

## ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОГО И БЕЗОПАСНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

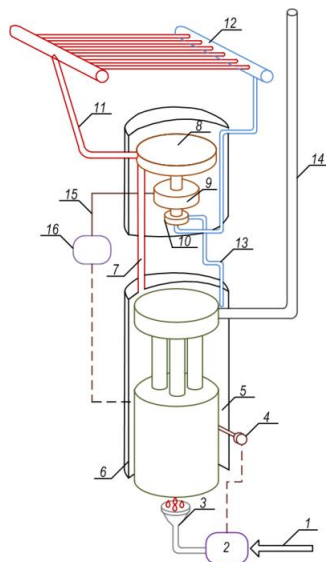
П.А. Стрижак, профессор

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

Энергоснабжение удалённых производственных объектов является важнейшей задачей для обеспечения надёжного функционирования технологических объектов таких отраслей, как добыча и транспортировка углеводородов, железнодорожный транспорт, связь и др. Предприятия, имеющие на своём балансе удалённые линейные объекты, сталкиваются с проблемой выбора источника автономного энергоснабжения, характеризующегося надёжностью, энергоэффективностью, высокой степенью автоматизированности, простотой эксплуатации и большим межремонтным периодом [1, 2].

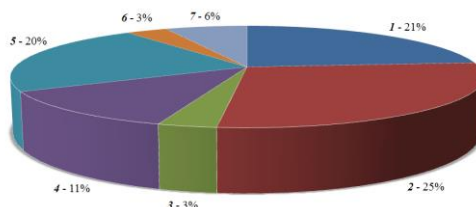
В последние годы в связи с высокими темпами развития газотранспортной системы в восточной части России особенно актуальной проблема автономного энергоснабжения удалённых линейных объектов является для предприятий, осуществляющих транспортировку природного газа. Энергетическая инфраструктура в регионе строительства нового магистрального газопровода не достаточно развита, а строительство электрических сетей для централизованного энергоснабжения потребует больших капиталовложений.

К числу удалённых линейных потребителей электроэнергии на объектах газотранспортной системы помимо относительно крупных – компрессорных станций, можно отнести и крановые узлы, пункты телемеханики, устройства электрохимзащиты и т.д. В настоящее время для энергоснабжения указанных объектов газотранспортной системы на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока России применяются мини-ТЭС, рабочим веществом в замкнутом термодинамическом цикле которых является органическая жидкость (рис. 1). Такие энергоустановки имеют особую конструкцию, благодаря которой органическое рабочее вещество используется не только в термодинамическом цикле, но и в качестве смазывающей подшипники скольжения жидкости, попутно охлаждаясь на выходе их турбины. Мини ТЭС в качестве топлива используют транспортируемое сырьё – природный газ. При этом энергоустановки характеризуются низкой чувствительностью к изменению состава топлива и высоким ресурсом до капитального ремонта. Установленная электрическая мощность энергоустановки составляет  $P=4$  кВт [3]. Основными элементами мини-ТЭС, представленной на рис. 1, являются горелка 3, парогенератор 6, турбина 8, электрогенератор 9, воздушный конденсатор 12.



**Рис. 1. Схема мини-ТЭС, работающей по замкнутому циклу пара:**  
**1 – подвод природного газа; 2 – панель управления подачей горючего; 3 – горелка; 4 – термостат; 5 – органическая жидкость; 6 – парогенератор; 7 – паропровод; 8 – турбина; 9 – генератор переменного тока; 10 – насос; 11 – трубка подачи пара в конденсатор; 12 – конденсатор; 13 – трубка вывода конденсата; 14 – дымовая труба; 15 – кабели входа переменного тока к выпрямителю; 16 – электрический щит**

Несмотря на множество преимуществ, анализ статистических данных показывает, что в работе мини-ТЭС ежегодно возникают десятки отказов (рис. 2). К основным причинам возникновения отказов можно отнести обрыв пламени горелочного устройства (21 % от общего числа отказов), механическую неисправность турбоагрегата (25 %), предельно высокую температуру в конденсаторе (20%) [4].



**Рис. 2. Статистика наиболее типичных аварийных технических происшествий (1 – обрыв пламени горелочного устройства; 2 – механическая неисправность турбоагрегата; 3 – нестабильное напряжение аккумуляторных батарей; 4 – некорректная работа КИПиА; 5 – предельно высокая температура в конденсаторе; 6 – останов вследствие нестабильной работы турбогенератора; 7 – неисправность системы пожаротушения; 8 – другие технические происшествия)**

Воздушный конденсатор рассматриваемой установки автономного энергоснабжения представляет собой несколько рядов оребренных трубок диаметром 40 мм, расположенных под углом для самопроизвольного движения конденсата. Температура рабочего вещества на выходе из конденсатора не должна превышать 75 °С. В противном случае срабатывает автоматизированная система управления, и происходит останов работы мини-ТЭС. В режиме функционирования энергоустановки на максимальной мощности (4 кВт) температура дихлорбензола в конденсаторе должна снижаться на 105–110 °С. Блочная конструкция энергоустановки предусматривает наличие вентилятора для дополнительного отвода тепла от рабочего вещества в конденсаторе, однако, как показывает практика, зачастую при повышенных температурах наружного воздуха в регионе эксплуатации энергоустановок указанной меры бывает недостаточно для обеспечения бесперебойной работы мини-ТЭС.

В работах [5, 6] представлены результаты численного моделирования процесса конденсации дихлорбензола в конденсаторе мини-ТЭС, а также проанализировано влияние на температуру дихлорбензола при выходе из конденсатора таких факторов, как температура окружающего воздуха и мощность энергоустановки. Проведенный анализ показал, что вероятность отказа в работе мини-ТЭС по причине предельно высокой температуры после конденсатора значительно возрастает уже при температуре окружающего воздуха 20 °С, а при работе энергоустановки на максимальной мощности критическим значением температуры наружного воздуха может быть  $T_{out}=10$  °С.

Таким образом, отклонения параметров рабочего вещества от номинальных значений в термодинамическом цикле негативно влияют на надёжность работы энергоустановки автономного энергоснабжения, а также снижают надёжность функционирования всего газопровода в целом.

В качестве меры по снижению вероятности возникновения отказов в работе мини-ТЭС по причине повышенной температуры рабочего вещества на выходе из конденсатора может быть рассмотрена возможность замены функционирующего в цикле рабочего вещества на более подходящее по теплофизическим характеристикам относительно охлаждения в воздушном конденсаторе. Однако в этом случае необходимо, чтобы новое рабочее вещество отвечало специфическим характеристикам для возможности использования в турбине, а также осуществления смазки подшипников вала турбогенератора.

Кроме того, в качестве мероприятия по повышению надёжности работы энергоустановки может быть рассмотрена возможность установки дополнительных вентиляторов воздушного охлаждения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МД-2806.2015.8).*

#### Литература

1. Ливинский А.П., Редько И.Я., Филин В.М. Пути решения проблем автономного энергоснабжения потребителей удалённых регионов России // Энергетик, 2010. – № 4. – С. 22 – 26.
2. Кононенко П.И., Михайлуц В.Г., Беззубцев-Кондаков А.Е. Малая энергетика – первооснова больших свершений // Энергетик, 2007. – № 3. – С. 43 – 44.
3. Eps operation & maintenance manual (powered by CCVT) // This document contains information that is proprietary to ORMAT SYSTEMS LTD. 2006. part 2.
4. Высокоморная О.В., Высокоморный В.С., Стрижак П.А. Оценка параметров надёжности работы автономных устройств энергоснабжения удалённых линейных объектов магистральных газопроводов Восточной Сибири и Дальнего Востока // Известия Томского политехнического университета, 2013. – Т. 323. – №. 4. – С. 59 – 65.
5. Piskunov M.V., Voytkov I.S., Vysokomornaya O.V., Vysokomorny V.S. Operation reliability analysis of independent power plants of gas-transmission system distant production facilities // EPJ Web of Conferences. Volume 82. Article number 01011

6. Высокоморная О.В., Высокоморный В.С., Стрижак П.А. Оценка влияния конструкции конденсаторных установок автономных источников энергоснабжения на надежность их работы // Энергобезопасность и энеросбережение, 2014. – № 1. – С. 25 - 30.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ЛЕСНЫХ МАССИВАХ  
ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

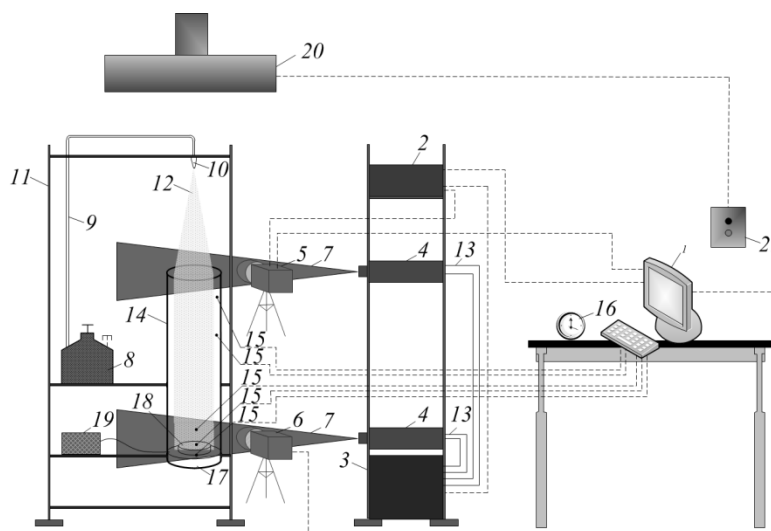
**К.Ю. Вершинина, А.О. Жданова, Д.Б. Мирнов**

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

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

Известно [6], что районы нефтегазового комплекса Западной Сибири покрыты сосновыми и березово-осиновыми насаждениями. В настоящее время задача охраны лесов от пожаров является весьма актуальной во всем мире [5]. Как правило, полная ликвидация лесного пожара занимает продолжительный период времени и требует непосредственно подавления реакции термического разложения лесных горючих материалов (ЛГМ). Целесообразным является определение условий подавления реакции термического разложения в приповерхностных слоях ЛГМ, обеспечивающих минимальные времена для подавления реакции.

Циклы численных [1, 4, 9] и экспериментальных [7, 8, 10] исследований позволили определить влияние режимных параметров, таких как температуры, давления, скорости смещения, а также толщины промежуточного вещества на скорость термического разложения лесных горючих материалов. Известны результаты численного исследования [2, 3] комплекса взаимосвязанных процессов тепломассопереноса, химического реагирования и фазовых превращений при подавлении реакции термического разложения типичных ЛГМ следом «водяного снаряда». Представляет интерес проведение экспериментальных исследований макроскопических закономерностей подавления реакции термического разложения типичных ЛГМ парикапельным водяным потоком.



**Рис. 8. Схема экспериментального стенда: 1 – ПК; 2 – синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера; 3 – генератор лазерного излучения; 4 – двойной твердотельный импульсный лазер; 5 – кросскорреляционная камера; 6 – высокоскоростная видеокамера; 7 – световой «нож»; 8 – ёмкость с рабочей жидкостью; 9 – канал движения рабочей жидкости; 10 – распылитель; 11 – штатив; 12 – капля рабочей жидкости; 13 – канал движения охлаждающей жидкости лазера; 14 – цилиндр из жаростойкого светопрозрачного материала; 15 – термопары; 16 – таймер; 17 – металлическая подложка; 18 – лесной горючий материал; 19 – нагревательная камера; 20 – вытяжная система; 21 – пульт включения/отключения вытяжной системы**

Экспериментальные исследования проведены на стенде, условная схема которого приведена на рис.1. Основными элементами регистрирующей аппаратуры стенда являются: кросскорреляционная видеокамера 5 (формат изображения – 2048x2048 пикселей, кадровая частота – 1,5 Гц, минимальная задержка между двумя последовательными кадрами – 5 мкс), высокоскоростная видеокамера 6 (формат изображений 1024x1024 пикселей, частота кадров до 100000 в секунду), двойной импульсный твердотельный лазер 4 (с активной сферой «алюмо-иттриевый гранат» и добавками неодима, длина волны – 532 нм, минимальная энергия в импульсе – 70мДж, максимальная длительность импульса – 12 нс, частота повторений – 15 Гц), синхронизирующий процессор (максимальная дискретизация сигналов – 10 нс, поддержка режимов внешнего и внутреннего запуска).