены в работах [1, 6]. Принималось, что рабочее вещество в парообразном состоянии из турбины поступает в воздушные конденсатор, где происходит теплоотвод через стенки труб к окружающему воздуху. Затем теплоноситель в виде конденсата направляется в парогенератор для нагрева и испарения, попутно проходя подшипник скольжения турбогенератора и смазывая его. Математическая модель, описывающая процесс конденсации рабочего вещества, 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 решалась методом конечных разностей с использованием неявной четырёхточечной разностной схемы [1, 6].

С использованием представленной в [1, 6] модели получены значения температуры рабочего вещества на участке смазывания подшипников мини-ТЭС  $T_{output}$  при различных значениях температуры наружного воздуха  $T_{out}$ , а также при различных температурах рабочего вещества на входе в конденсатор  $T_{input}$ , соответствующих мощности энергоустановки (табл.1).

**Таблица 1**

**Зависимость температуры рабочего вещества на участке смазывания подшипника  $T_{output}$  (К) от температуры наружного воздуха  $T_{out}$  при разных значениях температуры на входе в конденсатор  $T_{input}$**

$T_{input}, K$ $P, Вт$	$T_{out}, K$							
	243	253	263	273	283	293	303	313
405 1000	294,46	295,69	296,26	295,58	294,69	296,50	304,12	313,85
426 2000	309,54	312,74	315,19	316,64	316,81	316,35	315,18	316,86
437 3000	315,97	319,95	323,78	325,91	327,23	327,89	327,21	326,00
449 4000	323,05	327,34	331,63	334,64	337,65	340,67	343,68	346,70

Согласно данным завода-изготовителя [5], температура рабочего вещества на входе в зону смазывания подшипника скольжения должны быть не выше 345 К.

Результаты численного моделирования позволяют сделать вывод, что условия превышения данного параметра создаются в большом диапазоне условий эксплуатации и варьирования мощности, что требует разработки конструкторских решений во избежание снижения эффективности функционирования газопровода.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-08-00057. Разработка численной модели конденсации рабочего вещества выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ СП-1350.2015.1.

### Литература

12. Высокоморная О.В., Высокоморный В.С., Стрижак П.А. Оценка влияния конструкции конденсаторных установок автономных источников энергоснабжения на надёжность их работы // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2014 – № 1. – С. 25 - 30.
13. Кононенко, П.И. Малая энергетика – первооснова больших свершений / П.И. Кононенко, В.Г. Михайлуц, А.Е. Беззубцев-Кондаков // Энергетик. – 2007. – № 3. – С. 43 – 44.
14. Ливинский, А.П. Пути решения проблем автономного энергоснабжения потребителей удалённых регионов России / А.П. Ливинский, И.Я. Редько // Энергетик. – 2010. – № 4. – С. 22 – 26.
15. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года // Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 г. № 1234.
16. Eps operation & maintenance manual (powered by CCVT) / ORMAT SYSTEMS LTD. 2006. – part 2. – 600 p.
17. 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.

## ИСПАРЕНИЕ ГРАФИТОВЫХ СУСПЕНЗИЙ ПРИ НАГРЕВЕ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

**А.Г. Борисова, М.В. Пискунов, К.А. Рыбацкий**

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

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

### Введение

Различные примеси и добавки в жидкостях способствуют улучшению их теплофизических свойств [2]. Этот эффект позволяет достигать большей производительности и эффективности рабочих жидкостей.

Для исследования эффектов интенсификации теплообмена жидкости с какой-либо средой за счет добавления различных примесей важным является изучение процессов фазовых превращений на границах раздела сред «твёрдая частица – жидкость». Целесообразным является проведение исследований указанных процессов при высоких температурах, а анализ и обработка полученных результатов позволит дополнить существующие гетерогенные высокотемпературные технологии (например, [1]).

Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния добавления включений графита различных размеров в капли воды на процесс интенсификации их испарения.