

УДК 614.841

К ВОПРОСУ НЕОБХОДИМОСТИ ОБОСНОВАНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ТУРБИННОГО МАСЛА

С.Ю. Огурцов*, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., С.В. Семичаевский
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Поступила в редакцию: 14.11.2016
Прошла рецензирование: 13.12.2016

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

валидация, горение турбинного масла, машинные залы, моделирование пожара, показатели пожарной опасности.

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ источников научно-технической информации касательно особенностей горения турбинного масла марки ТП-22 используемого в системах смазки и уплотнения турбогенераторов. Проанализированы параметры, которые могут быть использованы для проведения моделирования процессов горения турбинного масла. Обоснована необходимость экспериментального уточнения удельной массовой скорости выгорания турбинного масла в зависимости от его начальной температуры, температуры в процессе горения, толщины и площади разлива для очагов, приближенных к реальным. Обоснована необходимость уточнения величины нижней теплоты сгорания турбинного масла, в том числе в зависимости от его срока эксплуатации в системе смазки и уплотнения.

Опыт эксплуатации энергетических предприятий за последние десятилетия показывает, что на электростанциях, в том числе и на атомных, происходят крупные аварии с катастрофическими последствиями, в частности пожарами, значительными повреждениями и разрушением технологического оборудования и строительных конструкций.

Всего в машинных залах АЭС и ТЭС в Украине и за рубежом в период с 1965 по 2013 год зафиксировано 105 аварийных ситуаций. Из них пожаров - 31, взрывов - 2, взрывов с пожарами - 2, остальные 70 - это локальные загорания [1].

Такие серьезные аварии имели место на электростанциях [2]:

- Экибастузской ГРЭС (Казахстан);
- энергоблоке № 2 Чернобыльской АЭС (Украина);
- Конаковской и Новочеркасской ГРЭС (Россия);
- Улан-Уденской ТЭЦ-1 (Россия);
- Сырдарьинской ГРЭС (Узбекистан);
- АЭС Palisades (США);
- АЭС Maanshan (Тайвань);
- АЭС Vandellos (Испания);
- АЭС Narora (Индия).

В ходе резонансного пожара с горением турбинного масла, произошедшего 29 марта 2013 года в машинном зале котлотурбинного цеха №1 Углегорской ТЭС, была уничтожена кровля машзала на площади 10880 м², а также технологическое оборудование цеха. В результате пожара пострадало 11 и 1 человек погиб.

Таким образом, вопрос обеспечения пожарной безопасности машинных залов энергетических предприятий является актуальным. Обоснование параметров систем противопожарной защиты требует применения современных подходов, какими являются средства математического моделирования, в частности средства вычислительной гидродинамики (так называемый «CFD – анализ»). Проведение моделирования работы систем противопожарной защиты в условиях различных вариантов аварий, а, следовательно, и различных вариантов развития пожара, позволит выявить неэффективные элементы таких систем и сформулировать предложения по повышению их эффективности.

Для проведения математического моделирования возникновения и развития пожара в машинных залах энергетических предприятий необходимо множество исходных параметров, таких как теплофизические свойства ограждающих конструкций, параметры работы систем противопожарной защиты, свойства пожарной нагрузки и т.д., которые будут заложены в расчетную модель. В рамках этой работы авторами проведен анализ источников научно-технической информации касательно особенностей горения турбинного масла, используемого в системах смазки и уплотнения турбогенераторов, а также пожароопасных свойств и параметров горения турбинного масла марки ТП-22, которые после экспериментального уточнения могут быть использованы для валидации моделей горения такого типа горючей нагрузки в

*E-mail: u_secretar@ukr.net

программном обеспечении «Fire Dynamic Simulator» (FDS).

В системах смазки и уплотнения турбогенераторов в машинных залах АЭС (ТЭС) Украины и стран СНГ используется нефтяное турбинное масло марки ТП-22 с композицией присадок, являющееся согласно с [3, 4] горючей средневоспламеняемой жидкостью.

Для проведения моделирования горения турбинного масла необходимы следующие параметры пожароопасности турбинного масла:

- низшая теплота сгорания;
- удельная массовая скорость выгорания;
- дымообразующая способность и данные по образованию сажи;
- данные по выделению токсических продуктов сгорания;

В FDS для создания источника горения необходимо задать реакцию горения в газовой фазе, которая должна учитывать химический состав топлива. Поэтому для обоснования входных параметров реакции горения турбинного масла необходим показатель, характеризующий условное количество атомов углерода, водорода и кислорода (химическая брутто-формула турбинного масла).

С целью обоснования возможных сценариев пожаров, времени и места воспламенения,

необходимы такие показатели пожаровзрывоопасности турбинного масла, как температура вспышки, температура его воспламенения и самовоспламенения.

В таблице 1 приведены данные о пожароопасных свойствах и параметрах горения турбинного масла, составленные на основании данных источников научно-технической информации.

Можно заметить, что за исключением данных о пожароопасных свойствах турбинного масла, что могут быть получены согласно стандартизованных методик испытаний [4], данные [5] на настоящий момент являются наиболее полным набором исходных данных для проведения моделирования. Брутто-формула турбинного масла, указанная в справочных данных [6] вероятно получена расчетным путем согласно формул, приведенных в [7].

Кроме того, различие значений удельной массовой скорости выгорания масла в работах [5], [8] и [9] могут быть объяснены как различными методами определения этого параметра, так и различной температурой жидкости в момент горения. Чем выше температура, тем меньше теплоты требуется на испарения жидкости и тем интенсивнее оно протекает [10].

Уточнение удельной массовой скорости выгорания турбинного масла в зависимости как от его начальной температуры, так и температуры в процессе горения требует соответствующих экспериментальных исследований на очагах, приближенных к реальным.

Также приведенные данные не содержат зависимостей, что характеризуют изменение массовой удельной скорости выгорания от площади и толщины разлива турбинного масла.

Известно, что при горении жидкостей в горелках разных диаметров [14] имеют место три динамических режима с характерными для каждого из них условиями массопереноса вещества и теплообменом с окружающей средой, жидкостью и стенками емкости (резервуара).

Основными факторами, оказывающими влияние на скорость выгорания жидкости, являются материал и толщина стенки горелки, высота свободного борта, скорость обдува и содержание кислорода в окружающей газовой среде.

Теплообмен между стенкой и жидкостью имеет значение при горении топлива в узких горелках [14], какие были использованы в работе [9]. В этом случае на скорость выгорания значительное влияние оказывают свойства материала, из которого изготовлена горелка. Эксперименты, проведенные в [15], показали, что скорость выгорания уменьшается с увеличением теплопроводности материала стенки. Это объясняется ростом тепловых потерь от стенки в окружающую среду. В то же время, при горении жидкостей в горелках большого диаметра влияние этих параметров на скорость выгорания незначительно [16].

Интерес также представляет зависимость скорости выгорания от уровня заливки жидкости. В узких горелках с увеличением этого уровня снижается градиент концентрации горючих паров и уменьшается их приток в зону горения. При этом понижается температура на поверхности жидкости и интенсивность процесса горения. С увеличением диаметра влияние уровня заливки жидкости существенно снижается [14].

Влияние вынужденной конвекции на скорость выгорания жидкостей в резервуарах изучалось в работах [15-18]. Скорость выгорания растет с увеличением скорости воздушного потока, что может свидетельствовать о влиянии воздухообмена в зоне пожара (работы систем дымо- теплоудаления) на параметры горения. Эти процессы также должны быть учтены при проведении моделирования процессов горения турбинного масла в машинном зале энергетического предприятия.

Таблица 1– Пожароопасные свойства и параметры горения турбинного масла марки ТП-22

Наименование параметра	Значение							
	ГОСТ 9972-74 [3]	Отчеты ОАО «ВНИИ АЭС» [1] и КИЭП [2]	Отчет ВНИИПО [8]	Деревинский Д.Н. [11]	Кошмаров Ю.А. [5], Абашкин А.А и др. [12]	Карькин И.Н. [6]	Цапко Ю.В., Антонов А.В., Орел В.П. [9]	Vidmar P, Petelin S.[13]
Температура вспышки, °С	>186	180						
Температура воспламенения, °С		201-220						
Температура самовоспламенения, °С		300-350		372*				
Мощность тепловыделения, кДж/м ²						1257		2900**
Низшая теплота сгорания Н _г кДж/м ²			43,000		41,900			
Удельная массовая скорость выгорания ψ, кг/м ² ·с			0,025		0,030		0,071	
Дымообразующая способность D _m , Нп·м ² /кг;					243			
Потребление кислорода L _{o2} кг/кг;					0,282			
Выделение углекислого газа L _{co2} кг/кг;					0,700			
Выделение угарного газа L _{co} кг/кг;					0,122	0,122		
Образование сажи Y _s кг/кг;						0,028		
Брутто формула						C _{6,9} H _{14,6} O _{12,9}		

Примечание:

*-возможно снижение до 308 °С в процессе эксплуатации;

**- марка турбинного масла может отличаться

Эксперименты по изучению связи между скоростью выгорания и содержанием кислорода в окружающей среде описываются в работе [15]. В атмосфере, содержащей 15% об. кислорода и менее органические жидкости не горят. Повышение концентрации окислителя приводит к росту температуры пламени и усилению

нагрева поверхности жидкости и росту скорости выгорания.

На основании проведенного анализа исходных данных, необходимых для математического моделирования процессов горения турбинного масла марки ТП-22, были сформулированы следующие выводы:

1. Необходимо экспериментально определить зависимость удельной массовой скорости выгорания турбинного масла марки ТП-22 от его начальной температуры, температуры в процессе горения, толщины и площади разлива, в том числе для очагов, приближенных к реальным.

2. Требуется экспериментального подтверждения низшая теплота сгорания турбинного масла, в том числе в зависимости от его срока службы, в системе смазки и уплотнения турбогенераторов машинных залов.

3. При разработке методики экспериментальных исследований и создании экспериментального оборудования необходимо учитывать факторы, влияющие на определяемую экспериментально удельную массовую скорость выгорания турбинного масла.

4. На основании полученных уточненных данных в дальнейшем необходимо провести валидацию модели горения содержащую уточненные данные с определением погрешности расчетов, что в дальнейшем будет учитываться при проведении моделирования более сложных сценариев возникновения и развития пожаров, сопровождающихся горением турбинного масла в машинных залах энергетических предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Сравнительный анализ аварийных ситуаций, пожаров и взрывов в машзалах АЭС, электростанциях РАО ЕЭС при нарушениях в работе турбогенераторов с проливом масла и утечкой водорода: Технический отчет / ОАО «ВНИИАЭС». – М., 2008. – 88 с.
- Хмельницкая АЭС. Энергоблок № 2. Модернизация. Главный корпус. Турбинное отделение. Мероприятие 29112. Разработать и реализовать систему по сигналу «пожар» сброса водорода из корпуса генератора за пределы машзала. Этап 1. Технические предложения /КИЭП - 2007.
- ГОСТ 9972-74 Масла нефтяные турбинные с присадками. Технические условия.
- ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
- Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с. ISBN – 59229-0011-0.
- Карькин И.Н. Работа в программном комплексе FireCat. Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim. Редакция 3, 2014. – 27 с.
- СИТИС 6011-P2. Данные для расчета температуры среды при ПРВ. – СИТИС, 2007.
- Разработка предложения по защите несущих конструкций машзалов АЭС от воздействия опасных факторов пожара (отчет)/ВНИИПО, М.1993-184 С.
- Цапко Ю.В., Антонов А.В., Орел В.П. Оцінка ефективності застосування діоксиду вуглецю в системах протипожежного захисту газоперекачувальних агрегатів // Науковий вісник УкрНДІПБ. – К.: УкрНДІПБ, 2002. –№ 2 (6). – С. 102-108.
- Худяков Г.Н. Выгорание жидкостей со свободной поверхности. – В кн.: Известия АН СССР, ОНТ, 10. – М., 1945, с. 11-15.
- Деревинський Д.М. Обґрунтування умов застосування вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту газокompресорних станцій: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / УкрНДІПБ МНС України. – К., 2005. – 24 с.
- А.А Абашкин, А.В. Карпов, Д.В. Ушаков, М.В. Фоми́н, А.Н. Гилетич, П.М. Комков. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» - М.: ВНИИПО, 2012. – 83 с.
- Vidmar P, Petelin S. Analysis of the effect of an external fire on the safety operation of a power plant. Fire Saf J. 2006;41(6):486–90.
- В.И. Горшков. Тушение пламени горючих жидкостей. – М.: Пожнаука, 2007. –267 с. ISBN – 5-903049-08-7.
- Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. – М.: Изд-во АН СССР, 1961, 208 с.
- Павлов П.П., Хованова А.М. О горении нефти и нефтепродуктов со свободной поверхности. – Баку: ЦНИПО, 1955, 79 с.
- Bakhman N.N., Kondikov B.N., Aldabaev L.I. Buning of liquid fuels; effect of burner on burning rate an measurement of quenching diameter. Fuel. London. 1976, v. 55, p. 243-249.
- Блинов В.И., Худяков Г.Н. О влиянии ветра на скорость сгорания нефтепродуктов в резервуарах. Инф. Письмо № 8 АН СССР, энергетический институт им. Г.М. Кржижановского. – М.: 1958, - 12 с.

TO THE ISSUE ABOUT THE NECESSITY OF REASONING INITIAL DATA FOR MODELING THE TURBINE OIL COMBUSTION PROCESS

*S. Ogurtsov, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc., S. Semichaevskiy
The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine*

KEYWORDS

validation, turbine oil burning, turbine halls, fire modeling, fire danger indices.

ANNOTATION

It is performed the analysis of sources of scientific and technical information concerning the characteristics of the combustion turbine oil TP-22 brand used in lubrication systems and seals of turbine generators. It is analyzed parameters that can be used for modeling the combustion turbine oil processes. It is reasoned the necessity of verifying the specific experimental mass burn rate of turbine oils, depending on its initial temperature, the temperature in the combustion process, the thickness and spill area for fire, closed to real. It is identified the necessity for verifying the lower calorific value of turbine oil burning, including depending on the lifetime of the system lubrication and sealing

ДО ПИТАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ ТУРБІННОГО МАСЛА

*С.Ю. Огурцов, канд. техн. наук, ст. наук. співр., С.В. Семичаєвський
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна*

КЛЮЧОВІ СЛОВА

валідація, горіння турбінного масла, машинні зали, моделювання пожежі, показники пожежної небезпеки.

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз джерел науково-технічної інформації стосовно особливостей горіння турбінного масла марки ТП-22, що використовується в системах змазування та ущільнення турбогенераторів. Проаналізовано параметри, які можуть бути використані для проведення моделювання процесів горіння турбінного масла. Обґрунтована необхідність експериментального уточнення питомої масової швидкості вигорання турбінного масла в залежності від його початкової температури, температури в процесі горіння, товщини і площі розливу для осередків пожежі, наближених до реальних. Визначена необхідність уточнення величини нижчої теплоти згорання турбінного масла, в тому числі в залежності від строку його експлуатації в системі змазування та ущільнення.