МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ И ДОКЛАДОВ
Всероссийской молодежной конференции

04-06 сентября 2012 г.

Томск 2012

УДК 544+620.9(063)
ББК 24.5+31л0
Х462

Х462 **Химическая физика и актуальные проблемы энергетики:** сборник тезисов и статей Всероссийской молодежной конференции / под ред. Г.В. Кузнецова, Е.Е. Бульбы, А.В. Захаревича, В.И. Максимова, Т.А. Нагорновой; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 310 с.

ISBN

Сборник содержит труды Всероссийской молодежной конференции «Химическая физика и актуальные проблемы энергетики», посвященной фундаментальным и прикладным проблемам химической физики и современной энергетики. Материалы отражают аспекты консолидации возможностей и усилий научно-инженерного сообщества на инновационном направлении в решении проблем химической физики и технологий энергетического производства. Особое внимание уделено вопросам энергосбережения и эффективности технологий сжигания органического топлива, надежности и безопасности технологических систем энергетики. Рассмотрены вопросы технологии мониторинга взаимодействия объектов энергетики с окружающей средой, технологии переработки и утилизации техногенных отходов, а также энергосберегающие технологии транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в области химической физики и энергетики, а также для студентов вузов физического, химического и энергетического профиля.

УДК 544+620.9(063)
ББК 24.5+ 31 л0

Редакционная коллегия
Г.В. Кузнецов, доктор физико-математических наук, профессор ТПУ;
Е.Е.Бульба, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
В.И. Максимов, кандидат технических наук, доцент ТПУ;
А.В. Захаревич, кандидат физико-математических наук, ст.преп. ТПУ;
Т.А. Нагорнова, кандидат технических наук, ст.преп. ТПУ.

Всероссийская молодежная конференция организована и проведена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы ГК№ 12.741.11.0228

УДК 662.215.11

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРАМИ РАЗЛОЖЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРАМИ ВСПЫШКИ БВВ

Авдеев В.Ю., Гидаспов А.А., д.х.н., Мощенский Ю.В., д.х.н.
Самарский государственный технический университет, г. Самара
E-mail: avdeevvu@gmail.com

В России принятой характеристикой чувствительности инициирующих (ИВВ) и бризантных взрывчатых веществ (БВВ) к тепловому воздействию является температура вспышки (Твсп). Существует два способа определения Твсп, которые заключаются в нагреве ВВ, помещенного в гильзу КД №8, в бане заполненной сплавом Вуда [1-6]. Первый метод считается предварительным и заключается в нагревании ВВ, начиная со 100 °С, с постоянной скоростью и фиксированием значения температуры, при котором происходит вспышка (Твсп(1)). Второй метод является наиболее распространенным и стандартизированным [4]: определение Твсп при 5 секундной задержке (Твсп(5с)) с навеской для ИВВ m = 0,02 г и для БВВ m = 0,05…0,1 г. По этому методу испытания проводят при постоянной температуре, фиксируя время задержки вспышки, т.е. время τ между моментом введения гильзы с ВВ в нагретую при постоянной температуре (Т) баню и моментом вспышки ВВ. По графикам в координатах τ и Т ($\ln\tau$ и 1/Т) или без их построения находят Твсп(5с).

Для новых ВВ чувствительность к тепловому воздействию первично характеризуют температурой начала интенсивного разложения (Тнир) и максимальной температурой разложения (Тмах), которые определяются методами дифференциально-термического анализа (ДТА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) (программное обеспечение современных приборов позволяет весьма просто по термограмме находить значения Тнир и Тмах).

При этом предполагается, что для ВВ значение Тнир и Тмах находится в некотором соответствии с Твсп(1), Твсп(5с). Нами была предпринята попытка подтвердить это предположение путем обнаружения корреляции между Твсп(1) и Тнир, Твсп(1) и Тмах, Твсп(5с) и Тнир, Твсп(5с) и Тмах.

Значения Твсп(1), Твсп(5с), Тнир и Тмах не являются физико-химическими константами ВВ и зависят от условий проведения эксперимента: скорости нагрева, массы навески ВВ и др. Поэтому при приведении

значений Твсп(1), Твсп(5с), Тнир и Тмах оговариваются условия их определения.

Значения Тнир и Тмах в работе определялись на отечественном приборе ДТА высокого разрешения ДСК-500 [7-9]. Методика определения Тнир и Tmax заключалась в следующем: навеска БВВ помещалась на дно алюминиевого тигля (диаметр 9,2 мм, высотой 2,3 мм, толщиной стенки 0,18 мм), засыпалась алюминиевым порошком (50 мг), накрывалась алюминиевой фольгой (толщина 0,014 мм) и алюминиевой крышкой тигля (толщина 0,18 мм). Подготовленный тигель завальцовывался на ручном прессе. Навеска БВВ составляла для ароматических полинитросоединений 4-6 мг, а для остальных БВВ 2-3 мг. Завальцованный тигель помещался в термоблок ДСК-500 и проводился эксперимент при линейной скорости нагрева 16 град/мин. Для каждого вещества проводилось 5-10 опытов. Данные по Тнир и Тмах, приведенные в табл. 1, обрабатывались по стандартному методу обработки экспериментов при доверительной вероятности P = 0,95. Значения Тнир и Тмах получены для 22 БВВ различных классов: ароматических полинитросоединений, нитраминов, нитратов спиртов, алифатических тринитрометильных соединений (штатные БВВ) и новых производных в ряду тринитроэтокси-1,3,5-триазинов.

Представленные значения по Твсп(1) в табл. 1 частично заимствованы из монографии [5] (в [3, 5, 6] приведены данные из [2]), а также найдены авторами нагреванием со 100 °С гильзы с навеской БВВ массой 50 мг со скоростью 20 град/мин по методике, описанной в [4].

Значения Твсп(5с) БВВ, приведенные в табл. 1, частично заимствованы: из монографии [5] и данных ФГУП «ГосНИИ «Кристалл» [*], которые любезно предоставлены авторам. Для остальных БВВ значения Твсп(5с) найдены авторами по гостированной методике [4] при навеске БВВ массой 50 мг по графику в координатах $\ln\tau$ и $1/T$.

Корреляционные зависимости между Твсп(1) и Тнир, Твсп(1) и Тмах, Твсп(5с) и Тнир, Твсп(5с) и Тмах, получены с помощью обработки массива экспериментальных данных по методу наименьших квадратов. Уравнения обрабатывались по стандартной методике с использованием функций Microsoft Excel.

Зависимость между Твсп(1) и Тнир для 15 веществ описывается линейным корреляционным уравнением (1) со средней относительной ошибкой S = 4,24 %, коэффициентом корреляции R = 0,95 при доверительной вероятности P = 0,95.

$$T_{\text{всп}}(1) = (1{,}02 \pm 0{,}09)T_{\text{нир}} + (1{,}51 \pm 19{,}67) \quad (1)$$

Зависимость между Твсп(1) и Тмах для 16 веществ описывается линейным корреляционным уравнением (2) со средней относительной ошибкой S = 5,38 %, коэффициентом корреляции R = 0,94 при доверительной вероятности P = 0,95.

$$T_{\text{всп}}(1) = (0{,}76 \pm 0{,}08)T_{\text{мах}} + (39{,}47 \pm 11{,}93) \quad (2)$$

Зависимость между Твсп(5с) и Тнир для 21 вещества описывается линейным корреляционным уравнением (3) со средней относительной ошибкой S = 2,67 %, коэффициентом корреляции R = 0,98 при доверительной вероятности P = 0,95.

Таблица 1. Экспериментальные значения $T_{нир}$, $T_{мах}$, $T_{всп}(1)$, $T_{всп}(5с)$ БВВ

№ п/п	Вещество	$T_{нир}$, °С	$T_{мах}$, °С	$T_{всп}(1)$, °С	$T_{всп}(5с)$, °С
1	ТНТ	301,9	313,2	295-300 [5]	358
2	ПК	269,7	293,3	-	322 [5]
3	ГНС	349,2	377,3	-	395*
4	БТФ	283,2	290,8	274-280	313
5	ТАТБ	321,2	389,1	-	500
6	Тетрил	203,9	222,0	190-200	238
7	RDX	228,3	256,6	215-230 [5]	260 [5]
8	HMX	283,2	290,8	278-282	335 [5]
9	ДАЗИН	261,9	290,5	-	320*
10	НГ	229,6	239,7	-	210*
11	ТЭН	193,7	215,2	205-215 [5]	225 [5]
12	ГТН	-	199,8	200-205 [5]	-
13	ИСДН	173,8	200,7	196-200	222
14	Б	176,2	196,4	178-182	195
15	О	211,5	233,9	204-210	225*
16	ДО	208,3	232,6	200-210	246*
17	Н	173,7	204,3	202-204	205*
18	К	213,4	213,4	210-220	240
19	ДиТС	175,0	221,8	182-200	209
20	ТриТС	199,5	222,7	200-202	221
21	А-ДИТС	199,0	223,6	-	230
22	АМ-ДИТС	178,6	196,4	-	207

ТНТ – 2,4,6-тринитротолуол, ПК – 2,4,6-тринитрофенол (пикриновая кислота), ГНС – гексонитростильбен, ТАТБ – 2,4,6-триамино-1,3,5-тринитробензол, БТФ – бензотрифуроксан, Тетрил - 2,4,6-тринитрофенил-N-метилнитрамин, RDX – 1,3,5-тринитро-1,3,5-триазациклогексан (гексоген), HMX – 1,3,5,7-тетранитро-1,3,5,7-тетраазациклооктан (октоген), ДАЗИН – N,N'-динитрпиперазин, НГ – нитрогуанидин, ТЭН – тетранитрат пентаэритрита, ГТН – глицеринтринитрат (нитроглице-

рин), ИСДН – изосорбида динитрат, Б – бис-(тринитроэтил)-нитрамин, О – тринитроэтиловый эфир тринитромаслянной кислоты, ДО – сплав О (96%) и динитронафталина (4%), Н – N,N'-бис(тринитроэтил)этилендинитрамин, К – формаль тринитроэтанола, ДиТС - 2,4-ди(2',2',2'-тринитроэтокси)-6-тринитрометил-1,3,5-триазин, ТриТС - 2,4,6-три(2',2',2'-тринитроэтокси)-1,3,5-триазин, А-ДиТС - 2-азидо-4,6-бис(2',2',2'-тринитроэтокси)-1,3,5-триазин, АМ-ДиТС - 2-амино-4,6-ди(2',2',2'-тринитроэтокси)-1,3,5-триазин.

$$T_{\text{всп}}(5c) = (1{,}35 \pm 0{,}08)T_{\text{нир}} - (40{,}80 \pm 16{,}88) \quad (3)$$

Зависимость между $T_{\text{всп}}(5c)$ и $T_{\text{мах}}$ для 21 вещества описывается линейным корреляционным уравнением (4) со средней относительной ошибкой S = 1,72 %, коэффициентом корреляции R = 0,98 при доверительной вероятности P = 0,95

$$T_{\text{всп}}(5c) = (1{,}36 \pm 0{,}08)T_{\text{мах}} - (73{,}61 \pm 18{,}84) \quad (4)$$

Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что $T_{\text{нир}}$ и $T_{\text{мах}}$, полученные методами ДТА и ДСК, могут с успехом использоваться для оценки чувствительности БВВ к тепловым воздействиям, так как их значения коррелируются со значениями $T_{\text{всп}}(1)$, $T_{\text{всп}}(5c)$ БВВ.

Методы нахождения $T_{\text{нир}}$, $T_{\text{мах}}$, $T_{\text{всп}}(1)$, $T_{\text{всп}}(5c)$ различны по исполнению, но их объединяет одинаковый механизм воздействия на ВВ: возбуждение в БВВ взрывчатого превращения – самоускоряющейся экзотермической реакции разложения БВВ, которая может приводить к тепловому взрыву. Поэтому обнаружение линейных корреляционных зависимостей (1-4) представляется вполне закономерным результатом. По значениям $T_{\text{нир}}$ и $T_{\text{мах}}$ новых синтезированных БВВ с использованием уравнений (1-4) с достаточной степенью точности можно оценить без эксперимента значения $T_{\text{всп}}(1)$, $T_{\text{всп}}(5c)$.

Список литературы:

1. Аванесов Д.С. Практикум по физико-химическим испытаниям взрывчатых веществ. -М.: Оборонгиз., 1959. 164 с.
2. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ, -М. Оборонгиз., 1960. 595 с.
3. Андреев К.К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М.: «Наука». 1966. 344 с.
4. ГОСТ Р 22.2.07-94. Вещества взрывчатые инициирующие. Метод определения температуры вспышки
5. Орленко Л.П. Физика взрыва -М.: ФИЗМАТЛИТ. 1. 2002. 832 с.

6. Рекшинский В.А., Пыжов А.М., Гидаспов А.А. Чувствительность энергетических материалов к тепловым и механическим воздействиям: уч. пособие. -Самара. Самар. гос. техн. ун-т. 2010. 101 с.
7. А.с. № 1376019 СССР Устройство для дифференциального термического анализа / Мощенский Ю.В., Трунин А.С. // Заявка №4120238. Опубл. 1988, Б.И. № 7.
8. Мощенский Ю.В. Дифференциальный сканирующий калориметр теплового потока на основе дисковой термопары // Материалы 13 Всерос. конф. по терм. анализу. -Самара, -2003. С. 33-36.
9. Мощенский Ю.В. Дифференциальный сканирующий калориметр ДСК–500 / Приборы и техника эксперимента. -2003. №6. С. 143 – 144.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛЭП

Сивяков Б.К., д.т.н., Аврясова О.С., аспирант
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов
E-mail: olga.avryasova@gmail.com

Магнитные поля на нашей планете имеют двоякое происхождение - естественное и антропогенное. Естественные магнитные поля, так называемые магнитные бури, зарождаются в магнитосфере Земли. Антропогенные магнитные возмущения охватывают меньшую территорию, чем природные, зато их проявление значительно интенсивнее, а, следовательно, приносит и более ощутимый ущерб. В результате технической деятельности человек создает искусственные электромагнитные поля, которые в сотни раз сильнее естественного магнитного поля Земли. Источниками антропогенных излучений являются: мощные радиопередающие устройства, электрифицированные транспортные средства, линии электропередачи.

Один из наиболее сильных возбудителей электромагнитных волн — токи промышленной частоты (50 Гц).

Электромагнитное поле описывается системой уравнений Максвелла. Для источников промышленной частоты (f = 50 Гц) электрическое и магнитное поле можно рассматривать раздельно. Они описываются соответствующими уравнениями Пуассона.

Рассмотрим электрическое поле, создаваемое линиями электропередачи, в общем случае с k бесконечными линейными проводами, расположенными параллельно поверхности Земли, которую будем считать идеально проводящей плоскостью. Известны координаты подвеса проводов dn и hn в плоскости поперечного сечения линии, радиусы проводов rn и потенциал проводов относительно Земли $\varphi n = \varphi n e^{j\psi n}$ (φn – амплитудное значение потенциала; ψn – начальная фаза), требуется определить распределение потенциала φ и напряженность электрического поля E в окружающем пространстве.

Электрическое поле описывается уравнением Пуассона:

$E = -\mathrm{grad}\ \varphi$

Для решения уравнения Пуассона можно применять различные методы, однако в данной задаче наиболее эффективным является метод зеркальных изображений.

Аналогично потенциалу определяется поверхность распределения напряженности электрического поля и её изолинии.

Таким образом, нами была решена задача определения электрического поля, создаваемого многопроводной линией передачи. Математическая модель реализована в программе, написанной на языке PHP.

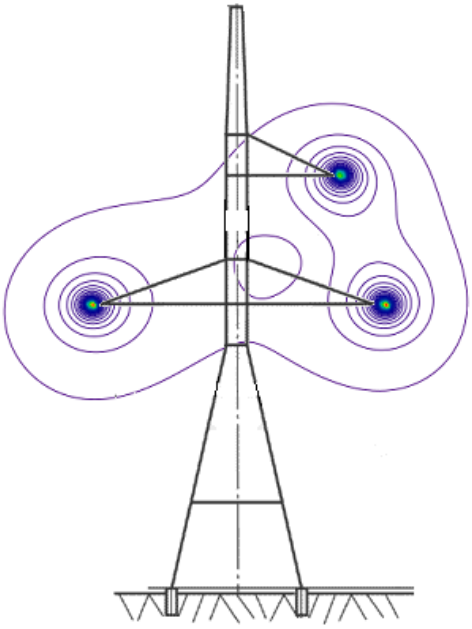


Рис. 1. Распределение напряженности электрического поля ЛЭП с шагом 3,753 кВ/м (опора У-220-1)

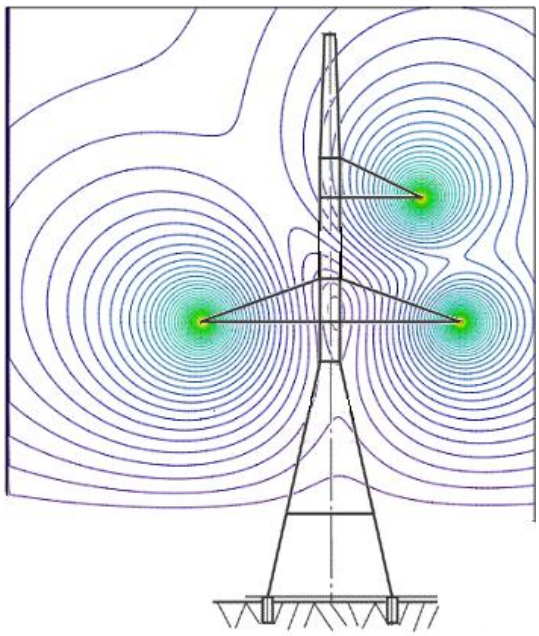


Рис. 2. Картина эквипотенциалей ЛЭП с шагом 0,96 кВ (опора У-220-1)

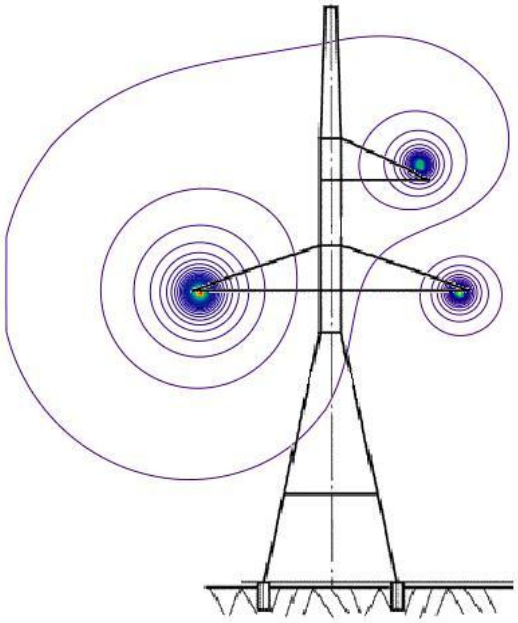


Рис. 3. Распределение напряженности магнитного поля линии электропередачи 220 кВ(опора У220-1)

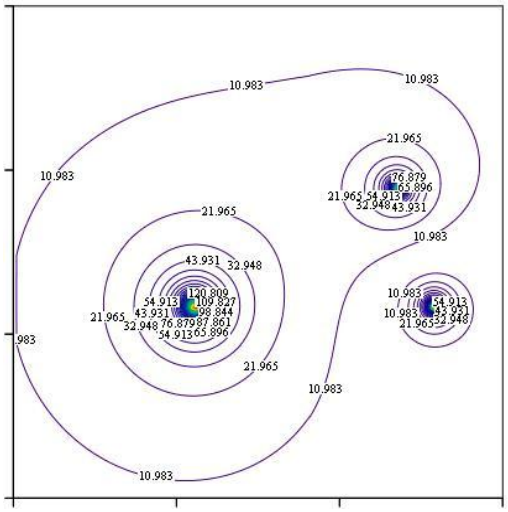


Рис. 4. Картина напряженности магнитного поля линии электропередачи 220 кВ (опора У220-1)

Магнитное поле токов промышленной частоты 50 Гц квазистационарное. Магнитная проводимость Земли μ=1, как и воздуха. Поэтому нет границы раздела двух сред.

Осуществим расчет магнитного поля, создаваемого произвольной линией электропередачи. Для решения данной задачи был применен метод наложения: рассчитано вначале поле от каждого провода и затем сложены вектора напряженностей.

Таким образом, решена задача определения магнитного поля, создаваемого многопроводной линией передачи. Она позволяет рассчитать величину напряженности магнитного поля линейной многопроводной линии электропередачи и определить её величину в каждой конкретной точке.

Полученные результаты позволяют произвести прогноз электромагнитного загрязнения ещё на этапе проектирования объекта и в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами «Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191-03» произвести (в случае превышения установленных норм) необходимые мероприятия по снижению электромагнитного поля промышленной частоты.

Список использованных источников:

1. Нейман Л. Р., Демирчян К. С., Коровкин Н. В., Теоретические основы электротехники, том 3, изд. «Питер», 2009.

2. Электромагнитные поля в производственных условиях. СанПиН 2.2.4.1191-03
3. Сивяков Б. К., Аврясова О. С., Математическое моделирование электромагнитного поля электроустановок, Вестник Саратовского Государственного Технического Университета – 2010.
4. Сивяков Б. К., Аврясова О. С., Математическое моделирование электромагнитного загрязнения окружающей среды линиями электропередачи, Вестник Саратовского Государственного Технического Университета – 2010.

УДК 621.311.001

ВСЕРЕЖИМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Андреев М.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: andreevmv@tpu.ru

Согласно обобщенной статистике причин аварийности в электроэнергетических системах (ЭЭС) 25 – 28% тяжелых аварий происходит из-за неправильного действия средств релейной защиты (РЗ), к тому же в 50 – 70% случаев по этой же причине обычный аварийный режим переходит в тяжелую системную аварию.

Одной из главных причин неправильной работы РЗ является неточная настройка, связанная с двумя главными факторами:

1. использование при расчете уставок недостаточно полной и достоверной информации о режимах и процессах в ЭЭС;
2. погрешности, вносимые в расчет уставок за счет грубого учета аппаратных погрешностей устройств РЗ и измерительных трансформаторов с помощью коэффициентов;

Первый фактор минимизируется путем создания и использования соответствующих средств моделирования ЭЭС, а для устранения второго необходимы разработка и применение в этих средствах адекватных математических моделей РЗ с учетом особенностей конкретной аппаратной реализации и процессов в измерительных трансформаторах.

Применение подобных математических моделей РЗ позволит решить не только обозначенную проблему, но и предоставит следующие новые возможности:

- анализ процессов в цепях РЗ, позволяющий оценить влияние отдельных схемных элементов на функционирование устройства защиты в целом;
- выработка требований к аппаратной реализации РЗ, в том числе требования по их модернизации;
- тестирование функционирования алгоритма конкретной аппаратной реализации РЗ на этапе разработки защиты;
- разработка и внедрение адаптивных свойств у современных терминалов защиты.

УДК 621.311

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИИЯ БОЛЬШИМИ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯМИ

Арестова А.Ю., Хмелик М.С., Сидоркин Ю.М. к.т.н.
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск
e-mail: ann.arestova@gmail.com

1. ВВЕДЕНИЕ

Предварительные результаты исследования способов интеграции энергообъединений стран Европейского Союза (ЕС) и Содружества Независимых Государств (СНГ) показали, что одним из наиболее вероятных способов их объединения может стать так называемая гибридная связь (параллельная работа электропередач переменного и постоянного тока). Для исследования такого энергообъединения была создана тестовая модель электрической сети. Упрощенное представление электрической сети, нагрузок и генерации в виде узлов, представляющих каждую из стран ЕС и каждую из семи объединенных энергосистем России, позволили адекватно учесть целый ряд вставок (ВПТ) и линий электропередач постоянного тока (ППТ) в европейской части энергообъединения. Упрощенная математическая модель содержит также модель ветровой электростанции, и виртуальной электростанции – автономной энергосистемы относительно небольшой мощности, содержащей распределенные источники генерации разного типа, управляемую нагрузку и накопители электроэнергии.

На последнем этапе исследования эквивалентная модель энергообъединения стран ЕС и СНГ была дополнена расчетной схемой ОЭС Восто-

ка, и эквивалентной моделью энергосистемы КНР. В этом случае появляется возможность исследовать:

- - условия возникновения низкочастотных колебаний частоты и активной мощности энергообъединения, простирающегося от Лиссабона до Владивостока, и предложить возможные способы демпфирования этих колебаний с помощью ВПТ;
- - возможность предотвращения отключения больших объемов источников ветровой энергии в Европе и на о. Попова;
- - переходные электромеханические процессы в ОЭС Востока, с учетом полной или частичной сегментации сети переменного тока вышеупомянутыми ВПТ между ОЭС Сибири и ОЭС Востока;
- - динамические свойства ОЭС Востока в условиях аварийного отключения ВПТ, связывающей ОЭС Востока и Национальную энергосистему КНР.

Тестовая модель электрической сети, созданная в рамках настоящей работы, приведена на Рис.1. Процесс создания тестовой модели подробно рассмотрен в [1].

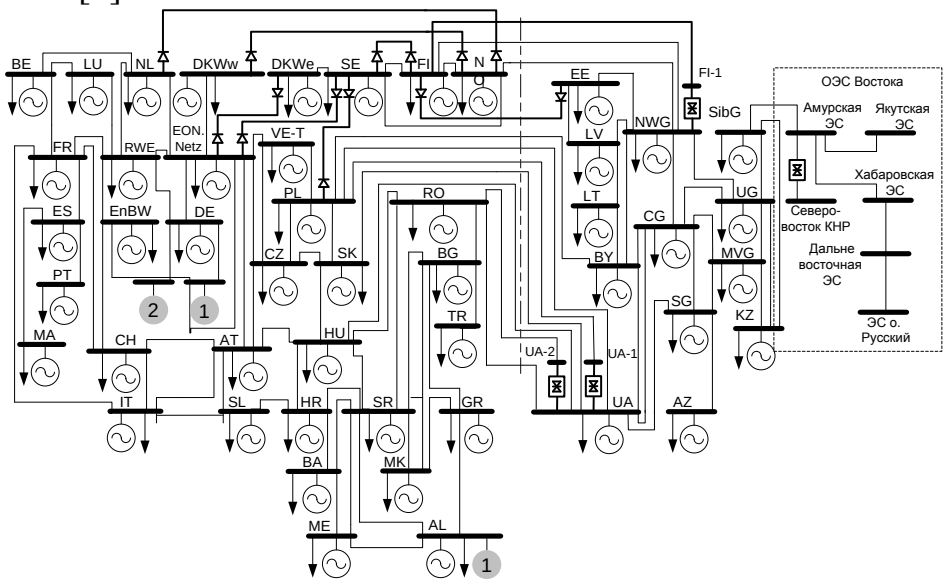


Рис.1. Тестовая модель сети ЕС - СНГ

2. РЕСУРСЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ ВПТ

Целью вычислительного эксперимента стало доказать возможность демпфирования низкочастотных колебаний модуляцией мощности ВПТ и ППТ. После аварийного возмущения, приводящего к возникновению слабозатухающих низкочастотных колебаний, инициировалось действие кон-

троллеров аварийного управления на всех ВПТ и ППТ. Все контроллеры осуществляли нечеткое управление активной мощностью по алгоритму, приведенному ниже. Расчетным возмущением служило трехфазное короткое замыкание (КЗ) на одной из параллельных ВЛ переменного тока, между узлами, представляющими ОЭС Северо-Запада и ОЭС Центра, ликвидируемое действием основной релейной защиты и сопровождаемое действием устройства автоматического повторного включения ВЛ через одну секунду.

Сигналы управления активной мощности всех ВПТ и ППТ формировались по скорости ротора эквивалентных синхронных генераторов, примыкающих к соответствующей ВПТ или ППТ. Стратегия управления состояла в следующем: скорость ротора ωi i-го эквивалентного синхронного генератора подвергалась фазификации в соответствии с правилами, представленными в Табл. 1. К примеру, скорость ротора генератора NWG была использована для регулирования активной мощности ВПТ Россия-Финляндия. Для выполнения процедуры фазификации были применены две функции принадлежности - треугольная и трапецеидальная (Рис. 3,А). Соотношение между входным и выходным параметром блока нечеткой логики показано на Рис. 3 и в Табл.1. Дефазификация выполнялась с использованием алгоритма Mamdani.

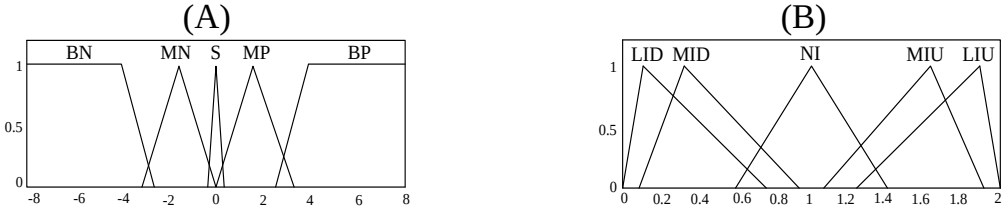


Рис.2. Входные (А) и выходные (В) параметры контроллера

Таблица 1. Соответствие входных и выходных параметров

Входной сигнал	BN	MN	S	MP	BP
Выходной сигнал	LID	MID	NI	MIU	LIU

Анализ результатов вычислительного эксперимента показал, что лишь три из одиннадцати ВПТ и ППТ тока оказывают существенное влияние на характер переходного процесса. Это втавки, находящиеся в непосредственной близости от места аварийного возмущения. Характер переходных процессов без применения аварийного управления и с действием нечетких контроллеров приведен на Рис. 3 и Рис.4, из анализа которых можно предположить, что демпфирование колебаний мощности в возможном энерго-

объединении ЕС-СНГ может быть выполнено с использованием локальной информации. Это альтернатива управлению по взаимным параметрам, где в качестве входных параметров выступает взаимный угол или разность отклонения скорости ротора синхронных генераторов. Другим способом управления может стать использование средневзевешанной скорости роторов нескольких генераторов, что может быть осуществлено с помощью технологии синхронизированных векторных измерений. Алгоритмы регулирования мощности ВПТ и ППТ на границе ЕС и СНГ в полной мере представлены в [2].

Приведенный пример демонстрирует использование локальной информации для демпфирования низкочастотных колебаний в возможном энергообъединеии ЕС-СНГ. От того, каким образом будет реализована система противоаварийного управления – централизованная, децентрализованная или смешанная – будут зависеть и принципы управления.

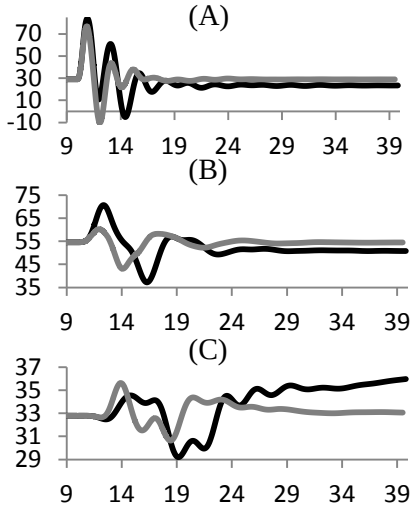


Рис.3.Взаимные углы эквивалентных генераторов (A) NWG и CG, (B) NWG и UA, (C) PT и SibG с (серая линия) и без (черная линия) использования контроллеров на нечткой логике.

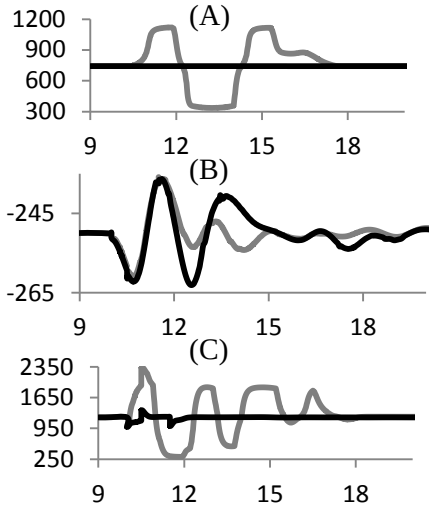


Рис.4. Переток активной мощности через ВПТ на соединении (A) UA и PL, (B) FI и EE, (C) NWG и FI с (серая линия) и без (черная линия) использования контроллеров на нечткой логике.

Предложенная тестовая модель энергообъединения ЕС-СНГ, несмотря на значительные допущения, принятые при ее создании, представляет собой удобный инструмент для исследования принципиальных особенностей противоаварийного управления в большом энергообъединении. Результаты, представленные в настоящей статье, носят предварительный характер

и могут в дальнейшем быть использованы для определения направлений исследований в более детальных расчетных схемах. Но уже на настоящем этапе ясно, что совершенствование системы противоаварийного управления энергообъединением ЕС-СНГ может быть основано, в том числе, на использовании интеллектуальных кластеров как средства АПНУ. В отдельных схемно-режимных ситуациях демпфирование низкочастотных колебаний в энергообъединении ЕС-СНГ могло бы быть выполнено модулированием их мощности.

Список литературы

1. SuperSmart grid for improving system stability at the example of a possible interconnection of ENTSO-e and IPS/UPS/ A. Arestova, U. Häger, A. Grobovoy, et al.// PowerTech conference, Trondheim, Norway, 19–23 June, 2011.
2. Advanced Control of Hybrid HVAC/HVDC Interconnection Interface for the Interconnected ENTSO-e – IPS/UPS Systems/ Lazar Bizumic, Rachid Cherkaoui, Fortunato Villella, et al.// ISGT conference, Manchester, Great Britain, 2011.

УДК 536.2

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ТОПЛИВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Половников В.Ю., к.т.н., Аршанов А.А.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Свыше 30% добываемой нефти в процессе ее переработки переходит в топочный мазут, основными потребителями которого являются электростанции и котельные. Прогноз Института систем энергетики СО РАН устанавливает вероятный уровень годового потребления мазута в количестве 30 миллионов тонн условного топлива [1]. Согласно проектам [2] энергетической стратегии России в XXI веке даже в случае самых жестких ограничений добыча нефти в 2012 году будет на уровне 280 – 290 миллионов тонн, а в 2030 году – на уровне 235 – 245 миллионов тонн.

Действующие по сегодняшний день отраслевые методики расчета и проектирования мазутных хозяйств далеко не в полной мере отражают все особенности тепловых процессов, происходящих на всех стадиях подготовки мазута к сжиганию. Тем не менее именно эти методики проектиро-

вания, несмотря на все недостатки, обеспечили строительство и развитие всего энергетического комплекса страны [3].

Проблема энергосбережения при эксплуатации мазутных хозяйств тепловых электрических станций и котельных актуальна в настоящее время и в перспективе. Необходимость энергосбережения и экономии топлива при использовании мазута в теплоэнергетике оправдана уже только одним фактом быстрого роста цен на мазут (нефть) на мировом и внутреннем рынках. Применение мазута на ТЭС и котельных в качестве основного и резервного топлива требует поиска эффективных способов энергосбережения в мазутных хозяйствах [4].

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов резервуаров для хранения резервных топлив тепловых электрических станций и котельных, а также численный анализ тепловых потерь рассматриваемых объектов в условиях взаимодействия с окружающей средой.

Рассматриваются типичные вертикальные цилиндрические стальные резервуары марки РВС–100 [3] в наземном, полуподземном и подземном исполнениях. Для рассматриваемых случаев решаются двумерные стационарные задачи теплопроводности в системе «резервуар для хранения топлива – окружающая среда».

Рассматриваемые задачи решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics [5] с использованием модуля General Heat Transfer. Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphisics.

При проведении численного моделирования предполагалось, что температура внутренней поверхности резервуара имеет постоянное значение, равное температуре хранящегося топлива 70 °С. Температура окружающей среды составляла – 40 °С и соответствовала температуре наиболее холодной пятидневки в городе Томске. Скорость движения окружающей среды варьировала в диапазоне 0,5 – 6 м/с.

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери резервуаров с увеличением скорости движения окружающей среды с 0,5 до 6 м/с возрастают более чем в 1,5 раза во всех вариантах численного анализа. Тепловые потери через стенку и крышку резервуара значительно превышают тепловые потери в грунт для наземного и полуподземного распо-

ложения резервуаров. Доля тепловых потерь через крышу для подземного резервуара составляет около 50% от суммарных тепловых потерь. При прочих равных условиях подземные резервуары имеют наименьшие суммарные тепловые потери. В рамках предложенной модели, также были установлены оптимальные размеры расчетных областей для грунта во всех вариантах численного анализа.

Также установлено, что результаты расчета тепловых потерь, полученные с помощью численного моделирования и потери, рассчитанные по нормативной методике, существенно отличаются. В предельных случаях отклонение составляет 5 – 7,5% для наземного варианта расположения резервуара, 20 – 23,5% для полуподземного варианта расположения резервуара, 33 – 39,5% для подземного варианта расположения резервуара.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что при проектировании и анализе тепловых режимов работы рассматриваемых систем необходимо учитывать интенсификацию теплоотвода в грунт.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олимпиев В.В., Михеев Н.И., Молочников В.М. Энергосберегающая технология хранения и подогрева мазута в мазутных хозяйствах ТЭС и котельных // Известия академии наук. Энергетика. – 2005. – №1 – С. 14 – 17.
2. Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
3. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: МЭИ, 2002. – 612 с.
4. Олимпиев В.В. Экономия энергетических и финансовых затрат при эксплуатации основных резервуаров мазутных хозяйств ТЭС и котельных // Теплоэнергетика. – 2003. – № 9. – С. 40–45.
5. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

УДК 662.613

ВЛИЯНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ДОБАВОК ОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПОЛНОТУ СГОРАНИЯ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ

Астапенко Р.Е.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: Roza-Astapenco@mail.ru

Для обеспечения населения и производств в год сжигают миллионы тонн каменного угля. Поэтому повышение теплоотдачи угля даже на доли процентов является увеличением энергоэффективности. Одним из направлений повышения теплоты сгорания каменного угля является добавление оксидов переходных металлов. В реальных условиях процесс сгорания угля процесс протекает не до конца. При нагревании [1] исходного угля в ячейке термоанализатора в диапазоне от 20-200°С наблюдается десорбция воды и газообразных примесей (2,30 мас. %). При температуре выше 200°С увеличение массы навески (2,42 мас. %) сопровождалось выделением тепла с максимумом 484,5°С на этой стадии окисления угля скорость максимальна. Зависимость массы от температуры представлена в виде плавной кривой согласно которой при 550°С масса навески остается постоянной. Удельный тепловой эффект равен 22663 Дж/г. При нагревании данного образца с диоксидом марганца в диапазоне от 20-180°С наблюдается десорбция воды и газообразных примесей (2,78 мас. %), при температуре выше 190°С увеличение массы навески в 1,8 мас. % сопровождалось выделением тепла с максимумом 326°С. После небольшого спада теплового потока при 420°С происходило возгорание смеси с максимумом 475,9°С. Более значительные результаты были получены при использовании добавок оксида меди (II): удельный тепловой эффект составил 23525 Дж/г в сравнении с тепловым эффектом сгорания исходного угля без добавок, равным 22663 Дж/г. Аналогичные результаты были получены при добавлении оксидов кобальта (II) и оксида железа (III): 24651 и 23137 Дж/г, соответственно. Таким образом получен технический эффект повышения энергоэффективности сгорания каменного угля максимально на 8,8 %.

Список литературы:

1. Ильин А.П., Яблуновский Г.В., Громов А.А. Об активности порошков алюминия//Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37 – №4. – С. 58 – 62

УДК 621.311.1.003

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Бабинович Д.Е., аспирант
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, Россия
E-mail: dashulja20@sibmail.com

Оптовый рынок электроэнергии играет ключевую роль в создании новых рыночных условий для производителей и потребителей электроэнергии (ЭЭ). С 01.01.2011 года цена на ЭЭ полностью складываются из конкурентных рыночных цен, и действующее законодательство предполагают использование прогнозирования как одного из обязательных условий функционирования рынков электроэнергии. В качестве основных выступают долгосрочные и краткосрочные виды прогнозов. Краткосрочные прогнозы являются базой для формирования цен на оптовом рынке электроэнергии (ОРЭ) и осуществлении ценовых операций. К таким прогнозам можно отнести, прежде всего, почасовой прогноз «на сутки вперед» потребителей электроэнергии, который необходим для проведения коммерческих торгов на ОРЭ.

Долгосрочные прогнозы также необходимы для согласования вывода в ремонт и из эксплуатации объектов электросетевого хозяйства и объектов по производству электрической и тепловой энергии, а также для формирования энергобалансов региона[1].

Для предприятия внедрение прогнозного аппарата позволяет осуществлять планово-финансовое управление производством и выполнять анализ работы основного технологического оборудования. С одной стороны прогноз является непосредственным инструментом функционирования рынка ЭЭ, например рынка отклонений от заявленного объема мощности. С другой стороны прогнозирование является составляющей частью построения адаптивных регуляторов основных потребителей ЭЭ.

Для потребителей, осуществляющих плату за электроэнергию на розничных рынках, в соответствии с правительства № 442 от 04.05.2012 г. « О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» потребитель имеет право выбирать в зависимости от имеющихся приборов учета ценовую категорию (ЦК) из шести. Первая ЦК применяется для объемов покупки электрической энергии (мощности), учет которых осуществляется в целом за расчетный период. Вторая ЦК для объемов покупки электрической энергии (мощности), учет которых осуществляется по зонам суток расчетного периода [2].При наличии системы почасового учета потребитель имеет право выбрать 3,4,5,6 ЦК, где 5ЦК и 6ЦК подразумевают выполнение потребителем почасового прогноза и планирования потребления ЭЭ и расчет за отклонения фактичного потребления ЭЭ от планового.

В данной статье рассматривается возможность уменьшении платы за отклонения в результате внедрения прогнозного аппарата на насосную станцию (НС) третьего подъема. На рис. 1 представлен график нагрузки НС 3-го подъема № 1.

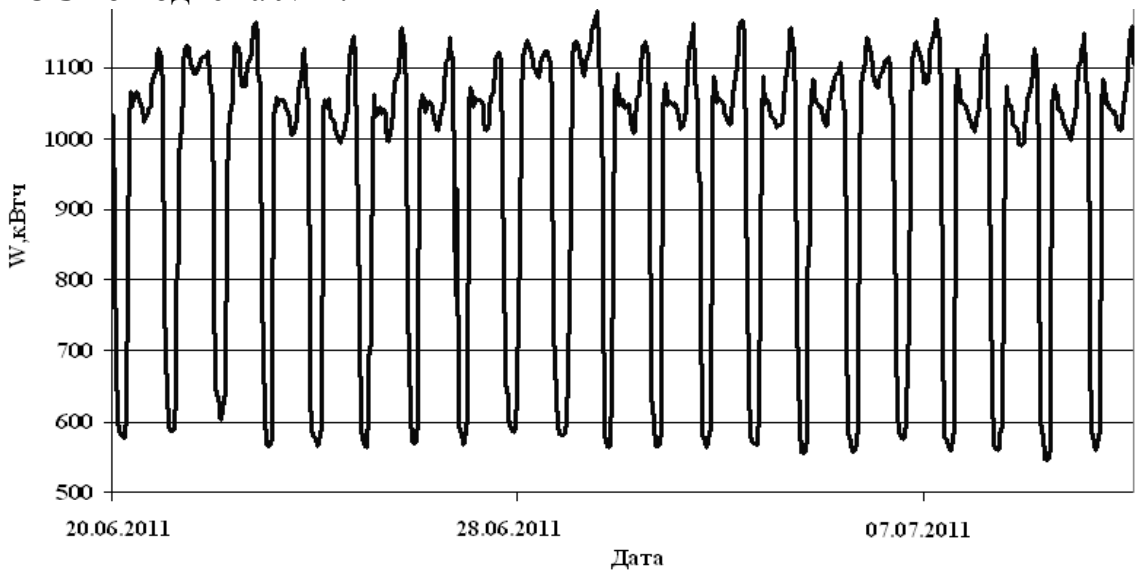


Рис. 1. График нагрузки насосной станции 3-го подъема

Основной тренд ряда формирует работа насосных агрегатов и изменение их нагрузки в течении суток (устойчивый период тренда равный 24).

Для подготовки исходных данных может выступать метод вейвлет-анализа, который выполняет вейвлет-преобразование, при котором происходит выделение локальных особенностей сигнала для каждой точки фазовой (частотно-временной) плоскости. С помощью вейвлет-анализа выполняется разложения исходного сигнала данных потребления электроэнергии НС 3-го подъема на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты с использованием вейвлета Добеши при глубине разложения равной трем.

В качестве прогнозной модели используем метод проинтегрированного скользящего среднего, которая представляет собой модель авторегрессии, учитывающей связь текущего значения ряда с прошлыми значениями, и модель скользящего среднего, которая учитывает воздействия на каждый элемент ряда предыдущих ошибок. Такая модель представляется в виде ARIMA (p,d,q), где p - порядок авторегрессии,d–порядок разности временного ряда , q- порядок скользящего среднего[3].

Для получения прогнозных значений коэффициентов детализации и аппроксимации выбрана модель ARIMA (1,1,1) и получаем прогноз дета-

лизирующих и аппроксимирующих коэффициентов на «сутки вперед», представленный на рис. 2.

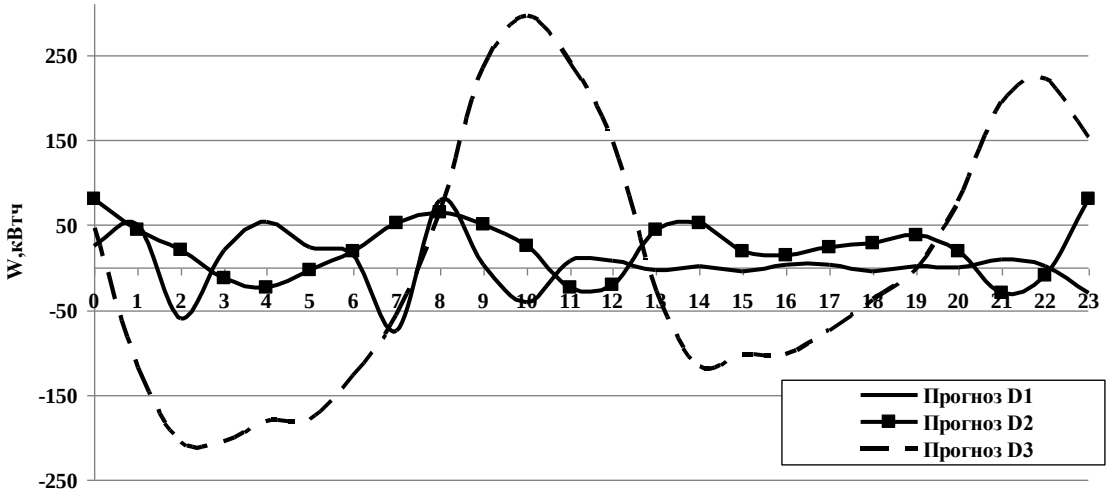


Рис.2. Полученный прогноз детализирующих коэффициентов

Для сравнения также выполняется прогноз с использованием аналогичной модели ARIMA (1,1,1) исходного ряда, но без разложения на коэффициенты. На рис.3 представлен результат суммы прогнозов аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов, а также прогноз исходного временного ряда без выполнения разложения.

Сумма отклонения фактического потребления электроэнергии от суммы прогнозов детализирующих и аппроксимирующего коэффициента в денежном выражении составила 5,29 руб в сутки. Расчет стоимости отклонений произведен по действующим на розничном рынке ценам июля 2012 года [4]. Для такого метода средняя за период прогноза погрешность составляет – 0,2 %.

Для второго варианта прогноза без разложения на детализирующие и аппроксимирующие коэффициенты сумма отклонения составила 13,52 руб, а средняя за период прогноза погрешность составляет всего 0,5 %.

В результате можно сделать вывод о том, что оба варианта прогноза с использованием модели ARIMA позволяют минимизировать отклонения и обеспечивают погрешность прогноза менее 1 % за интервал усреднения. При такой модели прогноза для данного объекта сумма отклонений будет составлять всего около 200 рублей в месяц.

Достоинством использования разложения исходного ряда по методу вейвлет-анализа является то, что для каждого уровня и типа коэффициента разложения возможен подбор наилучшей модели прогноза, что обеспечи-

вает более высокую точность, чем при простом прогнозировании исходного ряда без специальной подготовки данных.

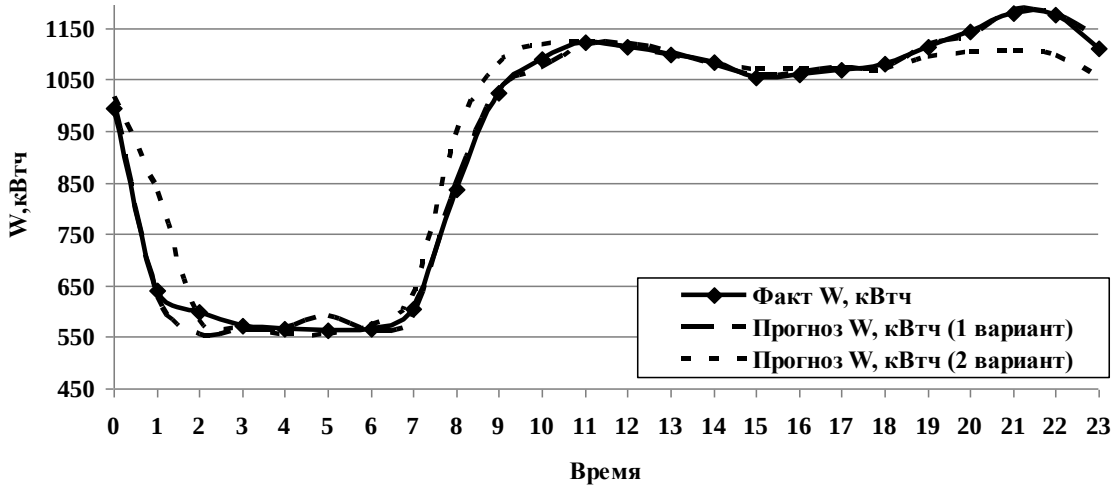


Рис. 3. Результат прогнозирования потребления электроэнергии на стуки вперед

Таким образом, при грамотном внедрении прогнозного аппарата на предприятии появляется возможность выбрать ЦК с условием почасового планирования, что позволит снизить затраты на приобретение ЭЭ и осуществлять эффективное планирование работы технологического оборудования.

Список литературы:

1. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. Режим доступа http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=132223;fld=134;dst=4294967295;rnd=0.26198497442838353;from=112537-0, свободный.- Загл. с экрана.
2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. Режим доступа http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=130498, свободный.- Загл. с экрана.
3. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: Учебник. - М.: Бином, 2007. - 512 с.
4. Составляющие предельных уровней нерегулируемых цен. [Электронный ресурс]. Режим доступаhttp://www.atsenergo.ru/results/market/svnc/month_rm/index.htm?dt=20120701, свободный.- Загл. с экрана.

УДК 533.6

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЖИГАНИЯ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА СФОКУСИРОВАННЫМ СОЛНЕЧНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Барановский Н.В., к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
e-mail: firedanger@narod.ru

Цель исследований – экспериментальное изучение условий зажигания лесного горючего материала (ЛГМ) сфокусированным естественным солнечным излучением.

В экспериментах использовалась вогнуто-выпуклая стеклянная линза диаметром 11 см с фокусируемым размером пятна в 3-3,5 мм в диаметре. Проведены экспериментальные измерения теплового потока сфокусированного солнечного излучения, концентрируемого указанной линзой. Было установлено, что тепловой поток (q_{sun}) сфокусированного линзой солнечного излучения, который воздействует на поверхность нагрева эталонного цилиндра, равен 17780$\pm$1293,5 Вт/м^2. Доверительный интервал определения q_{sun} рассчитан с доверительной вероятностью P=0.95 [1]. Объектом исследования являлись навески ЛГМ, сформированные из хвои сосны сбора 2011 года.

По результатам видеосъемки процесса установлен физический механизм зажигания ЛГМ сфокусированным солнечным излучением. Все результаты экспериментов можно условно разделить на три группы: а) при ветре со скоростью до 3 м/с (нет зажигания); б) метеорологические условия, для которых характерно наличие ветра со скоростью от 3 м/с до 4 м/с (переходный режим); в) скорость ветра 4 м/с и более (устойчивое зажигание).

Установлено, что особенности микрорельефа местности также являются фактором лесной пожарной опасности в условиях действия сфокусированного солнечного излучения. Выполненные экспериментальные исследования подтвердили результаты теоретического анализа [2] (зажигание ЛГМ возможно при тепловом потоке сфокусированного солнечного излучения 15 кВт/м^2 и выше).

Список литературы:
1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. Шк., 2003. 479 С.
2. Барановский Н.В. Математическое моделирование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 8. С. 34 – 37.

УДК 533.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЖИГАНИЯ ОПАДА ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦЕЙ

Барановский Н.В., к.ф.-м.н., Захаревич А.В., к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
e-mail: firedanger@narod.ru

Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение основных закономерностей и условий зажигания типичных, широко распространенных лесных горючих материалов (ЛГМ) одиночными нагретыми до высоких температур частицами стали.

Эксперименты проводились на установке и по методике [1] с нагретыми частицами металлов в форме цилиндров двух различных размеров: а) диаметр d=6 мм; высота h=13 мм; масса m=2,5 г; б) d=8 мм; h=17 мм; m=6,2 г. Установлено, что при воздействии на слой ЛГМ частиц высотой менее 13 мм зажигания не происходило. Объект исследования – слой ЛГМ из опада сосновой хвои. По результатам статистической обработки экспериментальных данных определялись доверительные интервалы с доверительной вероятностью P=0.95.

Проведенные экспериментальные исследования зажигания ЛГМ нагретыми до высоких температур частицами стали подтвердили обоснованную ранее теоретически [2] возможность зажигания лесных горючих материалов одиночными “горячими” частицами. Установлены зависимости времен задержки зажигания от начальной температуры частиц. Выделены предельные начальные температуры частиц и их размеры, при которых возможна реализация такого механизма возгорания типичного ЛГМ – опада сосновой хвои. Идентифицирован механизм возникновения возгорания при воздействии одиночных нагретых до высоких температур частиц металлов.

Список литературы:
1. Кузнецов Г.В., Захаревич А.В., Максимов В.И. Зажигание дизельного топлива одиночной “горячей” металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 4. С. 28 – 30.
2. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Численное исследование задачи о зажигании слоя лесного горючего материала нагретой до высоких температур частицей в плоской постановке // Химическая физика и мезоскопия. 2011. Т.13, № 2. С. 173 – 181.

УДК 533.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ОПАДА ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦЕЙ

Барановский Н.В., к.ф.-м.н., Захаревич А.В., к.ф.-м.н., Максимов В.И., к.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
e-mail: firedanger@narod.ru

Теоретически установлено [1], что нагретые до высоких температур частицы могут быть источниками возгораний лесных горючих материалов (ЛГМ). Цель настоящей работы – экспериментальное исследование процессов взаимодействия локальных источников нагрева в виде частиц металлов и опада лиственных пород (на примере березы) и выявление предельных условий зажигания ЛГМ.

Объектом исследований являлись навески, сформированные из типичного ЛГМ – опада лиственных пород (листья березы). Слои моделировались хаотичной укладкой листьев на подложке. Отметим, что в листьях березы содержатся эфирные масла (вероятно, секвитерпеноиды как в березовых почках), даммаран, кумарин, флавоноиды. По результатам статистической обработки экспериментальных данных рассчитаны доверительные интервалы определения времени задержки зажигания листьев березы с доверительной вероятностью P=0.95. Визуальные наблюдения и анализ кадров видеосъемки процессов зажигания опада из листьев березы позволяют описать механизм возникновения возгорания ЛГМ в результате действия нагретой до высоких температур частицы.

В настоящее время интенсивно развивается детерминированно-вероятностный метод прогноза лесной пожарной опасности [2] и проведенные исследования создают фундамент для построения общей теории

зажигания опада лиственных пород и построения прогностических моделей пожароопасности для территории смешанных лесов.

Список литературы:

1. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15. № 4. С. 42 – 46.
2. Барановский Н.В. Оценка вероятности возникновения лесных пожаров с учетом метеоусловий, антропогенной нагрузки и грозовой активности // Пожарная безопасность. 2009. № 1. С. 93 – 99.

УДК 533.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ ХВОЙНОГО ДЕРЕВА НАЗЕМНЫМ ГРОЗОВЫМ РАЗРЯДОМ

Барановский Н.В., к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
e-mail: firedanger@narod.ru

Дальнейшее развитие зарубежных и отечественных методов прогноза лесной пожарной опасности в бореальной зоне [1] возможно посредством совершенствования физико-математических моделей зажигания хвойных деревьев в грозоопасной обстановке.

Цель исследования – математическое моделирование зажигания хвойного дерева электрическим током наземного грозового разряда в пространственной постановке с учетом основных факторов и определение условий его зажигания.

Процесс зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом описывается системой трехмерных нестационарных нелинейных уравнений теплопроводности и диффузии с соответствующими начальными и граничными условиями. Представлена обобщенная постановка задачи о зажигании хвойного дерева наземным грозовым разрядом. В результате вычислительных экспериментов установлено, что повышение размерности задачи не позволяет выявить новых физических эффектов по сравнению с серией двумерных и одномерных постановок. Однако эта постановка обобщает, разработанные ранее постановки и позволяет рассматривать весь спектр факторов пожарной опасности в совокупности. Полученные результаты позволяют говорить о перспективах разработки модуля про-

гноза пожаров от гроз для системы мониторинга лесопожарных ситуаций. Разработка таких систем позволит снизить негативные последствия лесных пожаров [2]. На практике следует ориентироваться на применение многопроцессорных вычислительных систем и распараллеливание вычислительных операций. Известно, что время получения прогноза должно быть меньше, чем период индукции катастрофы [3]. Именно использование параллельных вычислительных систем позволит получать прогнозную информацию в режиме, опережающем реальное время развития катастрофы.

Список литературы:

1. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 С.
2. Taylor S.W., Alexander M.E. Science, technology and human factors in fire danger rating: the Canadian experience // International Journal of Wildland Fire. 2006. Vol. 15. N 1. P. 121 – 135.
3. Гришин А.М. Моделирование и прогноз катастроф. Томск: Изд-во Том. ун-та. 2002. 122 С.

УДК 614.536

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАГРЕТОЙ ЧАСТИЦЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ПУТИ

[1]Барановский Н.В., к.ф.-м.н., [2]Барановская С.В., к.м.н.
[1]Томский политехнический университет, г. Томск
[2]Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск
e-mail: firedanger@narod.ru

В результате лесных пожаров происходит уничтожение лесного фонда государства, а также наносится экологический ущерб. Кроме того, лесные пожары прямо и косвенно влияют на здоровье населения [1]. Следствием действия поражающих факторов лесного пожара являются возникновение и обострение различных заболеваний. Качество атмосферного воздуха, содержащего частицы дыма и газообразные соединения от лесных пожаров является фактором, который увеличивает риск смертности и влияет на возникновение хронических обструктивных болезней легких (ХОБЛ) [1].

Цель исследования – разработка физико-математической модели теплообмена нагретой частицы и поверхностных тканей дыхательных путей, а

также сценарное моделирование процесса теплопереноса в системе “воздушная среда-частица-ткань”.

Рассматривается три типичных нагретых частицы: 1) “холодная” частица, которая характеризуется начальной температурой $T_{2н}$=300 K; 2) “теплая” частица характеризуется начальной температурой $T_{2н}$=400 K; 3) “горячая” частица обладает начальной температурой $T_{2н}$=500 K. Реакции тканей организма на термические факторы определяются их теплофизическими свойствами. Термические факторы, воздействующие на организм, влияют на жидкокристаллическую структуру клеточных мембран, скорость и направление метаболических реакций клеток и тканей и поэтому способны существенно изменять их функцию [2].

В настоящей работе представлена новая физико-математическая модель теплопереноса в системе “воздушная среда-частица-ткань”, которая создает фундамент для совершенствования и развития физико-математической теории возникновения и проявления ХОБЛ в результате действия поражающих факторов лесного пожара. Интеграция модели с существующей методикой оценки влияния лесных пожаров на здоровье населения позволит давать физически обоснованный прогноз последствий лесных пожаров для здоровья населения.

Список литературы:

1. Sastry N. Forest Fires, Air Pollution, and Mortality in Southeast Asia // Demography. 2002. Vol. 39. N 1. P. 1–23.
2. Физиология человека: в 3-х томах. Т. 2. Пер. с англ. / Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. М.: Мир, 1996. 313 С.

УДК 621.182

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИСТЕННОЙ ОБЛАСТИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ТОПОК

Бетхер Т.М., асп., Гиль А.В., к.т.н., Мамаев А.К., студент
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: betkher.tm@gmail.com

Для котлов с тангенциально расположенными горелками наброс шлакозоловых частиц на радиационные экранные поверхности нагрева является предпосылкой для последующего снижения их тепловой эффективности [1,2]. Вследствие чего актуально изучение параметров среды в пристенных

областях топки. Особенно при переводе котлов на сжигание непроектных марок углей или при их модернизации.

При проведении исследований в качестве объекта котельный агрегат БКЗ-210-140Ф.

Инструментом исследования послужил пакет прикладных программ FIRE 3D, предназначенный для численного моделирования топочных процессов.

Результаты численного моделирования показали, что в пристенной области выделяются участки, в которых температура среды превышает развивающуюся в других областях. Это свидетельствует о смещении горящих частиц из центральной и промежуточной областей на периферию, примыкающую к экранам, и позволяет выделить эти участки как опасные по условиям шлакования. К ним относится, прежде всего, экраны под горелочным поясом вблизи устья холодной воронки на высоте от 3 до 6 м, а также полоса по периметру топки на высоте от 15 до 17 м.

Список литературы:

1. Маршак Ю. Л., Козлов С.Г. Исследование пристенной области топочных камер. – Тезисы докладов III Всесоюзной конф. «Влияние минеральной части энергетических топлив на условия работы парогенераторов», т. 1А. – Таллин: ТПИ, 1980, С.116-124.
2. Заворин А.С., Теплухин Е.П., Киселев Н.Б. Распределение минеральных компонентов бурого угля Березовского месторождения в пылеугольном тангенциально закрученном факеле // Известия вузов СССР – Энергетика. – 1986. – №3. – С.89-92

УДК 621.311

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА EUROSTAG

Беховых К. Н., Прутик А.Ф.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Энергетический институт, г.Томск
E-mail:bekhovikh@sibmail.com, lex@tpu.ru

Редактор схем ПВК Eurostag позволяет визуализировать энергетическую систему, ввести все необходимые параметры элементов, рассчитать установившийся режим и отобразить результаты расчета. Таким образом, воспользовавшись инструментами этого программного модуля (рис.1),

можно получить наглядные результаты (в табличной и графической форме) по перетокам мощностей в линиях, напряжениям в узлах, мощностям нагрузок и генерации.

Инструмент выделения	Вставка комментария
Шины	
Горизонтальная шина	Вертикальная шина
1 Присоединенный объект	
Синхронная машина	Преобразователь
Источник	Асинхронная машина
Шины бесконечной мощности	Нагрузка
Устройство компенсации реактивной мощности	
2 Присоединенный объект	
Выключатель	Трансформатор
Линия	Несимметричная линия
3 Присоединенный объект	
Трехобмоточный трансформатор	

Рис.1. Панель инструментов

В процессе работы с редактором обнаружена программная ошибка, не допускающая использование трехобмоточного трансформатора. В ближайшее время планируется обращение в службу поддержки компании-разработчика TRACTEBEL. В настоящее время проблема может быть решена ручным редактированием файлов, а также заменой в модели Eurostag трехобмоточных трансформаторов двухобмоточными.

УДК 621.311.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ПВК EUROSTAG

Беховых К. Н., Прутик А.Ф.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Энергетический институт, г.Томск
E-mail:bekhovikh@sibmail.com, lex@tpu.ru

Компенсация реактивной мощности, как всякое важное техническое мероприятие, применяется для нескольких различных целей. Во-первых, компенсация реактивной мощности необходима для баланса реактивной мощности. Во-вторых, установка компенсирующих устройств применяется для снижения потерь электрической энергии в сети. В-третьих, компенсирующие устройства применяются для регулирования напряжения.

В Eurostag устройство компенсации реактивной мощности (УКРМ) - это модель регулируемых реакторов и конденсаторных батарей. Пользователь может переключать секции батарей или реакторов, и тем самым обеспечивать оптимальную компенсацию реактивной мощности. Если в энергетической системе присутствует нерегулируемый компенсатор, параметры задаются несколько иначе (Таблица 1).

Таблица 1. – Требуемые параметры УКРМ

	Регулируемый (ступенчатый)		Нерегулируемый	
	Реактор	*КБ*	Реактор	*КБ*
	Имеет n состояний		Имеет два состояния: «вкл» - «откл»	
Номер текущей ступени	1,2,3….n		0 («откл») или 1 («вкл»)	
Активные потери на ступени	$\Delta P\,[кВт]$		$\Delta P\,[кВт]$	
Реактивная мощность ступени	$-Q_{ступени}$ $[МВАр]$	$Q_{ступени}$ $[МВАр]$	$-Q_{реактора}$ $[МВАр]$	$Q_{КБ}$ $[МВАр]$
Макс. количество ступеней	*n*		*1*	

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ ПВК EUROSTAG ДЛЯ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЭС

Беховых К. Н., Прутик А.Ф.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Энергетический институт, г.Томск
E-mail:bekhovikh@sibmail.com, lex@tpu.ru

В ходе исследовательской работы в ПВК Eurostag была смоделирована периферия энергокластера «Эльгауголь». При этом количество вводи-

мых в модель данных больше, чем имеющихся паспортных данных по оборудованию. Недостающие данные были рассчитаны. [1]

Режим оказался рабочим и был успешно рассчитан. Правильность расчета подтверждается полученными результатами исследования энергокластера «Эльгауголь» на разработанном в ТПУ Всережимном моделирующем комплексе реального времени электроэнергетических систем и данными контрольных замеров АПМЭС Востока от 17 декабря 2008 г. При этом перетоки мощностей близки к реально существующим, потери имеют практически одинаковые значения, отличаются лишь напряжения.

Анализируя имеющееся распределение напряжений по узлам сети можно заключить, что система требует регулирования. Регулированием напряжения называют процесс изменения уровней напряжения в характерных точках электрической системы с помощью специальных технических средств[2]. Модель, созданная в Eurostag, работает на пониженных напряжениях, которые решено было повысить такими мерами, как изменение отпаек трехобмоточных трансформаторов и отключение реакторов.

Отключив часть реакторов и отрегулировав напряжения с помощью РПН трансформаторов, удалось добиться нормальных напряжений в модели энергокластера в ПВК Евростаг.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы:

1. Беляков Ю.С. Математическое моделирование схем электрических сетей, методы расчетов аварийных режимов: конспект лекций. – СПб: изд-во Петербургского энергетического института повышения квалификации руководящих работников и специалистов, 2002. – 66 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей. Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005 – 320 с. ил.

УДК 62-83-52

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.

Боловин Е.В. магистр, Глазырин А.С. к.т.н.
Томский Политехнический Университет, г.Томск
E-mail: djon-raptor@mail.ru

Цель работы – разработка и экспериментальная проверка метода идентификации параметров электродвигателей на основе разностных схем.

В ходе работы были разработаны методы идентификации параметров объекта первого порядка – RL-цепи, двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АД КЗ). Работа методов идентификации была проверены на реальных установках, сделаны выводы о соответствии поставленным задачам.

Динамическая идентификация параметров RL-цепи использует массив данных, снятых с датчиков тока и напряжения. Нахождение оценок параметров произведено с использованием дополнительного сглаживания данных с датчиков. Погрешность идентификации составила не более двух процентов, соответственно процедура идентификация параметров RL-цепи работоспособна.

Для идентификации параметров ДПТ НВ было разработано два метода идентификации. Первый метод использует данные, снятые с датчиков тока, напряжения и скорости, второй – тока и напряжения. Данные методы были объедены в один наиболее точный метод идентификации, в котором дополнительно применялись сглаживание данных с датчиков и нелинейный цифровой прогнозирующий фильтр низких частот первого порядка для фильтрации полученных оценок. Погрешность идентификации составила не более двух процентов для каждого параметра, соответственно процедура идентификация параметров ДПТ НВ работоспособна.

Идентификация параметров АД КЗ использует данные, снятые с датчиков тока и напряжения. При нахождении оценок параметров АД КЗ дополнительно использовались сглаживание данных с датчиков, нелинейный цифровой прогнозирующий фильтр низких частот первого порядка и метод регуляризации, который разрешил проблему сУДК плохой обусловленностью матрицы. Погрешность идентификации составила не более четырех процентов, соответственно процедура идентификация параметров АД работоспособна.

66.02/09+66.047.791.1+533.9.07.1

КРИТЕРИЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПОРОШКОВ

Бондарчук И.С., Жуков А.С., к.ф.-м.н.
Томский государственный университет, г. Томск

E-mail: isbs@mail.ru

Оптимизация эффективности технологии получения керамических порошков (главным образом, оксидов металлов) методом плазмохимического синтеза представляет актуальную задачу в связи с устойчивой тенденцией расширения сфер применения данных материалов.

Аппаратная часть плазмохимического метода и технологии синтеза нанопорошков базируется на высокочастотном способе генерации теплоносителя, подаваемого в реакторную часть установки совместно с раствором прекурсора Процесс плазмохимического синтеза керамических порошков является многостадийным и включает распыливание жидкого прекурсора с образованием полидисперсных капель в объеме реактора, движение капель в потоке газообразного теплоносителя, нагрев и испарение капель, сопровождающиеся диффузией и кристаллизацией соли в объеме капли, термолизом соли с образованием микропористой пленки оксида металла при повышении температуры и, наконец, ее спеканием в форме твердой или полой частицы.

В качестве прекурсора используется раствор соли азотнокислого алюминия (гидрата $Al(NO_3)_3 \times 9H_2O$) в воде; подача раствора производится через центробежную форсунку, обеспечивающую распыление реагента с заданной дисперсностью. Генератором высокотемпературного теплоносителя является высокочастотный плазмотрон.

Математическая модель процесса представляет собой две слабосвязанные (только по "правым частям" уравнений) задачи – расчета поля течения теплоносителя и динамику движения жидких частиц прекурсора. Совместно с последней задачей решается система уравнений, описывающая эволюцию геометрии и структуры частицы в потоке. Моделирование газодинамики проводилось расширенными уравнениями Рейнольдса; турбулентные напряжения определялось k-ε-моделью. Для определения газодинамических и термодинамических характеристик реагирующей газовзвеси в поле течения рассматривались две фазы с учетом обмена между ними массой, импульсом и теплом. Для капель раствора прекурсора конечного числа фракций уравнения движения записывались в форме Лагранжа; формулировались уравнения для изменения диаметра частиц за счет испарения; рассматривались уравнения диффузии и теплового баланса.

Процесс образования осадка, определяющий морфологию частицы конечного продукта, включает два периода. В течение первого периода формируется первичная структура частицы. Предполагается, что при до-

стижении концентрации соли в растворе на поверхности капли некоторого критического значения перенасыщения $C_{кр}$ происходит мгновенная кристаллизация соли в той части объема капли, где концентрация соли $C \geq C_*$, где C_* равновесная концентрация для данной температуры. При этом в зависимости от скорости испарения растворителя и скорости диффузии соли возможны два варианта – объемное осаждение и поверхностное осаждение. Объемное осаждение с образованием сплошной частицы происходит, если к моменту времени $t_{кр}$ достижения $C_{кр}$ на поверхности капли, величина $C \geq C_*$ во всем ее объеме. Поверхностное осаждение с образованием пустотелой сферической частицы происходит, если $C \geq C_*$ лишь для периферийной области капли, ограниченной радиусом $R_{кр}(t_{кр})$ и текущим радиусом капли $R(t)$. В предположении, что испарение капли начинается только с момента достижения температуры кипения раствора, процесс можно разделить на две стадии.

Стадия начального прогрева, когда происходит нагрев капли, но нет испарения. При этом концентрация соли остается однородной и диффузия не возникает. После того, как температура равновесного испарения (кипения), начинается испарение растворителя. При этом размер капли уменьшается, повышается концентрация соли у поверхности и начинается процесс диффузии. Температура поверхности капли остается постоянной и равной температуре равновесного испарения.

Оценки характерных времен показывают, что процесс выравнивания температуры в объеме капли можно считать мгновенным, а для ее осредненного значения T можно использовать следующее уравнение (æ – коэффициент температуропроводности раствора):

$$\frac{dT}{dt} = \frac{3}{2}\frac{æ}{R^2}\mathrm{Nu}\left(T_e - T\right),$$

Изменение концентрации соли C в растворе капли вдоль ее радиуса r описывается уравнением диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial C}{\partial r}\right).$$

Тепловой поток к поверхности капли определяется характером ее теплового взаимодействия с обтекающим газовым потоком.

На второй стадии процесса температура поверхности становится постоянной (зависящей только от давления окружающей среды), а радиус капли становится переменным. При этом уменьшение размера капли за счет испарения растворителя определялось в рамках модели приведенной

пленки

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{\lambda_g \, \mathrm{Nu}}{2\rho R c_\upsilon} \ln\left(1 + \mathrm{B}\right),$$

где B – число Сполдинга; Nu – число Нуссельта; λ_g – коэффициент теплопроводности газа; ρ – плотность газа; c_υ – удельная теплоемкость.

Уравнения теплового баланса и диффузии решалась в безразмерных переменных

$$\tau = t \cdot D \big/ R_0^2, \;\; x = C \big/ C_{\text{кр}}$$

с определяющим процесс безразмерным параметром K, равным отношению характерного времен диффузии соли в объеме капли к характерному (по модели приведенной пленки) времени испарения жидкости с поверхности этой капли

$$K = \frac{\lambda_g \, \mathrm{Nu} \ln\left(1 + \mathrm{B}\right)}{2\rho D c_\upsilon}.$$

Оптимизация технологии синтеза металлооксидов в плазмохимическом реакторе связана с анализом времени пребывания частицы в объеме реактора, интегральным по времени тепловым потоком со стороны теплоносителя на жидкокапельную фракцию прекурсора и темпом изменения этого теплового потока.

Для оценки условий получения заданной морфологии частиц (полые или сплошные сферы) достаточно провести анализ результатов численных расчетов в безразмерных переменных для соответствующих теплофизических и диффузионных характеристик. Отметим, что предлагаемая модель адекватно описывает тепловые и диффузионные процессы для слабоконцентрированных растворов (начальная концентрация соли не превышает 5 масс. %). В практических приложениях концентрация исходных растворов находится в диапазоне (5÷10) масс. %.

В качестве примера рассматривалась капля слабоконцентрированного водного раствора соли металла с начальным радиусом R_0=25 мкм. При атмосферном давлении и температуре кипения принимались следующие значения основных параметров: D=10^{-9} м^2/с, ρ=10^3 кг/м^3, æ=$1.58\cdot10^{-7}$ м^2/с, c_v=$2.0\cdot10^3$ Дж/(кг·К), L=$2.26\cdot10^6$ Дж/кг, Nu=2, T_e-T_v=50 К, T_v=373 К, ρ_g=0.6 кг/м^3, λ_g=$3.3\cdot10^{-2}$ Вт/(м·К), μ_g=$2.2\cdot10^{-5}$ Па·с.

На рис. 1 приведены результаты расчетов радиального распределения концентрации соли в капле в различные моменты времени при значениях

параметра K=0.2 и K=1.5. В случае малых значений параметра K, при достижении критической концентрации $C_{кр}$ на поверхности капли, внутри нее концентрация соли больше равновесной C_*, следовательно, будут образовываться сплошные частицы. Если параметр K~1, то внутри капли есть область с концентрацией ниже равновесной, и после кристаллизации частица будет полой.

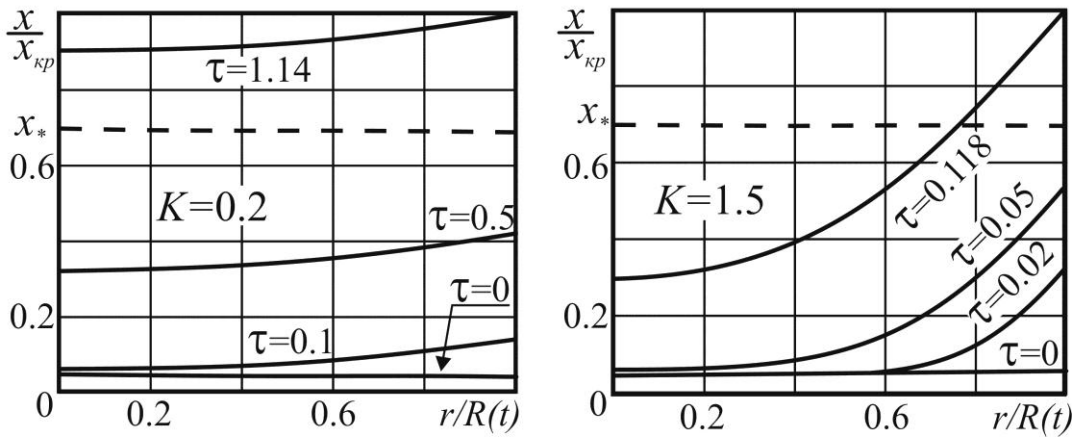


Рис. 1. Распределение концентрации соли в капле в различные моменты времени

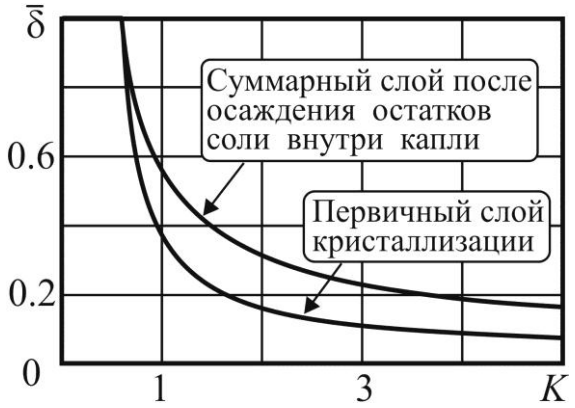


Рис. 2. Зависимость толщины слоя кристаллизации от параметра K

На рис. 2 приведены значения толщины слоя кристаллизации (отнесенной к текущему радиусу капли) $\bar{\delta}$ в зависимости от параметра K в момент достижения критической концентрации $C_{кр}$ на поверхности капли.

Результаты расчетов показали, что для принятого значения начальной концентрации раствора C_0 граничным значением, отделяющим режимы образования полых и сплошных частиц, является K_*=0.75. При $K < K_*$ испарение идет медленнее диффузии, и образуются сплошные частицы. При $K > K_*$ процесс испарения происходит быстрее диффузионного переноса и образуются полые частицы. При фиксированных значениях теплофизических характеристик веществ (соли и растворителя) основное влияние на параметр K оказывает

перепад температур между несущей средой и каплей. При малом перепаде температур будут образовываться сплошные частицы, при большом – полые. При большом перепаде температур процесс испарения идет быстрее диффузии (параметр *K* увеличивается), кристаллизация успевает пройти только в приповерхностном слое, и, наоборот – при малых перепадах температур концентрация соли достигает равновесного значения во всем объеме капли.

УДК 629.7.036.054.001

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ОТКРЫТОМ СЖИГАНИИ ЗАРЯДОВ РДТТ

И.С. Бондарчук, А.С. Жуков
Томский государственный университет, г. Томск
E-mail: E-mail: isbs@mail.ru

Проблема уничтожения больших количеств твердых ракетных топлив (ТРТ) существует во многих странах мира. Ее наличие объективно обусловлено необходимостью уничтожения дефектных зарядов, а также зарядов военных ракет, выработавших гарантийный срок службы.

Из сравнительного анализа способов утилизации ТРТ наибольшей простотой обладает производительный и относительно безопасный способ открытого сжигания зарядов с применением экологических защитных систем, наиболее простой и эффективной из которых является водное орошение (разбавление) струи продуктов сгорания (ПС). Проблема количественной оценки концентраций образующихся при сжигании крупных зарядов ТРТ вредных газообразных и конденсированных продуктов горения и анализа пространственно-временного поведения концентраций этих веществ является актуальной задачей как для оценки степени экологической опасности, так и для разработки способов ее минимизации.

Важной составной частью данной проблемы является задача оценки концентраций экологических опасных продуктов сгорания в истекающей из двигателя струи, для чего необходимо достаточно адекватное моделирование внутрибаллистических процессов в камере сгорания при нерасчетном режиме работы установки.

Сжигание крупногабаритных твердотопливных зарядов сложной геометрии с демонтированными сопловым блоком и днищами накладывает свои особенности на газодинамику течения продуктов сгорания и, как

следствие, на их состав и структуру потока. Данные условия определяют, в конечном итоге, динамику расходной характеристики и состав продуктов сгорания. Существенными особенностями реализующихся течений при этом являются "нерасчетно" низкое давление, при котором сгорает топливо; значительная газодинамическая напряженность течения; высокие перепады скорости потока вдоль тракта канала заряда и "плывущая" поверхность, где реализуется значение критическая величина скорости потока. Кроме этого, существенными факторами становятся нестационарность процессов горения; полнота сгорания; особенности образования и эволюции конденсированной фазы.

Вычисления проводились на базе разработанного программно-методического обеспечения для двух схемных решений по утилизации крупногабаритных РДТТ – с демонтированным сопловым блоком и с частично открытым передним днищем. Расчеты проводились в два этапа. Сначала по штатным параметрам горения топлива определялся приблизительный уровень реализующегося среднего внутрикамерного давления; затем для этого давления по термодинамическому расчету корректировались свойства продуктов сгорания и вычисления повторялись.

На рис. 1 приведены зависимости давления от времени для начального периода работы системы. На рис. 2 представлены распределения давления и скорости вдоль канала заряда в момент времени после охвата горением всей рабочей поверхности.

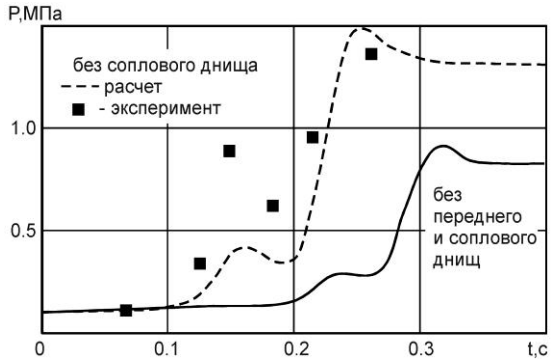


Рис. 1. Зависимости давления от времени

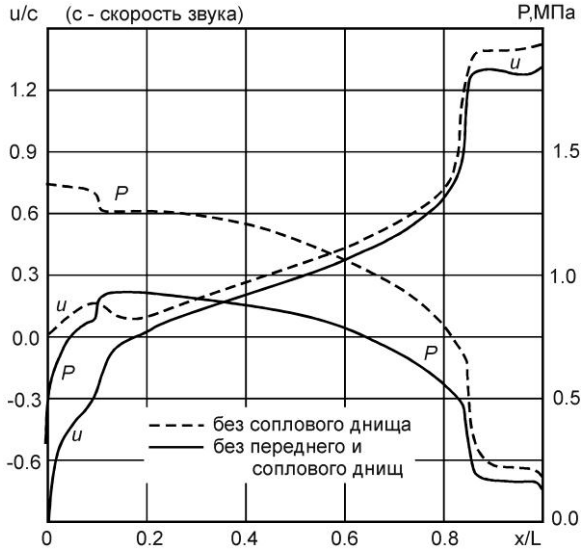


Рис. 2. Распределения скорости и давления по длине двигателя

Поскольку истечение продуктов сгорания происходит непосредственно в атмосферу (выходные сечения канала меньше отверстий в днищах), то на определенных областях канала реализуется режим сверхзвукового течения; перепады давления по длине канала достигают значительных величин (≈1,2 МПа).

Можно отметить, что существенно эрозионный режим горения, реализующийся на данном этапе, определяет повышение скорости горения более чем в 2 раза.

После разгара канала до состояния, когда критическое сечение потока "садится" на отверстие днища, продольные градиенты давления существенно уменьшаются (рис. 3) и, соответственно, все течение в области канала заряда становится дозвуковым. На рис. 4 приведено изменение давления для полного времени процесса горения для двигателя с демонтированным сопловым блоком.

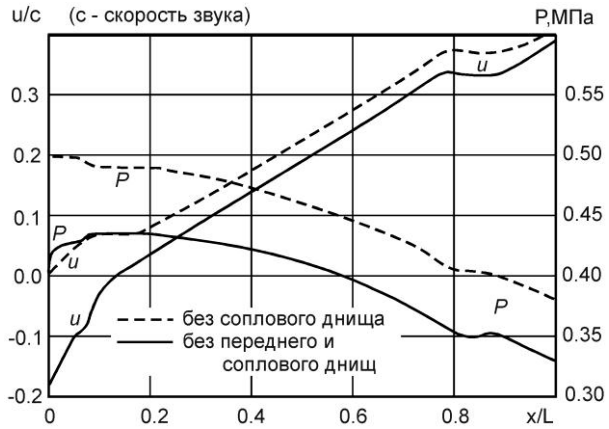


Рис. 3. Распределения скорости и давления

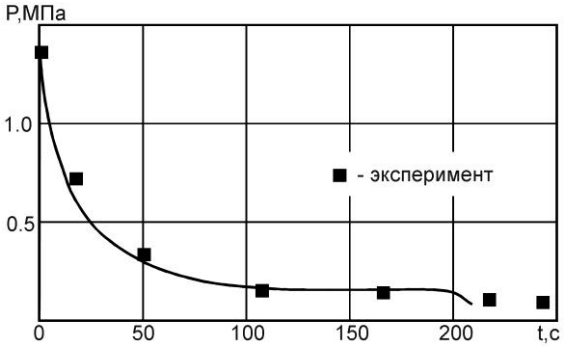


Рис. 4. Зависимость давления от времени

Можно определить следующие главные особенности режимов реализующихся течений:

- наличие значительных перепадов давления по длине двигателя в начальный период работы;
- реализующиеся околозвуковые скорости внутриканального потока;
- существенное влияние эрозионной составляющей скорости горения на начальных этапах горения.

Результаты вычислений показали, что для двигателей всех трех ступеней ракеты РСМ-52, несмотря на существенные различия зарядов по массе, диаграммы давления в камере сгорания качественно идентичны – имеется начальный участок с повышенным давлением длительностью (50-

70) с, а затем в течение (120-200) с происходит стационарное горение топлива при давлении около ≈0,2 МПа. Расходные и "концентрационые" характеристики продуктов сгорания, реализующиеся температура и давление струи, режимы водного разбавления факела определяют геометрические и структурные характеристики формирования и облака ПС.

Одним из главных экологически опасных компонентов продуктов сгорания являются хлор и хлорсодежащие вещества, в частности кислота HCl. На рис. 5 представлена зависимость изменения отношения концентрации кислоты к начальной, содержащейся в ПС на выходе из двигателя, для различных степеней орошения струи водой для двигателя первой ступени.

Численное исследование подъема и переноса примеси проведено в на базе уравнений Рейнольдса и k-ε модели турбулентности. На рис. 6 представлены результаты расчета параметров эволюции облака примеси на начальных этапах его развития. Перегретые газы, образовавшиеся при выбросе примеси, формируют в результате действия выталкивающей силы пусковой факел, основание которого подобно начальной области стационарной струи (рис. 6). В начальные моменты времени t наблюдается распространение факела вверх; далее по мере сгорания заряда процесс стабилизируется. После прекращения действия источника происходит вырождение основания факела в результате чего выброс примеси можно классифицировать как термик.

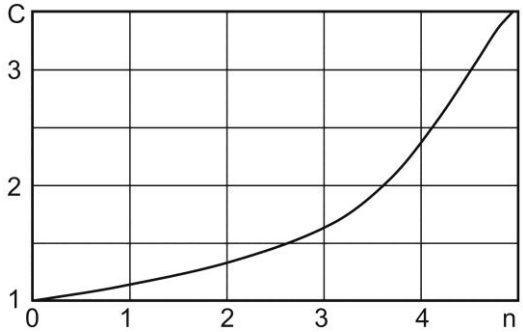


Рис. 5. Относительная концентрация HCl в зависимости от степени орошения

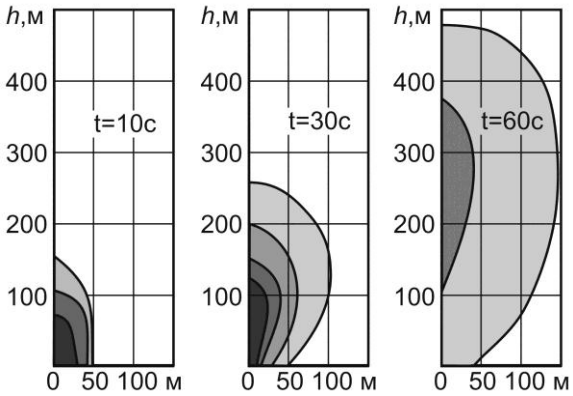


Рис. 6. Эволюция облака примеси

Образовавшаяся структура термика поднимается в атмосфере, вовлекая в движение окружающий воздух; его масса возрастает в разы и, соответственно, концентрация примеси в нем падает. Расчеты показывают, что для класса G устойчивости атмосферы спустя ≈15 минут после прекраще-

ния выброса концентрация примеси в термике уменьшается примерно на 3-5 порядков.

Сравнительный анализ адекватности разработанных математических моделей подтвержден уникальным экспериментальным материалом по сжиганию больших зарядов твердого ракетного топлива на уникальном стенде ФНПЦ "Алтай".

Таким образом, в работе представлена методология и результаты практической оценки экологического риска для разработки комплекса мероприятий по снижению вредного воздействия продуктов сгорания на окружающую среду при открытом сжигании больших зарядов ТРТ. Полученные данные будут использоваться при проектировании и модернизации терминалов по уничтожению ТРТ методом открытого сжигания. Результаты также могут быть использованы для оценки экологической опасности при аварийных ситуациях (пожары, природные катастрофы) на предприятиях, использующих ТРТ в процессе производства.

УДК 662.62

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНЫХ ПАРОВ ИЗ УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Борисова Е.В., магистрант 2 курса, ЭНИН.
Томский политехнический университет, г.Томск
E-mail: Chery312@mail2000.ru

В настоящее время одной из острых проблем в области энергетики является проблема создания эффективных систем тепломассообмена энергетических комплексов и аппаратов. В связи с ростом внимания к вопросам энергосбережения на источниках энергии ведется поиск резервов по снижению потерь. Дымовые газы обладают значительным энергетическим запасом, особенно на источниках, использующих в качестве топлива природный газ. Это связано с тем, что при сжигании природного газа образуется значительное количество водяного пара, которое содержит до 10% от выделившегося при сжигании газа тепла.

Глубокое охлаждение дымовых газов, в том числе продуктов сгорания природного газа, имеет ряд особенностей. Первая из них заключается в том, что рассмотрение данного вопроса нельзя ограничить только собственно котлом или утилизационным теплообменником, где возможно охлаждение газов. Требуется рассмотреть также условия работы элементов

котельной или другой топливоиспользующей установки, находящихся за утилизационным теплообменником, поскольку известны случаи разрушения дымовых труб котельных, работающих на газе, из-за выпадения влаги при низких тепловых нагрузках котлов, когда температура газов за котлами ниже 80-100°С [2].

Расчет тепломассообмена при конденсации водяных паров в уходящих газах для противоточной схемы движения теплоносителей можно провести по следующим формулам. Схема установки приведена на рис.1.

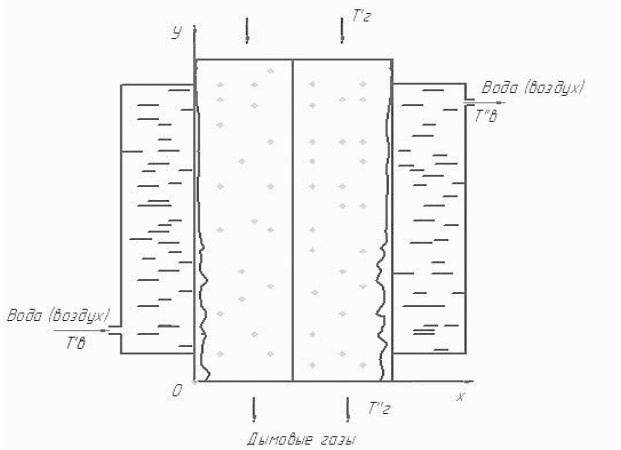


Рис.1. Схема установки.

Задаем температуру стенки постоянной и равной $t_c = 20\ ^oC$. Давление внутри теплообменного аппарата $p = 0{,}1\ МПа$. Тепловую нагрузку теплообменного аппарата можно определить из основного уравнения теплопередачи:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м К);

F – площадь поверхности теплообмена, м^2;

Δt_{cp} – средняя разность температур теплоносителей, К.

Коэффициент теплопередачи рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где $\delta = 1\ мм$ - толщина стенки теплообменного аппарата;

λ - коэффициент теплопроводности материала стенки теплообменного аппарата;

α_1 - коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, учитывающий кон-

денсацию пара из смеси, Вт/(м^{2}К);

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки теплообменного аппарата к воде, Вт/(м^{2}К).

Для расчета коэффициента теплоотдачи α_2 воспользуемся критериальными уравнениями.

Определим число Грасгофа для естественной конвекции на вертикальной стенке по формуле:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot d^3 \rho^2 \cdot \Delta t}{\mu^2}$$

где β - коэффициент объемного расширения, 1/К;

d - эквивалентный диаметр;

ν - коэффициент кинематической вязкости, м^2/с.

Запишем критерий Нуссельта для турбулентного течения на вертикальной стенке:

$$Nu = 0{,}135\left(Gr \cdot \Pr\right)^{0{,}33}\left(\frac{\Pr}{\Pr_{cm}}\right)^{0{,}25}$$

где $\Pr$ – число Прандтля для потока теплоносителя;

$\Pr_{cm}$ - число Прандтля на стенке теплообменного аппарата.

Запишем выражение для определения коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

где λ - коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(мК).

Для определения коэффициента теплоотдачи α_1, учитывающего конденсацию пара из дымовых газов, воспользуемся формулой [3]:

$$\alpha_1 = \alpha_{сух} + \frac{\beta_p r \Delta p}{\Delta t};$$

где $\alpha_{сух}$ - коэффициент теплоотдачи сухих дымовых газов, Вт/(м^{2}К);

β_p - коэффициент массоотдачи при конденсации паров из влажных дымовых газов, отнесенный к градиенту парциальных давлений;

Δt - разность температур между влажными дымовыми газами и стенкой, К;

Δp - разность парциальных давлений водяного пара в ядре потока и у стенки, Па;

r - теплота парообразования, кДж/кг.

Найдем коэффициент массоотдачи из критериального уравнения:

$$\beta_c = \frac{Nu_m D_c}{l},$$

где D_c - коэффициент диффузии, м^2/с;

Nu_m - диффузионное число Нуссельта.

Коэффициент диффузии определяется следующим соотношением:

$$D = D_0 \left(\frac{T_r}{273} \right)^n$$

Диффузионное число Нуссельта определим из соотношения:

$$Nu_m = 0,664 \, \mathrm{Re}_m^{\ 0,5} \, \mathrm{Pr}_m^{0,33},$$

Определим начальное влагосодержание дымовых газов из соотношения:

$$d' = 1000 \frac{R_{сг}}{47,1} \cdot \frac{\nu_{в.п.}}{\nu_г - \nu_{в.п.}},$$

где $\nu_{в.п.}$ - объем водяных паров, м^3/ м^3;

$\nu_г$ - суммарный объем дымовых газов, м^3/ м^3;

$R_{сг}$ - газовая постоянная для сухих дымовых газов.

Коэффициент теплоотдачи сухими дымовыми газами:

$$\alpha_{сух} = \frac{Nu_m \cdot \lambda}{d}$$

Коэффициент массоотдачи отнесенный к разности парциальных давлений найдем из соотношения:

$$\beta_p = \frac{\beta_c}{RT}$$

Определим расход конденсата из уравнения теплового баланса:

$$G_r \cdot t'_r \cdot C_{p_r} + G_в \cdot \left(t''_в - t'_в \right) \cdot C_{p_в} = \left(G_r + \Delta d \right) \cdot t''_r \cdot C_{p_r} + \Delta d \cdot t_k \cdot C_{p_в}$$

Выразим Δd:

$$\Delta d = \frac{G_r t'_r C_{p_r} + G_в \left(t''_в - t'_в \right) C_{p_в} - G_r t''_r C_{p_r}}{t''_r C_{p_r} + t_k C_{p_в}}$$

Расчет процесса тепломассообмена проводится путем разбиения теплообменного аппарата на несколько участков по длине. Это даст более точные данные о процессах, протекающих при конденсации водяных паров из уходящих дымовых газов.

Список литературы:
1. А.Н. Алабовский, И.А. Недужий «Техническая термодинамика и теплопередача», 1990г.
2. В.П. Исаченко «Теплообмен при конденсации» , М.: «Энергия» 1977г., 240 с.
3. Лебедев П.Д. «Теплообменные, сушильные и холодильные установки», М.: «Энергия» 1972г.

УДК 662.62

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Булутбаева Ж.С
Томский политехнический университет, г. Томск

С ростом цен на традиционные энергоносители все актуальней становятся исследования, связанные с получением энергии (в частности тепловой) из отходов промышленного производства, сельского хозяйства и жизнедеятельности человека. Изучение эффективности использования древесных отходов для получения тепловой энергии позволяет найти наиболее оптимальные процессы и режимы получения теплоты в местностях, имеющих значительные лесные ресурсы или деревоперерабатывающие комплексы.

Моделирование режимов воспламенения, горения и погасания древесных опилок важны и для оценки пожара и взрыва безопасности на данных предприятиях.

В постановке представлено уравнение, в котором показано течение продуктов, уравнение окислителей по условие опилок с учетом горение и приводится начальные и краевые условия

Сформулирована математическая модель процесса режимов воспламенения, горения и погасания древесных опилок.

УДК 533.6:931.928.3

ГИДРОДИНАМИКА ЦИКЛОННОГО ЭЛЕМЕНТА БАТАРЕЙНОГО СЕПАРАТОРА

Василевский М.В., к.т.н., Разва А.С., к.т.н., Севостьянов С.В.
Томский политехнический университет, Томск

E-mail: razva@mail.ru

Циклонные аппараты нашли широкое применение в технологии очистки газов от твердых и жидких примесей, обогащения углей, руд цветных металлов и т.п. Имеется большое разнообразие конструктивных форм, геометрических соотношений циклонных аппаратов [1, 2]. Наибольшей пылезадерживающей способностью обладают циклоны конического и цилиндро-конического типов. Основными геометрическими соотношениями, влияющими на эффективность и гидравлическое сопротивление, являются отношения площади входного патрубка к плановой площади циклона, отношение площади входного патрубка к площади газовыводного патрубка, отношение площади пылевыводного отверстия к площади выходного патрубка, угол конусности циклона [3]. В [4] приведены данные по коэффициентам гидравлического сопротивления; характерным радиусам, определяющим поверхности возвратных токов; максимальной крутке потока, влияющей на процессы сепарации, тепломассообмена в зависимости от геометрических соотношений. Влияние твердой фазы на гидродинамику потока в циклонно-вихревых камерах – моделях топочных устройств представлено в [5].

Движение потока в циклонных камерах связано с возвратными течениями из объемов вне камер. Механизм возникновения противоточного движения в циклонном аппарате может быть объяснен эжекционными явлениями, которые возникают вследствие взаимодействия вращающихся потоков, проходящих из камеры в газоотводной центральный канал, с центральными потоками в форме вынужденного вихря с квазитвердым распределением тангенциальных скоростей в поле массовых сил и условиях турбулентного переноса. При батарейной компоновке циклонных элементов, когда камеры ввода газов, вывода газов и сбора пыли являются общими для параллельно установленных циклонных элементов, очистка газа осуществляется значительно хуже из-за возникающих перетоков газа, вторичной диспергации жгутов пыли в приемнике – общей камере сбора пыли, а также, вероятно, из-за перетоков газа между циклонными элементами в камере очищенного газа. Поскольку часть энергии потока, проходящего через каждый элемент, затрачивается на работу эжектирования газа из камер вне циклона, возможной оказывается ситуация, когда даже для незапыленного потока, через элементы будет циркулировать некоторая часть газа из-за незначительных дефектов изготовления, монтажа, различной длины газовыводных патрубков очищенного газа, взаимодействия вихрей

и ограждающих поверхностей камер вывода газа и сбора пыли, а также пространственного расположения элементов по отношению к каналу ввода газа в сепаратор.

Для прогнозирования работы батарейного сепаратора в производственных условиях, рассмотрим результаты обследования промышленного сепаратора Томского нефтехимического комбината (ТНХК), который представлен на рис. 1.

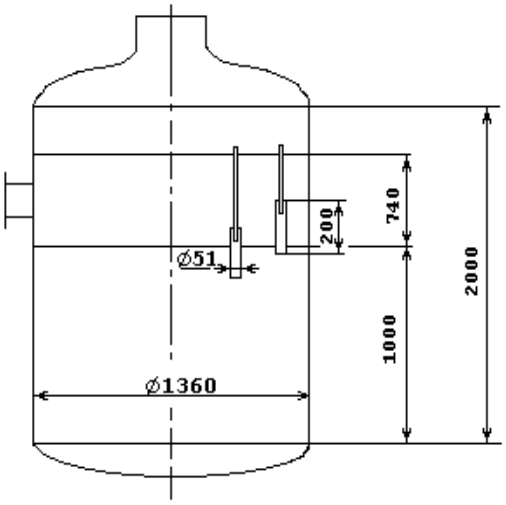


Рис.1. Схема промышленного сепаратора

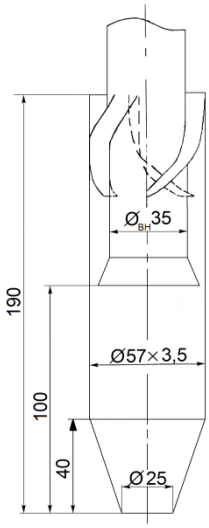


Рис.2. Циклонный элемент батарейного сепаратора

Он состоит из трех расположенных одна над другой секций: секция сбора примеси, секция ввода газа и распределения его по циклонным элементам, секция сбора и вывода очищенного газа. Циклонные элементы представляют собой цилиндрические циклончики с диаметром корпуса $57\times3{,}5$ мм, высотой 190 мм, выводной трубкой диаметром $35\times2{,}5$ мм и закручивателем, состоящим из трех лопастей, имеющих загиб от осевого направления на четверть оборота. Выводная трубка во входной части имеет конфузор, так что зазор между корпусом и кромкой составляет 4,5 мм, угол наклона на выходе из закручивателя β=50º. Все лопатки циклончиков имеют одинаковое направление закрутки – по часовой стрелке. Конусная часть корпуса имеет высоту 40 мм, диаметр разгрузочного отверстия – 25 мм (рис. 2). Количество элементов в зависимости от диаметра окружности, на которой они располагаются, приведено в таблице 1.

Таблица 1. Расположение элементов в трубной доске

Диаметр окружности, 2*r*, мм	1240	1110	980	850	720	590	460	330
Количество элементов, *n*, шт	52	45	40	36	30	23	18	11

В секторе со стороны входа газового потока циклонные элементы отсутствуют. Периферийные циклонные элементы расположены выше остальных приблизительно на высоту корпуса элемента.

Газ поступает в распределительную камеру, проходит через циклончики и через центральные трубки очищенным выходит в сборную камеру.

Входное пространство, в случае поступления жидких частиц, образует первую ступень очистки. Частицы в распределительной камере взаимодействуют с газовыводными патрубками очищенного газа циклонных элементов, осаждаются на них и стекают в циклонные элементы. Неотсепарированные частицы проходят стадию выделения в самих элементах. Таким образом, в случае образования подвижных пленок жидкости на сепарационных элементах, все они приходят в состояние одинакового гидродинамического режима.

Поступающий на ТНХК природный газ содержит в основном твердые частицы, которые в зависимости от их дисперсности и концентрации определяют гидродинамическую обстановку в сепараторе.

При вскрытии сепаратора (рис. 1) обнаружилось, что на дне секции сбора примеси имеется слой спрессованной пыли с плоской поверхностью. Пыль отсутствовала лишь в области донного отверстия и участка соответствующему вводу запыленного газа в сепаратор. Уровень пыли составлял 2/3 высоты сферичного днища секции сбора примеси, причем на периферии, на расстоянии 1/3 от сопряжения с цилиндрической частью, пыль отсутствовала.

Обследование циклонной насадки показало, что периферийные циклонные элементы в количестве 52 штук и 6 элементов в центральной части оказались в рабочем состоянии, т.е. чистыми, остальные оказались забитыми в части закручивателя. Три циклончика оказались забитыми полностью. Очевидно, что через периферийные циклонные элементы и эти 6 элементов поток проходил с большой скоростью, так, что произошел их абразивный износ. Причем в области сужения могло проходить накапли-

вание частиц и разделение потока на две ветви вверх и вниз с увеличением крутизны потока. Интенсивный абразивный износ циклонных элементов происходит в области сопряжения конической и цилиндрической части, причем все периферийные циклонные элементы и 15 элементов, расположенных в переднем фронте со стороны входа газового потока, имели сквозные щели и канавки в этой области.

Большое количество отложений имелось во входной камере на нижерасположенных элементах. Это могло произойти в условиях залпового поступления пыли, когда выходящие трубки задерживали пыль, и она осаждалась сгустками, которые не могли пройти через циклонные элементы. С внешней стороны выходных трубок абразивного износа нет. Нет износа и внутри трубок. Это говорит о том, что периферийные циклонные элементы сепарировали пыль с достаточно высокой эффективностью, при этом большая часть газа проходила вместе с пылью через разгрузочные отверстия и в пылесборном пространстве перетекала в циклончики, расположенные на меньших радиусах. Причина забивки циклонных элементов – неравномерность поступления пыли, т.е. нестационарность концентрации, а также большая неравномерность по крупности, что приводит к разгрузке потока по ходу движения. Абразивный износ внутренних трубок засоренных циклонных элементов незаметен, что свидетельствует о слабой закрутке потока или даже ее отсутствии. Последнее обстоятельство заставляет полагать, что вихри, поступающие в пылесборную камеру, взаимокомпенсируются, выделение частиц из потока затруднено из-за турбулизации и образования поперечных токов газа.

Для выяснения сепарирующей способности газоочистителя были проведены исследования модели сепаратора и циклонного элемента. Геометрические соотношения корпуса модели соответствовали соотношениям промышленного сепаратора (масштаб 1:10). Однако циклонные элементы были выполнены в масштабе 1:2,1 и, соответственно, их количество оказалось равным $\frac{\sum n \cdot M_2^2}{M_1^2} = \frac{\sum n \cdot 2{,}1^2}{10^2} \approx 11$, где M_1 и M_2 – величины, обратные масштабам. Такой выбор обуславливается следующими причинами. Уменьшение циклонных элементов до 5 мм сопровождается проявлением масштабных эффектов, в силу чего происходит искажение результатов опытов. В этом случае течение неавтомодельно, размеры частиц пыли составляют заметные доли процента размера циклонного элемента, преобладают силы адгезии. Необходимо, чтобы элемент работал в модели, так же, как и в натуре, т.е. порядок интенсивности разделения был одним и тем же

[10]. Для каждого циклонного элемента гидродинамика ниже пылевыводного отверстия определяется суммарными потоками моментов импульсов и полных импульсов от всех элементов, что в модели также выполняется.

На рис. 3 представлена модель сепаратора: поз. 1 – модель устройства для испытания элемента; поз. 2 – схема модели сепаратора; поз. 3 – схема расположения циклонных элементов в трубной доске.

Корпус модели выполнен прозрачным, что позволило проводить наблюдения за поведением потоков в камере сбора пыли и в камере сбора очищенного газа. Приемник пыли в устройстве для испытания индивидуального циклонного элемента также прозрачен. Для цементной пыли с и мкм (дисперсия и медианный размер) эффективность осаждения элемента составляла 88...92 %, причем в приемнике наблюдалась интенсивная циркуляция пыли в меридиональных плоскостях. Элемент, в котором отсутствует конфузор, обладает меньшей эффективностью осаждения (75...79 %) и тоже дает хотя и слабые, но видимые циркуляции в приемнике.

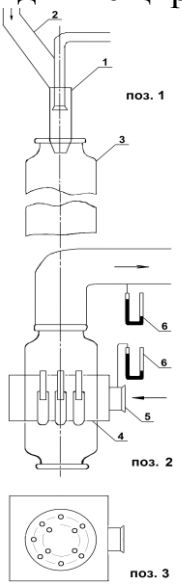


Рис.3. Модель сепаратора

1 – циклонный элемент, 2 – вход запыленного потока, 3 – емкость сбора пыли, 4 – трубная доска с циклонными элементами, 5 – вход запыленного потока, 6 – манометр

Эффективность пылеулавливания в модели батарейного газоочистителя определялась как отношение веса уловленной пыли к весу пыли, прошедшей через циклонные элементы, которая определялась как разница веса пыли, поданной в аппарат, и осевшей в раздающей камере. Также определялись расход газа и сопротивление аппарата. Для циклонных эле-

ментов, подобных изображенным на рис. 2, с трехлопастным закручивателем и входным конфузором на газоотводной трубке, эффективность не превышала 77 %. При отсосе запыленного воздуха из приемника в количестве 4 % от поступившего эффективность увеличилась до 81 %.

Для циклонных элементов с трехлопастными закручивателями без конфузоров эффективность составляла 74 %, а с отсосом запыленного газа в количестве 4 % от поступившего поднялась до 78 %. Наблюдения показали, что выход пыли в приемник из циклонных элементов был прерывист, однако явных перетоков заметно не было.

Для обоих типов циклонных элементов эффективность осаждения пыли в диапазоне скоростей $w_0 = 3...8$ м/сек возрастала незначительно.

Были проведены работы по определению степени загрузки пылью циклонных элементов. К пылевыводному отверстию каждого элемента присоединялся индивидуальный приемник в виде трубки диаметром 15 мм и длиной 100 мм. Уловленная пыль, попавшая в трубки, взвешивалась. Степень неравномерности распределения пыли по стоякам определялась по формуле:

$$\Delta\varepsilon = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{G_{\text{ср}}}; \; G_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} G_{\text{i}} ,$$

здесь $G_{\max}, G_{\min}, G_{\text{ср}}$ – максимальное, минимальное и среднее значение весового расхода пыли в циклонных элементах.

Степень неравномерности загруженности пылью циклонных элементов в зависимости от концентрации пыли представлена на рис. 4.

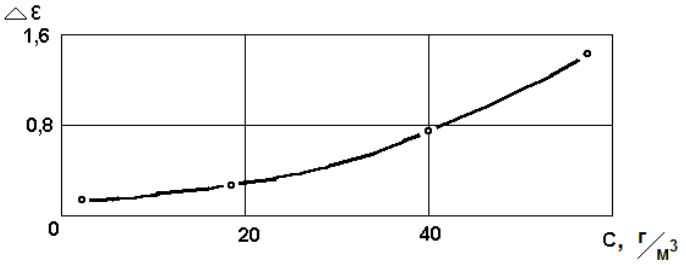


Рис.4. Степень неравномерности загруженности пылью циклонных элементов в зависимости от концентрации пыли

Анализируя вид кривой степени неравномерности загруженности пылью циклонных элементов в зависимости от концентрации пыли на рис. 4, можно сделать вывод о том, что равномерность загрузки циклонных элементов пылью с увеличением концентрации частиц во входном потоке нарушается, вероятнее всего это происходит из-за фракционирования пыли

в потоке. С увеличением концентрации пыли во входящем потоке возрастает гидравлическое сопротивление аппарата, т.к. в винтовых каналах происходит отложение пыли. Эти отложения возникают в результате попадания сгустков частиц после их сдува с внешней поверхности газоотводных трубок или при концентрировании частиц у поверхностей этих трубок.

Таким образом, применение высокоэффективных элементов в групповой или батарейной компоновке приводит к неустойчивости их совместной работы. Применение элементов с лопаточными закручивателями ведет к неустойчивости работы и снижению эффективности сепарации в большей мере, чем применение элементов, содержащих закручиватели с тангенциальным вводом. Таким образом, для устойчивой и эффективной работы батарейных сепараторов необходимы технические решения, в которых элементы были бы аэродинамически не связаны друг с другом. Этого можно достичь, используя индивидуальную транспортировку уловленных частиц в камеру сбора пыли для каждого отдельного элемента батареи.

Список литературы

1. Страус В. Промышленная очистка газов. Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
2. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под. ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова. – 2 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
3. Иофа Н.Б., Зарубин Л.С., Хайдакин В.И. Обогащение мелкого угля в тяжелосредних гидроциклонах. – М.: Недра, 1978. – 239 с.
4. Сабуров Э.Н., Карпов С.В., Осташев С.И. Теплообмен и аэродинамика закрученного потока в циклонных устройствах. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1989. – 276 с.
5. Штым А.М. Аэродинамика циклонно-вихревых камер. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 1985. – 200 с.
6. Масштабный переход в химической технологии. Разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования / Под ред. А.М. Розена. – М.: Химия, 1980. – 319 с.

УДК 621.867.8

ОЦЕНКИ УПЛОТНЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ СЛОЙ ПЫЛИ НА ПОРИСТОЙ ПЕРЕГОРОДКЕ

Василевский М.В., к.т.н., Разва А.С., к.т.н., Жусупбеков Ж.Ж.

Томский политехнический университет, Томск
E-mail: razva@mail.ru

В технике обеспыливания газов применяют разнообразные по свойствам фильтровальные перегородки. Для некоторых фильтровальных перегородок (ткани, волокнистые слои) характерна сжимаемость под воздействием разности давлений (толщина уменьшается, поры деформируются и уменьшаются). Частицы, увлекаемые потоком газа, попадают в различные условия. Частица может пройти через пору, задержаться в результате адгезии на поверхности от касания частицы при воздействии на нее инерционных сил при движении в искривленной поре. Структура осажденного слоя определяется гидродинамическими и физико-химическими факторами: пористость слоя, размер частиц, сферичность частиц, относительная влажность несущей среды, образование двойного электрического слоя на границе дисперсных материал – перегородка, степень агломерации частиц, деформация агломератов с закупоркой пор [1]. Способность к агрегированию сказывается на процессе фильтрования запыленных газов через пористую перегородку. В процессе фильтрования на перегородке образуется пористый пылевой слой, который под действием осаждающихся частиц претерпевает изменения.

Гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки определяется в виде

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P' + \Delta P'', \qquad (1)$$

где $\Delta P'$– гидравлическое сопротивление перегородки с оставшимся на ней после регенерации слоем пыли, $\Delta P''$– гидравлическое сопротивление слоев пыли, накапливающейся во время цикла фильтрования.

Уравнение (1) имеет вид [2]

$$\Delta P_{\Sigma} = K_0 \frac{\mu w(1-\varepsilon)}{\delta_0^2 \varepsilon^3}\left[\frac{g_0 \psi^2}{\rho_{н} K_{к}^2}(1-\varepsilon) + \frac{C_0 w K_{с} \tau}{\rho_{т}}\right], \qquad (2)$$

где K_0– экспериментальный коэффициент, учитывающий характер упаковки частиц в слое, μ–коэффициент динамической вязкости, w–скорость фильтрации, ε– пористость слоя, δ_0– диаметр частиц в слое, g_0– равновесная масса пыли в порах перегородки на единицу поверхности, ψ – коэффи-

циент, учитывающий отношение скоростей в порах фильтровального материала и вне его, $\rho_н$, $\rho_т$ – плотности слоя и вещества частицы, $K_к$– коэффициент учитывающий извилистость пор фильтровального материала, C_0– концентрация пыли в газе перед фильтром, τ– время фильтрации, $K_с$– коэффициент, учитывающий скорость роста гидравлического сопротивления после регенерации, который зависит от метода регенерации, свойств частиц и несущего потока. Применение формулы (2) требует достоверных данных по коэффициентам, однако в самой формуле существуют неопределенности, поскольку отношение коэффициентов можно заменить одним коэффициентом. Экспериментальные коэффициенты определяются в результате пусконаладочных испытаний. Анализ (2) показывает, что наибольший вклад в сопротивление вносят величины ε, δ_0.

В общем виде [3]

$$\Delta P_\Sigma = \mu(R_0 + R_\tau)w, \qquad (3)$$

где $R_0 = r_0 h_0$–сопротивление уравновешенного слоя (1/м), $r_0 = k\dfrac{\varphi(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3\delta_0^2}$ –удельное сопротивление(1/м^2), $h_0 = g_0/\rho_н$ –толщина слоя (м), $\varphi = 1/\psi^2$, ψ–фактор формы – отношение поверхности шара к поверхности тела, имеющего тот же объем. $R_\tau = r_0 h_\tau$, $h_\tau = \dfrac{V_{пт}}{F_ф} = \dfrac{C_0 w\tau}{\rho_т(1-\varepsilon)}$– переменная толщина слоя отфильтрованной пыли (м), $V_{пт}$– объем отфильтрованного слоя (м^3), $F_ф$–поверхность фильтра.

Однако пористость зависит от давления и расчетные формулы должны быть введены корректировки. На рис. 1 представлена установка для определения уплотнения материала в цилиндре при фильтрации воздуха через слой дисперсного материала на фильтре. Площадь поперечного сечения бачка S=344 см^2, фиксированное изменение уровня при перетечке воды из верхнего бачка в нижний h=1 см, H – разность уровней воды в системе (см), $D_ц$=2,50 см, $D_{пл}$=2,4 см, $S_ц$=4,87 см^2.

Скорость фильтрации при H= 50 –100 см $\upsilon_ф = \left(\dfrac{Sh}{t}\dfrac{P_Н + B}{P_у + B}\right)/S_ц$, где $P_Н$ – давление столба жидкости высотою H, $P_у$– давление воздуха перед цилиндром с дисперсным телом, B – барометрическое давление. 1 кПа ≈ 10 г/см^2, $\rho_{нМ40}$=2,04 г/см^3, $\rho_{нМ1}$=0,45г/см^3. Уплотнение материала характеризуется

степенью отклонения линейности давления фильтрации в зависимости от скорости воздуха.

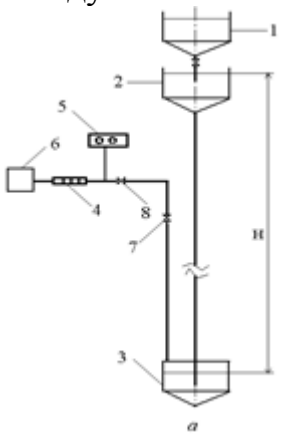


Рис. 1. 1, 2, 3 – сосуды, 4 – исследуемый участок, 5 – регистратор давления, разрежения, 6 – фильтр; 7 – дроссель, 8 – запорный вентиль.

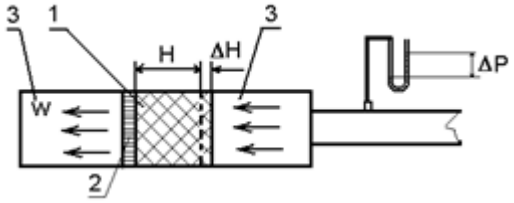


Рис.2. Устройство для определения параметров дисперсного материала: 1 – рабочая секция, 2 – фильтр, 3 – вспомогательные секции.

Уплотнение фильтрацией. Микропорошок (корунд), цемент просеивают через сито с ячейкой 1 мм^2 и порционно загружают в основной цилиндр, измеряют суммарную массу, вычисляют массу неуплотненного порошка и насыпную плотность. Объем цилиндра $V_ц$=23.5 см^3, $\rho'_м = G'_м/V_ц$. Масса цилиндра с фильтром $G_ц$ = 31,0 г. Вес материала в цилиндре равен разнице суммарного веса цилиндра с порошком и веса цилиндра: $G'_м=G_\Sigma-G_ц$. После уплотнения фильтрацией присоединяют второй цилиндр, добавляют порошок, удаляют этот цилиндр, снимают лишний слой порошка с первого цилиндра с образованием поверхности вровень с торцом. Цилиндры с порошком взвешиваются, определяется вес суммарной массы порошка в объеме цилиндра $G''_м$. Изменение объема материала после фильтрации $\Delta V_м = \dfrac{G''_м - G'_м}{\rho'_м}$. Опыты проводились при постепенном повышении давления до заданного и при скачкообразном повышении давления. Определялась скорость фильтрации по времени изменения объема воды в верхнем бачке

$\Delta\ Q_Н$. В опытах величина $\Delta\ Q_Н$ равна 344 см^3 . Данные опытов заносят в таблицу 1.

Таблица 1. Изменение пористости в зависимости от скорости фильтрации ($\rho'_м = G'_м/V_ц$, $\Delta V_м = \frac{G''_м - G'_м}{\rho'_м}$, $\Delta\varepsilon = \Delta V_м/V_ц$)

M5					
t	P	$V_ф$ м/с	$\rho'_м$ г/см^3	$\Delta V_м$ см^3	$\Delta\varepsilon$
128	2,5	0, 55	0,74	2,44	0,104
85	6,4	0,82	0,74	3,1	0,132
51	9,6	1,38	0,75	3,73	0,16
M14					
t	P	$V_ф$ м/с	$\rho'_м$ г/см^3	$\Delta V_м$ см^3	$\Delta\varepsilon$
92	9,7	0,76	1,08	3,42	0,146
98,5	6,7	0,7	1,1	2,9	0,124
248	3,1	0,28	1,1	1,3	0,074
цемент					
t	P	$V_ф$ м/с	$\rho'_м$ г/см^3	$\Delta V_м$ см^3	$\Delta\varepsilon$
144	1,8	0,5	0,89	2,2	0,085
84	5,2	0,83	0,89	2,25	0,09
38,5	9,8	1,18	0,89	3,3	0,13
M40					
t	P	$V_ф$ м/с	$\rho'_м$ г/см^3	$\Delta V_м$ см^3	$\Delta\varepsilon$
26	9,2	2,69	2,04	0,047	0,0021
64	3,5	1,08	2,04	0,042	0,0019
225	1,35	0,38	2,04	0,041	0,0018

Каждая частица соприкасается с соседними частицами и с воздухом, протекающим через поры. Давление, оказываемое на частицу соседними частицами одинаково для всех слоев дисперсного тела, а давление меняется от слоя к слою. В этом случае σ_z– осевое напряжение, обусловленное взаимодействием частиц, будет равно перепаду давления на всем слое и постоянно по слою, если слой несжимаем. Под действием давления форма агрегатов частиц изменяется таким образом, что пористость дисперсного тела ε уменьшается, а его сопротивление потоку воздуха возрастает в направлении фильтрующей перегородки. Отношение плотностей моет быть представлено как $\rho''_м/\ \rho'_м = [1-\varepsilon_н+\Delta\varepsilon]/(1-\varepsilon_н)$. Оценки напряженного состояния дисперсного материала при уплотнении его плунжером рассмотрено в [4].

Список литературы

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию //Под ред. М.И . Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

2. Фильтры для улавливания промышленных пылей /М.Г. Мазус, А.Д. Мальгин, М.Л. Моргулис.– М.: Машиностроение. 1985.– 240 с.
3. Жужиков В.А. Фильтрование: Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
4. Василевский М.В., Некрасова К.В., Разва А.С., Зыков Е.Г. Оценка связности дисперсного материала из агрегированных частиц //Заводская лаборатория, 2009, т. 75, №5, С. 32–36.

УДК 621.311.001

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ВСЕРЕЖИМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ FACTS

Васильев А.С.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: vasilevas@tpu.ru

На сегодняшний день для компенсации реактивной мощности, повышения качества электрической энергии и управления ее передачей широко применяются устройства FACTS, которые характеризуются высокой динамикой процессов и несимметрией режимов работы, затрудняющими моделирование программными средствами [1].

Для оценки влияния устройств FACTS при различных алгоритмах их управления на режим работы энергосистемы, на функционирование релейной защиты и автоматики, а также тестирования в замкнутом цикле станций управления FACTS, требуется их непрерывное моделирование совместно с крупными участками энергосистем в реальном времени и на продолжительном его интервале. Программные средства по своей сути являются дискретными и имеют ограничения по размерности и сложности моделей, времени моделирования и шагу расчета и поэтому не позволяют в полной мере решать перечисленные задачи.

В связи с этим разработаны гибридные программно-технические средства всережимного моделирования устройств FACTS для системы гибридного моделирования [2], в которых воспроизведение быстрых процессов осуществляется аналоговым математическим способом, коммутация – с помощью физических цифроуправляемых аналоговых ключей, а относительно медленные информационно-управляющие процессы – микропроцессорной и компьютерной программной средой.

Разработанные программно-технические средства позволяют осуществлять непрерывное моделирование и тестирование в замкнутом цикле

станций управления FACTS во всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы энергосистемы в реальном времени на неограниченном интервале.

Список литературы:

1. Zhang X.-P., Rehtanz C., Pal B., Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control. Berlin: Springer, 2006. – 383 pp.;
2. Гусев А.С., Хрущев Ю.В., Гурин С.В., Свечкарев С.В., Плодистый И.Л. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем // Электричество. – 2009. – №12. – с. 5–8.

УДК 621.182

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ТОПКЕ КОТЛА БКЗ-320-140

Н.В. Визгавлюст, А.В. Старченко*, А.В. Гиль, Васильев А.А.
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
*Томский государственный университет, г. Томск. Россия
E-mail: vizgavljust@tpu.ru

Защита атмосферного воздуха является актуальной проблемой современности, необходимость которой инициирована несовершенной хозяйственной деятельностью человека. Наибольшую опасность создают искусственные антропогенные источники загрязнения воздуха, в первую очередь, связанные с процессами сжигания органических топлив [1]. Применение методов математического моделирования существенно облегчает решение задач необходимых для оценки конструктивных изменений и оптимизации инженерных решений для исследуемых объектов.

В представляемом исследовании используется численное моделирование образования оксидов азота при горении пылевидного топлива на базе разработанной Митчеллом и Тэрболом [2] кинетической модели образования NO при сжигании угольной пыли. Численное исследование на основе предложенной модели проведены в камерной топке котла БКЗ-320-140 с последующей верификацией полученных результатов с экспериментальными данными натурного эксперимента.

Результаты расчетов по модели [2] имеет достаточно высокую адекватность предсказания генерации оксидов азота, поскольку средняя погрешность между численными результатами и экспериментальными данными составляет 2 %. И в дальнейшем может рассматриваться как пост-

процессор к пакету Fire3D [3] и вместе с ним использоваться для вариантной проработки конструктивных решений при проектировании и модернизации котельных агрегатов.

Список литературы:

3. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов – М.: Энергоатомиздат, 1987 – 144 с., ил.
4. Mitchell J.W., Tarbell J.M. A kinetic model of nitric oxide formation during coal combustion // American Institute of Chemical Engineers Journal. – 1982. – V. 28. – № 2. – P. 302–310.
5. Заворин А.С., Красильников С.В., Старченко А.В. Программный комплекс для расчета и визуализации трехмерных реагирующих турбулентных течений в топках котлов // Проблемы использования канско-ачинских углей на электростанциях: Матер. Всеросс. научно-практ. конф. – Красноярск: СибВТИ, 2000. – С. 369–371.

УДК 666.11.01

О МИКРОТВЕРДОСТИ ТРАВЛЕНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

Волков П.В., Брызгалов А.Н., д.ф.-м.н.
Челябинский государственный педагогический университет, г. Челябинск
E-mail: peter-007@mail.ru

Основной целью исследования было испытание на микротвердость кварцевого стекла до и после химического травления [1], предназначенного для снятия нарушенного слоя. Кварцевое стекло наплавлялось паросинтетическим методом, затем подвергалось механической обработке, включающую грубую, тонкую шлифовки и полировку. Измерение микротвердости проводилось на приборе ПМТ-3 по методу Кнуппа. На рис. 1 представлена статистика микротвердости механически обработанного и травленого кварцевых стекол.

Из графика видно, что разброс микротвердости достаточно велик и для более объективной картины необходимо усреднить полученный результат: полированное – 886,5 кг/мм^2, травленое – 845,3 кг/мм^2.

Таким образом, можно сделать вывод, что состояние поверхности играет большую роль: при одинаковой нагрузке для нетравленого стекла микротвердость выше, чем у протравленного.

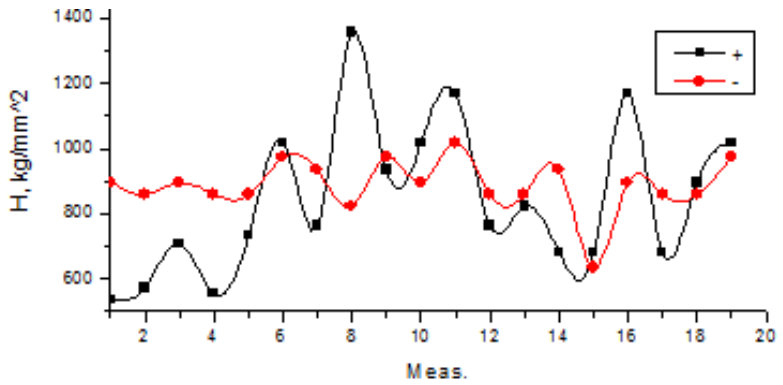


Рис. 1. Статистика значений микротвердости полированного (–) и травленого (+) кварцевых стекол от места измерения при нагрузке 100 г.

Список литературы:

1. Волков П.В., Брызгалов А.Н. Исследование микроструктуры поверхностей кварцевого стекла, подвергнутых химическому и гидротермальному травлениям // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: http://www.science-education.ru/104-6876 (дата обращения: 13.08.2012).

УДК 620.98

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Высокоморный В.С.
Томский политехнический университет, г. Томск
V.Vysokomorny@gtt.gazprom.ru

«Энергетическая стратегия России на период до 2020 года» предусматривает дальнейшее увеличение добычи газа. Это сопровождается потребностью в сооружении наряду с уже существующими новых газотранспортных систем. Неотъемлемой частью газотранспортной системы являются малые потребители энергии: газораспределительные станции, пункты телемеханики и пр.

Для решения задачи энергоснабжения удалённых объектов ООО «Газпром трансгаз Томск» используются микротурбины компании «Capstone Turbine Corporation». Конструктивной особенностью двигателя является применение воздушных подшипников. Благодаря использованию рекуператора микротурбины имеют высокий электрический КПД – до 35 %. Однако при использовании данных установок могут возникнуть

сложности в связи с изменением КПД при работе установки на минимальных нагрузках.

Энергоустановки типа «Ormat» имеют только одну вращающуюся часть. Колесо турбины и генератор переменного тока смонтированы на общем валу, который вращается на двух комбинированных скользящих подшипниках. Именно с проблемой выхода из строя скользящих подшипников столкнулось Общество при эксплуатации энергоустановок. Достоинством данного оборудования является высокий ресурс до капитального ремонта.

В период с марта 2011 года на объекте Общества проводятся опытно-промышленые испытания блочно-транспортабельной автоматизированной электростанции с преобразователем энергии «Стирлинг V-161». Технические характеристики устройства (электрическая мощность – 2-9 кВт; тепловая мощность – 8-26 кВт; электрический КПД – 24,5 %) позволяют использовать данную установку на многих линейных объектах.

С целью создания энергоустановки, отличающейся от аналогов принципом действия и потребляемым топливом, Общество заключило договор с ФГУП «Исследовательский центр им. М.В. Келдыша» на разработку энергетической установки мощностью до 10 кВт на основе батареи твёрдополимерных топливных элементов, с общим КПД более 80 %. Установка использует принцип прямого преобразования химической энергии природного газа в электрическую и тепловую энергии.

Всё сказанное выше иллюстрирует направления в работе ООО «Газпром трансгаз Томск» по повышению эффективности и надёжности энергообеспечения автономных объектов, снижению уровня материальных и энергетических затрат.

УДК 536.253

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ КИСЛОТ НА ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ТЕРРИТОРИИ

Гвоздяков Д.В.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: dim2003@tpu.ru

Существенный вклад в процесс образования серной кислоты в пограничном слое атмосферы вносят тепловые электрические станции (ТЭС) [1].

При сжигании топлив в окружающую среду поступают различные загрязняющие вещества [2]. Большинство из них относится к числу токсичных, и даже при сравнительно невысоких концентрациях оказывают вредное воздействие на природу и человека [1–4]. При взаимодействии серного ангидрида с водяным паром в определенных условиях образуется серная кислота. Под действием природных факторов образовавшаяся серная кислота может конденсироваться и выпадать на поверхности земли и растений [3, 4].

Рассматривается стационарный источник выбросов высотой $H_{ист}$ (газоотводящая труба ТЭС) с объемной концентрацией загрязняющих веществ на выходе из устья $C^{SO3}_{ист}$ и $C^{H2O}_{ист}$. В исследуемой области ось *x* ориентирована по направлению ветра в пограничном слое. Выбрасываемый в атмосферу дымовой газ считается ньютоновской жидкостью, несжимаемой и удовлетворяющей приближению Буссинеска. Движение дымовых газов и тепломассоперенос в рассматриваемой области принимаются двумерными. Область решения представлена на рис. 1.

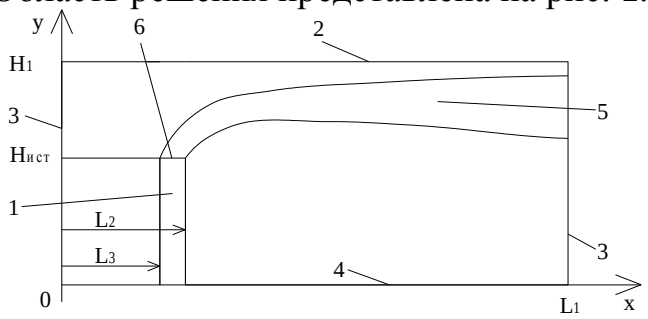


Рис.1. Область решения задачи: 1) – газоотводящая труба; 2) – верхняя горизонтальная граница области решения; 3) – вертикальная границы области решения; 4) – подстилающая поверхность; 5) – дымовой факел; 6) – участок истечения дымовых газов

Механизм образования серной кислоты основан на взаимодействии, при котором серный ангидрид SO_3 поглощается водяным паром H_2O [4].

$SO_3+H_2O \rightarrow H_2SO_4$ (1)

Считается, что реакция не является экзотермической. Процесс взаимодействия SO_3 и H_2O протекает практически мгновенно, и в совокупности с метеорологическими условиями определяет интенсивность выпадения продуктов окисления в зоне антропогенных источников.

Условиями образования серной кислоты приняты следующие критерии:

1) установление температуры дымовых газов ТЭС, содержащих водяной пар, состояния насыщения;

2) достижение текущей абсолютной влажности газов максимального значения при данной температуре [3, 4].

Выполнение этих условий обеспечивает образование серной кислоты в воздушном пространстве.

При разработке математической модели учитывались следующие процессы:

1) перенос газообразных продуктов сгорания ТЭС конвекцией и диффузией;

2) теплофизические и химические процессы, приводящие к изменению концентрации первичных антропогенных соединений и химического состава воздушного потока.

В работе используется математическая модель, описывающая изменение концентрации и температуры продуктов сгорания натуральных топлив ТЭС, и участки, на которых будет происходить образование серной кислоты в пограничном слое атмосферы.

Процесс переноса энергии, количества движения и массы в рассматриваемых условиях описывается системой нестационарных уравнений Навье-Стокса [5–7].

Безразмерные уравнения Навье-Стокса в приближении Буссинеска в переменных «вихрь скорости – функция тока – температура – концентрация» имеют следующий вид:

Граничные условия для уравнения диффузии серного ангидрида и водяного пара идентичны.

В качестве примера рассмотрен процесс образования серной кислоты в открытом воздушном пространстве протяженностью 10000 м и высотой 400 м. Источником загрязнения является устье газоотводящей трубы тепловой электрической станции. Теплофизические параметры дымовых газов на источнике считаются постоянными. Абсолютная концентрация водяного пара в атмосфере принималась равной 2000 мг/м^3, серного ангидрида 0,04 мг/м^3. Концентрация водяного пара на срезе газоотводящей трубы $3 \cdot 10^5$ мг/м^3, серного ангидрида 100 мг/м^3. Температура наружного воздуха изменялась от 263 К до 297 К, Температура дымовых газов на срезе газоотводящей трубы принималась равной 413 К, скорость ветра 20 м/с. Типичные результаты численного моделирования приведены в таблице.

Таблица. Результаты численного исследования процесса образования серной кислоты

Параметр	Термический период			
	Весенний	Летний	Осенний	Зимний
Температура окружающей среды, К	284	297	280	263
Расстояние от источника загрязнения до области образования серной кислоты, м	1300	100…200	1350	1400
Протяженность области возможного выпадения осадков, м	1650	100…200	1800	1300
Концентрация серной кислоты в области возможного выпадения осадков, мг/м^3	3,0…1,5	3,0…0,04	2,5–1,5	2,5…0,04

Из анализа приведенных в таблице характеристик следует, что в различные термические периоды образование серной кислоты начинается на различных расстояниях от источника поступления SO_3. Так, например в летний период, при температуре наружного воздуха 297 К микрокапли серной кислоты начинают образовываться на расстоянии 100…200 м от источника загрязнения. Абсолютная концентрация серной кислоты в осадках при этом достигает 3 мг/м^3. В зимний период образование осадков, содержащих серную кислоту, начинается на расстоянии 1400 м от источника загрязнения, содержание серной кислоты на таком расстоянии может достигать 2,5 мг/м^3. В осенний и весенний период образование серной кислоты начинается почти на одинаковых расстояниях. Протяженность области возможного выпадения осадков находится в диапазоне 1650…1800 м. Абсолютная концентрация серной кислоты в осадках при этом составляет 1,5…3 мг/м^3.

Список литературы

1. РД 34.02.305–98. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. – М.: ВТИ, 1998. – 76с.
2. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.
3. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. – М., Химия, 1991. – 144 с.
4. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я., Ровинский Ф.Я., Рябошапко А.Г.. Кислотные дожди. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989. – 270 с.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.

6. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984.–288 с.
7. Берковский Б.М., Полевиков В.К. Вычислительный эксперимент в конвекции. – Минск.: Университетское, 1988.–167 с.
8. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные схемы газовой динамики. – М.: Наука, 1975. – 424 с.
9. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate natural convection with radiation in an enclosure. // International Journal of Heat and Mass transfer. – 2009. – Т. 52. - № 9–10. – P. 2215–2223.
10. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate heat transfer in an enclosure under the condition of internal mass transfer and in the presence of the local heat source. // International Journal of Heat and Mass transfer. – 2009. – Т. 52. – № 1–2. – P. 1–8.

УДК 536.46: 662.3

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАПУСКА В ВОДНОЙ СРЕДЕ ОТКРЫТОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Голдаев С.В., д.ф-м. н., Литвинов А.А., магистр
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: SVGoldaev@tpu.ru

Расширение областей применения бескорпусных твердотопливных газогенераторов в системах придания плавучести объектов, находящихся под водой, термогазохимического воздействия на призабойную зону нефтеносных пластов с целью восстановления их коллекторских свойств делает актуальным установление области параметров, влияющих на устойчивость запуска таких ТГГ [1].

Основным конструктивным узлом газогенератора открытого типа, используемого для наполнения емкостей плавучести на большой глубине [1], является твердотопливная шашка с осевым глухим каналом диаметром d_k и длиной l_k, ориентированная продольной осью вдоль вектора сил тяжести. При погружении вода частично его заполняет. После срабатывания воспламенителя, расположенного на торцевой стенке канала, зажигается занятая воздухом часть канала, и вода будет из него вытесняться. По мере обнажения новых участков топлива они будут подвергаться нагреву, что приведет к их воспламенению. Представляет интерес выяснить влияние этого эффекта на устойчивость процесса запуска газогенератора. Экспериментальная отработка данной стадии обычно осуществляется в гидростен-

дах, имеющих глубину несколько метров, использование подъемных устройств водолазами производится также на глубинах 50...300 м, поэтому горение твердого топлива осуществляется при малых, либо умеренных давлениях, что дополнительно может дестабилизировать рассматриваемый процесс [1].

Как отмечается в работе [2], все факторы, способствующие уменьшению подвода теплоты к непрореагировавшему топливу, увеличивают возможность появления аномального горения. Наиболее важно, что оно возникает при уменьшении давления ниже предельного для данного топлива. Объясняется это тем, что при низких давлениях сильно тормозятся некоторые экзотермические реакции, что приводит к уменьшению подогрева топлива и к прекращению горения.

Проведенный в работе [3] элементарный анализ устойчивости функционирования принудительной системы подачи горючего в камеру ЖРД с помощью твердотопливного газогенератора (ТГГ) с докритическим режимом работы показал, что процесс вытеснения будет расчетным, если используется состав с показателем в линейном законе скорости горения (ν), не превышающем величину

$$\nu < 1 + \frac{p_0}{2(p_0 - p_h)}, \tag{1}$$

где p – противодавление среды, в которую вытесняется жидкость;
p_0 – величина стационарного давления, создаваемого продуктами сгорания в канале при вытеснении воды.

С использованием условий неразрывности, сохранения энергии, выражения для объемного секундного расхода воды из канала, уравнения состояния идеального газа в дифференциальной форме, запишем исходную систему уравнений [1]

$$\frac{dW}{dt} = \varphi_h S_h \sqrt{\frac{2(p - p_h)}{\rho_w}}, \tag{2}$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{k\left[k_T ab\rho_f F_p S_f \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\nu+n} - \varphi_h p S_h \sqrt{\frac{2(p - p_h)}{\rho_w}}\right]}{W}, \tag{3}$$

где p, W – создаваемое продуктами сгорания давление и занимаемый ими объем;
ρ_f, ρ_w – плотности топлива и воды;

F_p, k – приведенная «сила пороха» при максимальной полноте тепловыделения, показатель адиабаты продуктов сгорания;

S_f, S_h – площади поверхности горения и выходного сечения канала;

k_T, φ_h – коэффициенты тепловых потерь продуктов сгорания в рассматриваемом объеме и расхода воды;

a, ν, b, n – коэффициенты аппроксимации степенного закона линейной скорости горения и полноты тепловыделения от давления [2], [4].

Величина S_f является функцией вытесненного объема жидкости и некоторого времени запаздывания, обусловленного воспламенением обнажившихся стенок канала. Пока вода присутствует в канале, она играет роль подвижной пробки, и процесс во многом будет аналогичен рассмотренному в [5] развитию горения в единичной поре.

Для упрощения анализа и одновременно усугубления влияния эффекта подключения к газоприходу обнажающихся стенок канала, предполагалось, что их воспламенение не отстает от фронта вытеснения, поэтому $S_f \sim dW/dt$.

Анализ исходной системы обыкновенных дифференциальных уравнений проводился методом малых возмущений (или первым методом Ляпунова) [6]. Подставляя

$$p = p_0 + \delta p,\ W = W_0 + \delta W,\ S_f = S_{f0} + \delta S_f, \tag{4}$$

$$\delta p \approx \delta W \approx \delta S_f \approx \exp(\Omega t)$$

в (2), (3) и проводя линеаризацию в них, получаем следующее частотное уравнение

$$\overline{\Omega} = \nu + n + \sigma - \frac{p_0}{2(p_0 - p_h)} - 1, \tag{5}$$

где $\sigma = \delta S_f / S_{f0} = p_0 / 2(p_0 - p_h)$, $\overline{\Omega} = \Omega t_W$.

Колебания давления с течением времени будут затухающими, если безразмерная частота $\overline{\Omega} < 0$. Отсюда условие устойчивости имеет вид

$$\nu < 1 - n \tag{6}$$

Из сравнения (6) и (1) видно, что учет безинерционного подключения поверхности горения обнажающихся стенок канала существенно сужает область устойчивости.

Уточнение данного прогноза станет возможным после исследования реального времени запаздывания, вызванного воспламенением участков поверхности канала, освобождающихся от контакта с водой.

Список литературы:

1. Барсуков В.Д. Подводное зажигание и горение унитарных твердых топлив. Теория, эксперимент, технические предложения / Барсуков В.Д., Голдаев С.В. – Томск: Изд–во Том. ГУ. 2003. – 343 с.
2. Абугов Д.И., Бобылев В.М. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива М.: Машиностроение.1987. 272 с.
3. Ракетные двигатели /М Баррер, А. Жоммот, Б.Ф. Вебек, Ж. Вандеркеркхове. – М.: Оборонгиз, 1962. 799с.
4. Шишков А.А., Панин С.Д., Румянцев Б.В. Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива: Справочник. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
5. Переход горения конденсированных систем во взрыв /А.Ф. Беляев, В.К. Бобылев, А.И. Коротков и др. – М.: Наука, 1973. – 292 с.
6. Вольтер Б.В., Сальников И.Е. Устойчивость режимов работы химических реакторов. – М.: Химия,1972. – 192 с.

УДК 662.62

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯАППАРАТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Голдаев С.В., д.ф-м.н., Козина А.А., магистрант
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
E-mail: svgoldaev@tpu. ru

Процессы теплообмена имеют большое значение в химической, энергетической, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности. В теплообменных аппаратах теплоотдача от одной среды к другой через разделяющую их стенку обусловлена рядом факторов и является сложным процессом, который нужно разделять на три элементарных вида теплообмена: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение. На практике эти явления не обособлены, находятся в каком-то сочетании и существуют одновременно. Для теплообменников немалое значение имеет кон-

вективный теплообмен или теплопередача, которая осуществляется при совокупном и единовременном действии теплопроводности и конвекции.

Процессы теплообмена осуществляются в теплообменных аппаратах многих типов и конструкций.

По способу передачи тепла теплообменники делят на поверхностные и смесительные. В поверхностных теплообменниках рабочие среды обмениваются теплой через стенки из теплопроводного материала, а в смесительных аппаратах теплота передается при непосредственном перемешивании рабочих сред.

Смесительные теплообменники по устройству проще поверхностных: теплота в них передается с меньшими потерями. Но это теплообменное оборудование пригодно лишь в тех случаях, когда по технологическим условиям производства возможно смешение рабочих сред. Поверхностные теплообменные аппараты, в свою очередь, делятся на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных аппаратах теплопередача между различными рабочими средами происходит через разделительные стенки. При этом тепловой поток в каждой точке стенки сохраняет одно и то же направление. В регенеративных теплообменниках теплоносители попеременно соприкасаются с одной и той же поверхностью нагрева. При этом направление теплового потока в каждой точке стенки периодически меняется[1].

Процессы, протекающие в реакционных аппаратах периодического действия, в реальных условиях носят исключительно сложный характер, поскольку они являются результатом совместного проявления множества различных по физической сущности сил и в значительной степени определяются большим количеством параметров системы. Одновременно учесть совокупное действие всех динамических сил процессов при условии сложного, распределенного в пространстве и времени влияния собственных параметров системы, очень сложно. Это связано не только со значительными математическими трудностями; более важно то, что сама задача в такой постановке становится неопределенной, поскольку исходные уравнения должны содержать очень большое количеств параметров, характеризующих специфические особенности процесса.

Периодические аппараты имеют ряд преимуществ перед непрерывными; при одной и той же начальной и конечной концентрациях раствора в них достигаются более высокие коэффициенты теплопередачи; периодические процессы повторяются через период Т, и поэтому достаточно произвести расчет процессов в течение одного периода; облегчается перекачка

концентрированного вязкого раствора, так как ее можно осуществить после концентрирования при атмосферном или повышенном давлении. Однако эти установки могут использоваться лишь при небольших производительностях. Аппараты периодического действия незаменимы в производствах небольшого масштаба при получении отдельных опытных партий, большом ассортименте выпускаемой продукции [3].

Что касается автоматизации процесса, то данные аппараты могут быть автоматизированы лишь частично. При необходимости комплексно автоматизировать производство, ведущееся периодическим способом, его предварительно переводят на работу непрерывным способом. Этот перевод связан с необходимостью проведения углубленного физико-химического изучения процесса производства, с разработкой новой технологической схемы и конструкцией аппаратов непрерывного действия.

Преимуществами периодических процессов перед непрерывными в химической промышленности так же являются [2]:

• относительная независимость отдельных технологических стадий, их пространственная и временная обособленность;

• возможность промежуточной, постадийной корректировки технологических параметров, и, следовательно, возможность управления качеством промежуточных продуктов;

• инвариантность технологических стадий относительно аппаратурного оформления, т.е. возможность реализации данной стадии в аппаратах разных типов, различающихся конструктивно, и использования одного и того же аппарата для разных стадий процесса;

• отсутствие "жестких" материальных и энергетических связей между отдельными аппаратурными стадиями;

• относительная простота проектирования и эксплуатации химико-технологических систем периодического действия.

Такие свойства, как обособленность аппаратурных стадий, инвариантность технологических стадий относительно аппаратурного оформления и отсутствие "жестких" связей между стадиями, присущие системам периодического действия, являются предпосылками для организации производства по принципу гибких автоматизированных производственных систем.

На сегодняшний день рекуперативные аппараты периодического действия широко используются в различного рода промышленностях.
Теплообменники используют в котлах, в установках для охлаждения жидкости, в кондиционерах и рекуператорах, отдающих тепло уже нагретого

воздуха свежему вентиляционному потоку. Другой пример использования теплообменника – системы на основе эффекта теплового насоса. В этом случае теплота передается через теплообменники и внутренний водяной контур в ту часть здания, где оно необходимо.

На данный момент преимущества аппаратов периодического действия явны, но не хватает теоретических работ, а так же осуществления их на практике весьма сложно.

Литература

1. Промышленные тепломассобменные процессы и установки: учебник для вузов /А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, Данилов и др.; Под ред А.М. Бакластова. -М.: Энергоатомиздат, 1986. - 328 с
2. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности /В. И. Попов, И. Т. Кретов, В. Н. Стабников, В.К. Предтеченский - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.
3. Рекуперативный теплообмен в емкостных аппаратах периодического действия /Харин В.М., Шишацкий Ю.И., Кулаков В.П., Кулакова С.В. //Теоретические основы химической технологии - 1998. Т.32, №5. - С. 495-501.

УДК 621.331.001

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Гордиенко И.С., аспирант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: ivangs878er@tpu.ru

Вопрос эффективности функционирования применяемых средств релейной защиты (РЗ) весьма актуален в силу того, что значительная часть тяжелых аварий в электроэнергетических системах (ЭЭС) связана с неправильными действиями РЗ.

Основными причинами неправильного функционирования средств РЗ являются:

1) недостаточная достоверность определения исходных режимных величин ЭЭС, используемых при проектировании и настройке средств РЗ;
2) грубый и обобщенный учет погрешностей, вносимых аппаратной реализацией РЗ и измерительными трансформаторами;

3) ограниченные функциональные возможности средств РЗ.

В работе рассмотрено решение второй из указанных причин путем математического моделирования средств РЗ с учетом аппаратной реализации и измерительных трансформаторов на примере одной из наиболее сложных видов защит объектов энергосистем – дистанционной защиты (ДЗ).

Для решения поставленной задачи сформирована методика создания математических моделей ДЗ с учетом их аппаратных реализаций и измерительных трансформаторов, согласно которой разработана всережимная математическая модель широко распространенной в России ДЗ на микроэлектронной элементной базе типа ШДЭ2801. На базе Всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем выполнена предварительная проверка функционирования упрощенной реализации модели ДЗ, учитывающей аппаратную часть, реализующую принцип сравнения фаз формируемых величин E1, E2, E3, …, En. Полученные в ходе испытаний модели ДЗ результаты подтверждают правильность ее функционирования в различных аварийных режимах.

Реализация всережимных математических моделей РЗ с учетом аппаратных реализаций и измерительных трансформаторов в реальном времени позволит сформировать рекомендации для оптимальной настройки моделируемых средств защиты, что повысит эффективность их функционирования и ЭЭС в целом.

УДК 621.78

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ФАКТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ

Горшенин А.С., стар. преподаватель,
Самарский государственный технический университет, г. Самара
e-mail: andersonag1@yandex.ru

Исследования теплообмена с постоянными и переменными конструктивными факторами, описанные в [1], показывают, что основным фактором, влияющим на процесс теплообмена в камере охлаждения, является ширина канала между рядами алюминиевых слитков δ. Для определения оптимального значения ширины канала необходимо произвести оптимизацию конструктивных параметров в [1]. Комплексная оптимизация имеет

цель получения наивыгоднейших режимных и конструктивных факторов и определения оптимального времени охлаждения слитков. Для оптимизации конструктивных факторов необходимо составить целевую функцию, множество допустимых решений для целевой функции и критерии оптимизации.

Для составления целевой функции воспользуемся методом мультипликативной свертки [2]

$$K(x) = \prod_{i=1}^{n} a_i \cdot K_i(x),$$

где $K(x)$ - общий критерий, $a_i \cdot K_i(x)$ - набор частных критериев, n - число частных критериев, a_i - относительный вес (важность) частного критерия $K_i(x)$.

Рассмотрим критерии, подлежащие оптимизации в нашем случае. На основании анализа исследования математической модели [1], можно сделать вывод, что главным фактором, влияющим на процесс охлаждения, является ширина канала δ. Ширина канала определяет габаритный размер садки по высоте камеры охлаждения. Увеличение ширины канала благоприятно влияет на процесс охлаждения слитков, приводит к более низкой конечной температуре слитков, но в то же время уменьшает общую массу садки, что снижает производительность.

Уменьшение ширины канала приводит к увеличению конечной температуры слитков, но увеличивает массу садки. Это позволяет обрабатывать большее количество слитков, повысить производительность. Уменьшение ширины канала приведет к тому, что садка по высоте будет уменьшаться, и занимать не всю высоту камеры охлаждения. Это приведет к появлению в верхней части камеры пустого пространства.

Охлаждающий воздух из-за отсутствия сопротивления будет уходить в это пространство, охлаждая садку лишь по краю. Для устранения этого недостатка необходимо увеличить гидравлическое сопротивление этого пространства. Это можно осуществить установкой металлического короба.

Таким образом, ширина канала δ непосредственно влияет на массу садки $M_{ал}$.

Масса садки $M_{ал}$ является первым оптимизационным критерием $M_{ал} = K_1(x)$. Необходимо стремится к ее увеличению, так чтобы ширина канала δ была наибольшей и не требовалась установка металлического короба.

Определим первый оптимизационный критерий $K_1(x)$. Масса садки определяется по выражению

$$M_{ал} = m_1 \cdot n \cdot z,$$

Где $m_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} l \cdot \rho_{ал}$ - масса одного слитка, $n = \frac{A}{d}$ - количество слитков в ряду, A - ширина садки, $z = \frac{h}{\delta} + 1$ - число рядов по высоте, h - высота садки (рис. 2.1). Таким образом,

$$M_{ал} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} l \cdot \rho_{ал} \cdot \frac{A}{d}\left(\frac{h}{\delta} + 1\right) = \frac{\pi}{4} l \cdot \rho_{ал} \cdot A \cdot d\left(\frac{h}{\delta} + 1\right) \quad (1)$$

Из анализа выражения (1) следует, что для слитка одного диаметра изменяющимся параметром, влияющим на оптимизационный критерий, является только ширина канала δ. Следовательно,

$$M_{ал} = \frac{\pi}{4} l \cdot \rho_{ал} \cdot A \cdot d\left(\frac{h}{\delta} + 1\right) = K_1(\delta)$$

где δ - оптимизируемый параметр.

Вторым оптимизационным критерием является общее время охлаждения слитка $\tau_{об}$, т.е. $\tau_{об} = K_2(x)$. На общее время охлаждения слитка $\tau_{об}$ не влияет ширина канала δ и определяется только диаметром слитка и необходимой конечной температурой слитка. Более низкая температура слитков требует длительного времени охлаждения и приводит к повышению затрат на электроэнергию. Кроме того, время охлаждения в любом случае не должно превышать времени термообработки в печи гомогенизации.

Определим второй оптимизационный критерий $K_2(x)$. Воспользуемся математической моделью охлаждения слитка [1] для определения времени охлаждения

$$\frac{(T_к - t_В)}{(T_0 - t_В)} = \exp(-Bi \cdot Fo \cdot 4) \quad (2)$$

Получим из него время охлаждения

$$\tau_{об} = -0{,}25 \cdot c_{Pал} \cdot \rho_{ал} \cdot d \cdot \frac{1}{\alpha} \ln \frac{(T_к - t_В)}{(T_0 - t_В)} = K_2(\delta)$$

После определения оптимизационных критериев необходимо определить - относительный вес (важность) a_i каждого частного критерия. В

нашем случае оба частных критерия важны в одинаковой степени, т.к. важно иметь минимальное время охлаждения и большую производительность, т.е. массу. Поэтому $a_1 = a_2 = 0{,}5$

Запишем целевую функцию

$$K(\delta) = (a_1 \cdot K_1(\delta))\left(\frac{1}{a_2 \cdot K_2(\delta)}\right) = \frac{a_1 \cdot K_1(\delta)}{a_2 \cdot K_2(\delta)}$$

Подставим оптимизационные критерии

$$K(\delta) = -\frac{0{,}5 \cdot \frac{\pi}{4} l \cdot \rho_{\text{ал}} \cdot A \cdot d\left(\frac{h}{\delta}+1\right)}{0{,}5 \cdot 0{,}25 \cdot c_{Pал} \cdot \rho_{ал} \cdot d \cdot \frac{1}{\alpha} \ln \frac{(T_к - t_{\text{В}})}{(\text{T}_0 - \text{t}_{\text{В}})}} = -\frac{\pi \cdot l \cdot A \cdot \left(\frac{h}{\delta}+1\right)}{c_{Pал} \cdot \frac{1}{\alpha} \ln \frac{(T_к - t_{\text{В}})}{(\text{T}_0 - \text{t}_{\text{В}})}} \quad (3)$$

Выражение (3) является целевой функцией нулевого порядка, имеющей множество допустимых решений, ограниченных следующими ограничениями:

- первым ограничением является скорость охлаждающего воздуха, которая не должна превышать $15 \, м/с$.

- вторым ограничением является суммарная масса садки, которая не должна превышать 20 тонн $M_{ал} \le 20m$, чтобы не превысить грузоподъемность загрузочной машины.

Таким образом, задача оптимизации конструктивных факторов может быть записана с ограничениями в следующем виде

$$\begin{cases} K(\delta) = -\dfrac{\pi \cdot l \cdot A \cdot \left(\dfrac{h}{\delta}+1\right)}{c_{Pал} \cdot \dfrac{1}{\alpha} \ln \dfrac{(T_к - t_{\text{В}})}{(\text{T}_0 - \text{t}_{\text{В}})}} \to \max \\ 0 < W < 15\text{м/с} \\ M_{ал} \le 20m \end{cases} \quad (4)$$

Для решения системы уравнений (4) применялись численные метод покоординатного спуска (метод Гаусса-Зейделя).

На рис. 1 представлены результаты оптимизации конструктивных факторов для алюминиевого слитка $d = 0{,}24м$.

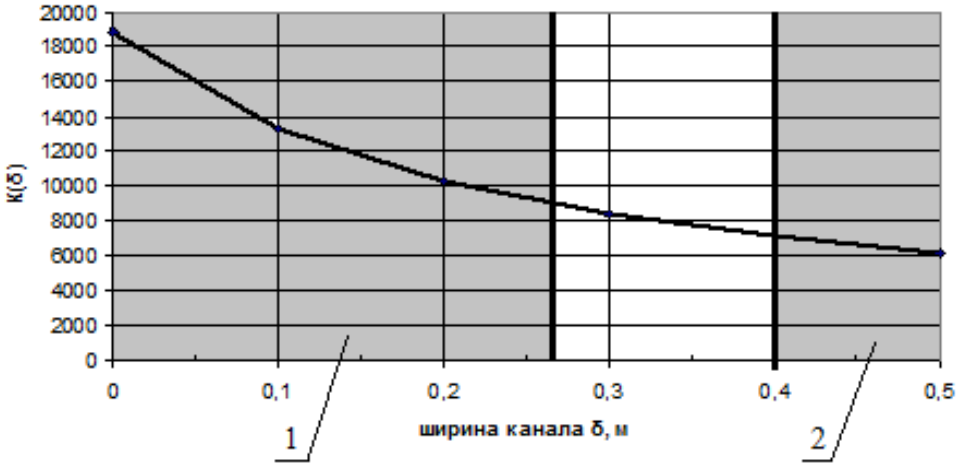


Рис. 1. Зависимость целевой функции от ширины канала δ для слитка $d = 0{,}24м$

На рис. 1 представлена зависимость целевой функции от оптимизируемого параметра – ширины канала δ, для слитка $d = 0{,}24м$. Как отмечалось выше, целевая функция имеет ограничения на ширину канала δ: по скорости охлаждающего воздуха $0 < W, м/с < 15$ и по массе садки $M_{ал} \le 20m$. На рис. 1 эти ограничения показаны областями «1» и «2». Область «1» показывает значения δ при которых скорость охлаждающего воздуха превышает значения $15м/с$, что увеличивает мощность дутьевых устройств и повышает затраты на электроэнергию. Область «2» показывает значения δ при которых масса садки превышает максимально возможную. Наиболее оптимальным является наибольшее значение ширины канала δ из указанной области для каждого слитка. При этом значении мы имеем большую, но не максимально возможную, массу садки и более низкую скорость охлаждающего воздуха.

Список литературы:

1. Горшенин А.С., Кривошеев В.Е. Влияние режимных и конструктивных факторов для повышения энергоэффективности теплообмена при охлаждении алюминиевых слитков//Решение проблем развития предприятий: роль научных исследований: Тр. Междунар. Научно – практ. конф. – Краснодар. – 2012. – с. 65-68
2. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров. – СПб: СЗГЗТУ – 2006. – 186 с.

УДК 662.62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Даирбекова С.М., магистрант, Борисов Б.В., д.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: simba_aipet@mail.ru

В сельском хозяйстве ежегодно образуется значительное количество органических отходов, которые могут быть использованы для получения биогаза. Переработка органических отходов включает в себя подготовку сырья, очистку и непосредственно ферментации, в процессе которой происходит получение биоудобрения и биогаза.

На современном этапе развитии производства важными являются вопросы энергоэффективности. При переработке органических веществ значительное количество от получаемого биогаза затрачивается на собственные нужды. Сократить эти потери можно оптимизировав (улучшив) тепловую изоляцию метантенка и привлекая нетрадиционные, возобновляемые источники тепловой энергии. Одним из таких источников является гелиоколлектор, которые для территории, например, Южного Казахстана в достаточной мере применимы.

По результатам анализа литературных источников была сформулирована математическая модель функционирования биогазовых установках, которая включает математическое описание следующих процессов: теплообмена в биореакторе (тенке), процесс превращения органического вещества (выбрана модель с одним промежуточным продуктом летучих жирных кислот), процесс перемещения биомассы в секциях биореактора, получение тепла от гелиоколлекторов и газового котла.

Список литературы:

1. Сорокин О.А. Переработка отходов сельскохозяйственных производств биоконверсией // Промышленная энергетика, 2005, №8.
2. Осадчий Г.Б. Гелиоментантенк-реактор биогазовой установки.– Промышленная энергетика, 2006, №12
3. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки / Пер. с англ. М. Ф. Пушкарева; Под ред. Е. А. Бирюковой.–М.: Агропромиздат, 1987.– 152с.

УДК 662.62

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Демидов Д.С., магистрант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: Dmitry__demidov@mail.ru

Отечественный и зарубежный опыт создания котельного оборудования свидетельствует о том, что повышение эффективности воздухоподогревателей в котельном оборудовании является комплексной проблемой, охватывающей вопросы изыскания соотношения между теплообменом и потерями на сопротивление, вопросы экономического обоснования оптимальности выбора характеристик теплообменного устройства, вопросы удовлетворения технологическим и производственным требованиям.

В настоящее время в составе российской энергетики около 70 % котельных агрегатов изготовленны более 20-40 лет назад и обладают низкой эффективностью и надежностью. Дальнейшая их эксплуатация без реконструкции может еще больше усугубить ситуацию.

Существуют причины повреждений воздухоподогревателей. Повреждения стальных трубчатых воздухоподогревателей могут быть вызваны коррозией поверхностей нагрева, износом летучей золой газоходов, пережогом поверхностей нагрева, перетеканием воздуха в газовый тракт и присосами воздуха через неплотности обмуровки и обшивки воздухоподогревателя.

При недостаточном внимании обслуживающего персонала в период эксплуатации к поддержанию нормального избытка воздуха в топке и плотности газоходов скорость газов возрастает и износ усиливается. Причиной аварии бывает неправильный топочный режим: с дымлением и уносом в газоходы несгоревших частиц топлива и сажи образующиеся на поверхностях нагрева и своевременно не сдуваемые отложения создают очаги тления. Температура в газоходах быстро повышается, и, если не принять срочных мер, может произойти повреждение воздухоподогревателя и дымососа. При скоплении в газоходах большого количества отложений и попадании в них искры может произойти взрыв газов, приводящий к разрушению оборудования.

Таким образом, при эксплуатации котла надзор и уход за воздухоподогревателем заключается в контроле температуры газов после него, газо-

вого сопротивления и отсутствия присоса, а также в регулярной обдувке и наружном осмотре.

Для обеспечения нормальной работы воздухоподогревателей для всех видов топлив необходимо принять следующие меры:

1) не допускать загрязнения воздухоподогревателей;

2) строго соблюдать график остановок котлов для расшлаковки и очистки поверхностей нагрева, в том числе воздухоподогревателей;

3) производить уплотнение газоходов при остановах котлов на текущий ремонт и проверять плотность воздухоподогревателей;

4) обеспечить плотность компенсационных устройств (линзовых компенсаторов и других уплотнителей) и дефлекторов во время ремонта воздухоподогревателей;

5) не допускать длительной работы котла с течью экономайзеров, под которыми расположены воздухоподогреватели, во избежание их коррозии;

6) устранять газовые перекосы перед воздухоподогревателем путем установки направляющих перегородок;

7) изолировать трубные доски на горячей стороне воздухоподогревателя при температуре газов более 500ºС;

8) применять предохранительные разрезные вставки в трубы воздухоподогревателя для их защиты; в случае загорания сажи и отложений в газоходах котла немедленно принять меры по гашению топки и перекрытию дутья и тяги, заполнить газоход воздухоподогревателя паром;

9) снижение коррозии за счет использования деталей из стекла. Из коррозионно-стойких неметаллических материалов, применяемых в промышленности (фарфор, фторопласт-4, графит и др.), для трубчатых воздухоподогревателей в настоящее время используются только специальные сорта стекла. Наиболее целесообразно применять специальные термостойкие марки стекла с наименьшим коэффициентом теплового расширения. За рубежом используются трубы из боросиликатных стекол пайрекс и дюрсен-50. В стеклянных воздухоподогревателях как за рубежом, так и в РФ используются только металлические трубные доски, которые выполняются из малоуглеродистой стали или чугуна, что позволяет создать более благоприятный температурный режим.

Стоит заметить, что применение защитных покрытий эффективно, однако они довольно дорогие. Кроме того, требуется дефицитная тонколистовая сталь. Поэтому в нашей стране и за рубежом в настоящее время ведутся разработки по созданию долговечных и дешевых антикоррозионных ма-

териалов для поверхностей нагрева, которые бы полностью исключали применение стали.

Таким образом, исследование эффективности и долговечности воздухоподогревателей различных типов является необходимым условием работы всего котельного оборудования в связи с тем, что возможные неисправности в процессе функционирования воздухоподогреватели ведут к снижению КПД установки и увеличению расхода топлива, а также большим убыткам для предприятия, вызванных остановом блока для проведения ремонтных работ.

Своевременное проведение вышеназванных мероприятий по предупреждению повреждений воздухоподогревателей способно увеличить срок эксплуатации и эффективности воздухоподогревателей, и соответственно, сократить возможные расхода предприятия.

Список литературы:

1. Байрашевский Б.А. Повышение надежности трубчатых воздухоподогревателей. Теплоэнергетика, 1981. - №5. - С. 23 – 26
2. Добряков Т.О.,Мигай В.К. Назаренко В.С.,Надыров И.И. Федоров И.И. Воздухоподогреватели котельных установок. Л. ,1977.
3. Локшин В.А., Надыров И.И.,Тулин С.Н., Фомина В.Н. Усовершенствование воздухоподогревателей и устройств предварительного подогрева воздуха. В кн.: Котельные и турбинные установки энергетических блоков. М. ,1971
4. Орехов А.П. Повышение надежности работы трубчатых воздухоподогревателей / Изв. вузов: Энергетика, 1982. № 2
5. Шрайбер П.И. Повышение экономичности, надежности и долговечности регенеративных воздухоподогревателей // Тяжелое машиностроение. 1995. - №7. - С. 32 - 35

УДК 54-14.537.22

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ЁМКОСТИ ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ

Должиков А.С., Тютяев А.В., к.ф.-м.н.
Самарский государственный технический
университет, г.Самара
E-mail: tyutyaev@mail.ru

Анализ аварийных ситуаций показал, что во многих случаях происходят взрывы газопаровоздушных смесей в объеме цистерны с нефтепродуктами и причиной взрывов чаще всего являются разряды статического электричества. Специалистами ОАО "Промприбор" проведен анализ взрывов и пожаров [1], возникающих при операциях налива автоцистерн-бензовозов светлыми нефтепродуктами и сформулированы возможные причины их возникновения.

В том числен были выявлены причины взрывов, когда автоцистерны наливаются дизельным топливом, но перед этим перевозили бензин и наоборот. В таком случае необходимой частью анализа причин пожаров и взрывов при операциях слива – налива нефтепродуктов является определения фракционного состава нефтепродуктов.

Для определения состава продуктов выполнены хроматографические исследования дизтоплива и дизтоплива с бензином. Наличие летучих фракций в исследуемых резервуарах повышает вероятность их воспламенения и требует определения концентрации легколетучих нефтепродуктов.

Необходимым условием воспламенения горючей смеси является образование горючей концентрации. При неподвижном уровне жидкости концентрация в паровоздушном объёме C_S. Эта концентрация определяется давлением насыщенного пара P_S и общим (атмосферным барометрическим) давлением P_O в свободном объёме резервуара:

$$C_S = P_S / P_O .$$

Давление насыщенного пара P_S для индивидуальных жидкостей может быть найдено из справочной литературы или определено расчетным путем по формуле Антуана:

$$P_S = 10^{A - \frac{B}{C+T}} \quad ,$$

где А, В, С – константы Антуана, которые даны в справочной литературе;

Т – рабочая температура жидкости.

Можно также использовать зависимость, предложенную Сучковым В.П. [2], в которой используются рабочая температура жидкости и температура вспышки их паров в закрытом тигле (ºС):

$$P_S = \frac{\exp[6{,}908 + 0{,}433(T - 0{,}924T_{всп} + 2{,}055)]}{1047 + 7{,}48T_{всп}} .$$

Опасность образования горючей концентрации в резервуарах может быть записана в виде

$$C_{НПВ} \le C_S \le C_{ВПВ},$$

где C_S – рабочая (фактическая) концентрация паров жидкости в резервуаре;

$C_{НПВ}$ и $C_{ВПВ}$ – соответственно, нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения (распространения пламени).

Условие опасности может быть применимо для оценки возможности образования горючей концентрации в резервуарах с неподвижным уровнем жидкости, когда в них образуется насыщенная концентрация паров. Это условие остается справедливым при наполнении, если подъем уровня жидкости в резервуарах с дыхательными устройствами происходит достаточно медленно и не изменяет насыщенную концентрацию паровоздушной смеси непосредственно над зеркалом жидкости. При опорожнении таких резервуаров состояние насыщения газового пространства парами жидкости нарушается за счет поступления через дыхательную арматуру дополнительного количества воздуха. Концентрация при этом уменьшается и в процессе или завершения откачки она может быть взрывоопасной.

Таким образом, необходима достоверная модель распределения паров топлива во времени и пространстве в течение всего времени длительности операции слива-налива. Однако, процесс можно рассмотреть поэтапно: испарение и накопление паров топлива в цистерне, диффузия паров из открытой наливной горловины и вытеснение паровоздушной смеси при заполнении цистерны.

В закрытом резервуаре при состоянии термодинамического равновесия концентрация паров характеризуется давлением насыщенных паров.

Процесс диффузии паров бензина описывается нестационарным параболическим трёхмерным дифференциальным уравнением. Решение такого уравнение представляет определённые сложности и возможно только численными методами.

Однако, можно приближённо определить время установления равновесной концентрации на расстоянии r:

$$t = \frac{r^2}{D}.$$

Если $r = 2м$, $D = 0{,}008 м^2/с$ (бензин), получаем $t = 250с$.

Приведённая оценка показывает, что время выравнивания концентраций на расстоянии 2м равно примерно 4мин. Это, также означает, что при-

открытом наливном отверстии всегда найдутся области пространства цистерны в её верхней части, где концентрация паров будет взрывоопасной, несмотря на то, что концентрация в состоянии насыщения значительно превышает взрывоопасную.

Кроме того, выполненная оценка является существенно заниженной, так как при низких температурах скорость диффузионных процессов, определяющих процесс выравнивания концентраций, заметно снижается.

Список литературы:

1. http://autozapravka.com/catalog-firms/item/prompribor.html
2. Власова Е.П. Метод расчетно-аналитического исследования влияния параметров нефти и трубопроводного транспорта на процессы электризации нефти /СИ. Кицис, Е.П. Власова, А.Э. Путко// Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности.- Москва: ОАО «ВНИИОНГ», 2008.-№ 3-СЗО-34.

УДК 662.986:662.613

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УТИЛИЗАТОРОВ ТЕПЛОТЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Голдаев С.В., д. ф-м н., Дюкарев И.Е., магистрант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: Igor-Nedved11@yandex.ru

Известно, что температура уходящих газов из отопительных котлов составляет более 200...250°С, в котлах промышленных и коммунальных предприятий, не оборудованных экономайзерами, еще выше [1, 2]. Как отмечено в работе [3], снижение этой температуры менее 120°С с помощью поверхностных теплообменников экономически не оправдано. В результате входящие в состав продуктов сгорания водяные пары, объем которых достигает до 20% от объема дымовых газов, уходят в дымовую трубу и скрытая теплота, затраченная на их образование, не используется. Максимальная реализация теплоты топлива возможна при охлаждении продуктов сгорания ниже точки росы, составляющей при сжигании природного газа 50...60°С, и утилизации скрытой теплоты образования содержащихся в газах водяных паров.

Одно из направлений создания контактных газовых водонагревателей связано с разработкой контактных экономайзеров (т.е. водонагревателей, использующих теплоту уходящих продуктов сгорания) для нагрева воды

на нужды технологического и бытового теплоснабжения, приготовления подпиточной воды тепловых сетей, питательной воды котлов, а также для воздушного и низкотемпературного водяного отопления [3, 4].

Специфические особенности природного газа и продуктов его сгорания позволяют, в частности, применять контактные теплообменники, в которых газы непосредственно соприкасаются с нагреваемой водой. Такие теплообменники при приемлемых габаритах и умеренном расходе электроэнергии при эксплуатации обеспечивают охлаждение дымовых газов до 40°С и конденсацию 70...80% водяных паров, содержащихся в газах [3].

Если температура уходящих газов при номинальной нагрузке котлов составляет 120...140°С, то это соответствует потерям теплоты 5...6% при сведении теплового баланса по низшей теплоте сгорания топлива [5]. В котельных, работающих на газе, истинная потеря теплоты с уходящими продуктами сгорания (с учетом скрытой теплоты конденсации водяного пара) составляет 17... 18%. Следовательно, глубокое охлаждение до температур ниже точки росы позволяет утилизировать до 15 % теплоты, выбрасываемой с уходящими продуктами сгорания. Этот показатель будет еще выше в газопотребляющих отопительных котельных малой мощности, в которых температура дымовых газов может достигать 250.. .300°С [5].

В контактных одноконтурных теплоутилизаторах типа ЭК-БМ-1 и ЭК-БМ-2 поверхностью контакта является раздел фаз, т. е. поверхность пленки воды, стекающей по насадке и стенкам контактной камеры, а также поверхность струй, капель и брызг, образующихся при выходе из отверстий оросительных труб, и противотоке продуктов сгорания и воды. При этом может иметь место как испарение воды в газы (неэффективный режим), так и конденсация водяного пара из газов (эффективный режим). Направление и интенсивность массообмена, а значит и эффективность работы контактного теплоутилизатора при определенных начальных параметрах теплоносителей зависят от отношения расходов воды и газов [5].

В контактных двухконтурных теплоутилизаторах экономайзерный агрегат содержит дополнительно поверхностный водоподогреватель с профильными латунными трубами и декарбонизатор циркулирующей во внутреннем контуре воды. Вода внешнего контура подогревается в поверхностном водоподогревателе за счет теплоты, отбираемой от циркулирующей воды, воспринимающий теплоту при контакте с продуктами сгорания.

Двухконтурные контактные теплоутилизаторы в отличие от одноконтурных имеют практически стабильное аэродинамическое сопротивление,

независимо от расхода воды, подаваемой потребителю. Двухконтурная схема обеспечивает возможность получения конденсата, который после соответствующей обработки может быть использован для питания котлов и подпитки тепловых сетей.

Для глубокого охлаждения уходящих газов котлов применяются поверхностные теплоутилизаторы (конденсационные теплообменники). Коэффициент теплопередачи зависит от величины расхода начального влагосодержания газов, температуры и расхода нагреваемой воды и в 2...3 раза превышает коэффициент теплопередачи при «сухом» теплообмене.

Конденсационный поверхностный теплоутилизатор предназначен для нагрева уходящими газами воды системы горячего водоснабжения или отопления (при значении температуры обратной воды ниже точки росы водяного пара, содержащегося в газах).

Теплоутилизаторы повышают коэффициент использования топлива в среднем на 10% и позволяют на 10% увеличить количество потребляемой теплоты без дополнительного расходования топлива.

Для повышения экономичности водогрейных котлов типа ПТВМ и КВГМ, установленных в крупных котельных для централизованного теплоснабжения, в работе [6] рассмотрен вариант увлажнения дутьевого воздуха. В таких котлах утилизировать отходящую теплоту необходимо главным образом за счет использования теплоты конденсации паров. Показано, что применение максимально возможного по условиям горения увлажнения дутьевого воздуха в водогрейных котлах позволяет существенно уменьшить выбросы в атмосферу оксидов азота, повысить КПД котла примерно на 10...12%, а также дополнительно получить конденсат для подпитки котла и тепловой сети.

Основными вопросами, возникающими при проектировании теплоутилизаторов, являются: выбор нагреваемого теплоносителя, конструкция утилизатора и величина его поверхности.

При выборе конструкции теплообменной поверхности учитывается то обстоятельство, что: оребренные трубы компактнее, чем гладкостенные. Особенность оребренных труб заключается в том, что температура ребер выше, чем гладкой поверхности. При «сухом» теплообмене это приводит лишь к некоторому уменьшению разности температур между газами и поверхностью труб и соответственно к снижению коэффициента эффективности оребрения. В процессах охлаждения газов, сопровождающихся конденсацией паров, «цена» каждого градуса повышения температуры ребра возрастает ввиду ослабления конденсации, поэтому указанный недостаток

ребристых труб проявляется резче, и в этих условиях гладкие трубы могут составить им конкуренцию [7].

Исследование тепломассобмена при глубоком охлаждении продуктов сгорания природного газа в поверхностном теплообменнике показало, что при температуре на входе в теплообменник водяного пара, равной 150 °С, температуре стенки менее 30 °С, продукты сгорания можно охладить до 40...50 °С, не опасаясь, что пар будет конденсироваться на стенках отводящих газоходов и дымовой трубы. При этом в теплообменнике передается до 70 % теплоты от дымовых газов к пару.

Как видно, использование теплообменников в низкотемпературной области достаточно широко применяется в теплоэнергетике. Поэтому целесообразно усовершенствовать методики расчета их тепловых и конструктивных характеристик за счет привлечения современных подходов к описанию температурного напора, учета зависимости теплофизических свойств теплоносителей от температуры, численных методов решения трансцендентных уравнений и т. п. При этом анализ эффективности низкотемпературных поверхностей нагрева следует проводить комплексно, принимая во внимание тепловые, конструктивные, надежностные и экономические характеристики, а также прослеживая путь продуктов сгорания от котла до окружающей среды.

Список литературы

1. Роддатис К. Ф. Котельные установки: учеб. пособие. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
2. Краснощеков Е. А., Сукомел А. С. Задачник по теплопередаче /4-ое изд., – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
3. Аронов И. 3. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа /Изд. 2-ое, перер. и доп. – Л.: Недра, 1990. – 279 с.
4. Соснин Ю. П., Бухаркин Е. Н. Высокоэффективные газовые контактные водонагреватели /3-е изд. – М.: Стройиздат, 1985. – 325 с.
5. Гомон В. И. Пресич Г. А.. Навродская Р. А. Утилизация вторичных энергоресурсов в отопительных котельных //Водоснабжение и санитарная техника – 1990. – № 10. – С. 22 – 25.
6. Бухаркин Е. Н. К вопросу повышения экономичности экологически чистых водогрейных котлов, работающих на природном газе //Промышленная энергетика – 1994. – № 9 – С. 36 – 41.

7. Баскаков А.П., Ильина Е.В. Тепломассобмен при глубоком охлаждении продуктов сгорания природного газа //Инженерно-физический журнал. – 2002. – Т.76, №2. – С. 48 – 49.

УДК 621.316.925.1

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ТОКОПРОВОДОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 6÷10 КВ

Жантлесова А.Б., м.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: acbizh@mail.ru

В данной работе предлагается измерительный орган для релейной защиты на герконах трехфазных симметричных токопроводов напряжением 6÷10 кВ [1].

Измерительный орган содержит крепежную планку 1 (*рис. 1*), хомут 2, герконы 3, пластину 4, кожух 5 (*рис. 2*), состоящий из верхней части 6 со шкалой 7, передней части 8 с пазами 9 и боковой части 10 (*рис. 1*) с первым отверстием 11, первый стержень 12 с резьбой 13, первую ручку 14 с первой контргайкой 15, платформу 16 с ползунами 17 и отверстием с внутренней резьбой 18 (*рис. 2*), фиксирующие винты 19, пластины с герконами 20, резьбой 21, зажимы 22, болты с гайками барашками 23, крепежные ушки 24, второй стержень 25 с резьбой 26, вторую ручку 27 со второй контргайкой 28, первая штанга 29 со шкалой, вторая штанга 30 (*рис. 2*) со шкалой, продольная балка 31, крепежные зажимы 32, правильный треугольник 33 (*рис. 3*), второе крепежное отверстие 34 (рис. 1) боковой части разъемного кожуха и прямоугольное окошко 35 *(рис. 2*) на верхней его части, губки для герконов 36, градуировку 37 (*рис. 1*).

Расположение пластины 20 с герконами можно изменять вдоль длины штанги 29 со шкалой при помощи болтов с гайками-барашками 23. Штанги 29,30 прикреплены к крепежной планке 1 крепежными зажимами 32 (*рис. 3*). Перемещение геркона 3 на пластине влево или вправо (*рис. 1*) относительно токопроводов осуществляется перемещением платформы 16 по стержню 12 с резьбой 13. Количественная оценка перемещения отображается на шкале 7 верхней части кожуха 5 (*рис. 2*). Изменение расстояния между токопроводом и герконом в вертикальной плоскости достигается изменением положения кожуха 5, фиксируя крепежного ушко 24 с помо-

щью зажимов 22. Угол между горизонтальной плоскостью и продольной осью геркона изменяется ручкой 27, которая воздействует на пластину 4 с резьбой 21 и стержень 25 с резьбой 26. Количественная оценка изменения угла отображается градуировкой 37, что видно через окошко 35 верхней части кожуха 5 на платформе 16. Положение герконов на остальных плоскостях регулируются аналогично.

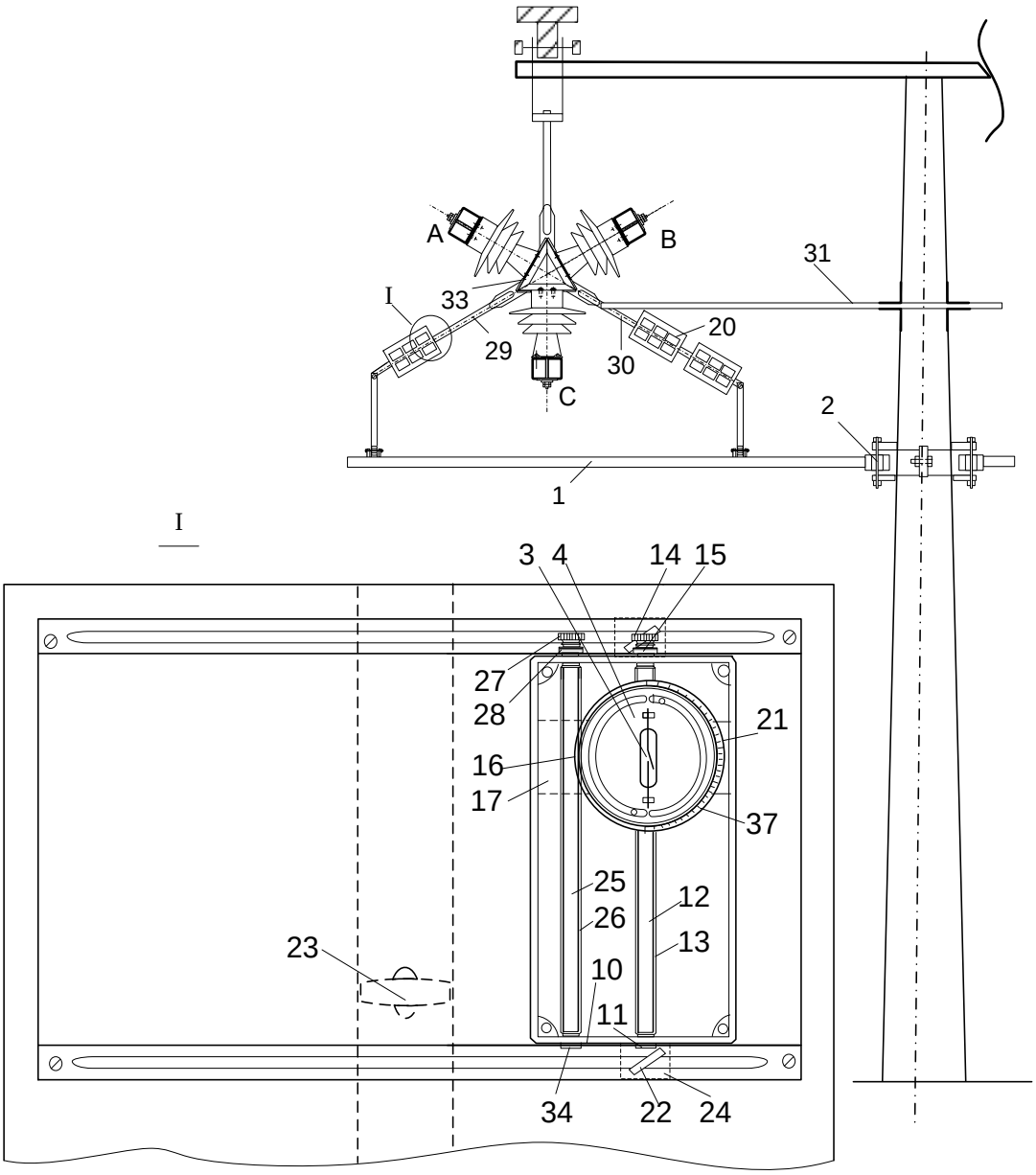


Рис. 1 – Крепление герконов к трехфазной симметричной опоре напряжением 6-10кВ

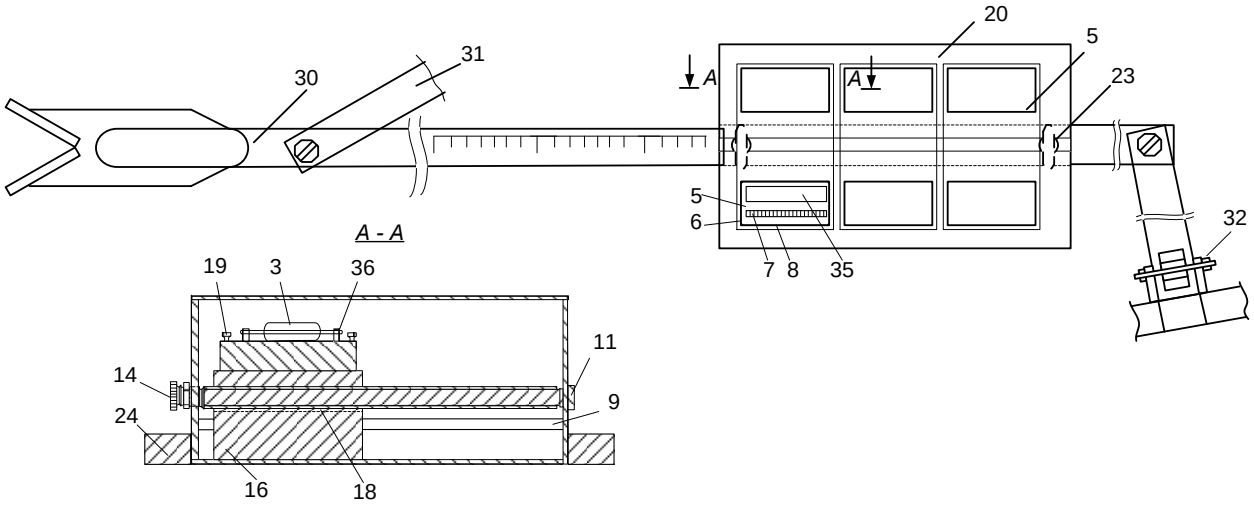


Рис. 2 - Устройство регулирования

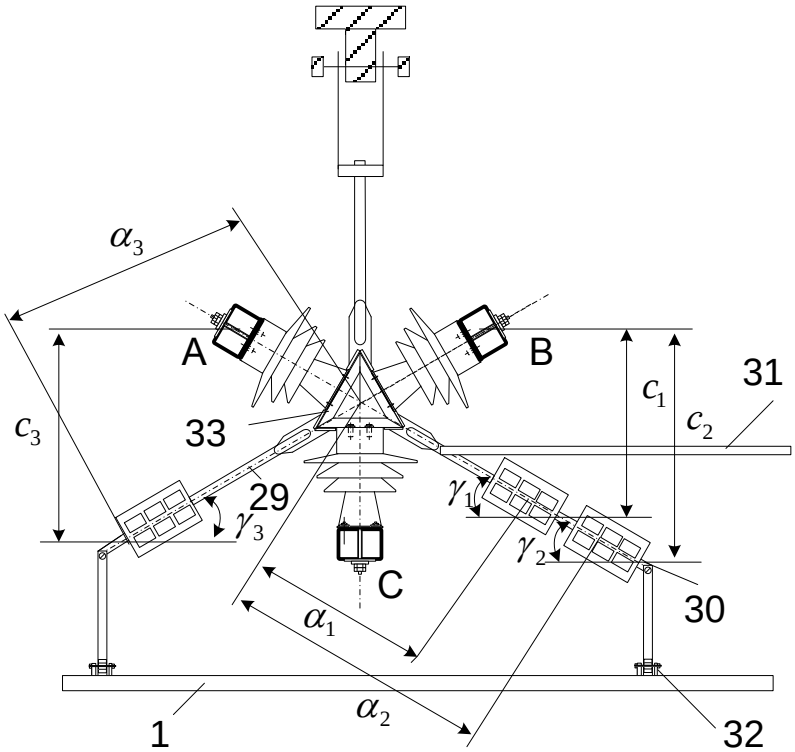


Рис. 3 – Главный вид конструкции измерительного органа

Рассмотрим, например, установку положения герконов для выполнения функций комбинированного фильтра. Для этого необходимо, чтобы координаты одного из герконов на пластине 20, расположенной между то-

копроводами фаз А и В (*рис. 3*), были: $\alpha_1 = \sqrt{3}/3$, $\gamma_1 = -30^0$, $c_1 = \sqrt{3}/3$, где α_1 – расстояние от центра О до данной пластины, γ_1 - угол между продольной осью геркона и горизонтальной плоскостью, c_1 - расстояние от токопроводов фаз А и В до данной пластины; также координаты одного из герконов на пластине, расположенной между токопроводами фаз В и С, были: α_2=2 $\sqrt{3}/3$, $\gamma_2 = 30^0$, $c_2 = 1$; и координаты одного из герконов на пластине, расположенной между токопроводами фаз А и С, были: α_3=2$\sqrt{3}/3$, $\gamma_3 = -30^0$, $c_3 = 1$. Пусть расстояние между фазами электроустановки равно один метр, а до ближайшей фазы соседней линии – 12 метров, расстояние от центра О до пластины 20 с герконами вдоль продольной оси штанги 29 устанавливаем α_1 (α_2 и α_3) метра, регулируем положение каждого из указанных герконов крепежным ушком 24 и фиксирующим винтом 19 и вращением ручки 14 стержня 12 с резьбой 13, устанавливаем платформу 16, так чтобы геркон был на c_1 (c_2 и c_3) метра от токопроводов фаз А и В (фаз В и С и фаз А и С), угол между продольной осью одного из герконов и горизонтальной плоскостью устанавливаем γ_1 (γ_2 и γ_3) с помощью ручки 27.

Технико-экономическая эффективность заключается в экономии материальных ресурсов, а именно меди и проката черных металлов, необходимых для производства трансформаторов тока, с помощью которых традиционно получают информацию о токе в защищаемом объекте и без которых позволяют обойтись защиты на герконах с предлагаемым измерительным органом.

Список литературы:

1. Предварительный патент №20265 Республики Казахстан. Измерительный орган для релейной защиты трехфазных симметричных токопроводов напряжением 6÷10 кВ // Клецель М.Я., Жантлесова А.Б., Жантлесова Б.Б., Ержанов Н.Т. Опубл. 17.11.2008 бюл. №11.

УДК 544.478:44

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ЗА СЧЁТ ДОБАВОК НАНОПОРОШКОВ

Жданова М.В., Мостовщиков А.В.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: pasembellum@mail.ru

Актуальность использования традиционных возобновляемых источников энергии связана со следующими проблемами: с ограниченными запасами нефтяных, газовых и угольных месторождений, с проблемами утилизации продуктов горения углеводородов и угля, а для атомных электростанций – с переработкой и хранением радиоактивных отходов. Поэтому актуально совершенствование традиционных возобновляемых источников энергии, среди которых практический интерес представляет использование отходов деревообработки.

В работе изучено действие добавок неорганических веществ, обеспечивающих ресурсоэффективный беспламенный каталитический режим горения, увеличивающих полноту сгорания и повышающих тепловой эффект [1]. В качестве объекта исследования были выбраны опилки березы, не содержащие смолистых веществ, наличие которых при сгорании снижает воспроизводимость. В качестве катализатора была выбрана смесь нанопорошков $\boldsymbol{Fe_2O_3}$ и $\boldsymbol{MnO_2}$. Для изучения влияния катализатора использовали 4 параметра химической активности горючих веществ [2]. Нагревание опилок проводили в ячейке термоанализатора SDT Q600 НАЦ ТПУ.

В результате проведенных исследовании установлено, что оптимальное содержание катализатора составляет 1,5-2,0 мас. % в смеси, при этом тепловой эффект от сгорания увеличивается на 17 %.

Список литературы:

1. Жданова М.В., Мостовщиков А.В. Зависимость состава газообразных продуктов от режимов горения древесных опилок // Новые материалы, химические технологии и реагенты для промышленности, медицины и сельского хозяйства на основе нефтехимического и возобновляемого сырья: Материалы Всероссийской научно-практ. конф. с международным участием. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2011. – С. 91-94.
2. Ильин А.П., Яблуновский Г.В., Громов А.А. Об активности порошков алюминия // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37. - №4. – С. 58-62.

УДК 662.613

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НАНОПОРОШКОВ НА СОСТАВ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Жданова М.В.
Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: genchem@mail.ru

В настоящее время актуальна проблема использования возобновляемых источников энергии в связи с ростом потребления энергетических ресурсов и истощением запасов нефти, газа и каменного угля. Одним из направлений является использование древесных опилок [1]. Процесс их горения можно регулировать с помощью различных добавок, при этом повышая энергоэффективность данного процесса. Обычное сжигание не позволяет сделать этот процесс энергоэффективным и снизить содержание примесей вредных газов, загрязняющих атмосферу. В качестве объекта исследования были выбраны опилки березы. Исследование процессов, протекающих при нагревании опилок проводили с помощью совмещенного ТГА/ДСК/ДТА анализатора Q 600 STD, совмещенного с масс-спектрометром (Научно-аналитический центр ТомПУ). При нагревании опилок в ячейке термоанализатора температура начала окисления составляла 187,5 °С. В условиях линейного нагрева 10 °С/мин при температуре интенсивного выделения теплоты опилки самовозгорались. При дальнейшем нагревании до 380 °С горение переходило в объем обугленных частиц: процесс носил интенсивный характер тепловыделения, который завершался, согласно теромогравиметрической кривой (ТГ), при 435 °С. При нагревании опилок в воздухе температура их самовозгорания определяется началом интенсивного тепловыделения (DTA-зависимость). При нагревании опилок без добавок эмиссия H_2O^+ наблюдалась при 325 °С, эмиссия CO_2^+ при 388 °С. Нагревание смеси опилок с катализатором (MnO_2 : Fe_2O_3 = 1 : 1) привело к эмиссии N_2^+ при 60°С; CO_2^+ – при 313 и 410 °С, H_2O^+ – при 344 °С. Таким образом, в присутствии катализатора (3 мас. %) изменился состав газообразных продуктов, и увеличился тепловой эффект на 17 % в сравнении с тепловым эффектом сгорания опилок без добавок.

Список литературы:

1. Парфенов В.И. Утилизация отходов лесной промышленности. М.: Уральский рабочий, 1993. – 59 с.

УДК 621.128

ПОДАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ТОПОЧНЫХ ГАЗАХ

Жуйков А.В. аспирант

Политехнический институт СФУ, Красноярск
E-mail: a.v.zhuikov@mail.ru

В настоящее время человеческая цивилизация столкнулась с рядом глобальных экологических проблем. Одной из важнейших задач, стоящих перед учеными и специалистами является решение проблемы загрязнения городов, в которых проживает основная часть населения. Основу систем теплоснабжения городов России составляют предприятия тепловые электрические станции, котельные, степень воздействия которых на атмосферу не одинакова и зависит от типа и мощности теплоисточника, характеристик топлива, наличия или отсутствия установок для очистки дымовых газов и других факторов. При сжигании органических топлив на электростанциях, котельных в атмосферу городов выбрасывается большое количество вредных ингредиентов. Среди них главное место занимают выбросы оксидов азота (NO_x). Количество образующихся оксидов азота зависит от характеристик топлива, режимных и конструктивных параметров топочной камеры. Поэтому на стадии проектирования или реконструкции котлов необходимо провести расчет ожидаемых выбросов оксидов азота и предусмотреть меры по снижению их до величин, не превышающих нормативы удельных выбросов NO, в атмосферу.

Содержание NO_x в дымовых газах котлов при сжигании иршабородинских углей находится в пределах 400-500 мг/м^3 (ГОСТ Р50831-95). Эти и другие литературные данные показывают, что основными факторами, влияющими на образование NO_x являются: температура пламени, концентрация кислорода в зоне горения, время пребывания продуктов сгорания в зоне высоких температур. Эти факторы в свою очередь определяются коэффициентом избытка воздуха, конструкцией горелочных устройств, аэродинамикой процесса горения, условиями теплообмена и т.д.

Анализируя изложенное применительно к котельной ООО «КраМЗЭнерго» г.Красноярска с котлами БКЗ-75-39ФБ можно сказать, что на первом этапе добиться снижения выбросов вредных веществ можно, если в топке котла осуществить низкотемпературный двухступенчатый вихревой топочный процесс. Осуществить его можно довольно простой реконструкцией котла. Была организована подача воздуха в устье холодной воронки через сопло нижнего дутья и сохранено заднее дутье, что наглядно показано на рисунках 1 и 2.

Основное отличие предлагаемого способа от классической схемы заключается в том, что эффект снижения температуры топочных газов получен за счет воздействия двух факторов. Во-первых, созданием в топочном объеме турбулентных пульсаций с большой глубиной зоны перемешивания за счет взаимодействия струи топливно-воздушной смеси с плоской струей вторичного дутьевого воздуха, направленного под углом к аксиальной оси факела. Такое взаимодействие привело к размыванию факела по объему топки и созданию циркуляционных потоков, включивших в работу объем «холодной воронки» топочной камеры. В процессе перераспределения факела температура его ядра уменьшилась, что повлияло на выход оксида азота. Второй фактор связан с обдувом устья факела потоком газа из холодной воронки, когда газ из «холодной воронки» охлаждает начальный участок факела. Такое взаимодействие кроме гидродинамической нестабильности приводит к нестабильности, обусловленной эффектом термоэмиссии, сопровождающимся возникновением турбулентных вихрей значительно меньших размеров, заполняющих циркуляционные потоки в объеме топки. Известно, что такие потоки обладают хорошей устойчивостью и частицы топлива могут многократно циркулировать в объеме топочной камеры. Подвод окислителя и отвод продуктов реакции горения в данном случае более эффективен, чем в традиционной схеме, поэтому при использовании предлагаемого способа ухудшения полноты сгорания не наблюдается [1, 2].

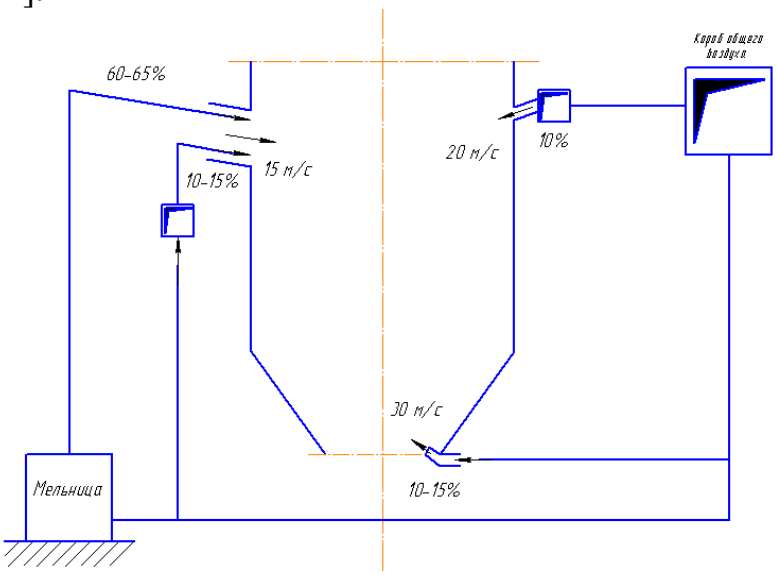


Рис. 1. Организация низкотемпературного ступенчатого топочного процесса в котле БКЗ-75-39ФБ

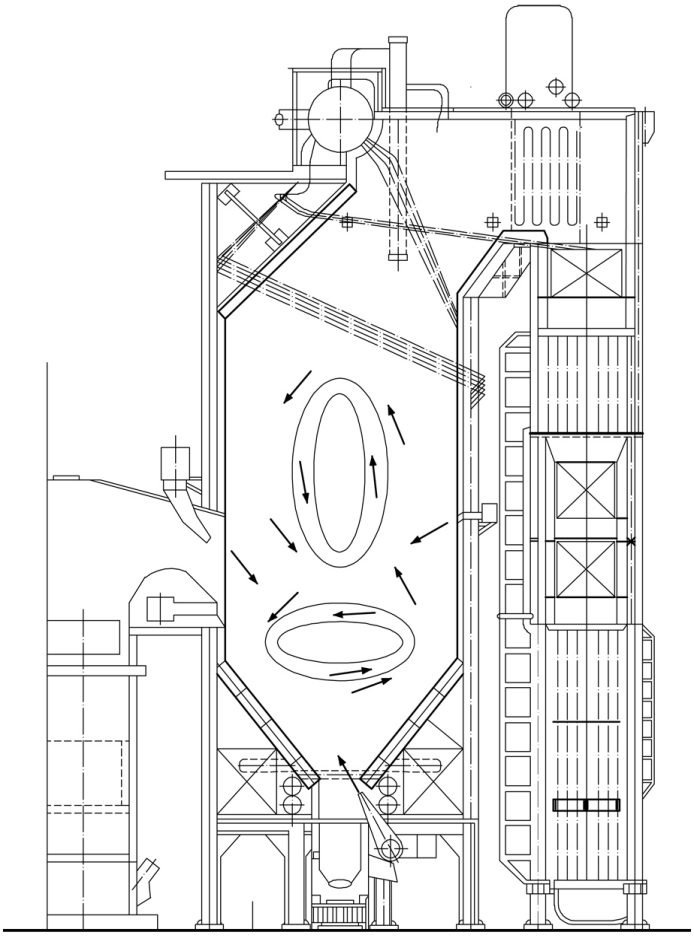


Рис. 2. Поперечный разрез котла БКЗ-75-39ФБ после реконструкции

Для определения затрат на реконструкцию котла мы определяем величину необходимых капитальных вложений, включающих в себя капитальные вложения на составление проекта работ, а так же сметную стоимость. На составление проектных работ закладываем 100 тыс. руб.

Сметная стоимость составляет 159,8 тыс.руб. Она состоит из сметной стоимости строительных работ, сметной стоимости оборудования и монтажных работ.

Капитальные вложения (без НДС), необходимые нам для реконструкции одного котла, составляют:

К=Кпр+Ксм=100000+159800=259,8 тыс. руб

Итого: затраты на реконструкцию (с НДС) - 306,6 тыс. руб

Выводы:

1. Внедрение новой организации топочного процесса подавляет образование оксидов азота на 25÷40 %. и уменьшает их содержание в дымовых газах котла БКЗ-75-39ФБ.
2. В целом новая организация топочного процесса на котле БКЗ- 75-39ФБ не привела к побочным негативным результатам (шлакованию топочных экранов, недопустимому повышению температуры газов на выходе из топки и потерь теплоты от механической неполноты сгорания топлива).
3. Проведенная реконструкция котла БКЭ-75-39ФБ благоприятно отразилась на эксплуатации котла. Отпала проблема с золой, выпадающей в шлаковый комод, не увеличилось загрязнение поверхностей нагрева, снизились вредные выбросы в атмосферу.
4. Главным достоинством предложенного метода подавления оксидов азота является его невысокая стоимость (по сравнению с известными методами очистки газов от NO_x), а также возможность быстрого применения его на действующих котлах.

Список литературы:

1. Жуйков А.В., Кулагин В.А., Радзюк А.Ю. Способ уменьшения выбросов оксидов азота от котла БКЗ-75-39ФБ, работающего на ирша-бородинских углях – Промышленная энергетика, 2011, №8. С. 9-11
2. Пат. № 116203 Российская Федерация, МПК7 F23C 5/24 Низкоэмиссионная вихревая топка / А. В. Жуйков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет». – 20111449438/06; заявл. 05.12.11; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВ

Жумабаева Н.Б.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: soy_feliz@list.ru

Применение мазута на ТЭС и котельных в качестве основного и резервного топлива требует поиска эффективных способов энергосбереже-

ния в мазутных хозяйствах, а также проведения дополнительных мероприятий по охране окружающей среды от последствий использования мазута.

Мазутное хозяйство (МХ) ТЭС (или котельной) предназначено для приема, хранения, подготовки и подачи мазута в котельную. Как правило, он поступает на ТЭС в железнодорожных цистернах. По нормативной технологии сливаемый из них мазут перед подачей в форсунки котла необходимо сначала разогреть в цистерне, затем в приемных лотках и емкостях, далее в ОР мазутохранилища и, наконец, в кожухотрубчатых подогревателях мазута (ПМ).

Анализ результатов испытаний натурных объектов МХ ТЭС убеждает в том, что для разогрева мазута необходимы чрезвычайно большие энергозатраты. Нормативный расход пара на МХ ГРЭС мощностью 2 400 МВт в холодный период года составляет 218 т/ч, причем на разогрев и слив мазута — 126 т/ч. Снижение расхода пара на 1 % равнозначно экономии 1000 т мазута в год. В частности, значительные потери энергии вызваны предварительным подогревом и непрерывным поддержанием нормативного диапазона температур мазута 60...70 °С – в процессе его хранения (и при отборе на котел) в ОР мазутохранилища ТЭС, резервуарах промышленных и отопительных котельных.

По Нормам технологического проектирования тепловых электростанций и тепловых сетей запас топлива должен обеспечить 15-суточную работу электростанции при номинальной нагрузке, поэтому на мощных газомазутных ГРЭС и ТЭЦ емкости мазутных складов достигают 250 тыс. т и более, а длительность хранения мазута, когда он является резервным топливом, иногда составляет 6 мес. Возможное в перспективе сооружение базовых мазутохранилищ с аварийным запасом топлива для ряда электростанций может привести к увеличению как запасов мазута, так и продолжительности его хранения, что неизбежно будет сопровождаться резко возрастающими потерями тепла от ОР мазута. Экспериментальные данные показывают, что при хранении мазута в обвалованных железобетонных резервуарах при температуре 60...70 °С годовые потери тепла составляют 630...880 МДж. Суточные потери тепла стального теплоизолированного резервуара вместимостью 10 000 м^3 достигают 16,7 ГДж (при температуре атмосферного воздуха $t_в$ = - 9 °С), или в среднем 60 Вт/м^2. Таким образом, потери тепла от одного резервуара эквивалентны работе 3 100 шт. осветительных ламп накаливания мощностью 60 Вт каждая. При охлаждении основных резервуаров вместимостью 2000 м^3 при $t_в$ = - 20,4 °С потери составляют 97 Вт/м. Значительны также потери тепла через кровлю ОР: зи-

мой они составляют 60 % общих потерь тепла резервуара. Циркуляционный подогрев мазута в ОР ТЭС, широко применяемый в МХ, имеет существенные недостатки с точки зрения затрат энергии. Результаты испытаний показали, что этот вид подогрева создает однородное температурное поле в объеме мазута. Следовательно, вблизи стенки резервуара поддерживается значительный температурный напор мазут – воздух, приводящий к более значительным потерям тепла в окружающую среду по сравнению, например, с потерями при подогреве мазута с помощью внутрирезервуарных подогревателей. При циркуляционном подогреве затраты мощности на перекачивание мазута по циркуляционному контуру также довольно существенны. Если использовать данные ВТИ по подогреву мазута в цистернах, тогда согласно приближенной оценке, можно отметить, что расход пара при циркуляционном подогреве мазута в резервуаре в 2 раза больше, чем при его разогреве посредством внутрирезервуарных подогревателей.

Местные подогреватели мазута (в зоне отбора) в ОР ТЭС и котельных наиболее экономичны (по сравнению с общерезервуарными и внешними), так как уменьшают потери тепла с поверхности резервуара. Однако при использовании внутрирезервуарных подогревателей необходима интенсификация теплоотдачи со стороны мазута.

Пока остается нерешенной проблема расширенного внедрения электроподогрева при эксплуатации МХ ТЭС и котельных. Промышленные испытания, проведенные специалистами ВТИ, показали, что для газомазутных ТЭС наиболее эффективен электроподогрев резервуаров и мазутопроводов. Коэффициент полезного действия использования располагаемой энергии при электроподогреве в 3 раза выше, чем при подогреве паром. Этот процесс легко автоматизировать, он прост в регулировании и обеспечивает мгновенный переход ТЭС от одного вида топлива к другому. Электроподогрев полностью исключает обводнение мазута, которое существенно снижает КПД котлов.

По-прежнему, актуальна проблема недогрева мазута в ПМ перед котлом. Для обеспечения номинальной работы основных мазутоподогревателей очень важно выдерживать нормативные параметры пара, используемого для подогрева мазута. Нередко на ТЭС допускается подача на подогреватели пара с пониженными параметрами. Так, снижение температуры пара приводит к недогреву мазута. Для необходимого подогрева последнего приходится устанавливать дополнительные подогреватели, т.е. увеличивать поверхность нагрева и соответственно повышать расход пара. Если

исключить рост капитальных затрат, связанных с установкой дополнительных подогревателей мазута, то, как выяснилось при энергоаудите одной из ТЭЦ г. Казани, необходимая температура мазута перед котлом достигается вынужденным перегревом мазута (по сравнению с нормативом) в ОР до уровня предельно допустимых температур (90°С). Очевидно, что при этом резко увеличиваются (по сравнению с проектными) потери тепла от резервуаров. Например, при температуре атмосферного воздуха 0°С они повышаются в 1,5 раза.

При неудовлетворительной работе конденсационных горшков из ПМ выходит не конденсат, а пароводяная смесь. В результате скрытая теплота парообразования не используется полностью, что также вызывает значительные потери тепла. Для удержания заданной температуры подогрева мазута и в этом случае приходится увеличивать расход пара.

Высокий уровень нормативных температур в ОР мазутного хозяйства ТЭС и котельных приводит к существенным потерям мазута (до 0,3...9,6% объема резервуара в год) и к сильной загазованности атмосферного воздуха из-за испарения мазута со свободной поверхности топлива в резервуаре («дыхание» резервуара). На основе анализа проблем, связанных с использованием нормативной технологии эксплуатации мазутного хозяйства ТЭС (и котельных) и соответствующих этой технологии потерь тепла, необходимо сделать следующие замечания:

- нормативные документы, регламентирующие режимы эксплуатации мазутного хозяйства ТЭС в настоящее время, разработаны десятки лет тому назад; как выполнение этих документов, так и создание основного парка действующего энергооборудования относятся к эпохе относительно дешевого топлива;
- низкая экономичность оборудования и энергорасточительность существующей технологии хранения и подготовки мазута к сжиганию в котлах в определенной мере объясняются именно этим обстоятельством;
- иррациональность существующего способа хранения мазута в ОР не вызывает сомнений специалистов-энергетиков с позиции современных оценок – огромные потери тепла в рассматриваемом случае не могут быть оправданны при нынешних общепринятых взглядах на экономию энергоресурсов и защиту окружающей среды.

В настоящее время, когда во всех странах энергосбережение возведено в ранг государственной политики, необходимы всемерное совершен-

ствование технологии хранения мазута на ТЭС и в котельных и модернизация существующего оборудования.

Работа выполнена при поддержке гранта президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Ляндо И.М. Эксплуатация мазутного хозяйства котельной промышленного предприятия. М.: Энергия, 1968.
2. Белосельский Б.С, Соляков В.К. Энергетическое топливо. М.: Энергия, 1980.
3. Ляховецкий М.С. Некоторые резервы экономии жидкого топлива в мазутном хозяйстве ТЭС// Электрические станции. 1985. №7. С. 55-58.
4. Дульцев В.И. Снижение расхода тепла на подготовку мазута к сжиганию // Энергетик. 1985. № 9. С. 20—25.
5. Емелин Ж.А. Хранение мазута в резервуарах без подогрева // Энергетик. 1985. № 10. С. 15—18.
6. Карпов В.В., Вязовой С.К., Емелин Ж.А. Опыт холодного хранения мазута // Энергетик. 1975. № 4. С. 25—28.
7. Исследование возможности длительного хранения мазута без подогрева в резервуарах большой емкости / З.И. Геллер, З.Г. Фила-новский, А.К. Пименов и др. // Электрические станции. 1972. № 5. С. 32—35.
8. Гришкова А.В., Красовскнй В.М., Белоглазова Т.Н. Оценка рентабельности энергосберегающих мероприятий при совершенствовании теплоизоляции ограждающих конструкций // Промышленная энергетика. 2001. № 6. С. 57—60.
9. Паули В.К., Сидоров СБ. Основные положения организации внутреннего аудита деятельности энергопредприятий // Энергетик. 2000. № 5. С. 37—40.

УДК 662.62

ОБЪЕМНАЯ КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОГАЗОВОГО ПОТОКА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ.

Жусупбеков Ж.Ж., магистрант, Юхнов В.Е., д.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
e-mail:Jenisbek_@mail.ru

Конденсация представляет собой процесс перехода пара (газа) в жидкое или твердое состояние (фазовый переход первого рода). Конденсация пара часто встречается на практике. В конденсаторах паровых турбин пар конденсируется на охлаждаемых трубах; конденсация пара осуществляется

в опреснительных установках и многочисленных теплообменных аппаратах. Выделение при фазовом превращении теплоты неразрывно связывает процесс конденсации пара с теплообменом. Процесс конденсации возможен только при докритических состояниях газа (пара) и может быть осуществлен путем его охлаждения или в результате такого сжатия, чтобы при достигнутых значениях температуры и давления конденсированная фаза была термодинамические более устойчивой, чем газообразная. Если при этом температура и давление больше их значений, соответствующих тройной точке для данного вещества, то образуется жидкая конденсированная фаза, если меньше – пар переходит в твердое состояние.

Целью диссертационной работы является исследование влияния содержания газа на процесс конденсации пара из неподвижной парогазовой смеси на горизонтальной трубке конденсатора.

По результатам анализа литературных источников была разработана математическая модель движения парогазовой смеси в канале горизонтальной трубе. Математическая модель использует трехмерную цилиндрическую систему координат и также граничные условия первого рода. Применив некоторые допущения задача была упрощена. В настоящее время задача решается аналитический и числовым методом, в частности методом конечных разностей.

Литература

1. Бродов Ю.М. К инженерному тепловому расчету конденсаторов паровых турбин // Теплоэнергетика.1981.Т. , №7.С. 57–60.
2. Авдеев А.А. , Зудин Ю.Б. Влияние скорости пара на теплообмен при конденсаций в случае поперечного обтекания горизонтального цилиндра. Теплоэнергетика. 2011.№4, С. 24–26.
3. Денисов Э.П. Вид эмпирических зависимостей характеристики конденсационной установке. // Теплоэнергетика. 2007.№11, С. 62–65.
4. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1997. №9,
5. С. 10– 12.
6. Ковалевский В.П. Термодинамическая эффективность конденсационных схем бинарных ПГУ с газовым подогревом циклового воздуха Теплоэнергетика 2011. №9, С. 45–49.
7. Берман А.Д. К инженерному тепловому расчету конденсатров паровых турбин // Теплоэнергетика 1975.№10 С. 34– 37
8. Берман А.Д., Туманов Ю.А. Исследование теплоотдачи при конденсаций движущегося пара на горизонтальной трубе. // Теплоэнергетика 1962. №10, С. 77-83.

9. Литаврин О.Г., Денисов Э.П. Результаты комплексного исследования возможностей совершенствования конденсатров паровых турбин Судостроение. 1997. №2. С. 23–26.

УДК 536.423.4:533/532.551

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ИЗ ПАРОГАЗОВОГО ПОТОКА В ТРУБЕ КОНДЕНСАТОРА

Жусупбеков Ж.Ж., Юхнов В.Е.
Томский политехнический университет

С объемной конденсацией часто связывают образование в природе тумана, в разнообразных производственных процессах мельчайших капель жидкости взвешенных в газе представляющих собой аэрозоль. Специфические свойства аэрозолей обусловлены тем, что мелко измельченные вещества имеют большую относительную поверхность, вследствие чего повышается роль поверхностной энергии распыленного вещества. Применение аэрозолей в фармакологии, химической промышленности, на транспорте в виде топлива является достаточно эффективным решением многих практических задач, а в других случаях они создают большие затруднения и поэтому образование их является нежелательным процессом. Теория его возникновения [1–3] достаточно хорошо описана, но в ряде отраслей, например, в большой энергетике в виду специфики производства она не нашла широкого применения для решения практических задач. Однако, в настоящее время прогнозирование и контроль параметров энерготехнологических процессов, в которых образуется аэрозоль, требует детальных теоретических исследований связанных с развитием энергосберегающих и совершенствованием ресурсоэффективных технологий в малой энергетике и промышленности.

В данной работе на основе предложенной физической модели образования конденсационного аэрозоля в горизонтальном канале конденсатора сформулирована математическая постановка задачи тепломассообмена для установившегося движения потока парогазовой смеси глицерина и воздуха в круглой трубе. В результате решения задачи получены аналитические зависимости описывающие изменение скорости движения потока, его температуры, концентрации пара глицерина в зависимости от радиальной координаты. На основе этих параметров установлена величина отношения

парциального давления пара к давлению его насыщения в любой координате рассматриваемой области. Превышение величины этого отношения выше критического значения для заданных начальных условий является началом процесса объемной конденсации и сопровождается образованием частиц жидкости взвешенных в газе. Установлено влияние радиуса трубы конденсатора на образование капель жидкости. На рис.1 изображены результаты моделирования профиля облака аэрозоля глицерина в пяти каналах различного радиуса при температуре стенки T_w=300 К и парогазовой смеси на входе в канал T_0=350 К.

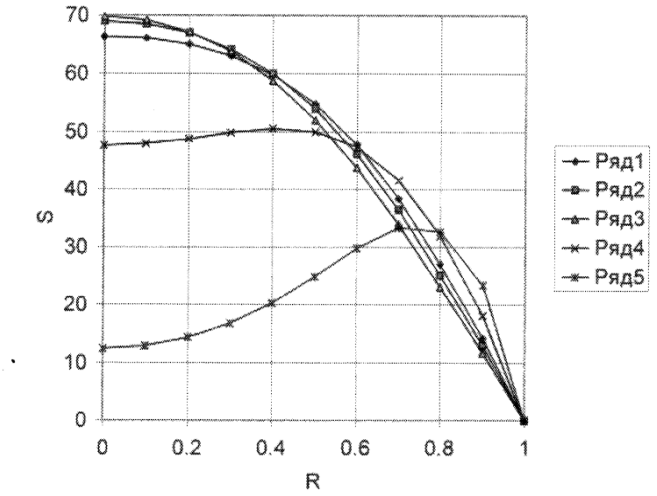


Рис.1. Зависимость пересыщения S в канале от его безразмерного радиуса $R=r/r_0$: 1 – $r_0=6\cdot10^{-3}$ м; 2 – $r_0=1\cdot10^{-2}$ м; 3 – $r_0=2\cdot10^{-2}$ м; 4 – $r_0=3\cdot10^{-2}$ м; 5 – $r_0=4\cdot10^{-2}$ м

Как видно с уменьшением диаметра канала изменяется характер распределения пересыщения по поперечному сечению канала, в частности, если при больших диаметрах возможны режимы с максимальным пересыщением вблизи стенок канала, то для небольших диаметров имеет место значительное снижение пересыщения в начальных сечениях канала, причем максимальное его значение наблюдается на оси канала. Согласно полученным данным имеет место такой оптимальный радиус $r_0^{опт}=2\cdot10^{-2}$ м при котором максимальное пересыщение имеет наибольшую величину.

Разработанная математическая модель процесса объемной конденсации пара из парогазового потока в трубе конденсатора позволит обоснованно подойти к разработке лабораторной установки для получения аэрозоля жидкостей и дальнейшего экспериментального исследования их характеристик, а так же к совершенствованию энергоэффективных техноло-

гий создания высокодисперстных потоков жидкостей для химической промышленности и энергетики.

Список литературы

1. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР. – 1961. – 159 с.
2. Дерягнн Б.В. Аэрозоли (дымы и туманы). – М.: Знание. – 1961. – 32 с.
3. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. – М.: Химия. – 1966. – 296 с.

УДК 536.468

ЗАЖИГАНИЕ СУХИХ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

Захаревич А.В., Мошков А.Г., магистрант
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
bet@tpu.ru

Введение.

В последние десятилетия, несмотря на повышенное внимание к безопасности современных производств и технологических процессов со стороны органов технического надзора всех государств мирового сообщества, увеличивается число происшествий, малых и крупных аварий, техногенных катастроф. Источники зажигания, встречающиеся в производственных и природных условиях, а также в быту, весьма разнообразны как по запасу энергии, так и по природе своего происхождения. Отходы деревообрабатывающих производств с одной стороны являются достаточно перспективными энергоносителями [1], но с другой стороны представляют собой пожароопасные материалы [2]. Возможны различные сценарии возгорания таких отходов, наиболее опасными из которых являются, скорее всего, древесные сухие опилки.

Целью настоящего исследования является установление по результатам экспериментальных исследований зависимости времени задержки зажигания диспергированной древесины от начальной температуры частиц металла, а также выделение предельных условий зажигания исследовавшегося материала.

Результаты экспериментальных исследований.

Исследования проводились на экспериментальной установке [3] по методике [4]. Опилки сосны с характерными размерами 0,5-1 мм, соответствующими отходами типичного лесопильного технологического процесса, предварительно в течение длительного времени высушивались до полного удаления влаги. Затем навеска исследовавшегося материала (≈ 20 г) помещалась в стеклянную емкость [5] малых размеров таким образом, чтобы толщина слоя диспергированной древесины составляла 3-3,5 мм на площади около 10 см^2. Нагрев частиц стали диаметром $d = 6\cdot10^{-3}$ м и толщиной $h = 3\cdot10^{-3} \div 7\cdot10^{-3}$ м проводился аналогично [3-5]. Затем частица, нагретая до запланированной температуры, сбрасывалась из камеры нагрева на поверхность слоя древесины. Для обеспечения достоверности результатов измерений проводилась серия опытов 5÷7 раз подряд при одинаковых условиях. Регистрация времени задержки зажигания проводилась аналогично [3,4]. Кривые построены в результате аппроксимации экспериментальных данных. Аппроксимационные зависимости получены методом наименьших квадратов. Систематическая погрешность определения τ_{ind} не превышала ± 1,5 %. На рисунке 1 приведены полученные в проведенных экспериментах значения τ_{ind}. Сравнение полученных зависимостей $\tau=\tau(T_ч)$

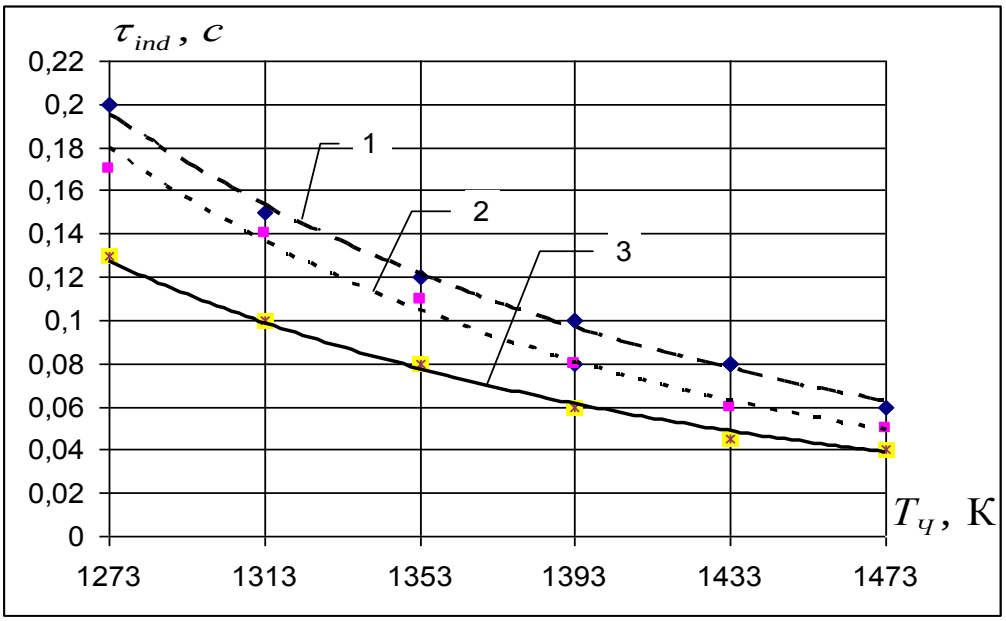


Рис.1. Экспериментальные зависимости времени задержки зажигания опилок из сосны от начальной температуры частицы (1 – металлическая частица d = 6·10^{-3} м, h = 3·10^{-3} м ; 2 – металлическая частица d = 6 10^{-3} м, h = 5·10^{-3} м; 3– металлическая частица d = 6 10^{-3} м, h = 7·10^{-3} м).

с аналогичными, полученными для жидких топлив (например, дизельного топлива [3]), показывает существенно меньшее рассеяние экспериментальных значений τ_{ind} древесины при фиксированных начальных температурах частиц. Абсолютные значения времен задержки зажигания опилок незначительно отличаются от аналогичных значений для дизельного топлива [3]. Этот результат обусловлен, возможно, сочетанием ряда факторов. Первый – существенно меньшая скорость поступления горючего во внешнюю среду окислителя – воздух по сравнению с парами – продуктами испарения жидких топлив. С другой стороны на газификацию древесины затрачивается много меньше энергии по сравнению с жидкими горючими веществами и температура пиролизных газов существенно выше температуры продуктов испарения любых жидких топлив. В итоге концентрация горючих газов в воздухе при термическом разложении древесины меньше, чем при испарении жидких топлив. Но температура этих газов играет большую (по сравнению с концентрацией) роль в связи с характером зависимости Аррениуса скорости химических реакций от температуры и концентрации.

Необходимо отметить, что предельными температурами зажигания для всех рассматривавшихся в экспериментах размеров частиц соответствовали значения 1273 К. Эти температуры соответствуют диапазону нагрева частиц, образующихся при сварке и резке металлов в реальных технологических процессах. Поэтому можно сделать вывод о высокой пожарной опасности технологических процессов, прямыми или косвенными продуктами которых являются мелкодисперсные отходы древесины, при возможном воздействии частиц металлов, образующихся при сварке или резке металлических конструкций.

Полученные результаты также позволяют сделать заключение и о пожарной опасности технологий быстрого пиролиза, рассматривающихся в последние годы как весьма перспективные технологии термической конверсии древесной биомассы с целью получения биогаза и биотоплива (моторного и твердого) [6]. Продолжительность пребывания частиц древесины в камерах реакторах быстрого пиролиза составляет не более двух секунд при температуре поверхности реактора до 875 К [1]. В этих диапазонах изменения температур и времени зажигание диспергированной древесины не происходит, как показали эксперименты. Следовательно, технологии быстрого пиролиза древесины [1] при указанных выше ограничениях по времени и температуре технологического процесса можно считать пожаробезопасными.

Заключение.

Экспериментально исследовано зажигание диспергированной древесины одиночными, нагретыми до высоких температур металлическими частицами фиксированных размеров. На основании результатов проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод об устойчивом зажигании древесных опилок одиночными частицами нагретыми до температуры более 1273 К. Установлено, что время задержки зажигания опилок незначительно отличаются от аналогичных значений для дистиллятного топлива. Полученные результаты также позволяют сделать выводы о высокой пожарной опасности технологических процессов продуктами которых являются мелкодисперсные отходы древесины.

Список литературы.

1. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник : в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Пожнаука, 2004.
2. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание дизельного топлива одиночной «горячей» металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008 – Т. 17, № 4. – С. 28–30.
3. Захаревич А.В., Кузнецов В.Т., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. 2008. Т. 44, №5. С. 10-15.
4. Захаревич А.В., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. О механизме зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность, 2008 – т. 17, – № 5. – С. 39-42.
5. Кузнецов Г. В., Стрижак П.А. Зажигание накаленной одиночной частицей жидких углеводородных топлив //Известия Томского политехнического университета, 2008. - т.312 - № 4. Энергетика. - с. 5-10.

УДК 536.468

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЖИГАНИЯ БУРОГО УГЛЯ ОДИНОЧНОЙ НАГРЕТОЙ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦЕЙ

Захаревич А.В., Огородников В.Н., магистрант
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
bet@tpu.ru

Введение

Знание пожаровзрывоопасных свойств веществ является основой инженерных методов обеспечения безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования, безопасности людей. Эти данные необходимы для разработки мер предотвращения возникновения пожаров и взрывов, а также для оценки условий их развития и подавления.

За 150 лет статистических наблюдений из недр Земли извлечено 33 % экономически доступной части разведанных запасов нефти, 14% газа и 9% урана, но только 4% углей[1]. Также в перспективе реальные источники нефти и газа перемещаются в труднодоступные районы, в зоны северных морей. Это вызывает многократный рост затрат, необходимость применения новых дорогостоящих технологий. Соответственно доступность эффективных энергоресурсов станет определять развитие антропогенной энергетики в ближайшее десятилетия. Исходя из этого, вопросы энергосбережения и энергоиспользования на промышленных предприятиях приобретают актуальное значение в связи с высокой стоимостью мазута, природного газа и твердого топлива, поэтому должны разрабатываться и реализовываться мероприятия по сокращению расходов топлива и теплоты на действующем и вновь проектируемом энергетическом и технологическом оборудовании с целью обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции. Соответственно исследование процессов, протекающих при горении пылеугольного факела в топках котлов ТЭС – одна из наиболее актуальных проблем современной теплофизики [2].

Целью работы является экспериментальное исследование основных закономерностей и процессов зажигания угольной пыли одиночными нагретыми до высоких температур частицами.

Результаты экспериментальных исследований.

Исследования проводились на экспериментальной установке [3] по методике [4]. Исследованное топливо: Уголь бурый Шивэ – Овооского месторождения Монголии. Проведенные эксперименты показали, что воспламенение угля происходит непосредственно при контакте частицы с поверхностью угольной пыли при температуре частицы более $1040\,^{\circ}C$. Если $T_ч$ меньше этой величины, то воспламенения не происходит. Дальнейшее повышение $T_ч$ обеспечивает безусловное воспламенение угольной пыли. При этом время воспламенения составляет не менее 0.02 *с* при любом значении $T_ч$ до $T_ч$ =1200 $^{\circ}C$ и при начальной температуре топлива $25\,^{\circ}C$.

Во всех проведенных экспериментах было зарегистрировано устойчивое зажигание исследовавшихся составов. Результаты экспериментального исследования закономерностей зажигания угольной пыли «горячей» одиночной частицей металла представлены на рис. 1. В результате экспериментальных исследований получены зависимости времени задержки зажигания (τ_{ind}) топлива, диаметром частиц $d \leq 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ м, от начальной температуры частицы $T_{\times}$. Аппроксимационные кривые, представленные на рис. 1, получены методом наименьших квадратов. Левое предельное значение температуры соответствует минимальному значению $T_{\times} = 1040\,°C$, при котором еще происходило зажигание угольной пыли. При дальнейшем снижении $T_{\times}$ зажигание исследуемого образца угольной пыли не происходило.

Сопоставление кривых позволяет сделать вывод о том, что увеличение характерного поперечного размера частицы в диапазоне от $3 \cdot 10^{-3}$ до $7 \cdot 10^{-3}$м приводит к заметному изменению значения τ_{ind} при $T_{\times} = 1040\,°C$. При дальнейшем увеличении начальной температуры частицы, времена задержки зажигания стремятся к одному значению и при более высоких температурах (более $1200\,°C$), не зависят от размера частицы. Доверительные интервалы меняются в диапазоне от $\pm 0{,}00867$с до $\pm 0{,}508$с.

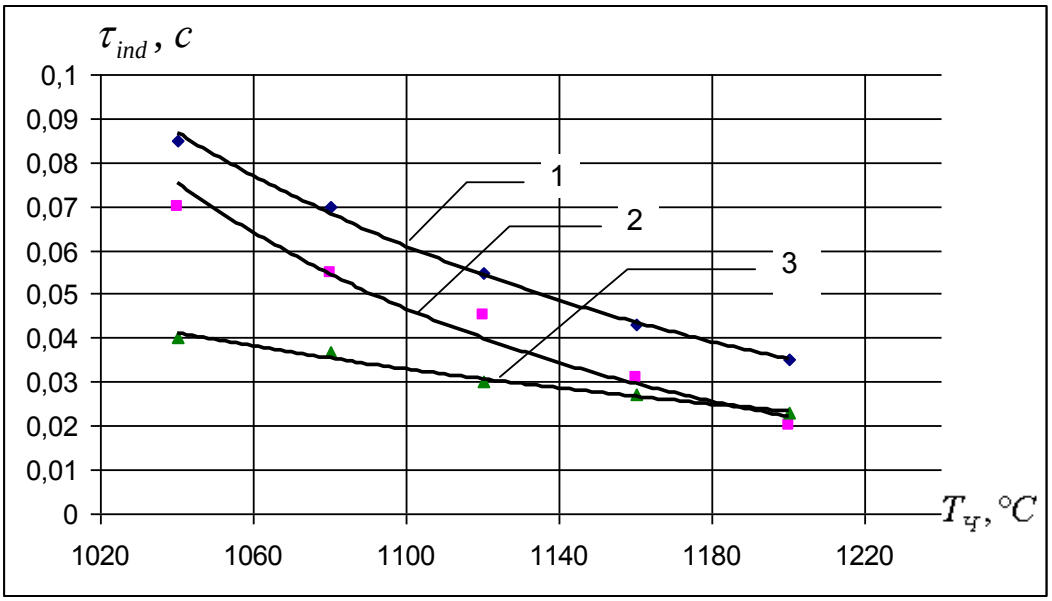


Рис. 1. Экспериментальные зависимости времени задержки зажигания бурого угля ($d \leq 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ м) от температуры металлической частицы (диаметр $d = 6 \cdot 10^{-3}$ м, 1 – $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м; 2 – $h = 5 \cdot 10^{-3}$ м; 3 – $h = 7 \cdot 10^{-3}$ м).

Заключение

На основании анализа результатов выполненных экспериментов можно сформулировать физическую модель зажигания угля одиночными нагретыми до высоких температур частицами.

Частица – источник зажигания при попадании на поверхность угольной пыли интенсивно охлаждается за счет теплоотвода как в вещество, так и в воздух с боковой и верхней поверхностей. В результате температура частицы падает и, соответственно, снижается тепловой поток в зону реакции. Соответственно на время задержки зажигания влияют и размеры частицы. Чем больше ее поперечный характерный размер, тем меньше τ_{ind}. Другими словами, чем ближе по своим размерам частица к массивному телу без ограничений по второй координате, тем меньше время задержки зажигания.

Список литературы.

1. Дахин С.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учеб.пособие/С.В. Дахин. Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. 182 с.
2. Макаров А.А. Проблемы и перспективы развития топливно-энергетического комплекса России // Энергоэффективность: Тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф. (6 -8 октября 2008 г., Киев, Украина). – Киев: Институт газа НАНУ, 2008. С. 7 – 10.
3. Захаревич А.В., Кузнецов В.Т., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. 2008. Т. 44, №5. С. 10-15.
4. Захаревич А.В., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. О механизме зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность, 2008 – т. 17, – № 5. – С. 39-42.

УДК 662.62

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Захваткин А.С.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: tomskenin@mail.ru

В соответствии с новыми нормативными требованиями в строительстве в настоящее время предъявляются более высокие требования к теплозащитным характеристикам ограждающих конструкций зданий и сооружений. Для выполнения условий энергосбережения в строительстве целесообразно применять дополнительную теплоизоляцию ограждающих конструкций. Реализация тепловой защиты требует знания и оперативного определения свойств и параметров применяемых строительных конструкций и материалов

Анализ методов и средств измерения теплофизических свойств (ТФС) строительных конструкций и изделий показал, что наиболее эффективно определение этих параметров осуществляется с использованием нестационарных методов теплопроводности, позволяющих оперативно и с необходимой для строительной теплотехники точностью контролировать искомые ТФС стройматериалов и готовых изделий без нарушения их целостности и эксплуатационных характеристик. Из нестационарных методов для исследования ТФС материалов при температурах, близких к комнатным, наибольшее применение находят методы регулярного режима 1 рода.

Теория регулярного режима была разработана Г.М. Кондратьевым [1] и в последующем углублена другими исследователями [2,3,4,5]. Для регулярного режима 1 рода, под которым принято понимать упорядоченную, свободную от начальных условий стадию охлаждения (нагрева) тела в среде с температурой $t_c = const$ и коэффициентом теплоотдачи $\alpha = const$, изменение температуры во времени для любой точки тела описывается показательной функцией:

$$\nu = t - t_c = AUe^{-m\tau}$$

где ν – избыточная температура тела; t – температура в фиксированной точке тела; $t_c = const$ – температура окружающей среды; A – коэффициент, зависящий от формы тела и начального распределения температур; U – функция координат; m – темп охлаждения (нагрева), величина постоянная и не зависящая от координат и времени τ.

Исследование и определение ТФС материалов при невысоких температурах обычно проводят на образцах простой формы. Смысл эксперимента состоит в следующем: образец в форме пластины, шара, параллелепипеда или короткого цилиндра с начальной температурой t_0 в начальный момент времени погружается в жидкость с температурой t_c, которая перемешивается с помощью мешалки и тем самым создается бесконечно большой коэффициент теплоотдачи α между жидкостью и телом. Коэффициент теп-

лоотдачи, стремящийся к бесконечности, можно получить, если исследуемый образец поместить в кипящую воду. Преимущества метода:
1) метод абсолютен, не требует эталонов с известными тепловыми характеристиками;
2) обеспечивает достаточно высокую точность эксперимента;
3) опыт идет непродолжительное время, а формулы для обработки экспериментальных результатов имеют простой вид.
Недостатки метода:
1) для эксперимента необходима капельная среда (жидкость);
2) опыт соответствует теории только при условии, когда температура окружающей среды t_c на протяжении всего опыта остается постоянной;
3) во избежание смачивания образца и проникновения влаги внутрь исследуемого материала его помещают в герметично закрытый стакан или его поверхность покрывают эпоксидной смолой или лаком;
4) опыты с сыпучими материалами приходится производить в специальных условиях (герметично закрытом стакане);
5) обязательно обеспечивать большой коэффициент теплоотдачи.

Список литературы:

1. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. – М.:, Гостехиздат, 1954. – 408с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.:Энергоиздат, 1981. – 416с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. школа, 1966. – 592с.

УДК 620.92.002.68

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В СИСТЕМАХ УТИЛИЗАЦИИ ВЭР

Захваткин А.С., магистр, Крайнов А.В., к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г.Томск
E-mail: tiger@tpu.ru

В настоящее время в использовании вторичных энергетических ресурсов имеются значительные резервы. Они являются результатом энергетического несовершенства технологических производств, поэтому необходимо стремиться к снижению их выхода за счет более полного использования топлива в самом технологическом агрегате. В этом состоит основная задача повышения эффективности теплотехни-ческих производств, наибо-

лее полного использования ВЭР, как неизбежного спутника этих процессов.

Источниками ВЭР на предприятиях отрасли являются различные технологические аппараты, а также другие установки, использующие в качестве первичных энергоносителей водяной пар, горячую воду, нагретый воздух и продукты сгорания различных видов топлива (рис. 1) [1].

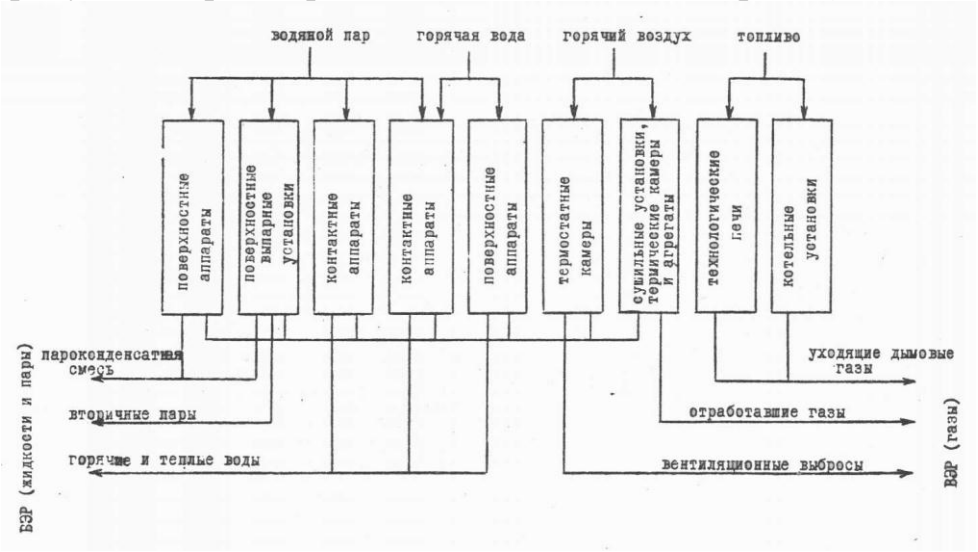


Рис.1 Источники и виды ВЭР.

Использование теплонасосных технологий для теплоснабжения широко распространено в мире, они включены практически во все энергосберегающие программы, реализуемые за рубежом. Бурно развивающийся рынок тепловых насосов малой мощности (до 100 кВт) позволяет предположить возможность эффективного использования аналогичных устройств большой мощности – до 30 МВт и более. Их применение особо актуально в городах, где остро стоит проблема утилизации тепловых отходов, например, сточных вод [2].

В качестве оптимальной и эффективной системы рассмотрим работу теплового насоса с герметичным двухпоршневым компрессором. На рис.2 представлена схема такого теплового насоса с температурой в испарителе 20°С и 55°С в конденсаторе. В качестве рабочего тела используется хладагент R-22 с температурой 96,1°С и давлением 4,99 МПа в критической точке.

По результатам расчета теплового насоса потребление электрической энергии на привод компрессора $N_Э$ = 2,2 кВт.

Коэффициент трансформации тепла, определяемый как отношение тепловой мощности компрессора к величине потребляемой электричес-кой энергии, получается равным:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{N_Э} = 4{,}26.$$

При этом теплота Q_1 равна сумме теплоты Q_2, отобранной от холодного источника, и теплоты эквивалентной работе $N_Э$, подводимой извне для осуществления обратного цикла. Полученный достаточно высокий ε, объясняется небольшим диапазоном разности температур хладагента в испарителе и конденсаторе.

Количественной характеристикой эффективности теплонасосной установки с точки зрения обратимости протекающих в нем процессов служит эксергетический КПД. Эксергия отводимой теплоты Q_1 равна [3]:

$$E'' = Q_1 (T_K - T_И)/T_K = 1{,}0.$$

Где T_K - температура в конденсаторе, $T_И$ - температура в испарителе.

Подводимая эксергия электроэнергии 2,2 кВт. Необратимость, определяемая несовершенством термодинамических процессов в устройстве, приводит к потере эксергии 1,2 кВт.

Эксергетический КПД теплового насоса составит величину 0,45.

КПД, в отличие от коэффициента трансформации тепла, определяет степень приближения процесса к идеальному и показывает, что 55% подведенной эксергии теряется.

Провести оценку экономии топлива при замене традиционных теплогенераторов, применяемых для децентрализованного теплоснаб-жения, тепловыми насосами с различными коэффициентами преобразо-вания позволяют полученные графические зависимости, представлен-ные на рис.3. Как следует из рисунка, тепловой насос с коэффициентом преобразования 2, уступает по затратам первичного топлива любым теплогенераторам, имеющим КПД > 70%. Преимуществом теплового насоса в этих условиях является то, что его использование избавляет потребителя от затрат связанных с приобретением и доставкой топлива.

Проведённый анализ показывает, что с помощью тепловых насосных установок можно оптимально решить вопросы систем теплоснабжения городского комплекса и объектов, расположенных вдали от тепловых коммуникаций - фермерских хозяйств, коттеджей, автозаправочных станций.

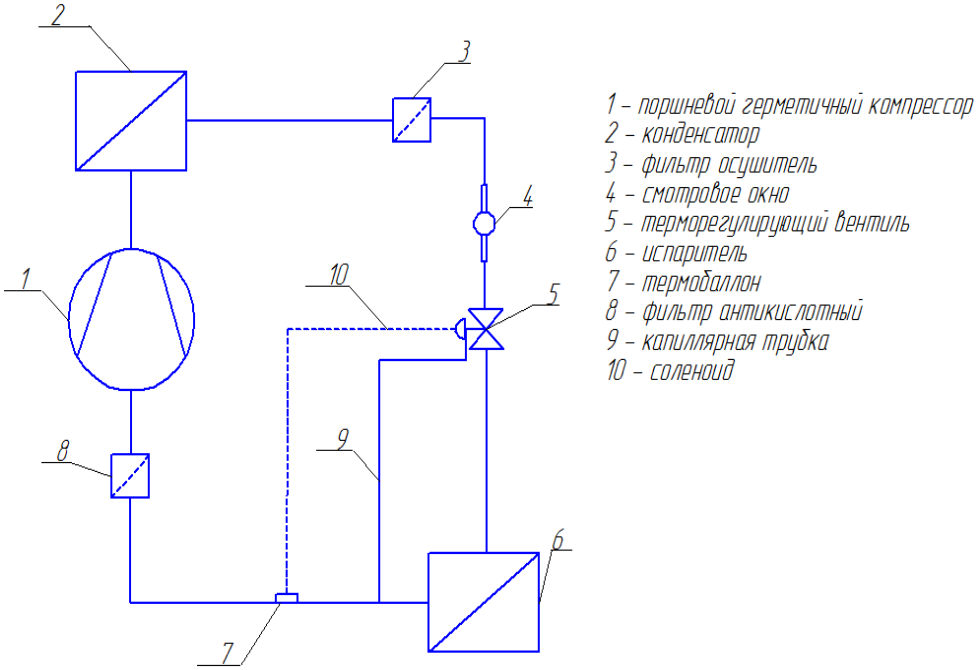


Рис. 2 Принципиальная схема теплонасосной установки.

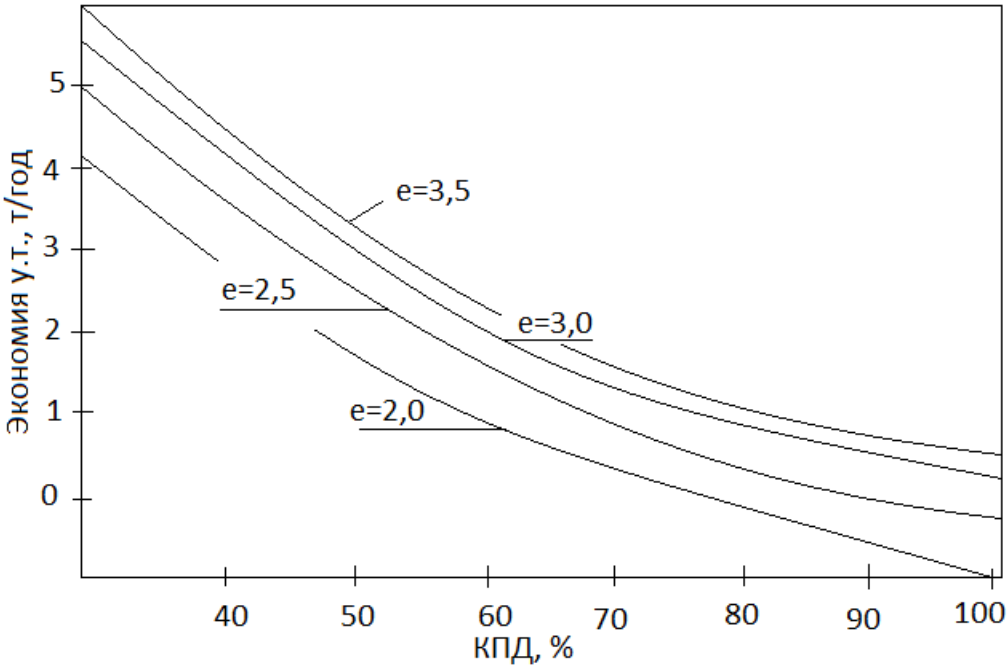


Рисунок 3. Зависимость экономии топлива при применении ТН от КПД теплогенераторов традиционной системы (величина экономии отнесена к 100 м^2 отапливаемой площади утепленного дома).

Список литературы:
1. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения.– М.: Стройиздат, 1985.–351 с.
2. Бутузов В. А. Перспективы применения тепловых насосов //Промышленная энергетика.-2005.-№10.-85-88.
3. Николаев Ю. Е., Бакшеев А. Ю. Определение эффективности тепловых насосов //Промышленная энергетика.-2007.-№9.-56-60.

УДК 544.45

КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ДОБАВОК НАНОПОРОШКОВ МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА НА ГОРЕНИЕ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ В ВОЗДУХЕ

Звягинцева Е.С., Роот Л.О., к.т.н.
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, г. Томск
E-mail: tolbanova@mail.ru

Среди различного вида керамических материалов интерес представляют нитридсодержащие композиты на основе нитрида алюминия. Это связано с его уникальными свойствами: нитрид алюминия является хорошим изолятором, устойчив в среде азота до высоких температур, а по теплопроводности сравним с серебром. Одним из наиболее перспективных методов получения нитридсодержащих композитов является синтез сжиганием порошкообразных металлов в воздухе [1]. В связи с этим, интерес представляет изучение методов повышения выхода нитридов в продуктах сгорания. Целью данной работы являлось изучение возможности повышения выхода нитрида алюминия в продуктах сгорания при сжигании нанопорошка (НП) алюминия за счет каталитического действия добавок нанопорошков молибдена и вольфрама.

Предварительные исследования показали, что добавки некоторых веществ в НП алюминия повышали содержание нитрида алюминия в продуктах сжигания [2]. Для более детального изучения были выбраны добавки НП Mo и W в количестве 10–40 мас. %. С помощью рентгено-фазового анализа продуктов сгорания установлено, что добавки приводили к росту соотношения $AlN:Al_2O_3$ и $AlN:Al_3O_3N$: если в продуктах сгорания НП Al оно было равно 2,9:1,0 и 1,6:1,0, соответственно, то для смесей с НП Mo оно достигало – 5,5:1,0 и 3,2:1,0; а с НП W – 5,0:1,0 и 2,8:1,0. Повышенный выход AlN относительно выхода Al_2O_3 позволил сделать заключение о

том, что в присутствии добавок НП Mo и W на начальной стадии горения алюминий в основном реагировал с азотом, а не с кислородом воздуха. При полном сгорании алюминия без добавок выход AlN составлял около 50 мас. %, а с добавками – выход увеличивался примерно в 1,5 раза.

Список литературы

1. Тонкая техническая керамика / Под ред. Янагида Х. / Япония, 1982: Пер. с японск. – М.: Металлургия, 1986. – 279 С.
2. Ильин А.П., Громов А.А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 154 с.

УДК 544.016.2:541.123

СТАБИЛЬНЫЙ ТЕТРАЭДР LIF-KF-KBR-KVO_3

Золотухина Е.В., аспирант, Губанова Т.В., к.х.н., Гаркушин И.К., д.х.н.
Самарский государственный технический университет, г. Самара
E-mail: ek_zolotuhina@mail.ru

Многокомпонентные солевые системы на основе галогенидов щелочных металлов находят широкое применение в технологических процессах различных отраслей промышленности [1]. Стабильный тетраэдр LiF-KF-KBr-KVO_3 (рис. 1) исследован с целью поиска эвтектического состава и описания фазовых равновесий.

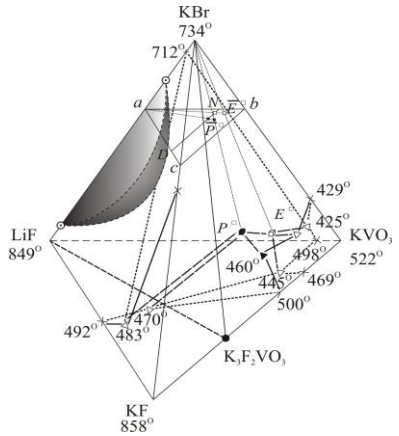


Рис.1. Эскиз объемов кристаллизации тетраэдра LiF-KF-KBr-KVO_3

Остов составов системы осложнен наличием соединения инконгруэнтного плавления $K_3F_2VO_3$ и областью расслаивания жидких фаз в поле фторида лития. Все бинарные и тройные системы, входящие в состав тетраэдра, являются эвтектическими. Для определения характеристик точек

нонвариантных равновесий в стабильном тетраэдре в соответствии с правилами ПТГМ [2] выбран одномерный политермический разрез *DN* двухмерного политермического сечения *abc* в объеме бромида калия. Последовательным изучением разрезов определены составы и температуры плавления эвтектики и перитектики в стабильном тетраэдре LiF-KF-KBr-KVO_3.

Список литературы:

1. Делимарский Ю.К., Барчук Л.П. Прикладная химия ионных расплавов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 192 с.
2. Трунин А.С., Космынин А.С. Проекционно-термографический метод исследования гетерогенных равновесий в конденсированных многокомпонентных системах - Куйбышев, 1977. - 68 с. - Деп. в ВИНИТИ 12.04.77, № 1372-77.

УДК 519.6

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ НА ПРОЦЕСС ПОЛИМЕРИЗАЦИИ РЕЗИНОВОЙ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ

Е.В. Иванова
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: zhenya1@tpu.ru

Цель данной работы – численное моделирование процессов тепломассопереноса, протекающих при вулканизации движущегося кабельного изделия, а также анализ влияния параметров нагревательной камеры вулканизационной печи на условия полимеризации изоляционной оболочки и энергозатраты.

Кабель состоит [1] из жилы – меди и оболочки – резины. Начальная температура изделия T_0 принималась существенно ниже температуры воздуха в камере T_h. При прогреве резиновый слой (оболочка) кабеля вулканизуется. Полнота завершения процесса определяется степенью полимеризации изоляционного материала φ. При моделировании учитывались воздушные зазоры вблизи участков входа (z=0, $R_2<r<R_3$) и выхода ($z=Z_1$, $R_2<r<R_3$) кабельного изделия из вулканизационной печи. Считалось, что окружающий воздух с температурой, равной начальной температуре изделия $T_c=T_0$, и скоростью w_c, равной скорости протяжки кабеля, втекает в камеру через зазор во входном отверстии (z=0, $R_2<r<R_3$). Смесь холодного окружающего и горячего воздуха печи вытекает через выходное отверстие ($z=Z_1$, $R_2<r<R_3$) со скоростью, равной скорости протяжки изделия w_c. Та-

ким образом, моделируются условия, максимально приближенные к условиям вулканизации изделий в промышленности [1,2].

Список литературы:

1. Леонов В.М., Пешков И.Б., Рязанов И.Б., Холодный С.Д. Основы кабельной техники. М.: Издат. центр «Академия». 2006. 432 с.
2. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий. М.: Химия. 1972. 359 с.

УДК 662.613

НОВОЕ В ГОРЕНИИ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ В ВОЗДУХЕ

Ильин А.П., д.ф.м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: genchem@mail.ru

В современных представлениях о горении металлов в воздухе основная роль отводится кислороду, причем азот считают или инертным компонентом, или его участие проявляется на промежуточных стадиях процесса. При более тщательном изучении конечных продуктов сгорания ряда металлов было установлено, что содержание нитридов в виде самостоятельных кристаллических фаз составляет до 80 мас. % [1].

Первоначально объяснение формирования нитридов базировалось на образовании газообразных субоксидов и снижении их сродства к кислороду и возможности взаимодействия с азотом при 1800 – 2400°С. Попытки объяснить образование нитридов за счет поэтапного окисления кислородом и затем азотом не нашли экспериментального подтверждения. Анализ экспериментальных данных привел к заключению, что взаимодействие только с азотом протекает в определенном объеме в течении значительного по времени интервале. Это подтвердилось данными по содержанию нитридов в сравнении с содержанием оксидов в промежуточных продуктах горения: в промежуточных продуктах нитридов больше до 5 раз [2].

В настоящее время установлено, что нитриды образуются и при горении металлов, когда условия образования летучих субоксидов не достигаются. Вероятной причиной образования нитридов является дезактивация кислорода путем перехода из активного триплетного состояния в неактивное синглетное при сохранении активности азота. Формирование значительных количеств нитридов требует их учета при оценке энергетических возможностей металлизированных твердых ракетных топлив и пиротехни-

ческих составов. В то же время при повышении выхода нитридов перспективно технологическое направление синтеза нитридов путем связывания азота воздуха в присутствии кислорода.

Список литературы:

1. Ильин А.П., Громов А.А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. – Томск: Изд-во Том. ун-та. 2002.
2. Ильин А.П., Толбанова Л.О. Синтез нитридов сжиганием нанопорошков алюминия и вольфрама в воздухе // Физика и химия обработки материалов – 2007. - №2. – С. 80 – 85.

УДК 662.62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА ИЗ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА (ПТИЦЕВОДСТВА) В ТЕНКАХ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ.

Иримбетова Н.Р.магистрант.
E-mail: nukibaby@mail.ru
Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время все более распространение находят устройства по получению тепловой энергии из местного сырья для сравнительно небольших животноводческих и птицеводческих хозяйств. Моделирование процесса получения биогаза из отходов животноводства (птицеводства) в биореакторах (тенках) конкретной формы позволит оценить возможность функционирования таких устройств в условиях сравнительно небольшого количества исходного сырья. Данные исследования позволят дать предварительные оценки возможности построения той или иной конструкции биогазовой установки сравнительно малых размеров для использования ее в конкретном фермерском или личном хозяйстве.

Целью настоящего исследования является моделирование процесса получения биогаза из отходов животноводства (птицеводства) в тенках цилиндрической формы.

По результатам анализа литературных источников была сформулирована математическая модель процесса естественной (гравитационной) конвекции в приближении Буссинеска в цилиндрическом биореакторе с теплообменником[1]. Уравнения записываются в естественных переменных и включают уравнения движения, уравнение неразрывности и уравнение

энергии с учетом теплообменана стенках биореактора и нагревателя. Сформулированная математическая модель решается численным методом Патанкар. Формулируется начальные и граничные условия[2].

Список литературы

1. Землянка А. А. Математическая модель гидродинамики и теплообмена в цилиндрическом ферментаторе биогазовой установки с погруженным в него цилиндрическим теплообменником // Альтернативная энергетика и экология журнал. 2009. №10. С. 79─84.
2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. Пер. с англ. / Под ред. Виленского. ─ М.: Энергоатомиздат, 1984. ─152с.

УДК 536.24

УПРОЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОПКИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

КАЗАКОВ А.В., магистрант,
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail kazakovrff@sibmail.com

На стадии разработки котельного агрегата (КА) необходимо проводить моделирование процессов сжигания топлива в топочном пространстве, которое позволяет осуществлять многовариантный выбор технических решений, из которых впоследствии выбирается наиболее оптимальный. Также относительно простая математическая модель дает возможность быстро оценить параметры котельного агрегата. Для этого был проведен анализ математической модели представленной ниже и ее упрощение.

Проведен анализ для элементарной динамической модели, изображенной на рисунке 1. Размеры топки: H-высота, диаметр топочного пространства $D=2R_1$, где R_1 радиус топочного пространства.

Для численного моделирование процессов сжигания топлива, в топочном пространстве КА записана система уравнений 1-5, описывающая гидродинамику и теплообмен в топке котельного агрегата для элементарной динамической модели [1].

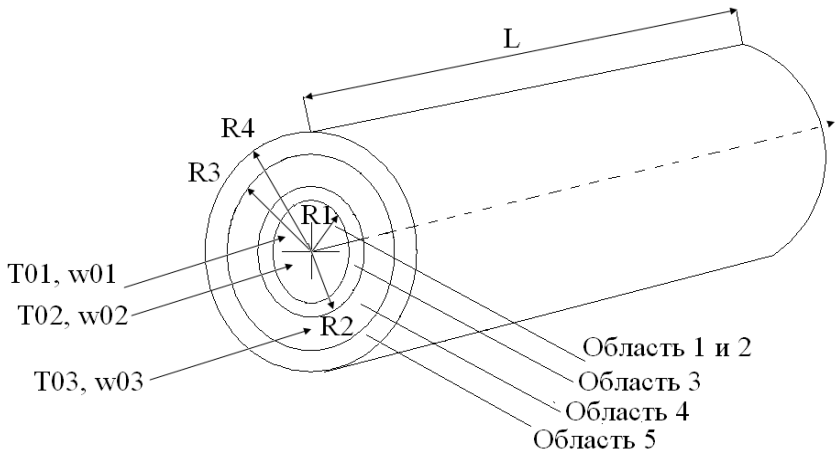


Рис. 1- Элементарная динамическая модель топки котельного агрегата. Где область 1и 2- поток газа и частиц топлива, область 3 – поток частиц топлив, область 4 – внутренняя стенка канала, область 5 –внешняя стенка канала

Уравнение для потока газа в области 1:

$$(1-\varepsilon)\rho_{11}V_1(\frac{\partial T_1}{\partial \tau}+w_1\frac{\partial T_1}{\partial z})=-\alpha_{13}F_{13}(T_1-T_3)-\alpha_{12}F_{12}(T_1-T_2)+q_V V \ ; \quad (1)$$

для потока частиц в области 2

$$\varepsilon\rho_{22}V_2(\frac{\partial T_2}{\partial \tau}+w_2\frac{\partial T_2}{\partial z})=\alpha_{12}F_{12}(T_1-T_2); \quad (2)$$

для внутренней стенки канала в области 3

$$\rho_3 c_3 V_3\frac{\partial T_3}{\partial \tau}=\alpha_{13}F_{13}(T_1-T_3)-\alpha_{34}F_{34}(T_3-T_4); \quad (3)$$

для потока жидкости внутри канала в области 4

$$\rho_{44}V_4(\frac{\partial T_4}{\partial \tau}+w_4\frac{\partial T_4}{\partial z})=\alpha_{34}F_{34}(T_3-T_4)-\alpha_{45}F_{45}(T_4-T_5) \ ; \quad (4)$$

для внешней стенки канала в области 5

$$\rho_{55}V_5\frac{\partial T_5}{\partial \tau}=\alpha_{45}F_{45}(T_4-T_5). \quad (5)$$

В приведенных уравнениях использованы следующие параметры: α_{12} – коэффициент теплоотдачи при теплообмене между частицами топлива и потоками газа; α_{13}– коэффициент теплоотдачи между потоками газа и внутренней стенкой канала; α_{34}–коэффициент теплоотдачи между потоками жидкости в канале и внутренней стенкой канала; α_{45} – коэффициент теплоотдачи между потоками жидкости в канале и внешней стенкой канала; ε – объемная концентрация частиц топлива в топочном пространстве;

ρ_i, c_i – плотность и теплоемкость материала в соответствующей области (í =1,2,…,5); $V=\pi R^2_1 L$ – объем топочного пространства; $V_3=\pi L(R^2_2- R^2_1)$ – объем внутренней стенки; $V_4=\pi L(R^2_3- R^2_2)$ – объем потока жидкости в канале; $V_5=\pi L(R^2_4- R^2_3)$ –объем внешних стенок; F_{12} – поверхность соприкосновения частиц с потоком газа, d_m- размер частиц топлива; $F_{13}=2\pi R_1 L$ – поверхность соприкосновения газового потока с внутренней стенкой канала; $F_{34}= \pi R_2 L$ – поверхность соприкосновения потока жидкости с внутренней стенкой канала; $F_{45}= \pi R_3 L$ – поверхность соприкосновения потока жидкости с внешней стенкой канала; w_1 и w_2 – скорость потоков газа и частиц, соответственно, $q_v=\varepsilon\rho_2 w_2 F_{13} Q^p_н/V$ – мощность внутренних источников теплоты определенная по расходу топлива с использованием его низшей теплоты сгорания $Q^p_н$.

В результате численного решения системы уравнений 1-5 получены следующие зависимости для температур в областях.

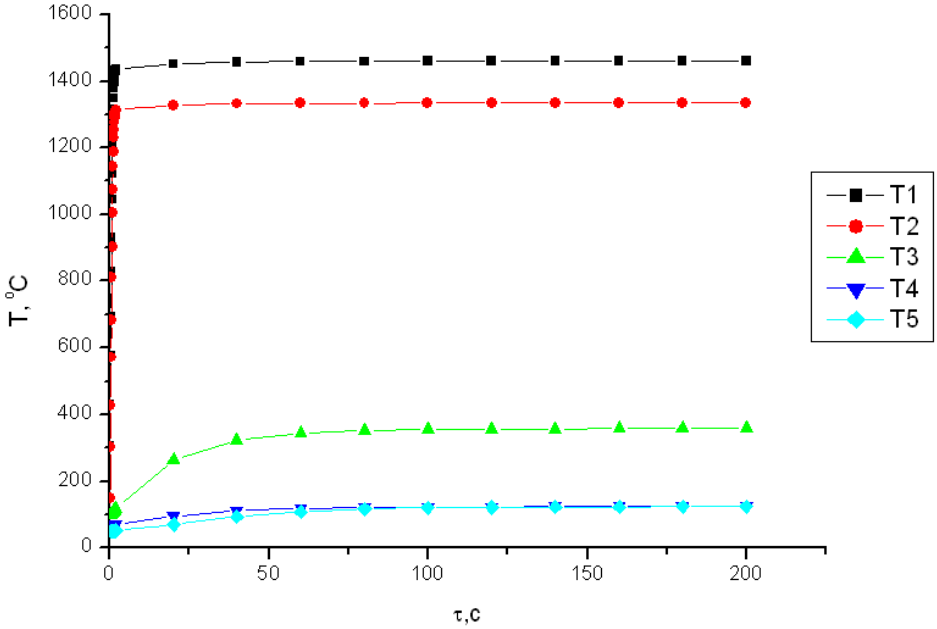


Рисунок 2 – График зависимости температуры на выходе из топки от времени: T1 –температура газа, T2- температура частиц топлива, T3- температура первой стенки, T4- температура воды, T5- температура второй стенки.

По зависимости температуры на выходе из топки от времени, можно сказать, что температура газа и температура частиц топлива возрастает до установившегося максимального значения температуры за сравнительно небольшой интервал времени, составляющий 20 секунд. В дальнейший

промежуток времени от 20 до 200 с. процесс протекает в стационарном режиме. Также определены значения изменения температуры для потока газа T1 и потока частиц T2 от времени, которые составляют ΔT1/Δt = 57.26 K/c и ΔT2/Δt = 58.95 K/c в интервале от 0 до 20 секунд.

Так как основной извлекаемой информацией из рассмотренной модели является максимальная температура для областей, то процесс возрастания температуры до установления можно не рассматривать. Что позволяет записать уравнения входящие в систему 1-5 в стационарном виде (изменения затронули 1 и 2):

Уравнение для потока газа в области 1:

$$[(1-\varepsilon)\rho_{1-1}V_1 w_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}] = -\alpha_{13}F_{13}(T_1 - T_3) - \alpha_{12}F_{12}(T_1 - T_2) + q_V V \; ; \qquad (6)$$

для потока частиц в области 2

$$\varepsilon\rho_{2-2}V_2 w_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = \alpha_{12}F_{12}(T_1 - T_2) \; ; \qquad (7)$$

В результате решения упрощенной системы уравнений, получена следующая зависимость температуры на выходе КА от времени.

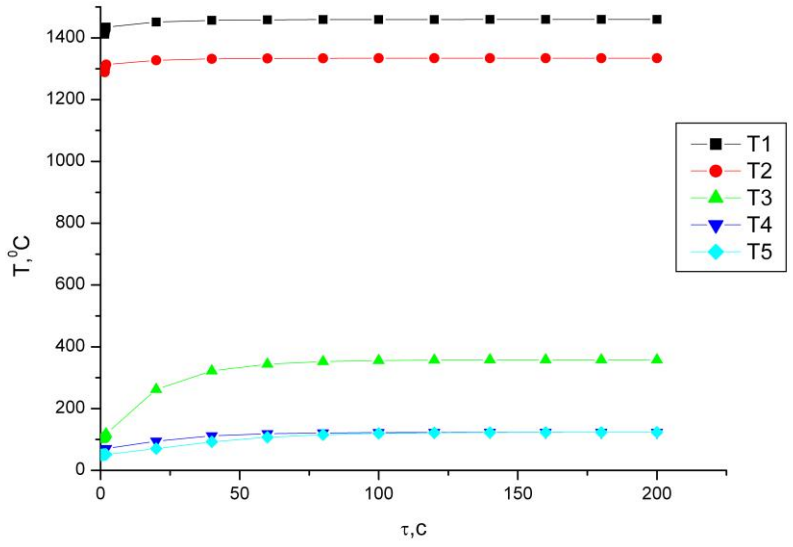


Рисунок 3 – График зависимости температуры на выходе из топки от времени: T1 –температура газа, T2- температура частиц топлива, T3- температура первой стенки, T4- температура воды, T5- температура второй стенки.

Проведя численный анализ выражений 1-5 и анализ зависимостей полученных в результате решения системы уравнений 1-5, была записана система уравнений, в которой температура потока газа и температура потока частиц не зависит от времени. Результаты решения упрощенной элементарно динамической модели топки КА хорошо сходятся с результатами решения системы уравнений 1-5.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК №14.740.11.0101

Список литературы

1. Дорохов А. Р. Моделирование тепловыделяющих систем: учебное пособие /А. Р. Дорохов, Заворин А.С., В. С. Логинов – Томск: Изд-во НТЛ, 2000.- 234с.

УДК 697.34

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Коцюба Д.Н., магистрант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail:dashulya1990@list.ru

Моральное и физическое старение энергетического оборудования – естественный процесс. Несмотря на то, что теплоэнергетика является весьма инерционной отраслью промышленности, энергетическое оборудование постоянно усовершенствуется. Устаревший объект имеет существенно больший расход топлива на выработку электроэнергии, худшие показатели надежности, меньшую маневренность, чем усовершенствованные энергоблоки.

В связи с прогнозируемой интенсификацией жилищного строительства можно ожидать дальнейшего увеличения потребностей населения в топливе и энергии.

Ожидаемое в ближайшие годы существенное повышение в стране цен на органическое топливо может резко обострить уже существующую проблему высокой стоимости обеспечения теплом малоэтажного жилищного фонда с автономным теплоснабжением. В то же время в данном секторе имеется довольно много конкурирующих технологий, базирующихся на использовании различных видов топливно-энергетических ресурсов [1]. Поэтому задача выбора наиболее экономичных из них на перспективу становится все более актуальной.

Несмотря на то, что централизованное теплоснабжение от ТЭЦ остается самым энергетически эффективным способом использования энергии топлива, крайне важен опыт реконструкции системы теплоснабжения существующего зданий.

Среди технологий обеспечения теплом малоэтажной застройки выделяются тепловые насосы (ТНУ), позволяющие полезно использовать природные источники низкопотенциального тепла и, таким образом, экономить дорожающее органическое топливо и электроэнергию. С помощью ТНУ производится отбор тепловой энергии от источника низкопотенциального тепла и передача ее (посредством рабочего тела) с более высокой температурой потребителю. Затрачивая 1 кВт электрической (механической) мощности на привод насоса, можно получить 3–4, а при определенных условиях и до 5–6 кВт тепловой мощности у потребителя [2]. Необходимо отметить, что в ТНУ электроэнергия расходуется не на выработку тепла, как в электронагревателе, а на сжатие рабочего тела и его циркуляцию. Конечно, в реальном процессе сжатия часть электроэнергии идет на нагрев теплоносителя. Тем не менее, основная часть доставляемого потребителю тепла (65–80 %) передается от низкопотенциального источника.

Теплонасосные установки, используя возобновляемую низкопотенциальную энергию окружающей среды и повышая ее потенциал до уровня, необходимого для теплоснабжения, затрачивают в 3 – 7 раз меньше первичной энергии, чем при сжигании топлива. Тем самым, сберегая невозобновляемые энергоресурсы и защищая окружающую среду путем сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу [3].

Можно выделить несколько условий, которые оказывают наиболее существенное влияние на эффективность использования ТНУ.

Максимальная температура теплоносителя, которую может обеспечить тепловой насос, определяется прежде всего теплофизическими свойствами используемого в нем рабочего тела и обычно составляет 55 °С, а у отдельных моделей 60…65 °С. В тоже время в России наибольшее распространение получили системы водяного отопления с температурным графиком 95/70 °С и единственным источником тепла, обеспечивающим покрытие максимальной тепловой нагрузки. В этих системах используется качественный метод регулирования тепловой нагрузки (как наиболее простой) и используются высокие параметры теплоносителя (для экономии на отопительных приборах). В таких системах температура воды в прямом и обратном трубопроводах зависит от температуры наружного воздуха ($t_н$) и при максимальной нагрузке составляет 95 и 70 °С соответственно [4].

Для условий Сибири при поддержании температуры воздуха в отапливаемом помещении на нормальном уровне (20…22 °С) при $t_н \leq -12$ °С температура воды в обратном трубопроводе будет выше максимальной температуры воды, которую может обеспечить тепловой насос. Это означает его фактическое выключение из схемы теплоснабжения и переход на покрытие всей отопительной нагрузки от дополнительного источника тепла [5]. Таким образом, ограничения по температуре обратной воды определяют условия отключения ТНУ.

Рабочий диапазон автономной (без подключения пикового источника) эксплуатации ТНУ в системах теплоснабжения определяется ограничениями по температуре прямой воды. В условиях Сибири минимальная температура наружного воздуха ($t_н^{min}$), при которой температура прямой воды сравнивается с максимальной, температурой, обеспечиваемой ТНУ, составляет –2 °С для системы теплоснабжения с температурным графиком 95/70 °С. При этом тепловая мощность ТНУ достигает максимального значения. Для различных районов $t_н^{min}$ для покрытия отопительной нагрузки с помощью ТНУ составляет от +1 на юге, до –3 °С на севере, что существенно выше расчетной температуры наружного воздуха для проектирования систем отопления [6]. Поэтому ТНУ могут полностью покрывать тепловую нагрузку потребителя только на 46…50 % продолжительности отопительного периода. В остальное время, при более низких температурах наружного воздуха, потребуется задействовать пиковый или дублирующий источник тепла (газовый котел, электрообогреватель и т.п.). На нагрузку горячего водоснабжения тепловой насос может работать круглогодично, поскольку нормативную температуру горячей воды (55 °С) он обеспечивает.

Для того, чтобы увеличить эффективность использования мощности ТНУ и расширить температурный диапазон его автономной эксплуатации, необходимо переходить на низкотемпературные системы отопления. При температурном графике 70/50 °С полное покрытие тепловой нагрузки с помощью ТНУ возможно в течение 83…91 % продолжительности отопительного периода в зависимости от региона. Однако при этом потребуется увеличить площадь отопительных приборов в здании (из-за снижения температурного перепада на них), что повлечет за собой дополнительные затраты. В системе с графиком 70/50 °С минимальная температура наружного воздуха для покрытия нагрузки только с помощью ТНУ снижается и составляет от –9 на юге, до –15 °С на севере [7].

Целью данного исследования является математическое моделирование нестационарных режимов экономичной по расходу топлива системы отопления жилого здания.

Для реализации этой цели необходимо решение следующих задач:

1.Разработка математической модели системы отопления жилого здания с учетом теплонасосной установки.

2.Численное моделирование нестационарных температурных режимов жилого здания.

3.Выбор рационального с экономической точки зрения нестационарного теплового режима теплоснабжения зданий с минимальным расходом топлива.

4.Определить экономическую эффективность ТНУ в схеме жилого дома.

5.Разработка практических рекомендаций по применению ТНУ в системах теплоснабжения жилых зданий.

Список литературы

1. Филиппов С.П. Эффективность использования тепловых насосов для теплоснабжения малоэтажной застройки// Теплоэнергетика. –2011. – №11. – С.12–19.
2. Жилищное хозяйство и бытовое обслуживание населения в России. 2010: Стат. Сборник. – М.:Росстат, 2010.
3. П.А.Хаванов Автономная система теплоснабжения – альтернатива или шаг назад //АВОК. –2004. –№1. –С. 23 – 29.
4. Меренков А.П., Сеннова Е.В., Федяев А.В и др. Современные проблемы преобразования теплового хозяйства России // Изв. РАН. Энергетика. – 1996. –№3. –С. 70 – 77.
5. Данченко А.М., Задде Г.О., Земцов А.А. и др. Кадастр возможностей// под ред. Б.В. Лукутина. – Томск: Изд–во НТЛ, 2002. – 280с.
6. Новожилов Ю.Н. Применение тепловых насосов в схемах теплоснабжения// Промышленная энергетика. –2006. –№5. –С.24–25.
7. Колесниченко Н.В., Константинов Г.Е. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине// Промышленная теплотехника. –2011. – №5. –С.67–73.

УДК 662.62

СКОРОСТЬ ПОДВИГАНИЯ ГРАНИЦЫ ДИССОЦИАЦИИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В УГОЛЬНОЙ МАТРИЦЕ

Ким Т.Л.
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово
E-mail: tanyakim@list.ru

В угольной матрице природный газ может существовать при определенных термодинамических условиях в виде твёрдого раствора.

При этом параллельно идут два процесса: десорбция газа с поверхности макропор и трещин, а также диссоциация газовых гидратов [1]. Диссоциация твердого раствора природного газа происходит при падении газового давления до значений ниже давления равновесного состояния системы «уголь – поровая влага – гидраты природного газа». В области, где гидрат еще не разложен, газ будет находиться в твердом состоянии. Таким образом, можно выделить в пласте две области 1 и 2 с разными коллекторскими свойствами.

Высокое давление в непосредственной близости от забоя создается вследствие выделения большого количества свободного газа. В призабойной части массива постоянно происходит фильтрация свободного газа в выработку. Определение скорости подвигания границы диссоциации кристаллогидратов позволит сопоставить ее со скоростью распространения волны дробления по Христиановичу А.С. [2] вглубь массива и тем самым оценить роль диссоциации кристаллов природного газа в развязывании и поддержании внезапного выброса угля и газа.

В нефтяных скважинах твердые растворы природного газа по типу газогидратов находятся в виде пробок льда. В угольных пластах вследствие низкой влажности газогидраты представлены в виде россыпи крупинок. Будем считать в первом приближении, что эти крупинки шарообразной формы, таким образом, если диаметр шарообразной крупинки кристаллогидрата будет порядка сантиметра и более, то скорость подвигания границы диссоциации кристаллогидрата будет очень низкая и наоборот. В угольных выбросоопасных пластах размеры крупинок кристаллогидрата очень малы, в этой связи мы хотим найти зависимость скорости подвигания границы диссоциации твердых растворов природного газа от площади поверхности крупинки.

Рассмотрим условия перемещения скорости границы разложения гидрата в пласте[3]:

$$k_1 \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x} \Big|_{x=\varsigma} - k_2 \frac{\partial p_2}{\partial x}\Big|_{x=\varsigma} = \frac{W \cdot \mu \cdot p_0}{p_p} \cdot \frac{d\varsigma}{dt},$$

где W- содержание газа в гидратном состоянии в единице объема пористой среды; P_p - давление разложения гидрата; k_1, k_2- коэффициенты проницаемости в области 1 и 2; $p_1, p_2 -$текущие давления; p_0-атмосферное давление; μ - динамическая вязкость газа; ς - координата границы разложения гидрата.

$W = n(x) = n_0(1-e^{-bx}) \cdot V_0^1$, где $n(x)$- функция количества частиц от расстояния, V_0^1- объем одной частицы кристаллогидрата, $n_0 \cdot V_0^1 = n_0 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$, зная, что площадь поверхности $S_{пов} = 4\pi r^2$, отсюда находим $r = \sqrt{\frac{S_{пов}}{4\pi}}$, следовательно, W найдем как: $W = \frac{n_0 S}{3V}\sqrt{\frac{S}{4\pi}(1-e^{-bx})}$, где $n_0 = \frac{N}{V}$- концентрация.

Известно[3], что давление в залежи изменяется по закону:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{k}{2m\mu} \cdot \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2},$$

Рассмотрим две области впереди забоя выработки: область 1 - зона ламинарной фильтрации, область 2 - где находятся существенный объемы свободного газа.

Для областей 1 и 2 законы изменения давления запишутся как:

$$p_1 = \sqrt{p_\Gamma^2 + \frac{p_p^2 - p_\Gamma^2}{\varsigma} x}, \ (1) \text{ и } \ p_2 = \sqrt{p_k^2 - \frac{p_k^2 - p_p^2}{erf(\frac{\varsigma}{2\sqrt{at}})} erf \frac{x}{2\sqrt{at}}}, (2)$$

где $p_k -$начальное давление в пласте, автомодельное решение в пакете Mathcad приведено в работе[4].

Для расчета скорости продифференцируем выражения (1) и (2) и подставим в выражение(3):

$$v_\varsigma = \frac{(k_1 \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x} \Big|_{x=\varsigma} - k_2 \frac{\partial p_2}{\partial x}\Big|_{x=\varsigma}) p_p}{\mu p_0 \frac{n_0 S}{3V}\sqrt{\frac{S}{4\pi}(1-e^{-bx})}}, \qquad (3)$$

Соответсвенно скорость можно определить как:

$$v_{\varsigma} = \frac{\left[k_1 \cdot \left(p_1^{\ 2} - p_2^{\ 2}\right) - k \cdot \left(p_k^{\ 2} - p_1^{\ 2}\right)\right]}{2 \cdot x \cdot m_1 \cdot p_0 \cdot n_0 \cdot s \cdot \sqrt{\frac{s}{4\pi}} \cdot \frac{\left(1 - e^{-k \cdot x}\right)}{3 \cdot v_0}} \quad (4)$$

Формула (4) позволяет полностью определить скорость подвигания границы диссоциации твердых растворов природного газа в угольной матрице в зависимости от площади поверхности крупинок.

Расчет скорости подвигания границы разложения твердых растворов произведем при следующих значениях рис.1: T=271K;$P_р$ = 6·10^6 Па; $P_г$ = 4.5·10^6 Па; P_k = 9·10^6 Па; k_1 = 0,1 дарси; k_2 = 0,01 дарси; P_0 = 10^5 Па; m = 0,10; $a = \frac{k \cdot p_0}{m \cdot \mu_Г}$; $\mu_Г$ = 0,01 Па·с; k = 0,1; v=0.05м^3; x=2,5м; n_0 =10^{23}.

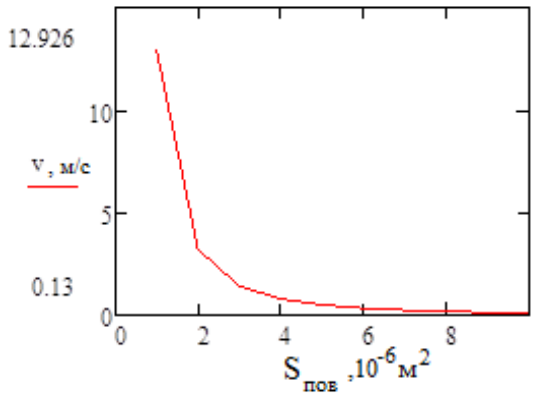


Рис.1. Скорость подвигания границы диссоциации твердых растворов в зависимости от площади поверхности крупинок

Соответственно, чем больше площадь поверхности крупинок кристаллогидрата, тем меньше скорость подвигания границы диссоциации твердых растворов.

Список литературы:

1. Мурашев В.И. Механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в горных выработках// Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа: Сб. науч.тр. – М.:Недра,1978. – С. 141-162.
2. Христианович С. А. О волне дробления // Известия АН СССР, ОТН. – 1953. - №12. – С. 1689-1699.
3. Веригин Н.Н., Хабибуллин И.Л., Халиков Г.А. Линейная задача о разложении гидратов газа в пористой среде//Изв. АН СССР.-№1- 1980.- С.174-177.

4. Ким Т.Л., Дырдин В.В. Математическое моделирование загазирования выработок при диссоциации кристаллогидратов в угольных пластах//Горный журнал «Известия высших учебных заведений», 2011.-С.131-135.

УДК 536.2

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Ким Е.С., магистрант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: kimulya1990@mail.ru

В настоящее время обработка резанием остается наиболее предпочтительным процессом для окончательного формирования размеров деталей (несмотря на значительный прогресс в развитии таких технологических методов, как точное литье, штамповка, электрофизическая обработка и т.д.). Это обусловлено гибкостью и мобильностью, высокой точностью и качеством обработанного поверхностного слоя, низкой себестоимостью.

Одним из главнейших факторов, определяющих процесс резания, – теплота, образующаяся в результате обработки металлов резанием.

Процессы переноса тепла являются одним из основных разделов современной науки и имеют большое практическое значение в станционной и промышленной энергетике, в технологических процессах промышленности [1].

Для успешного воздействия на процесс резания важно знать не только количество теплоты, но и ее распределение, то есть степень концентрации теплоты в различных участках изделия. Если бы вся образующаяся теплота быстро и равномерно распределялась по всему объему изделия и инструмента, она быстро отводилась бы в пространство, не причиняя им вреда. В действительности процесс протекает иначе: большое количество теплоты концентрируется в определенных зонах, сильно повышая их температуру [2].

Вследствие чего для управления качеством поверхности деталей значительную роль имеет определение рационального теплового режима обработки и физико-механических свойств поверхностного слоя.

Физико-механическое состояние поверхностного слоя определяется не только контактной температурой, которую можно измерить экспериментально, а всем пространственно-временным температурным полем. В

частности, важнейшее значение при формировании поверхностного слоя имеют градиенты температур и скорости изменения температуры [3].

Современное промышленное производство требует повышенного качества выпускаемой продукции. И поэтому на смену устаревающим технологиям приходят более совершенные. Примером может служить лазерная резка металла, являющаяся одним из самых высокотехнологичных способов обработки металла.

Несмотря на большое количество публикаций по лазерной обработке, технические достижения в этой области. Эти ограничения связаны с проблемой качества лазерной обработки и необходимостью выбора наиболее подходящих значений большого количества физических параметров (скорости процесса, характеристик излучения, теплофизических параметров материала, термодинамических параметров вспомогательного или защитного газа и т.п.) [4].

В области лазерной термической обработки металлов и сплавов имеется достаточно большое количество экспериментальных данных, описывающих распределение микротвердости по глубине после лазерной термообработки. Однако многие данные достаточно разрознены ими трудно пользоваться на практике, и часто для получения той или иной информации процесса необходимо потратить достаточно времени, при этом не получив полной и достоверной информации о количественной и качественной стороне процесса (иногда из-за противоречивости данных различных авторов) [5].

На основе обзора известной литературы была сформулирована цель исследования – моделирование нано-теплового технологического процесса обработки металлов резанием.

Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

- Разработка физико-математической модели, учитывающей граничные условия в зоне воздействия лазерного луча и заготовки.
- Численное исследование температурного поля и контактных температур при резании металлов.
- Определить рациональную температуру резания, при которой будут наблюдаться минимальные потери теплоты в окружающую среду, отсутствие пережога и минимальное время на обработку металла.
- Провести сравнение результатов расчетов с известными экспериментальными данными.

- Разработка инженерного метода расчета нано-теплового технологического процесса при обработке металлов резанием.

Список литературы:

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967 – 600 с.
2. Вульф А.М. Резание металлов. – Изд. 2-е. Л.: Машиностроение, 1973 – 496 с.
3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
4. Кабалдин Ю.Г., Просолович А.А., Симагина Е.В. Повышение - работоспособности режущего инструмента осаждением наноструктурных покрытий // Вестник машиностроения. 2010. № 3. С. 41–48.
5. Шастин В.И., Елисеев С.В. Развитие лазерных технологий. Особенности формирования среды взаимодействия // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 2. С. 101–109.

УДК 662.62

ВЛИЯНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИЕ

Т.Н. Кирилова, аспирант
Научный руководитель: А.В. Кабышев, д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, Россия
kirilova@sibmail.com

Федеральным законом № 261 от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» регулируются отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Согласно ст. 2 данного закона энергосбережение – это реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования.

Многочисленные мероприятия, которые способствуют экономии энергии, можно разделить на две группы:

- Организационные мероприятия – как правило, это беззатратные или малозатратные мероприятия направленные на оптимизацию энергопотребления, улучшение эксплуатационных режимов и пропаганду политики энергосбережения.
- Технические мероприятия – сюда можно отнести и малозатратные мероприятия, такие как, незначительные видоизменения оборудования или технологических процессов, и достаточно затратные мероприятия с заменой устаревшего оборудования, переход на автономное энергоснабжение и др.

Одним из организационных мероприятий для крупного промышленного предприятия является оптимизация потребления электрической энергии в части его планирования, в том числе и по часам.

В соответствии со ст. 44 Постановления Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии", потребитель, приобретающий или имеющий намерение приобретать электрическую энергию, при условии оборудования точек поставки по договору приборами учета, позволяющими измерять почасовые объемы потребления электрической энергии, вправе потребовать, а гарантирующий поставщик обязан включить в договор энергоснабжения электрической энергии (мощности) условие о планировании им объемов потребления электрической энергии по часам суток.

Стоимость электроэнергии для таких потребителей рассчитывается на каждый час [2] и напрямую зависит от соответствия планового и фактического объема потребленной электрической энергии.

Особенностью промышленного предприятия является неритмичность его работы, которая объясняется неравномерной загрузкой оборудования, сформированным портфелем заказов, качеством входных материалов и многими другими факторами, в связи с чем, прогнозирование потребления электроэнергии по часам становиться достаточно трудоемкой задачей.

Для повышения качества прогноза из общего потребления электроэнергии необходимо выделить постоянную составляющую, ее прогнозирование можно осуществить с помощью простейших статистических методов, и переменную (неритмичную) составляющую, для прогнозирования которой необходимо использовать специальные программные комплексы.

В результате прогнозирования постоянной составляющей промышленного предприятия методом проинтегрированного скользящего среднего

(АРПСС) и трендовым анализом получены суточные графики потребления электроэнергии (рис. 1). Постоянная составляющая электропотребления складывается из работы осветительных установок, вытяжной и приточной вентиляции, насосного оборудования и станочного парка предприятия.

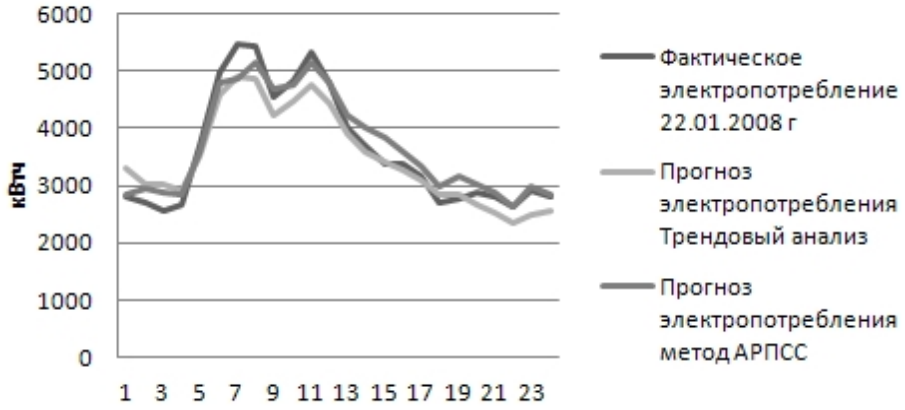


Рис. 1. Прогнозные и фактический графики постоянной составляющей потребления электроэнергии промышленного предприятия

Точность прогноза достаточно высока при использовании любого из предложенных методов, поэтому прогнозирование постоянной составляющей электропотребления промышленного предприятия не вызывает сложности.

В результате прогнозирования переменной составляющей промышленного предприятия с использованием программный пакет Statistica получены суточные графики потребления электроэнергии (рис. 2). Переменная составляющая для данного предприятия представлена работой плавильной индукционной печи, как наиболее энергоемкой электроустановки. Прогнозирование электропотребления плавильной печи разбито на 2 этапа:

1. Прогнозирование объема электропотребления на сутки с помощью нейронных сетей типа: многослойный персептрон (МП) и радиальная базисная функция (РБФ).

2. Прогнозирование почасового суточного потребления с помощью нейронной сети временного ряда.

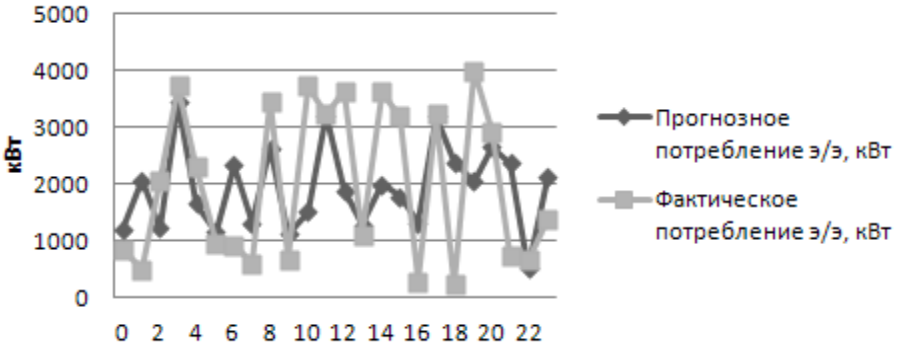


Рис. 2. Прогнозный и фактический графики переменной составляющей потребления электроэнергии промышленного предприятия

Полученная ошибка прогноза составляет менее 3%, она во многом обусловлена сложностью и нелинейностью структуры электропотребления.

Таким образом, когда руководство предприятия принимает решение о покупки электроэнергии с планированием покупаемых объемов по часам, все предприятие и весь технологический процесс проходит реструктуризацию и модернизацию, результатом которых является экономичная модель работы предприятия, в соответствии с оптимальным технологическим процессом.

Основным аспектом данной модели является разработка математического аппарата прогнозирования и планирование потребления электроэнергии на сутки вперед с разбивкой по часам каждой структурной единицей предприятия (цех, подразделение, а в случае работы оборудования большой мощности, для каждой единицы такого оборудования отдельно), при этом разрабатываются и внедряются положения о стимулировании персонала в сфере энергосбережения, в которых оговорены поощрительные меры в случае повышения энергетической эффективности и ответственность за несоблюдение плана потребления электроэнергии.

Экономия денежных средств от использования расчета за потребленную электроэнергию с планирование по часам суток составляет от 2% до 15%, в зависимости от точности прогноза.

Процесс планирования электроэнергии, с одной стороны является организационной мерой, основанной на разработке статистической модели потребления электроэнергии для данного конкретного предприятия с использованием математических методов планирования и массива данных по потреблению электроэнергии за прошлые годы, с другой стороны, для ор-

ганизации адекватного процесса планирования необходимо полная инвентаризация станочного парка предприятия и оптимизация технологического процесса, результатом которых является повышение энергетической эффективности используемого оборудования.

Таким образом, планирование потребления электроэнергии по часам приносит не только экономический эффект, в результате покупки электроэнергии по меньшей цене, чем средневзвешенная цена для остальных категорий, кроме населения. Но и приводит к снижению объемов потребления электрической энергии, за счет оптимизации технологического процесса и эффективного использования промышленного оборудования.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»
2. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии»

УДК 621.314

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА

Коваленко В.В., к.т.н., Степанов С.Ф., д.т.н., Коваленко П.В.
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов
E-mail: epp@sstu.ru

Идея повышения конкурентоспособности национальной экономики на основе реализации кластерных стратегий не нова. Но на этапе выхода из кризиса, когда традиционные методы диверсификации уже не могут дать должной отдачи, использование кластерной модели организации бизнеса в качестве адекватного инструмента модернизации экономики не имеет альтернативы. Взаимообусловленность и взаимосвязи между процессами кластеризации, усиления конкурентоспособности и ускорения инновационной деятельности – это новый экономический феномен, который позволяет противостоять натиску глобальной конкуренции и должным образом отвечать требованиям национального и регионального развития.

Мировая практика свидетельствует, что в последние два десятилетия процесс формирования кластеров происходил довольно активно. В целом,

по оценке экспертов, к настоящему времени кластеризацией охвачено около 50% экономик ведущих стран мира (рис. 1).

	Количество кластеров		Количество кластеров
Великобритания	168	Нидерланды	20
Германия	32	США	380
Дания	34	Франция	96
Италия	206	Финляндия	9
Индия	106		

Рис. 1. Количество кластеров в странах Европы

В США в рамках кластеров работает более половины предприятий, а доля ВВП, производимого в них, превысила 60%. В ЕС насчитывается свыше 2 тыс. кластеров, в которых занято 38% его рабочей силы [1].

Большая вовлеченность в инновационную деятельность кластерных компаний подтверждается статистическими исследованиями. Показательны результаты проведенных в ЕС исследований роли кластеров в развитии инноваций (рис. 5): инновационная активность кластерных компаний выше – около 60%, в то время как вне кластеров – около 40-45%.

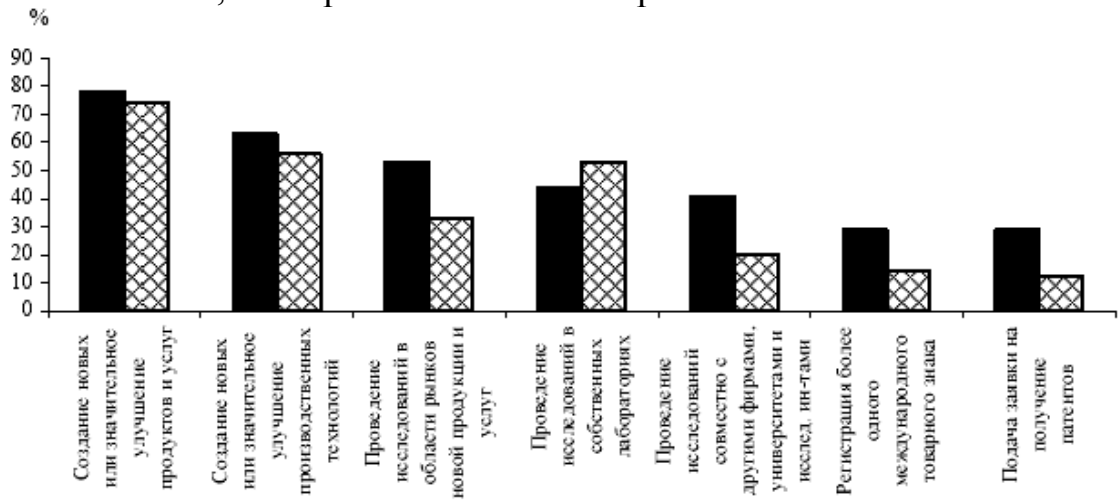


Рис. 2. Сравнение показателей инновационной деятельности фирм в странах ЕС, функционирующих в рамках кластеров и вне их:

■ *- компании в инновационном кластере;* ▩ *- инновационные компании*

Развитие современной электроэнергетики должно происходит на основе кластерного (сотового) подхода. Концепция «сотовой энергетики» основывается на применении современного высокоэффективного оборудо-

вания для совместной выработки электроэнергии, тепла и холода с использованием технологий когенерации и тригенерации, а также на использовании новых типов высокоэффективного генерирующего оборудования (высокоскоростные микротурбины и электрогенераторы с преобразователями частоты), новых способов управления автономными режимами работы микроэнергосистем и новых принципов обеспечения совместной работы микроэнергосистем с существующими централизованными энергосистемами страны через вставки постоянного тока. Важной составной частью концепции является использование информационно-измерительных систем для сбора и обработки информации, а также систем телеконтроля и управления, построенных по многоуровневому принципу.

Под «сотовой энергетикой» в рамках данной статьи понимается раздел (область) энергетики, сформированную по сотовому принципу. Это связано с необходимостью учета складывающихся рыночных отношений в сфере производства электрической и тепловой энергии и наметившихся тенденций частичного отхода от схем централизованного производства электроэнергии и тепла к территориально распределенным децентрализованным системам малой и средней мощности. В этой связи локальные децентрализованные системы энергоснабжения можно охарактеризовать понятием «сотовая электроэнергетика».

Понятие «сотовая энергетика» трактуется в следующем смысле: как система мероприятий, предполагающих осуществление комплекса набора действий, обеспечивающих достижение определенных целей (получение определенных результатов) в сфере энергообеспечения локальных субъектов производственно-хозяйственной деятельности [2].

Другими словами это система организационно-правовых, расчетно-финансовых документов и технических средств, необходимых для реализации схем децентрализованного энергоснабжения локальных объектов, учитывающих современные тенденции в развитии данной отрасли и достижения в создании новых высокоэффективных образцов оборудования, материалов и информационно-измерительных систем.

Под понятием «сотовые» элементы энергосистемы следует понимать локальные микроэнергосистемы с децентрализованным производством электрической и тепловой энергии (ДПЭиТ) непосредственно в местах ее потребления.

В этом случае соты представляют собой структурное образование низшего уровня системы электроснабжения отдельного конкретного потребителя или группы потребителей, как правило, расположенных в общих

территориальных границах и имеющих выделенную систему электроснабжения. Энергетическую основу сот составляют мини-ТЭЦ. Каждая такая мини-ТЭЦ покрывает всю или значительную часть потребности в тепле и электроэнергии в локальной территориальной системе (в отдельном сотовом элементе).

Генерирующие мощности отдельных сот могут создаваться также на основе возобновляемых источников нетрадиционной энергетики: детандер-генерирующих агрегатов системы магистральных газопроводов страны, геотермальных, приливных, солнечных и ветровых электростанций, обеспечивающих децентрализованное энергообеспечение отдельных потребителей и локальных автономных систем электроснабжения.

Очень важным преимуществом сотовой энергетики является возможность владельца источника энергии выступать как в роли потребителя, так и в роли поставщика энергии, продавая ее излишки через общую сеть.

Основные преимущества «сотовой энергетики» состоят в следующем:

- это не только новый способ производства электроэнергии, это новый способ территориального размещения электрогенерирующих установок, способов её доставки, распределения и резервирования;
- энергетика сотовых структур может быть реализована очень быстро с минимальными затратами (обычно это вопрос недель и месяцев, а не лет);
- локальные сети сот могут быстро перестраиваться, ликвидироваться, перемещаться в зависимости от складывающейся ситуации в данном регионе;
- «сотовая энергетика» позволяет экономить не за счет увеличения размеров отдельного генератора, а за счёт масштабности серийного производства генераторов малой и средней мощности;
- «сотовая энергетика» наиболее эффективна там, где есть потребность одновременно в тепловой и электрической энергии.

Список литературы:

1. Эдилерская, А.А. Кластерно-сетевые принципы организации современного предпринимательства / А.А. Эдилерская // Актуальные проблемы развития общества, экономики и права: сб. науч. трудов аспирантов. М.: Питер, 2008. – С. 256-262.
2. Курдя (Коваленко), В.В. Логистика сотовой энергетики / С.Ф. Степанов, В.В. Курдя (Коваленко), И.И. Артюхов, И.И. Артюхова // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности: сб.

науч. тр. науч.-практ. конф. (12-15 сентября 2007 г.). – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. – Т.1. – С.29 – 32.
3. Степанов, С.Ф. Сотовая энергетика как стратегическая инновация / С.Ф. Степанов, И.И. Артюхов // Электротехнологические комплексы и силовая электроника. Анализ, синтез и управление: межвуз. науч. сб. – Саратов: 2005. – С. 99 – 102.

УДК 662.435

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАХОЖДЕНИЕ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРА ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Е. А. Кожевников, А. А. Гидаспов, д.х.н., С. И. Постнов, к.т.н
Самарский государственный технический университет, г. Самара
E-mail: evil_chemist@mail.ru

Традиционно с момента изобретения А. Нобелем (1863 г.) капсюля-детонатора (КД), КД и разработанные на их основе электродетонаторы (ЭД) для промышленного и военного применения снаряжаются инициирующими взрывчатыми веществами (ИВВ), в настоящее время преимущественно азидом свинца. Например, в России ЭД мгновенного действия для промышленного применения выпускаются по ГОСТ 9089-75 [1,2] (рис.1).

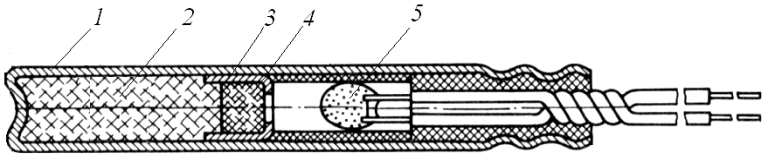


Рис. 1 - Промышленный ЭД мгновенного действия по ГОСТ 9089 – 75:
1 – гильза, 2 – основной заряд БВВ, 3 – чашечка, 4 – заряд ИВВ,
5 – электровоспламенитель (ЭВ).

Работы по созданию конструкции ЭД повышенной безопасности без ИВВ ведутся в России и за рубежом с начала 80-х гг. XX в.

В предыдущих сообщениях отмечено следующее. Во-первых, описаны подходы к разработке ЭД повышенной безопасности мгновенного действия (ЭД-ПБ-МД) [3]. Во-вторых, проведено теоретическое обоснование и практическая проверка действия ЭД-ПБ-МД, конструкция которого изображена на рис.2 [4, 5, 6].

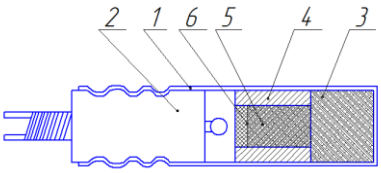


Рис. 2 – Конструкция ЭД-ПБ-МД: 1 – гильза, 2 – электровоспламенитель (ЭВ), 3 – основной заряд бризантного взрывчатого вещества (БВВ), 4 – металлическая цилиндрическая оболочка (МЦО), 5 – инициирующий заряд БВВ, 6 – воспламенительный состав.

В конструкции ЭД-ПБ-МД исключено применение ИВВ. Принцип действия ЭД-ПБ-МД основан на ускоренном переходе горения бризантного взрывчатого вещества (БВВ) *5* (рис.2) в металлической цилиндрической оболочке (МЦО) *4* (рис.2) в детонацию. При срабатывании электровоспламенителя (ЭВ) *2* (рис.2) от электрического импульса происходит зажигание воспламенительного состава *6* (рис.2). Воспламенительный состав возбуждает горение заряда БВВ *5* (рис.2), который является зарядом, инициирующим детонацию ЭД-ПБ-МД. Горение инициирующего заряда БВВ в оболочке *4* (рис.2) переходит в детонацию, и детонационная волна возбуждает детонацию в основном заряде БВВ *3* (рис.2).

В-третьих, проведена экспериментальная проверка надежности предложенной конструкции (рис.2) [7].

По ГОСТ 9089-75 [1] время срабатывания ЭД мгновенного действия, для промышленного применения, снаряженного ИВВ, должно составлять от 2 до 6 мс при подаче на ЭВ тока силой 1А. В работе [8] при исследовании ЭД-8Э с ЭВ типа ЭВ-Э показано, что основное время занимает срабатывание ЭВ, т.к. в сумме время возбуждения и детонации ИВВ и возбуждения и детонации основного заряда БВВ составляет не более 0,3 мс, причем время детонации основного заряда составляет несколько микросекунд [9].

В настоящем сообщении приведены результаты работ по экспериментальному нахождению времени срабатывания ЭД-ПБ-МД с ЭВ типа ЭВ-Ж, с основным зарядом *3* (рис.2) из гексогена массой 500 мг и инициирующим зарядом ТЭНа *5* из 200 мг ТЭНа плотностью 1,5 г/см^3. Изменения проводились с помощью цифрового запоминающего осциллографа GW Instek GDS-840C. Запуск осциллографа производился при подаче постоянного тока силой 1А на ЭВ-Ж, окончание записи процесса производилось после срабатывания датчика *2* (рис.3), находящегося под ЭД-ПБ-МД. Схема испытаний представлена на рис.3.

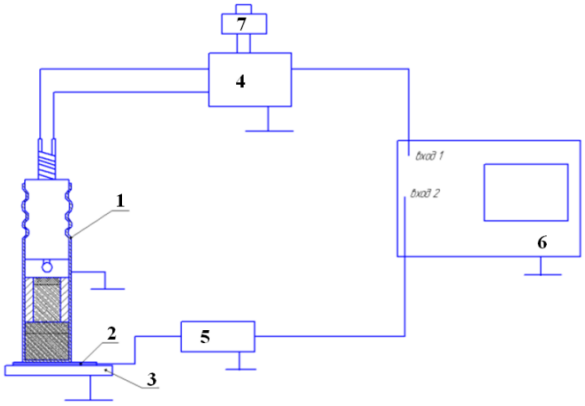


Рис. 3 – Схема установки для определения времени срабатывания ЭД-ПБ-МД:
1 – ЭД-ПБ-МД (рис.2), 2 – датчик детонации, 3 – свинцовая пластина, 4 – генератор сигнала запуска осциллографа при подаче напряжения на мостик ЭВ-Ж, совмещенный с источником постоянного тока (1А), 5 – генератор сигнала при срабатывании датчика детонации, 6 – осциллограф, 7 – стартовая кнопка.

Экспериментально найдены времена срабатывания ЭД-ПБ-МД, в серии из 5 экспериментов составляющие от 3,15 до 3,4 мс, что удовлетворяет требованиям ГОСТ[1].

В отдельных экспериментах находили время срабатывания МЦО *4* (рис.2). В этом случае запуск осциллографа производился от сигнала датчика *2* (рис.4), установленного под ЭВ-Ж. Схема испытаний показана на рис.4.

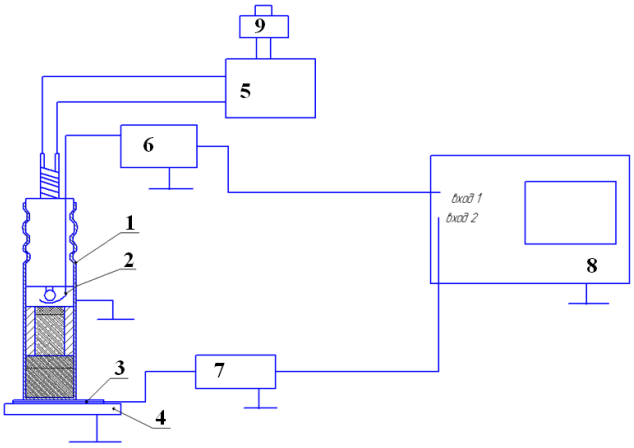


Рис. 4 – Схема установки для определения времени срабатывания МЦО:
1 – ЭД-ПБ-МД (рис.2), 2 –датчик запуска осциллографа при срабатывании ЭВ-Ж, 3 – датчик детонации, 4 – свинцовая пластина, 5 – источник постоянного тока (1А), 6 – генератор сигнала при срабатывании датчика запуска осциллографа при срабатывании ЭВ-Ж, 7 – генератор сигнала при срабатывании датчика детонации, 8 – осциллограф, 9 – стартовая кнопка.

Полученные времена срабатывания МЦО *4* (рис.2) в серии из 5 экспериментов составляют от 1,27 до 1,37 мс, что соответствует примерно одной трети общего времени срабатывания ЭД-ПБ-МД, т.е. можно утверждать, что процессы, развивающиеся в МЦО *4* (рис.2), не являются лимитирующими по отношению к общему времени срабатывания ЭД-ПБ-МД.

Таким образом, показано, что время срабатывания разработанного ЭД-ПБ-МД соответствует времени срабатывания, заложенному в ГОСТ 9089-75 [1] и составляет от 3,15 до 3,4 мс.

Список литературы

1. ГОСТ 9089-75. Электродетонаторы мгновенного действия. Технические требования. Технические условия.- Введ. 01.01.78
2. Щукин Ю.Г., Лютиков Г.Г., Поздняков З.Г. Средства инициирования промышленных взрывчатых веществ. М.: Недра, 1996.-115 с.
3. Капсюли-детонаторы повышенной безопасности. / Е.А. Кожевников, С.И. Постнов, А.А. Гидаспов и др.// Наука. Промышленность. Оборона: Труды X Всероссийской научно-технической конференции (Новосибирск, 22-24 апреля 2009 г.) - Новосибирск: НГТУ, 2009. С. 166-167.
4. Разработка конструкции электродетонатора мгновенного действия повышенной безопасности для взрывных работ в нефтегазовой промышленности. I. Обоснование и экспериментальная проверка конструкции. / Е.А. Кожевников, А.А. Гидаспов, С.И. Постнов и др. // Вест. СамГТУ.-2012.- №2(34) С.190-196.
5. Расчет внутреннего диаметра промежуточной оболочки капсюля-детонатора повышенной безопасности. / Е.А. Кожевников, С.И. Постнов, А.А. Гидаспов и др. // Наука. Промышленность. Оборона. Труды XI Всероссийской научно-технической конференции (Новосибирск, 21-23 апреля 2010 г.).- Новосибирск: НГТУ, 2010. –С.276-278.
6. Пат. 2413166 РФ. Капсюль-детонатор на основе бризантного взрывчатого вещества. С.И. Постнов, В.А. Рекшинский, А.А. Гидаспов, Е.А. Кожевников, О.В. Трохин - №2009133556/11. Заявл. 07.09.09. Опубл. 27.02.11. Приоритет 07.09.09.
7. Исследование надежности действия капсюля-детонатора повышенной безопасности/ Е.А. Кожевников, С.И. Постнов, А.А. Гидаспов и др. // Наука. Промышленность. Оборона. Труды XII Всероссийской научно-технической конференции (Новосибирск, 20-22 апреля 2011 г.).- Новосибирск: НГТУ, 2011. –С.280-283.
8. Толстых Н.Д., Павлыш Б.П. О механизме воспламенения промышленных электродетонаторов. //Физика горения и взрыва.- №4 (1968). С. 607-611.

9. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. М.: Мир, 1973.-354 с.

УДК 62-83-52

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО СХЕМЕ «ТРН-АД» В ПИТАТЕЛЯХ СЫРОГО УГЛЯ

Козлова Л.Е.
Томский политехнический университет, г. Томск
kozlovale@tpu.ru

На ТЭС нашли широкое распространение питатели сырого угля (ПСУ), различного исполнения: шнековые, ленточные, дисковые, скребковые и т.д., исполнительным элементом у которых является электродвигатель. На ТЭС уголь поступает от ПСУ в мельницу для последующее дробления, в которой необходима постоянная непрерывная подача топлива. Из чего следует, что диапазон регулирования скорости должен быть небольшим.

Ранее в ПСУ использовались двигатели постоянного тока (ДПТ), которые имеют ряд недостатков в отличие от асинхронного двигателя (АД). Эксплуатация двигателя происходит в запыленном помещении, что сильно влияет на взрывобезопасность цеха, на срок службы исполнительного элемента, а так же на стоимость ремонтных установки. По этим параметрам можно сделать вывод, что наиболее безопаснее и экономически эффективнее использование АД.

Для управления электродвигателем в настоящее время широко используется преобразователь частоты (ПЧ), который имеет ряд преимуществ: широкий диапазон регулирования скорости, легкая управляемость объектом и т.д. Электропривод по схеме «ТРН-АД» имеет свои преимущества: достаточный диапазон регулирования скорости, простота в использовании, затраты на приобретение и установку «ТРН-АД» практически в два раза меньше, чем электропривод по схеме «ПЧ-АД» соответствующей мощности.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что для управления ПСУ на ТЭС следует рекомендовать к использованию «ТРН-АД».

Список литературы:

1. Петров А., Татаринцев Н. Модернизация приводов на питателях сырого угля.//Современные технологии автоматизации. – 2004. – №4. – С. 40-44.

УДК 662.613

ЗАВИСИМОСТЬ ФАЗОВОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ ОТ ДОБАВОК СОЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ 6 ГРУППЫ

Коновчук Т.В.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: konovchuk2008@mail.ru

Ранее было показано, что добавки нанопорошков молибдена и вольфрама повышают выход нитрида алюминия при горении нанопорошка алюминия в воздухе [1]. Кроме того, эти добавки повышают соотношение нитрид-оксид в промежуточных продуктах горения до 5 раз. В работе использовались нанопорошки металлов полученные с помощью электрического взрыва проводников в аргоне. Изученные нанопорошки молибдена и вольфрама имеют высокую себестоимость, поэтому в работе были проведены исследования влияния солей: молибдата натрия и вольфрамата натрия на выход нитрида алюминия продукты сгорания смеси при малом содержании добавок (0,1 – 0,4 мас. %). Добавки соли предварительно тщательно высушивали и смешивали с нанопорошком алюминия. Навески смеси по 4 г располагали в виде конуса на керамической подложке. Процесс горения инициировали с помощью нихромовой спирали через которую пропускали электрический ток. После сгорания смеси при свободном доступе воздуха образцы измельчали и изучали их фазовый состав. Согласно полученным данным добавки солей: молибдата натрия увеличивают абсолютное содержание нитрида алюминия на 37 %, а добавка вольфрамата натрия – на 36 %.

Установлено, что повышение выхода нитрида алюминия в продуктах сгорания смеси нанопорошка алюминия с добавками связаны с каталитическим действием и снижение содержания остаточного алюминия в конечных продуктах горения. В то же время изученные добавки не оказывают существенного влияния на температуру начала окисления нанопорошка алюминия в воздухе. Вероятно, каталитическое действие добавок происходит на первой стадии окисления при повышенных температурах. В технологии производства нитрида алюминия могут быть использованы добавки солей элементов шестой группы периодической системы для повышения выхода нитрида алюминия на 36-37 %, если добавки не оказывают

негативного влияния на электрофизические свойства конечного продукта или не ухудшают механические характеристики консолидированного нитрида алюминия.

Список литературы

1. Ильин А.П., Толбанова Л.О., Мостовщиков А.В. Состав промежуточных продуктов горения нанопорошка алюминия в воздухе // Известия Томского политехнического университета, 2008. – т. 313., - № 3. – с. 19-24.

УДК 621.43.013

СРОК ОКУПАЕМОСТИ ГАЗОПОРШНЕВОЙ МИНИ-ТЭЦ

Костин Д. А., аспирант, Разуваев А. В., д.т.н.
Балаковский институт техники, технологии и управления, г. Балаково
E-mail: Kostin8842@yandex.ru

В современных условиях становления рыночных отношений в нашей стране, все большую роль приобретает надежное и качественное обеспечение электроэнергией предприятий, организаций различных форм собственности, а также в ряде случаев и населенных пунктов. О проблемах «большой энергетики» достаточно описано и сказано в различных технических статьях и научно-популярных публикациях. Поэтому все большую актуальность приобретают современные средства «малой энергетики».

Сегодня применения средств Малой энергетики на базе поршневых двигателей для постоянного и резервного электроснабжения различных объектов является особенно актуальным [1, 2, 3].

Срок окупаемости газопоршневых мини-ТЭЦ в значительной степени зависит от загрузки мини-ТЭЦ. Если средняя загрузка по электрической мощности газопоршневой мини-ТЭЦ составит порядка 70%, то ориентировочный срок окупаемости составит 3-5 лет. Если же вы будете использовать мощность установки менее чем на 35 %, вы рискуете не уложиться по срокам окупаемости и в 10 лет.

Поэтому очень важным вопросом при проектировании газопоршневой мини-ТЭЦ является определение минимальной среднеэксплуатационной электрической мощности установки, при которой срок окупаемости не превысит 5 лет.

Срок окупаемости установки определяется отношением затрат на установку к прибыли, получаемой при ее использовании.

$$Т_{ок} = С_{затр}/П, \quad (1)$$

где $T_{ок}$ – срок окупаемости, год; $C_{затр}$ – затраты на установку, руб; $П$ – прибыль от эксплуатации установки, руб.

Текущие затраты при эксплуатации энергетической установки складываются из следующих составляющих:

$$С_{затр} = С_{уст} + С_{топл} + С_{масла} + С_{з/п} + С_{ТО} + С_{пр.раб.} + С_{здан} + А,$$

где $C_{уст}$ – стоимость установки, руб; $C_{топл}$ – затраты на топливо, руб; $C_{масла}$ – затраты на масло, руб; $C_{з/п}$ – заработная плата работников и страховые отчисления, руб; $C_{ТО}$ – затраты на техническое обслуживание, текущий ремонт, капитальный ремонт, руб; $C_{пр.раб.}$ – затраты на проектные работы, руб; $C_{здан}$ – стоимость здания или контейнера для установки, руб; А – амортизационные отчисления, руб.

При этом затраты на топливо и масло зависят от мощности, на которой работает энергетическая установка.

Часовой расход топлива при определенной электрической мощности можно определить по следующей формуле:

$$G_T = G_T^{x/x} + k \cdot \left(G_T^{ном} - G_T^{x/x}\right), \quad (2)$$

где $G_T^{x/x}$ – расход топлива на холостом ходу, м^3/ч; $G_T^{ном}$ – расход топлива при работе на номинальной мощности, м^3/ч; k – коэффициент пропорциональности:

$$k = Pe^i / Pe^{ном}, \quad (3)$$

где Pe^i – электрическая мощность, на которой работает установка в данный момент времени, кВт; $Pe^{ном}$ – номинальная электрическая мощность установки, кВт.

Причем для холостого хода коэффициент k = 0, а для номинальной мощности k = 1.

Средний коэффициент k = 0,76 для ГДГ – 80 по формуле (3) был получен, исходя из графика, представленного на рис. 1и полученного на основании экспериментальных данных.

Часовой расход масла определяется по формуле:

$$G_м = q_м \cdot P_e^{ср},$$

где $q_м$ – величина удельного расхода масла на угар с учетом замены, г/кВт·ч; $P_e^{ср}$ – среднеэксплуатационная электрическая мощность, кВт.

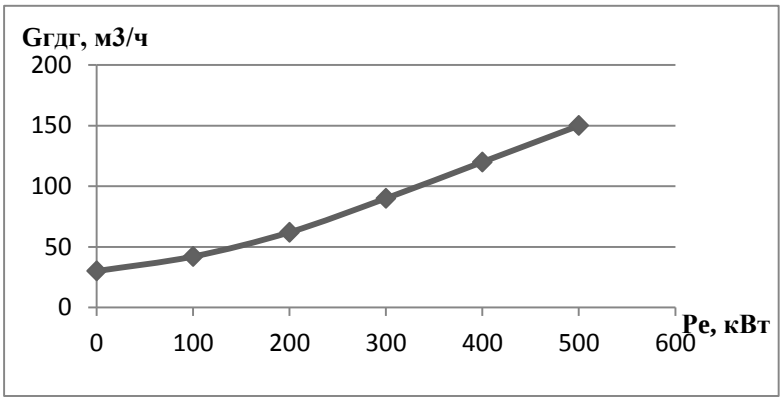


Рис. 1. График зависимости часового расхода топливного газа от мощности газового двигатель–генератора ГДГ80

Прибыль от эксплуатации установки в (1) определяется как разность между оплатой электроэнергии от центральной сети и себестоимостью, произведенной установкой, электроэнергии.

$$П = Тар \cdot Q_{эл.} - C_{э.э.ГДГ} \cdot Q_{эл.} = Q_{эл.} \cdot (Тар - C_{э.э.ГДГ})$$

где *Тар* – тариф по оплате электроэнергии, руб/кВт·ч; $C_{э.э.ГДГ}$ – себестоимость энергии, выработанной установкой, руб/кВт·ч; $Q_{эл.}$ – выработанное количество электрической энергии, кВт·ч.

Количество вырабатываемой электроэнергии также зависит от мощности установки [1].

$$Q_{эл.} = \tau \cdot Pe^{ср.э.};$$

где τ – время работы установки, час; $Pe^{ср.э.}$ – среднеэксплуатационная электрическая мощность установки, кВт.

Из проведенного выше анализа следует, что и затраты, и прибыль, а как следствие, и срок окупаемости, зависят от мощности установки. Эта зависимость обратно пропорциональна.

Среднеэксплуатационную мощность установки можно определить:

$$Pe^{ср.э.} = \sum Pe^{i} \cdot \tau^{i} / \tau,$$

где Pe^{i} – электрическая мощность установки при работе на i-том режиме, кВт; τ^{i} – время работы установки на i-том режиме, час.; τ – суммарное годовое время работы установки, час.

На основе данного анализа, был проведен расчет и при этом определено, что если среднеэксплуатационная мощность, на которой эксплуатируется энергетическая установка, составляет 33% от номинальной мощности и ниже, то себестоимость производимой электроэнергии выше, чем та-

рифная ставка по оплате электроэнергии. Т. е., необходимость в такой установке отсутствует. А при среднеэксплуатационной мощности ниже 50% от номинальной, срок окупаемости превышает 10 лет.

По имеющимся экспериментальным данным расходных материалов, текущих эксплуатационных затрат по мини – ТЭЦ на базе газового двигатель - генератора ГДГ - 80 была составлена номограмма, представленная на рис. 2.

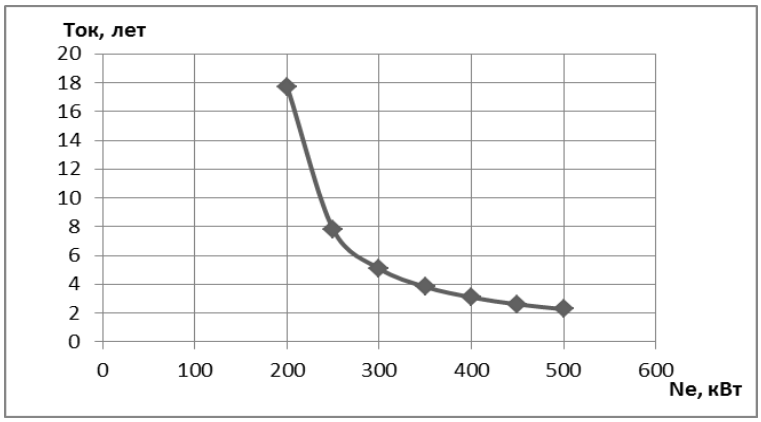


Рис. 2. Номограмма зависимости срока окупаемости установки от среднеэксплуатационной мощности.

Полученная номограмма наглядно показывает зависимость срока окупаемости установки мини – ТЭЦ на базе газового двигатель - генератора от ее среднеэксплуатационной мощности. Также полученная номограмма дает возможность определить ту среднеэксплуатационную мощность энергетической установки, при которой становится экономически целесообразно применить ее на данном конкретном объекте с его реальным графиком электрической нагрузки.

Теплота $Q_{СУ}$, которую можно получить от теплоэнергетического комплекса в составе двигатель - генератора (ДГ) и системы утилизации (СУ) тепла, определяется как

$$Q_{СУ}=Q_{м}+Q_{охл.}+Q_{г}.$$

Для определенного режима работы ДГ количество теплоты на i–ом режиме работы составит:

$$Q^{i}_{СУ}=Q^{i}_{м}+Q^{i}_{охл.}+Q^{i}_{г},$$

где $Q^{i}_{м}$ - теплота, от охлаждающего масла, на i-ом режиме работы ДГ, кВт; $Q^{i}_{охл}$ - теплота, от системы охлаждения, на i-ом режиме работы ДГ, кВт; $Q^{i}_{г}$ - теплота, от выпускных газов, на i-ом режиме работы ДГ, кВт.

Составляющие теплового баланса имеют определенную зависимость от нагрузки на двигатель – генератор (электрической мощности) и вида применяемого топлива.

Далее определяется среднеэксплуатационная тепловая мощность, получаемая от СУ. Расчет можно произвести по известному значению среднеэксплуатационной электрической мощности ДГ ($Pe^{ср.э.}$):

$$P_{тепл.}^{ср.э.} = F\,(Pe^{ср.э.}).$$

Срок окупаемости всей когенерационной установки зависит от суммарных затрат на эксплуатацию двигатель-генератора и системы утилизации отводимого тепла.

Список литературы:

1. Разуваев А.В., Костин Д.А., Сармаева Е.А. Экономическая эффективность газопоршневых мини - ТЭЦ. Сборник научных трудов 3 Всероссийской н/т конференции «Информационные технологии, система автоматизированного проектирования и автоматизации» Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. С 105-107.
2. Замоторин Р.В. Малые теплоэлектроцентрали – поршневые или турбинные // Энергосбережение в Саратовской области.- 2001.-№2 (004)
3. Терехин А.Н., Слесаренко И.В., Горланов А.В., Пчельников Д.П., Разуваев А.В. Перспективы развития автономных источников энергоснабжения на базе газопоршневых и газотурбинных двигателей // Двигателестроение.- 2007.- № 1.- С. 30-33.

УДК 614. 841

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Круглов Е.Ю., Сивенков А.Б., к.т.н., доцент
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва
E-mail: boec9041983@mail.ru, serkov@antip.ru, sivenkov01@mail.ru

Анализ пожаров, происшедших в зданиях с применением деревянных конструкций, свидетельствует о том, что пожарная опасность таких объектов характеризуется следующими особенностями:

- интенсивной динамикой развития пожара;

- быстрым наступлением критических значений опасных для человека факторов пожара, в частности критически опасной температуры, высоким дымообразованием и токсичностью продуктов горения;

- высокими значениями скоростей тепловыделения при горении материалов и конструкций на основе древесины;

- созданием условий для общей вспышки на объекте.

Проведенный анализ пожаров на объектах из древесины показывает, что решающее и первичное значение в вопросе рассмотрения возможности обеспечения безопасности людей на объектах в случае возникновения пожара должно базироваться на более глубоком изучении пожароопасных свойств строительных конструкций и материалов на основе древесины, в том числе характеристик тепловыделения в зависимости от различных природных и эксплуатационных факторов.

К основным показателям, применяемым для расчета скорости тепловыделения на пожаре используются следующие показатели: η – коэффициент неполноты сгорания; $Q_н$ – низшая теплота сгорания, МДж/кг; m" – удельная массовая скорость выгорания, кг/м^{2}с.

Расчет скорости выделения тепла при горении хвойных и лиственных древесных строительных материалов по стандартной типовой базе пожарных нагрузок [1] представлен в таблице 1. Для численного определения вышеуказанных показателей, необходимо применение высокоточного оборудования и проведение натурных экспериментов. Используемый подход определяет максимальную скорость тепловыделения ($СТВ_{макс.расч}$), но не учитывает динамику изменения данного параметра и время его нарастания.

Для определения характеристик тепловыделения можно использовать подход экспериментального определения теплотворной способности материалов. Например, в США для определения скорости выделения тепла при горении материалов наиболее широко применяется испытательное оборудование, которое базируется на двух основных принципах оценки характеристик тепловыделения. Так широко применяется проточный воздушный калориметр, работающий по принципу измерения температуры отходящих газов. Прибор был разработан в Государственном Университете штата Огайо, США, и получил название «калориметр OSU». Конструкция калориметра разработанного в Государственном Университете штата Огайо, США, была описана в [2].

Таблица 1. – Показатели, применяемые для расчета скорости тепловыделения по стандартной базе пожарных нагрузок

Наименование древесных материалов	η	$Q_н$, МДж/кг	m", кг/м^{2}с	$СТВ_{макс.расч.}$, кВт/м^2
Хвойные древесные материалы стройматериалы; штабель	0,9	13,8	0,0063	78,25
Лиственные древесные стройматериалы; штабель	0,9	13,8	0,014	173,88

Выпускаемый в настоящее время прибор позволяет определять удельную интенсивность тепловыделения от 0 до 550 кВт/м^2 [3].

Другим прибором является так называемый «конусный калориметр», разработанный в Национальном Институте Стандартов и Технологий, США (стандарт ASTM E-1354). Основа испытательного метода, использующего регистрацию концентрации кислорода, была предложена еще в 1917 году [4], а в 1980 году показана принципиальная возможность его применения для различных полимерных материалов.

Необходимо отметить, что в настоящее время фактически отсутствует отечественная практика применения важнейших с позиций нарастания опасных факторов пожара и динамики развития пожара характеристик тепловыделения в строительстве, по причине отсутствия возможности широкого использования испытательной базы для определения вышеуказанных характеристик. Единственным примером включения показателей тепловыделения в Российские нормы являются авиационные правила АП-25, действующие с 1996 года, которые гармонизованы с американским стандартом FAR-25. Наряду с этим, в ряде европейских стран, а также Австралии, США и Японии характеристики тепловыделения применяются в качестве основного классификационного параметра при оценке пожарной опасности строительных материалов, которые напрямую связаны с динамикой нарастания температуры в объеме помещения, а также с выделением токсичных продуктов горения, скоростью распространения пламени, дымообразующей способностью материалов. В связи с этим, в настоящей работе были поставлены следующие задачи: 1 – определить характеристики тепловыделения при горении вертикально расположенных образцов натуральной древесины различных пород и регионов произрастания с помощью проточного калориметра OSU марки HRR-3 фирмы Atlas, США (ASTM E 906); 2 – сравнить полученные результаты характеристик тепловыделения на установке OSU с результатами полученными при расчете по

стандартной базе пожарных нагрузок. Для определения характеристик тепловыделения были взяты образцы древесины размером 150х150х10 (мм) хвойных (сосна, ель, лиственница) и лиственных пород (дуб, береза, осина) из разных регионов России. При испытании плотность внешнего радиационного теплового потока на поверхности вертикально ориентированных образцов составляла 35 кВт/м^2.

Анализ кривых скорости тепловыделения в зависимости от времени теплового воздействия на испытуемые образцы дает возможность оценить многие пожароопасные характеристики, в частности, время задержки воспламенения и достижения максимальной скорости выделения тепла, динамику нарастания скорости тепловыделения до максимального значения, среднюю скорость тепловыделения, общее тепловыделение за определенный период экспозиции. Основные результаты представлены в таблице 2. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для хвойных разновидностей древесины, за исключением древесины лиственницы, характерно быстрое достижение максимальных значений скорости тепловыделения (СТВ) по сравнению с лиственными породами древесины. При этом общее тепловыделение (ОТВ) за время испытаний для лиственных пород древесины значительно выше, чем для хвойных. Так для древесины ели (Вологодская область) общее тепловыделение составило 851 кВт×мин/м^2, а для древесины березы (Вологодская область) – 1285 кВт×мин/м^2. Установлено, что регион произрастания древесины оказывает существенное влияние на все характеристики тепловыделения. Интересно отметить, что увеличение объемной массы древесного материала от 412 кг/м^3 для древесины ели (Вологодская область) до 858 кг/м^3 для древесины дуба (Курская область) приводит к возрастанию значений скорости тепловыделения и общего тепловыделения. Полученная закономерность может быть использована для оценки пожарной опасности объектов из древесины на этапе их проектирования и дальнейшего строительства.

По результатам исследований установлено, что при разных подходах к оценке характеристик тепловыделения при горении древесины результат может иметь существенное расхождение по своим значениям. Учитывая, что данные характеристики применяются для расчета температурного режима и нарастания опасных факторов пожара в помещениях зданий и сооружений, необходимо учитывать возможные расхождения в значениях параметров тепловыделения для более точной оценки пожарной опасности объектов деревянного домостроения.

Таблица 2. - Результаты испытаний по оценке характеристик тепловыделения при горении древесины различных пород и мест произрастания

Порода и регион произрастания древесины	Характеристики тепловыделения при горении древесины						
	ρ_{12}, кг/м^3	$\tau_{B,35}$ с.	$\tau_{1макс}$, с.	$СТВ_{1макс}$, кВт/м^2	$\tau_{2макс}$, с.	$СТВ_{2макс}$, кВт/м^2	ОТВ, кВт×мин/м^2
Ель (Вологодская область)	412	9	26	129	193,3	232	851
Сосна (Вологодская область)	487	6	20	129	280	200	894
Лиственница (Петропавловск-Камчатский край)	568	17	30	136	300	274	1011
Осина (Петропавловск-Камчатский край)	430	12	30	141	230	265	993
Береза (Вологодская область)	586	12	50	157	216	393	1285
Береза (Курская область)	591	15	40	128	170	291	830
Береза (Курская область)	612	15	60	158	170	332	950
Дуб (Вологодская область)	629	13	33	131,1	280	243	1035
Дуб (Курская область)	858	29	60	149	380	240	1354

Список литературы

1. Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. – М.: Академия ГПС МЧС России. 2007. 222 с.
2. Smith E. E. «Measuring rate of heat, smoke and toxic gas release», Fire Technology, 1972, v. 8, Aug, p. 237 – 245.
3. NFPA 263. Heat and visible smoke release rates for materials and products. 1986, USA, ANSI/NFPA 263-85.
4. Tornton W. M. «The Relation of Oxygen to the Heat of Combustion of Organic Compaunds», Philosophical Magazine, 1917, v. 33, p. 196 – 203.

УДК 620.92:665.6/7.002.8

СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ БЛОКОВ РЕГЕНЕРАЦИИ АБСОРБЕНТА УСТАНОВОК ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Ленькова А.В., асп., Долотовский И.В., к.т.н.
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов

Концепция развития и модернизации энергетики предприятий газовой и нефтяной промышленности (ПГНП) в числе основных направлений содержит повышение эффективности использования генерируемых и потребляемых энергетических ресурсов, в том числе низкопотенциальных горючих газов, и создание высокоэффективных энерготехнологических комплексов. Анализ технологической структуры основных производств ПГНП показал, что большие резервы повышения энергетической эффективности топливной системы имеются в установках первичной подготовки газа (УПГ) в блоках регенерации абсорбента (БРА), где в сепарационном и регенерационном оборудовании образовываются углеводородные газы стабилизации и дегазации технологических потоков. Эти газы могут быть использованы в самих установках – источниках горючих вторичных энергоресурсов, в качестве топливного газа в горелочных устройствах испарителей. Нами разработана высокоэффективная установка регенерации абсорбента [1] с максимальным вовлечением в топливный баланс горючих отходов производств – некондиционных газовых смесей переменного состава, что позволяет повысить энергетическую эффективность БРА и снизить удельное потребление топливного газа на собственные нужды УПГ и ПГНП.

Для оценки эффективности внедрения системы утилизации горючих отходов на соответствующем предприятии и оптимизации схемно-параметрических решений разработаны специализированные программные модули расчета (ПМР), учитывающие технологическую топологию объекта, состав оборудования, режимы эксплуатации, технико-экономические, экологические, климатические и другие факторы [2-7].

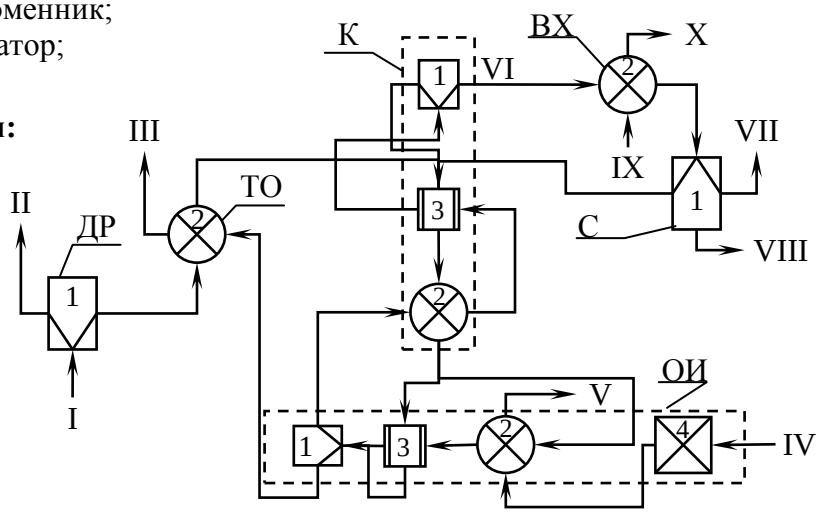
Основой ПМР являются обобщенные математические модели, разработанные в соответствии с методологией структурного анализа и проектирования. Содержательная часть ПМР каждого иерархического уровня БРА

УПГ включает модели расчета характеристик и показателей: энерготехнологического баланса; энергетических критериев эффективности; технико-экономических критериев. Разработанные ПМР взаимосвязаны между собой в соответствии с операторной схемой БРА УПГ (рисунок 1).

Оборудование:
ДР – дегазатор-разделитель; ОИ – огневой испаритель;
К –колонна; ТО – теплообменник;
ВХ – воздушный конденсатор;
С – емкость-сепаратор

Технологические потоки:

I, III – насыщенный и регенерированный абсорбент
II – газ дегазации
IV – топливный газ
V – дымовые газы
VI – парогазовая смесь
VII – газ регенерации
VIII – дренаж
IX, X – воздух



Процессы: 1 – разделение; 2 – теплообмен; 3 – массообмен; 4 – горение

Рис. 1 Операторная схема блока регенерации абсорбента

Формализованное математическое описание БРА включает следующие системы уравнений:

– материального баланса элементарных технологических процессов в каждом j-м элементе (аппарате)

$$\sum_{j=1}^{P} G_j^{/} = \sum_{k=1}^{k} c_{jk} \times G_{jk}\,, \qquad (1)$$

где $\sum_{j=1}^{P} G_j^{/}$ – сумма массовых расходов материальных потоков на выходе элемента; G_{jk} и c_{jk} – массовый расход k-го входного потока и коэффициент его превращения на различных стадиях элементарного процесса;

– энергетического баланса

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{P}\left(k_{Э}N_{Эjt}+k_{b}B_{jt}\right)=\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{P}\left(k_{Э}N'_{Эjt}+k_{b}B'_{jt}\right)+\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{P}\left(k_{Э}\Delta N_{Эjt}+k_{b}\Delta B_{jt}\right), \quad (2)$$

где $N_{Эjt}, B_{jt}$ – количество потребленной электрической энергии и топливного газа в j-м элементе за время t; $k_{Э}$, k_{b} – коэффициенты пересчета электроэнергии и топливного газа из натуральных единиц в т у. т.; T – расчетное время эксплуатации; $\sum_{j=1}^{P}\left(k_{Э}N'_{Эjt}+k_{b}B'_{jt}\right)$ и $\sum_{j=1}^{P}\left(k_{Э}\Delta N_{Эjt}+k_{b}\Delta B_{jt}\right)$ – сумма полезно используемой энергии и потерь в j-м элементе за время t, т у. т.;

– расчета показателей энергетической эффективности j-го элемента в расчетное время t

$$\phi_{jt}=f\left(\Omega_{jt}, Z_{j}, S_{t}\right), \quad (3)$$

где ϕ_{jt} – функционал принятой системы показателей эффективности j-го элемента; Ω_{jt}, Z_{j} – технологические и конструктивные характеристики; S_{t} – климатические / экологические факторы;

– расчета обобщенного технико-экономического критерия

$$\overline{Y}(t)=\overline{\Psi}\left\{\overline{\phi}_{1}(t), \overline{\phi}_{2}(t),\ldots,\overline{\phi}_{j}(t), Ц_{Э}, Ц_{T}, \sum_{j=1}^{P}K_{j}, \overline{p}_{Э}\right\}, \quad (4)$$

где $\overline{Y}(t)$ – вектор технико-экономических показателей эффективности (функция полезности объекта); $\overline{\phi}_{1}(t), \overline{\phi}_{2}(t),\ldots,\overline{\phi}_{j}(t)$ – векторы показателей энергетической эффективности элементов БРА; $Ц_{Э}, Ц_{T}$ – цены потребляемой электроэнергии и товарного газа; $\overline{p}_{Э}$ – вектор экономических и экологических коэффициентов; $\sum_{j=1}^{P}K_{j}$ – сумма инвестиций в оборудование БРА.

Результирующие данные представлены материальным и тепловым балансами абсорбции и десорбции, характеристиками процесса горения, составом и расходом газовой смеси, поступающей на горение с учетом генерируемых газов дегазации, интегральным эффектом для различного состава и характеристик оборудования.

Анализ данных имитационного моделирования режимов эксплуатации ряда действующих БРА установок комплексной подготовки и перера-

ботки газа и газового конденсата показал, что их модернизация с целью повышения эффективности использования собственных горючих отходов позволит снизить потребление топливного газа из сети предприятия на 30-36 %. Удельное потребление топливного газа (на 1000 $м^3$ сырья) составит 0,317 $м^3$, что на 0,178 $м^3$ меньше, чем в установках без утилизации газов дегазации. Для установки производительностью 43,3 тыс. т/год по регенерируемому абсорбенту интегральный эффект от внедрения предложенных решений со стоимостью капитальных затрат 3,1 млн. рублей составит около 2 млн. рублей при сроке окупаемости дополнительных капитальных затрат, не превышающем двух лет.

Работа выполнена в рамках ФЦП Минобрнауки РФ (ГК 14. 740.11.0107)

Список литературы

1. Патент на полезную модель № 114424 РФ, МПК B01D 53/96, B01D 53/26. Установка регенерации абсорбента с термической утилизацией горючих отходов/ Долотовский И.В., Ленькова А.В. – № 2011148186/05; заявл. 25.11.2011; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9. – 2 с.
2. Огневой трубный испаритель: программа для ЭВМ № 2012612728/ И.В. Долотовский, А.В. Ленькова, Н.В. Долотовская. – №2012610297; заявл. 17.01.2012; зарегистр. 16.03.2012.
3. Теплообменник кожухотрубный: программа для ЭВМ № 2012613266/ И.В. Долотовский, А.В. Ленькова. – №2012611238; заявл. 21.02.2012; зарегистр. 06.04.2012.
4. Программный комплекс «Аппараты воздушного охлаждения»: программа для ЭВМ № 2012613267/ И.В. Долотовский, А.В. Ленькова, Н.В. Долотовская. – №2012611239; заявл. 21.02.2012; зарегистр. 06.04.2012.
5. Абсорбер газ - моноэтаноламин: программа для ЭВМ № 2012613269/ И.В. Долотовский. – №2012611237; заявл. 17.01.2012; зарегистр. 16.03.2012.
6. Система «Энергоресурс»: программа для ЭВМ № 2010615353/ Е.А. Ларин, И.В. Долотовский, Н.В. Долотовская. – №2010613798; заявл. 29.06.10; зарегистр. 20.08.10.
7. Баланс газа: программа для ЭВМ № 2011616684 / И.В. Долотовский, Е.А. Ларин, Н.В. Долотовская. – №2011614852; заявл. 30.06.11; зарегистр. 26.08.11.

УДК 536.33:536.244

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЕ С РАДИАЦИОННЫМ ИСТОЧНИКОМ НАГРЕВА

Максимов В.И., к.т.н., Нагорнова Т.А., к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: elf@tpu.ru

Одним из наиболее перспективных возможных вариантов снижения затрат энергии на обеспечение регламентных тепловых режимов производственных помещений является переход от традиционных систем теплоснабжения к радиационным системам отопления. Внедрение в практику теплоснабжения систем радиационного отопления до последнего времени существенно сдерживается в том числе и в связи с отсутствием научно-обоснованных технологий подвода тепловой энергетики от радиационных источников к объектам теплоснабжения. Известные результаты [1 – 3] получены для условий достаточно существенно отличающихся от условий нагрева инфракрасными излучателями. Так, в частности, не проведены ни теоретические, ни экспериментальные исследования закономерностей теплопереноса в замкнутой области. Поэтому была решена краевая задача теплопереноса для области, представленной на рис. 1.

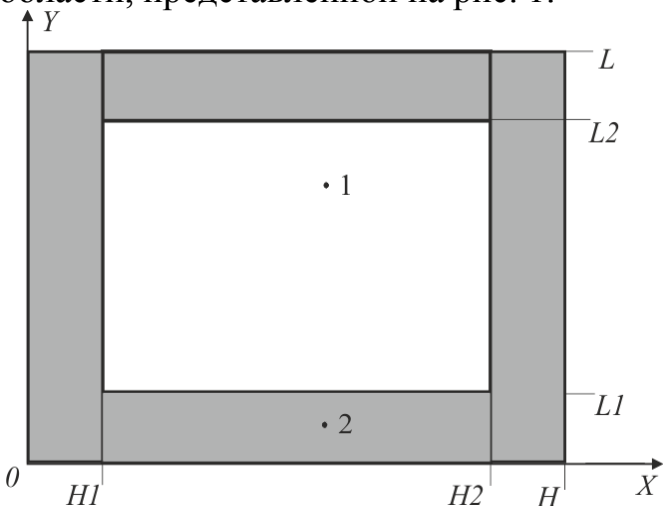


Рис. 1. Область решения рассматриваемой задачи: 1 – газ, 2 элемент твердой стенки.

Принималось, что в начальный момент газ и твердые стенки имеют постоянную и одинаковою во всех точках температуру. Газ неподвижен. Предполагалось, что теплофизические свойства материала твердых стен и газа не зависят от температуры. Жидкость считалась ньютоновской, несжимаемой и удовлетворяющей приближению Буссинеска, режим течения ясчитался ламинарным.

Математическая постановка задачи в безразмерных переменных включает следующие уравнения:

$$\frac{1}{\mathrm{Sh}}\frac{\partial\Omega}{\partial\tau}+U\frac{\partial\Omega}{\partial X}+V\frac{\partial\Omega}{\partial Y}=\frac{1}{\sqrt{\mathrm{Gr}}}\Delta\Omega+\frac{1}{2}\frac{\partial\Theta}{\partial X}, \tag{1}$$

$$\Delta\Psi=-2\Omega, \tag{2}$$

$$\frac{1}{\mathrm{Sh}}\frac{\partial\Theta}{\partial\tau}+U\frac{\partial\Theta}{\partial X}+V\frac{\partial\Theta}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{Pr}\sqrt{\mathrm{Gr}}}\Delta\Theta, \tag{3}$$

$$\frac{1}{\mathrm{Fo}}\frac{\partial\Theta}{\partial\tau}=\Delta\Theta. \tag{4}$$

Начальные условия для системы уравнений (1–4):

$$\Psi(X,Y,0)=\Omega(X,Y,0)=0, \tag{5}$$

$$\Theta(X,Y,0)=0.$$

Граничные условия на внешних границах области решения:

$$\frac{\partial\Psi(X,Y,\tau)}{\partial Y}=0,\ \frac{\partial\Theta(X,Y,\tau)}{\partial Y}=0, \tag{6}$$

при $Y=1,\ 0<x<\frac{H}{L},\ 0<\tau<\frac{t}{t_0}$; $\quad Y=0,\ 0<x<\frac{H}{L},\ 0<\tau<\frac{t}{t_0}$.

$$\frac{\partial\Psi(X,Y,\tau)}{\partial X}=0,\ \frac{\partial\Theta(X,Y,\tau)}{\partial X}=0, \tag{7}$$

при $X=0,\ 0<Y<1,\ 0<\tau<\frac{t}{t_0},\ X=\frac{H}{L},\ 0<Y<1,\ 0<\tau<\frac{t}{t_0}$.

На границах раздела твердых стенок и газа, выполняются условия:

$$\frac{\partial\Psi(X,Y,\tau)}{\partial Y}=0,\ \frac{\partial\Theta_1(X,Y,\tau)}{\partial Y}=\lambda_{1,2}\frac{\partial\Theta_2(X,Y,\tau)}{\partial Y}, \tag{8}$$

$$\Theta_1(X,Y,\tau)=\Theta_2(X,Y,\tau),$$

при $Y=\frac{L1}{L},\ \frac{H1}{L}<x<\frac{H2}{L},\ 0<\tau<\frac{t}{t_0}$; $Y=\frac{L2}{L},\ \frac{H1}{L}<x<\frac{H2}{L},\ 0<\tau<\frac{t}{t_0}$;

$$\frac{\partial\Psi(X,Y,\tau)}{\partial X}=0,\ \frac{\partial\Theta_1(X,Y,\tau)}{\partial X}=\lambda_{1,2}\frac{\partial\Theta_2(X,Y,\tau)}{\partial X},\qquad(9)$$

$$\Theta_1(X,Y,\tau)=\Theta_2(X,Y,\tau),$$

при $X=\frac{H1}{L},\ \frac{L1}{L}<Y<\frac{L2}{L},\ 0<\tau<\frac{t}{t_0};\ X=\frac{H2}{L},\ \frac{L1}{L}<Y<\frac{L2}{L},\ 0<\tau<\frac{t}{t_0}.$

На границе $L1$ учитывается радиационный источник нагрева

$$\frac{\partial\Psi(X,Y,\tau)}{\partial Y}=0,\ \frac{\partial\Theta_1(X,Y,\tau)}{\partial Y}=\frac{\partial\Theta_2(X,Y,\tau)}{\partial Y}+\mathrm{Ki},\qquad(10)$$

$$\Theta_1(X,Y,\tau)=\Theta_2(X,Y,\tau),$$

при $Y=\frac{L1}{L},\ \frac{H1}{L}<X<\frac{H2}{L},\ 0<\tau<\frac{t}{t_0},$

где $\mathrm{Ki}=qL^3/\lambda(T_{it}-T_0)$ – число Кирпичева; λ – коэффициент теплопроводности твердой стенки, Вт/(м·К); $\mathrm{Gr}=g\beta L^3(T_{it}-T_0)/\nu^2$ – число Грасгофа; β – температурный коэффициент объемного расширения, $К^{-1}$; g – ускорение, создаваемое массовыми силами, $м/с^2$; L – длина, м; ν – коэффициент кинематической вязкости, $м^2/с$; $\lambda_{1,2}$ – относительный коэффициент теплопроводности; $\mathrm{Pr}=\nu/a$ – число Прандтля; $\mathrm{Fo}=at_0/L^2$ – число Фурье; a – коэффициент температуропроводности, $м^2/с$.

Уравнения (1 – 4) с соответствующими начальными и граничными условиями (5 – 10) решались последовательно методом конечных разностей на равномерной сетке. Каждый временной шаг начинался с вычисления поля температуры в газовой полости и в элементах твердой стенки, затем решалось уравнение Пуассона для функции тока.

Получены распределения температур для исследуемой области и изолинии функции тока, характеризующие основные закономерности рассматриваемого процесса (рис. 2–3).

Установлены масштабы взаимного влияния конвективного теплопереноса в газовой полости и кондуктивной теплопередачи в элементах твердого материала. Выделены циркуляционные течения, влияющие на основное вихревое движение в газовой полости.

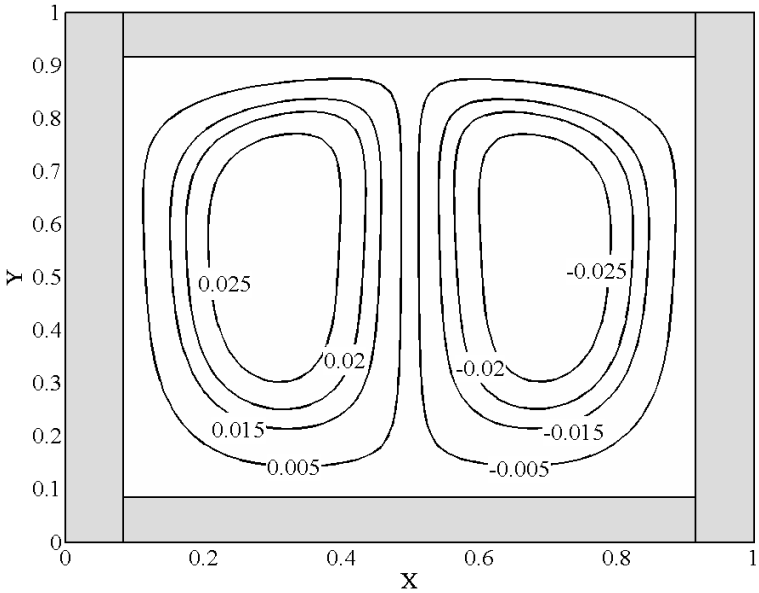


Рис. 2. Изолинии функции тока в момент времени τ=1 ч при Gr=10^7.

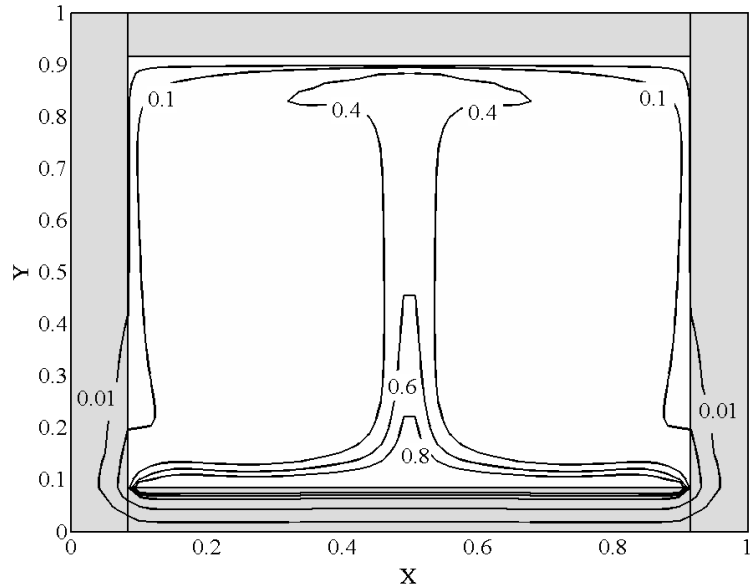


Рис. 3. Поле температур при τ=1 ч при Gr=10^7.

По результатам решения впервые сформулированной задачи о теплопереносе в локальном объекте теплоснабжения, отапливаемом с применением газовых инфракрасных излучателей можно сделать вывод о существенной неоднородности температурных полей в области, нагреваемой за счет естественной конвекции. Полученные теоретические следствия также являются основанием для вывода о целесообразности решения сопряжен-

ных задач теплопереноса при анализе тепловых режимов локальных объектов теплоснабжения при использовании систем радиационного нагрева.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № П2225 от 11.11.2009).

Литература.

1. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate heat transfer in an enclosure under the condition of internal mass transfer and in the presence of local heat source // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2009. Т.52, № 1-2. С.1-8.
2. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate natural convection with radiation in an enclosure // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2009. Т.52, № 9-10. С.2215-2223.
3. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Двумерная задача естественной конвекции в прямоугольной области при локальном нагреве и теплопроводных границах конечной толщины // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2006, № 6 С. 29–39.

УДК 536.33:536.244

ТЕПЛОПЕРЕНОС В СИСТЕМЕ С РАДИАЦИОННЫМ ИСТОЧНИКОМ НАГРЕВА ПРИ ЧИСЛАХ ГРАСГОФА РАВНЫХ ОТ 10^6 ДО 10^{11}

Максимов В.И., к.т.н., Нагорнова Т.А., к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: elf@tpu.ru

Проведено математическое моделирование теплопереноса в замкнутом воздушном объеме нагреваемом за счет подвода энергии по верхнему контуру от газовых инфракрасных излучателей.

При решении задачи использовался алгоритм [1,2], разработанный для численного решения задач естественной конвекции в замкнутых прямоугольных областях с локальными источниками энергии. Численный анализ проведен в диапазоне изменения чисел Gr от 10^6 до 10^{11}.

Турбулизация течения нагретого воздуха описывалась в соответствии с основными положениями [3] изменением вязкости с ростом скорости движения воздуха. С этой целью использовалась алгебраическая модель Прандтля [3].

$$\nu_t = l_m^2 \left| \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y} \right|,$$

$$l_m = k \cdot y,$$

где ν_t – коэффициент кинематической вязкости при турбулентном режиме течения, м^2/с, м; x, y – координаты $\bar{v}_x$ – скорость по оси x, м^2/с; l_m – путь смешения, k – универсальный коэффициент пропорциональности, не зависящий от числа Рейнольдса.

В результате численного решения задачи получены распределения температур для исследуемой области и изолинии функции тока, характеризующие основные закономерности рассматриваемого процесса. Выделены циркуляционные течения, влияющие на основное вихревое движение в газовой полости. Проведен также анализ влияния числа Грасгофа на поле скорости и на распределение температуры.

Список литературы:

4. Куриленко Н.И., Максимов В.И., Мамонтов Г.Я., Нагорнова Т.А. Математическое моделирование сопряженного теплопереноса в системе с радиационным источником нагрева // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. – № 2. – С. 48–53.
5. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
6. Роуч П. Дж. Вычислительнаягидродинамика. — М. : Мир, 1980. – 616 с.

УДК 536.33:536.244

ТЕПЛОПЕРЕНОС В ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЕ С РАДИАЦИОННЫМ ИСТОЧНИКОМ НАГРЕВА

Максимов В.И., к.т.н., Нагорнова Т.А., к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
E-mail: elf@tpu.ru

Рассматривается область прямоугольного поперечного сечения. На верхней границе $H2$ области расположен источник инфракрасного излучения. Интенсивность излучения равномерно распределена по поперечной координате X (рис. 1).

При постановке задачи предполагалось, что вся энергия инфракрасного излучателя поступает к границе *H*1, разделяющей нижнее бетонное основание (2) и область нагрева (1). Слева на линии раздела между нагреваемым воздухом и внешней средой задавались граничные условия, отвечающие бесконечности на наиболее удаленной границе разностной сетки (мягкие граничные условия) [1,2]. Теплоотвод от газа в вертикальную ограждающую конструкцию (3) осуществляется только за счет естественной конвекции, также как и отвод энергии от нижнего основания.

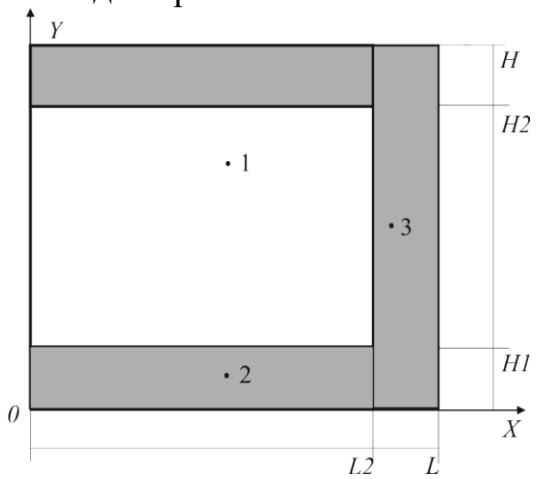


Рис. 1. Область решения рассматриваемой задачи: 1) газ, 2) и 3) элементы твердой стенки

При решении поставленной задачи было установлено, что ограждающими конструкциями, играющими в данной схеме отопления роль источников генерации естественной конвекции, поглощается энергия, существенно большая, по сравнению с затрачиваемой на повышение температуры воздуха.

Список литературы:

1. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
2. Роуч П. Дж. Вычислительнаягидродинамика. — М. : Мир, 1980. – 616 с.

УДК 621.565.9:621.1.016

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОБМЕНА ПРОТЕКАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ В ТЕМПЕРАТУР В МОРОЗИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Максимов В.И., к.т.н., Байрамов В.М.
Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: Vasif@sibmail.com

Энергетические установки, в которых в качестве рабочих компонентов применяют криогенные продукты получили широкое распространение в современной технике. Однако эксплуатация таких установок осложнена тем, что в условиях влажного атмосферного воздуха на их низкотемпературных поверхностях возможно инееобразование. Процесс генезиса и накопления инея обусловлен десублимацией атмосферного водяного пара. Десублимат значительно изменяет режимы работы этих установок, нарушая их расчетное функционирование.

Предотвратить отрицательные последствия инееобразования можно, располагая прогнозом развития данного процесса. Такой прогноз возможен на основе методики определения теплофизических характеристик инея.

Целью работы является исследование влияния инея и его толщины на процессы заморозки в разных морозильных камерах. А также сравнение их между собой. Определение холодильного коэффициента холодильника, кпд компрессора, потребление электроэнергии холодильником в зависимости от толщины инея и т.д.

Исследования проводились на экспериментальной холодильной установке. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1.

В морозильной камере находится исследуемый объект, который представляет собой открытую прямоугольную емкость с размерами 15 см*11 см*5 см. Материал стенок емкости- полипропилен.

Для проведения опытов с измененными условиями теплообмена между испарителем и воздушной средой в морозильной камере наносился слой инея, путем распыления воды на поверхность морозильной камеры. Дальнейшая методика проведения опыта не отличалась от предыдущей методики.

На рис. 2,3 представлены значения температур полученные в ходе экспериментальных исследований в морозильной камере при различных условиях теплообмена между испарителем камеры и воздушной средой.

На рис. 2 представлены значения температур в морозильной камере для случая, когда температура воздуха в морозильной камере в начальный момент времени была равна температуре окружающей среды. Видно понижение температур жидкости, воздуха в камере и фреона. Изменение температуры воды прекращается через определенное время (80 минут) это обусловлено тем, что в жидкости происходит фазовый переход (жидкость –твердое тело).

На рис. 3 представлены значения температур в морозильной камере для случая, когда в морозильной камере был слой инея толщиной 1 мм. Видно понижение температур жидкости в исследуемом объекте, а также изменение температуры воздуха в камере и фреона. Изменение температуры воды прекращается через определенное время (75 минут) это обусловлено тем, что в жидкости происходит фазовый переход (жидкость –твердое тело).

Проведенные экспериментальные исследования по проблеме инеообразования и разработанные методики по определению теплофизических характеристик инея дают возможность: 1) выяснить физическую картину течения и некоторые закономерности процесса инеообразования на низкотемпературных поверхностях теплоэнергетических установок в нестационарных температурных условиях; 2) предложить созданные методики для практики КБ при определении теплофизических характеристик слоя инея (льда) на поверхностях, в том числе при наличии тепловых ударов.

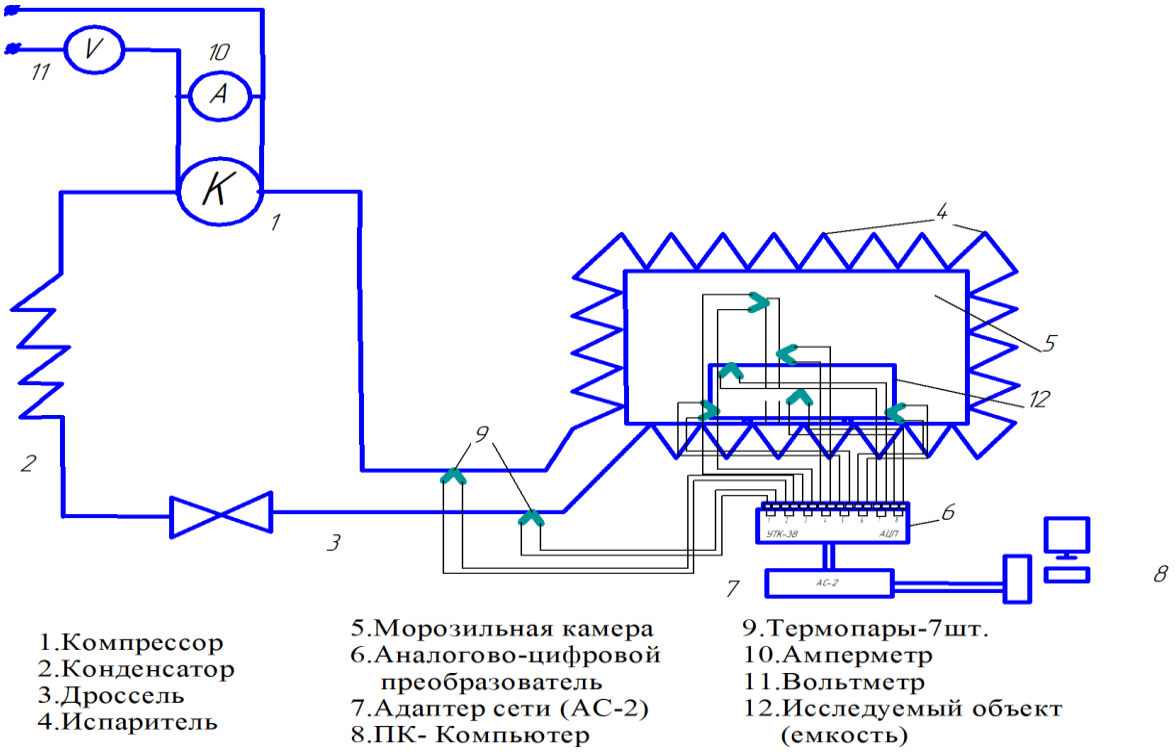


Рис.1. Принципиальная схема установки

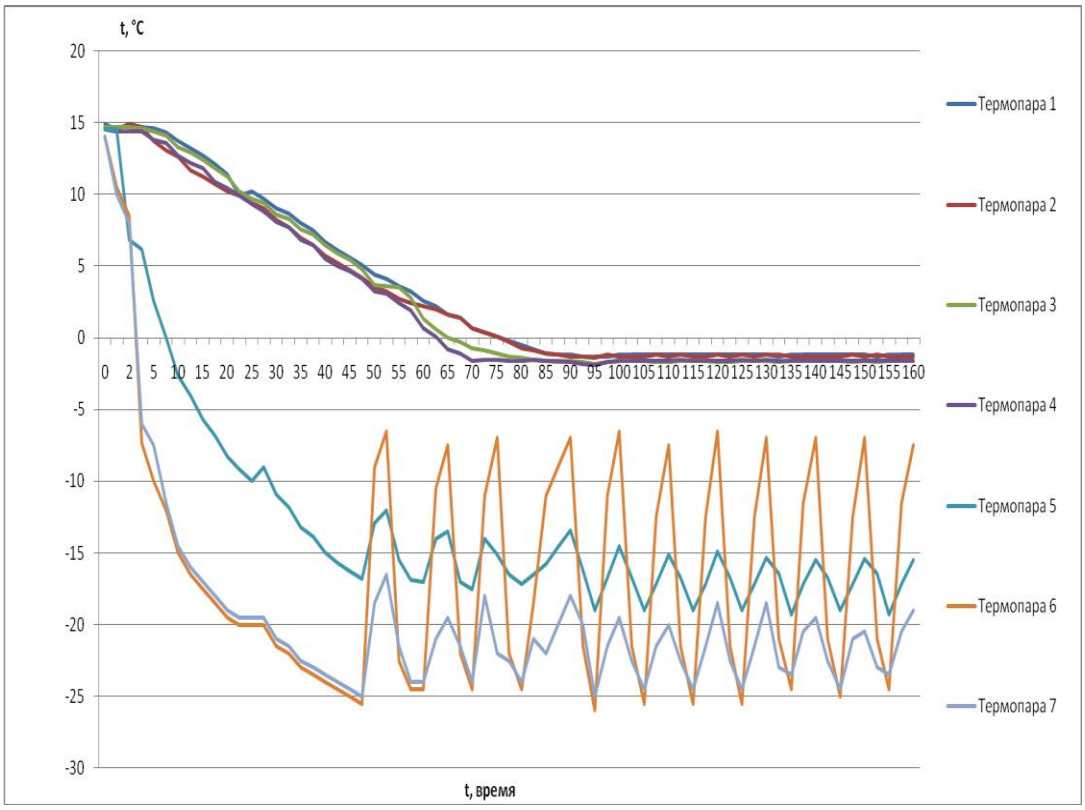


Рис.2. Значения температур в исследуемой морозильной камере. Начальная температура камеры была равна температуре окр. среды

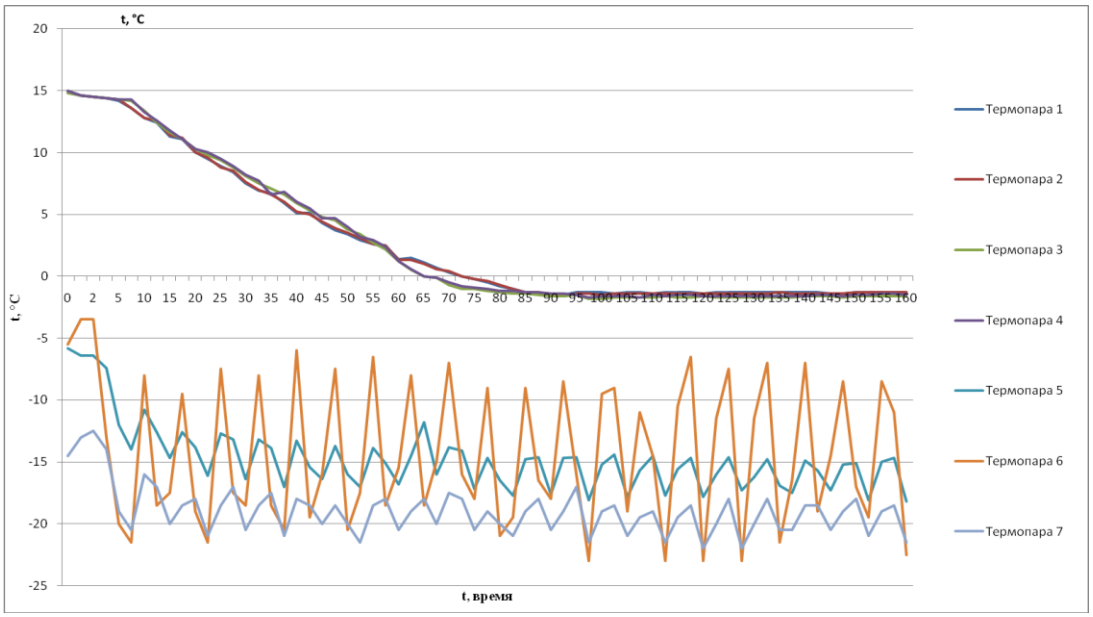


Рис.3. Значения температур в исследуемой морозильной камере с толщиной инея 1 мм

Список литературы

3. Доссат Р. Дж., Хоран Т. Дж. Основы холодильной техники: Учебник.- М.,1984. - 520 с.
4. Пигарев В.Е., Архипов П.Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха: Учебник.- М.,2003.-386с.
5. Курылев Е.С. Холодильные установки: Учебник для вузов. - СПб.: Изд-во «Политехника», 2002. – 576 с.
6. Холодильная техника: Учебник для вузов. - СПб.: Изд-во «Профессия», 2005. - 360 с.
7. С.В.Фролов, В.Е.Куцакова, В.Л.Кипнис. Тепло- и массообмен в расчетах процессов холодильной технологии: Учебник. - М.: Изд-во «Колос», 2001. – 145 с.
8. Сайт интернет-газеты Холодильщик.ru URL: http:// www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_best_article_issue_2_2006.htm.

УДК 621.565.9:621.1.016

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Максимов В.И., к.т.н., Бань Е.В.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: elf@tpu.ru

В ближайшее время в России одним из перспективных направлений энергообеспечения может стать применение комбинированных теплонасосных систем теплоснабжения (КТСТ), использующих повсеместно доступный источник тепла – грунт поверхностных слоев земли.

Уже сейчас для системы жилищно-коммунального хозяйства разрабатываются и внедряются программы перехода с газо- на электропотребление, а также пакеты нормативно-методических документов для обеспечения процессов проектирования, внедрения и эксплуатации принципиально новых технологий и систем. В последние годы во всем мире, а особенно в Западной Европе и Азии, возрос интерес к возобновляемым источникам энергии. В связи с повышением цен на энергоносители решение этого вопроса актуально и для России.

Отсутствие учета отпускаемой и потребляемой тепловой энергии, экономически необоснованные и несоответствующие реальной себестоимости тарифы не стимулируют внедрение мероприятий по снижению

энергоемкости жилищно-коммунального хозяйства. В результате удельные, приведенные к одинаковым климатическим условиям затраты использования — на одного человека, на единицу производства национального продукта — в России существенно превышают мировой уровень.

Известно, что почти 40 % всей эмиссии двуокиси углерода – это результат использования энергии для отопления, кондиционирования и обеспечения потребности населения в горячей воде, что почти сопоставимо с уровнем вреда, приносимым выбросом в атмосферу выхлопных автомобильных газов. Комбинированные тепловые насосы представляют собой механизмы, работающие на источнике нетрадиционной энергии, что позволяет примерно на 60% уменьшить выброс в атмосферу двуокиси углерода.

Использование комбинированных теплонаносной установки – это экологически чистый метод отопления и кондиционирования, так как здесь используется возобновляемая Солнцем тепловая энергия Земли.

Комбинированные тепловые насосы содержат небольшое количество механических компонентов, и, если учесть, что компрессорные системы обычно характеризуются довольно большим сроком эксплуатации, то такие системы долговечны и высоко надежны. Подземный трубопровод (петля из полимерных труб), используемый в системе, имеет срок службы более 50-и лет, да и сама система будет верой и правдой служить вам от 20-и до 30-и лет, и даже больше.

Эти агрегаты практически взрыво- и пожаробезопасны. Нет топлива и открытого огня, никаких вытяжных труб, отсутствуют опасные газы или смеси – таким образом, взрываться здесь просто нечему. Ни одна деталь не нагревается до температур, способных вызвать воспламенение горючих материалов. Остановки агрегата не приводят к его поломкам или замерзанию жидкостей. В сущности, комбинированный тепловой насос опасен не более чем холодильник.

На территории Западной Сибири наиболее рационально использовать комбинированную теплонасосную установку, энергозатраты на привод компрессора будут на 20 % меньше с использованием солнечной батареи{}. Западная Сибирь богата геотермальными источниками и солнечной энергией, что является рентабельной для установки теплового насоса и солнечной батареи.

На рис. 1 представлена схема системы солнечного отопления (охлаждения) и горячего водоснабжения с тепловым насосом, наиболее подходящая в данному региону Сибири.

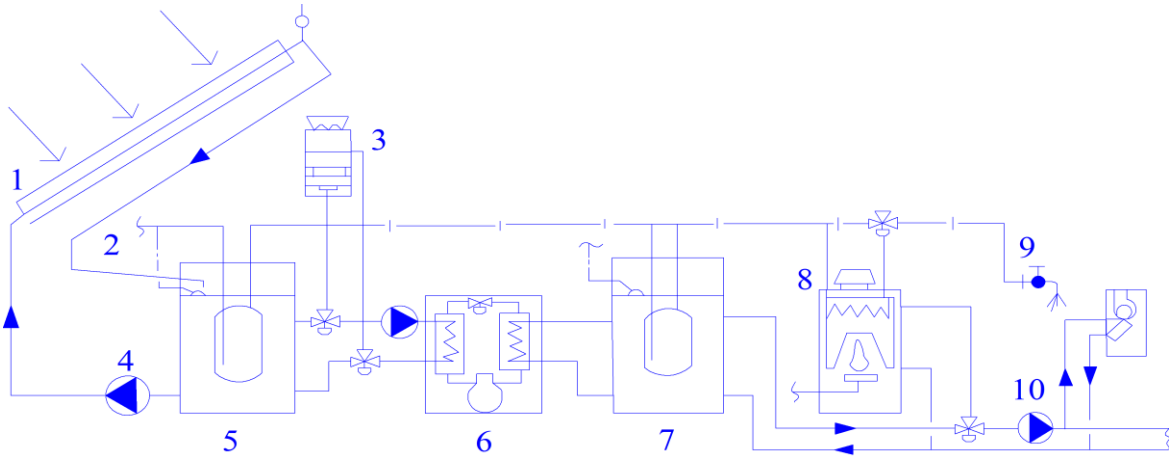


Рис. 1 схема системы солнечного отопления (охлаждения) и горячего водоснабжения с тепловым насосом

1 - коллектор; 2 - подача воды; 3 - охладительная башня (используется летом, когда необходимо охлаждение); 4 - коллекторный насос; 5 - в зимний период бак-аккумулятор с водой низкой температуры; в летний период - накопительный бак-аккумулятор с водой высокой температуры; 6 - тепловой насос вода - вода; 7 - зимой - высокотемпературный аккумуляторный бак, летом - бак с охлаждающей водой; 8 - дополнительный бойлер (двухконтурный); 9 - подача горячей воды; 10 - насос для системы отопления (охлаждения); 11 - змеевики вентиляторов.

Данная теплонасосная установка может использоваться для индивидуального теплоснабжения дома 150м2, номинальная тепловая мощность — 21,6 кВт; максимальная температура подачи греющего контура — +75 °С; масса коллектора - 60 кг; питание — 220 В; максимальная потребляемая мощность — 4,8 кВт;

Срок окупаемости данной установки 3 года позволяет рассматривать объект как энергоэффективный.

Анализ существующих схем теплонасосных установок показал, что использование комбинированной теплонасосной установки в условиях Западной Сибири безопасно для экологии и экономически выгодно, особенно в отдаленных от центральных систем теплоснабжения районах, имеющих геотермальные источники энергии. Однако для эксплуатации данного типа установки в условиях рассматриваемого региона необходимо произвести тепловой расчет используемых элементов комбинированного теплового насоса.

Список используемой литературы:
1. Огуречников Л. А. Геотермальные ресурсы в энергетике // Международный научный журнал
2. "Альтернативная энергетика и экология". — №11(31). — 2005.
3. Розенфельд Л. М. Перспективы применения тепловых насосов для повышения эффективности
4. использования тепла низкотемпературных источников / Л. М. Розенфельд, Г. С. Сердаков // Химическое и
5. нефтяное машиностроение. — №1. — 1968.
6. Штеренлихт Д. В. Гидравлика. Кн. 2. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений / Нормы проектирования.
8. ВСН 56_87. — М.: ЦНИИЭП инженерного оборудования Госкомархитектуры. — 1988.

УДК 621.565.9:621.1.016

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА РАБОЧЕГО АГЕНТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Максимов В.И., к.т.н., Галынский Д.М.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: elf@tpu.ru

В России тепловые насосы до настоящего времени не находили широкого применения, что связано с рядом причин, в том числе с неблагоприятным соотношением цен на органическое топливо и электроэнергию. Повышение конкурентоспособности теплонасосных станций теплоснабжения (ТСТ) может быть достигнуто не только за счет развития технологии производства теплонасосного оборудования, появления специализированных предприятий по разработке, монтажу и эксплуатации теплонасосных систем, но и в значительной степени при оптимизации энергоэкономических параметров их работы. Можно определить основные направления исследований по теплонасосной тематике: оптимизация термодинамических циклов и конструкций ТН, оптимизация схемных решений ТСТ и оптимизация режимных параметров этих систем. Как показал анализ, недостаточно проработаны вопросы выбора перспективных областей применения ТСТ и разработки оптимальных технических решений систем. Таким образом,

возможности оптимизации энергоэкономических параметров ТСТ далеко не исчерпаны.

Основная цель настоящей работы – экспериментальное исследование процессов фазового перехода теплоносителя в элементах теплового насоса и анализ возможности усовершенствования термодинамического цикла путем изменения конструкции теплообменных аппаратов. Экспериментальные исследования проводились на установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Установка представляет собой классическую модель парокомпрессионного теплового насоса.

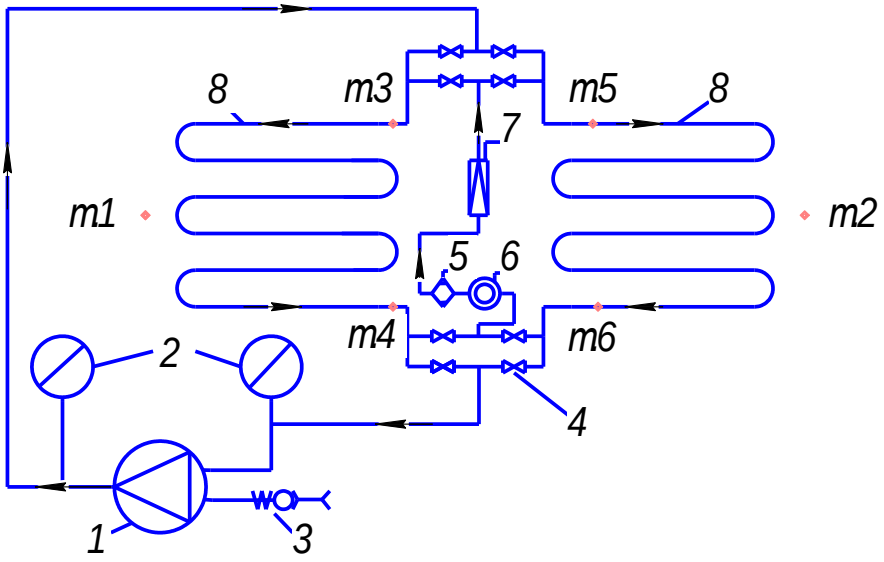


Рисунок 1 Схема установки теплового насоса (ТН):

1-компрессор; 2-манометры; 3-штуцер заправочный; 4-вентиль; 5-фильтр-осушитель; 6-стекло смотровое; 7-трубка капиллярная; 8-теплообменники (конденсатор и испаритель)

В процессе экспериментальных исследований была проведена серия опытов, при различных значениях подводимого теплового потока в испарительную камеру.

На рис. 2 представлены температуры теплоносителя в камере конденсатора при различном тепловом потоке, подводимом в камере испарителя к воде. Виден характерный рост температуры воды при различных температурных уровнях в испарителе. Выявлено, что максимальная температура в камере конденсатора зависит от температуры в камере испарителя, чем выше температура испарителя, тем выше температура в конденсаторе. Но,

при высоких температурах воды в испарителе температура в камере конденсатора не меняется.

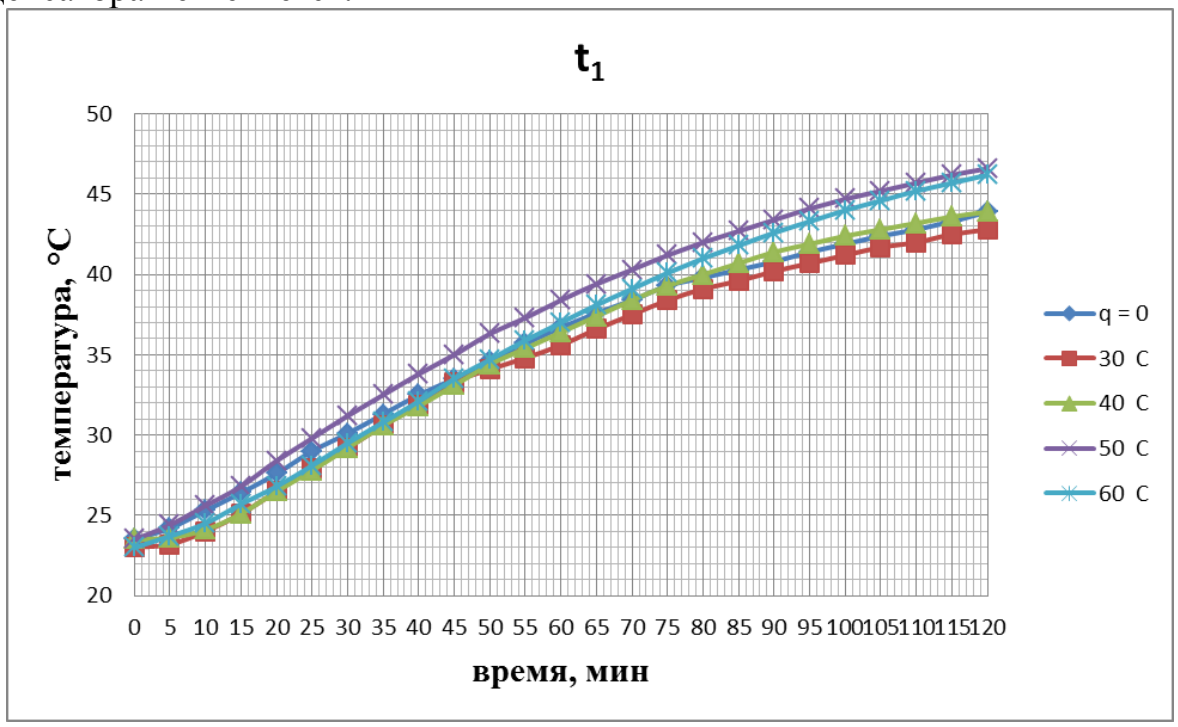


Рисунок 2. Изменение температуры теплоносителя (воды) внутри камера конденсатора

На основе полученных экспериментальных данных, определены зависимости температур теплоносителя в камере конденсатора от температур теплоносителя в камере испарителя.

На основе эксергетического метода анализа потерь эксергии в ТН, определена возможность повышения энергетической эффективности как теплообменного оборудования, входящего в состав ТНУ, так и теплового насоса в целом.

Список литературы

1. Анисимов С.Б., Разумовский А.В., Шильдкрет В.М. Теплонасосная установка для утилизации сбросной теплоты промышленных предприятий. В сб.: Экономия энергии в системах инженерного оборудования: исследования и разработки // М. – ЦНИИЭП инженерного оборудования. – 1988.
2. Богуславский Л. Д., Ливчак В. И., Титов В. П. и др. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справ. Пособие // М. – Стройиздат. – 1990.

3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для ВУЗов // М. – Издательство МЭИ. – 1999..
4. Васильев Г. П., Шилкин Н. В., Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах // АВОК. – 2003.- № 2..

УДК 621.565.9:621.1.016

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ И СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ С ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ НАГРЕВА

Максимов В.И., к.т.н., Нагорнов Д.А., Ударцев Е.И.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: elf@tpu.ru

Интерес, проявляемый к свободноконвективным течениям, объясняется их большим значением для самых разнообразных отраслей техники. В промышленных помещениях, энергетических установках, в гидродинамических сооружениях, вентиляционных устройствах и т.п. встречаются конвективные течения. Как правило, они весьма существенны, а зачастую имеют важное значение для интенсификации рабочего процесса или высокой экономичности. В области теплоэнергетики конвективные течения используют для получения высоких коэффициентов теплоотдачи, возможности локализации интенсивных тепловых потоков в определённых местах на поверхности, с которой взаимодействуют течения, для энергосбережения при использовании конвективного течения. Задачи теплообмена и аэродинамики в замкнутом объёме имеют важное теоретическое и практическое применение.

Целью работы является экспериментальное исследование процессов теплопереноса в замкнутом прямоугольном контуре в условиях естественной конвекции, при различной мощности локального источника тепловыделения.

Для проведения эксперимента по исследованию процессов теплопереноса в замкнутой области в условиях естественной конвекции использовалась экспериментальная установка (рисунок 1), основными элементами которой являлись: замкнутый контур 1, источник тепловыделения 2, ряд термопар 3, электронное устройство контроля температуры УКТ 38 4 и электронное устройство регулирования мощности нагревателя 5. Замкнутый контур, представляет собой полость прямоугольной формы, состоящую из

твердых стенок конечной длины и толщины. В качестве материала стенок контура использовалось стекло толщиной 0,006 м. Контур имел следующие геометрические характеристики (замеры производились по внутреннему пространству): длина 0,5 м, ширина 0,4 м и высота 0,4 м. Полный объем контура составил 0,08 м³.

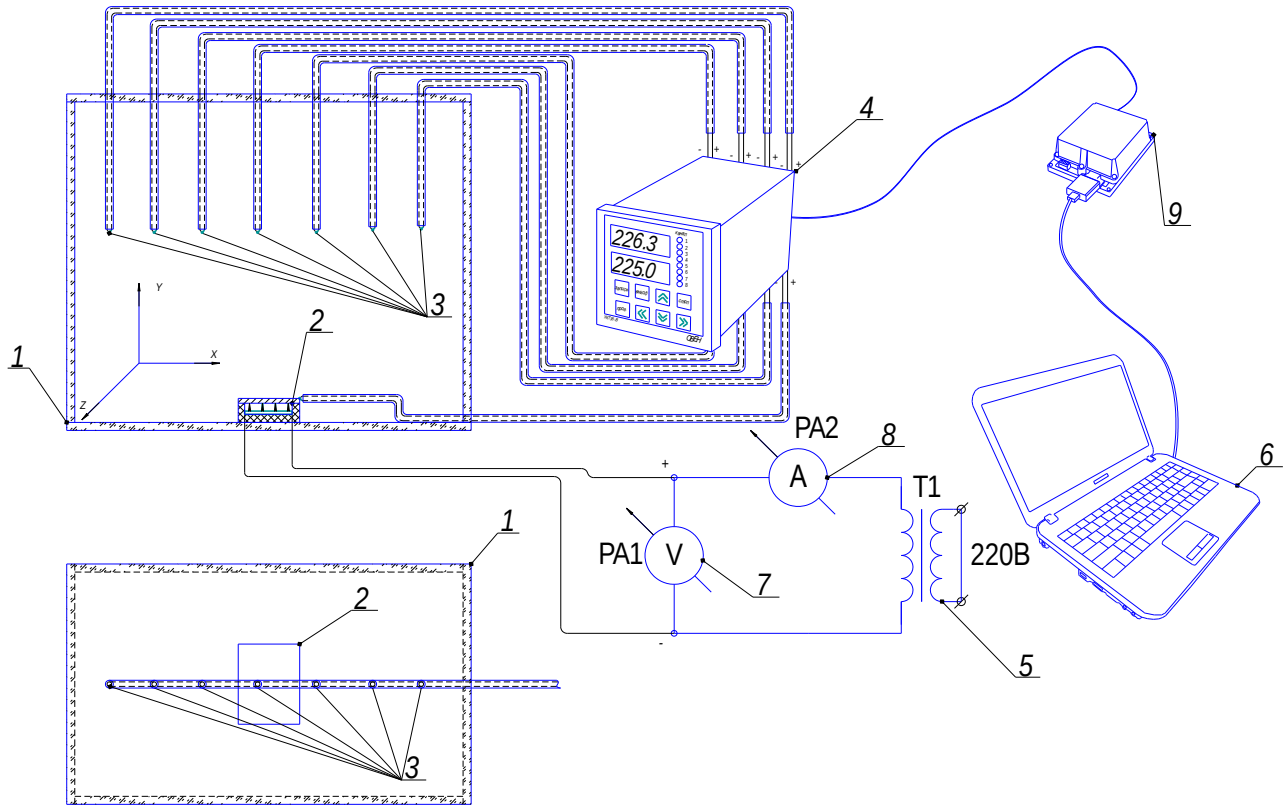


Рисунок 1. - Экспериментальная установка:

1) замкнутый контур; 2) блок нагревателя (источник тепловыделения); 3) ряд термопар; 4) электронное устройство контроля температуры УКТ 38; 5) электронное устройство регулирования мощности нагревателя; 6) персональный компьютер; 7) вольтметр; 8) амперметр; 9) адаптер интерфейса АС 2

На рис. 2,3 приведены типичные результаты измеренной температуры полученной в ходе проведения экспериментов. Анализ термограмм, полученных экспериментально, показывает, что при исследуемых мощностях нагрева наблюдается равномерный прогрев воздуха по высоте с уменьшением температуры на верхних уровнях. Такое распределение обусловлено небольшой разницей температур между нагретой поверхностью пластины и конвектируемым воздухом. На самом верхнем уровне, соответствующе-

му высоте 0,332 м, температура воздуха внутри контура практически равна температуре окружающего воздуха в помещении. Кроме того в исследуемом контуре исключены возможности сквозняков и дополнительных присосов воздуха, так как он является полностью изолированным[2].

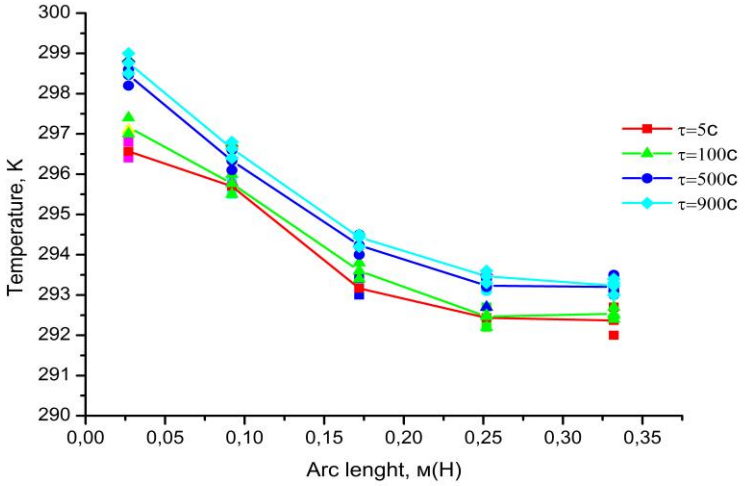


Рисунок 2 - Экспериментальные данные изменения температуры воздуха в восходящем потоке над пластиной в различные моменты времени. Мощность источника: $Q_э = 2.3 Вт$

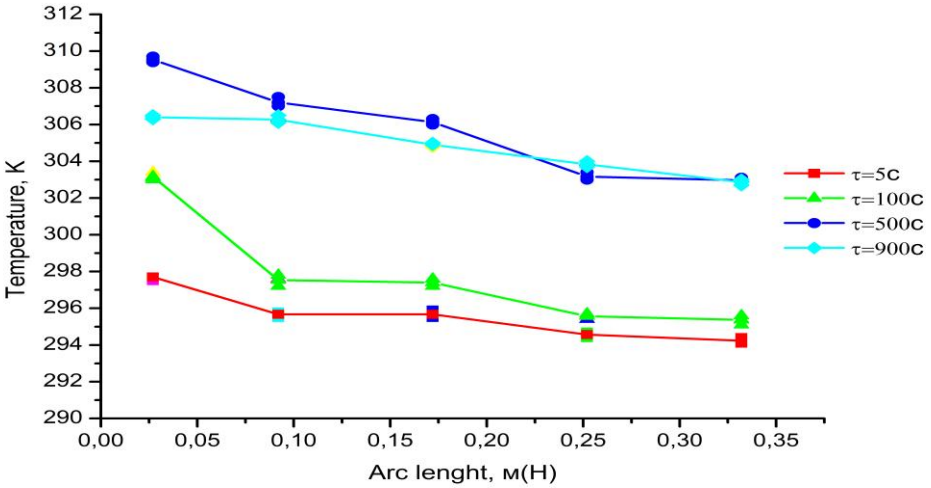


Рисунок 3 - Экспериментальные данные изменения температуры воздуха в восходящем потоке над пластиной в различные моменты времени. Мощность источника: $Q_э = 22.8 Вт$

В ходе проведения исследований была разработана экспериментальная установка для исследования процессов смешанной конвекции в прямоугольной области с локальным источником ввода и вывода воздушного потока и заданным источником тепловыделения. Разработанная методика проведения экспериментального исследования процессов смешанной конвекции и полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего изучения процесса смешенной конвекции. Возможно принятия методики проведения исследования за основу в близких по тематике изысканиях.

Список литературы

1. Полежаев В.И. Свободная конвекция: обзор моделей, методов и приложений.Труды 1 Российской национальной конференции по теплообмену. - Москва, 1994. - Т.2. - С. 3-10.
2. Джалурия Й. Естественная конвекция: Тепло- и массообмен. - М.: Мир, 1983. – 400 с.
3. Соковишин Ю.А., Мартьшенко О.Г. Введение в теорию свободноконвективного теплообмена. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. - 224 с.
4. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Сопряженная смешанная конвекция в условиях массопереноса. ИФЖ. - 2009. - Т.82, №5. - С. 886-895.
5. Ермолаев И. А., Жбанов А. И. Смешанная конвекция в вертикальном канале с дискретными источниками тепла на стенке // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. - 2009. - №4. - С. 40-46.
6. Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Смешанная конвекция в прямоугольной области с локальными источниками ввода и вывода массы в условиях неоднородного теплообмена// Известия Томского политехнического университета. - 2006. - Т.309, №5. - С. 114-118.

УДК 544.016.2

ФАЗОВЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК $LINO_3$ – $NANO_3$ – NAI ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ ВЗАИМНОЙ СИСТЕМЫ LI,NA || I,NO_3

Мальцева А.В., Губанова Т.В., к.х.н., Гаркушин И.К., д.х.н.
Самарский государственный технический университет, г. Самара
E-mail: samara200687@mail.ru

Широкое использование ионных расплавов в различных областях техники делает актуальным изучение многокомпонентных систем различной химической природы [1]. Диаграммы плавкости трехкомпонентных

взаимных систем из солей лития представляют интерес для практических целей в химической и металлургической промышленности, использующих солевые смеси в качестве электролитов и теплоносителей. Для практического применения наибольшее значение имеют эвтектические составы, так как позволяют достичь заданной температуры плавления.

Авторами был изучен фазовый треугольник $LiNO_3$ – $NaNO_3$ – NaI трехкомпонентной взаимной системы Li,Na || I,NO_3. Изучение всей системы не представляется возможным из-за высокой гигроскопичности одного из компонентов – йодида лития. Поэтому, целью исследования являлся поиск эвтектического состава обладающего минимальной температурой плавления в системе $LiNO_3$ – $NaNO_3$ – NaI.

Методом исследования являлся дифференциальный термический анализ (ДТА) [2]. Экспериментальное изучение фазового треугольника проводилось на микрокалориметре ДСК в стандартных платиновых микротиглях. Индифферентное вещество – свежепрокаленный Al_2O_3. Составы выражены в мол. %.

Двойные системы, ограничивающие фазовый треугольник $LiNO_3$ – $NaNO_3$ – NaI системы Li,Na || I,NO_3 ранее исследованы в работах [3–4]. Исследованием политермического разреза найдено направление на тройную эвтектику $\overline{E}_1$. Дальнейшим изучением нонвариантного разреза NaI - $\overline{E}_1$- E_1 определена температура плавления трехкомпонентной эвтектики, которая составила 178 ^{o}C.

Список литературы:

1. Делимарский Ю.К., Барчук Л.П. Прикладная химия ионных расплавов. Киев, Наукова думка, 1988. – 192 С.
2. Егунов В.П. Введение в термический анализ / В.П. Егунов. – Самара, 1996. – 270 с.
3. Стронкин А.В., Василькова И.В., Кожина И.И., Шашко В.Г., – Журн. Неорган. Химии, 1972, Т. 46 №11 С. 2764.
4. Справочник по плавкости солевых систем. Т. 1 // Под ред. Воскресенской Н.К. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 588 с.

УДК 662.986:662.613

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВНЕШНИХ ГАЗОХОДОВ И ДЫМОВЫХ ТРУБ

Манчын Е.Н., магистрант, Голдаев С.В., д.ф-м.н.,
Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: manchynsport1990@mail.ru

В настоящее время многие газоотводящие тракты ТЭС и других теплоэнергетических установок находятся в предаварийном состоянии [1]. Разрушение внешних газоходов и дымовых труб (ДТ) в зимнее время приводит к отключению значительной тепловой мощности потребителей и к непредсказуемым экстремальным последствиям.

В железобетонных ДТ с прижимной футеровкой повреждения связаны с проникновением агрессивных газов в толщу конструкций.

Отсутствие текущего контроля за состоянием внешних газоходов и ДТ приводит к тому, что их ремонт выполняется, когда они становятся неработоспособными. Организации, предлагающие ремонтные услуги, в основном решают эти проблемы «латанием дыр».

Снижение надежности ДТ в значительной степени происходит из-за несоблюдения правил эксплуатации, выражающегося в отступлении эксплуатационных значений температурно-влажностных и аэродинамических параметров от рекомендуемых проектом.

Для обеспечения надежного функционирования ДТ в работе [2] предложен перечень дополнительных мероприятий (организовать отвод конденсата за пределы фундамента ДТ, при проведении не реже обследования технического состояния ДТ осуществлять отбор проб футеровки, организовать систематическое инструментальное наблюдение за равномерностью осадки оснований под фундаменты и вертикального несущего ствола ДТ и производить проверку их устойчивости).

Приведенный выше перечень мероприятий по обеспечению надежной эксплуатации ДТ не является исчерпывающим. Применительно к конкретным условиям эксплуатации этот перечень может быть расширен и дополнен другими мероприятиями.

Список литературы:

1. Повышение надежности и экологической безопасности внешних газоходов и дымовых труб ТЭС /Ю.В. Салов, В.А. Семашко, В.В. Варнашов и др. //Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. –№2 (58). – С.54–57.
2. Стриха И.И. Надежность работы дымовых труб //Новости теплоснабжения –2009. –№3. –С.20–24.

УДК 662.986:662.613

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЖИДКОСТЕЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СУШКЕ БИОМАССЫ

Мелешкин Д.С., руководитель Бульба Е.Е.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail:M.D.S.2009@yandex.ru

По теме данной работы особое внимание уделялось исследованию процесса испарения влаги в древесном топливе. В связи с этим была собрана экспериментальная установка и подготовлены исследуемые образцы.

Цель работы: экспериментальное исследование скорости испарения различных типов жидкостей с использованием сушильной камеры и лабораторных весов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1) Изучить закономерность процесса испарения;
2) Подготовить экспериментальные образцы для исследования;
3) Собрать экспериментальную установку;
4) Проанализировать полученный результат, определить погрешность измерений, определить доверительный интервал для взятых экспериментальных образцов.

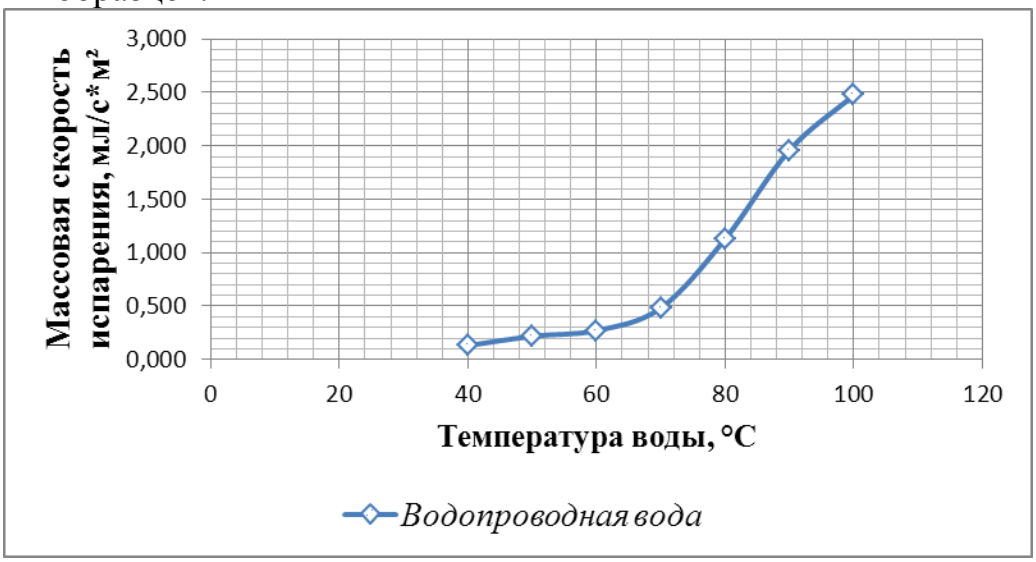


Рис.1. Зависимость массовой скорости испарения от температуры воды

В итоге проведенного эксперимента было получено графически поведение массовой скорости испарения водопроводной воды в зависимости от ее температуры. Дальнейшие исследования будут проводиться для минерализованной воды, также будет получена кривая зависимости массовой скорости испарения образца от её температуры.

Список использованных источников:

1. Любов В.К., Дьячков В.А. Исследование теплотехнических характеристик древесных отходов и торфа // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на предприятиях и ТЭС: межвузовский сборник научных трудов.– СПб: СПбГТУ, 2001. С. 240–248.
2. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: справочник.– М.: Энергоатомиздат,1992.– 176 с.
3. Доброхотов В.И. Основные направления научно технического прогресса в энергетике, решаемые в рамках Государственной программы России "Экологически чистая энергетика" // Теплотехника. 1993. №6. С.39–45

УДК 665.7.032.56

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

А.Ю. Мищенко, А.А. Юнусов,
магистры, Томский политехнический университет,Томск
E-mail 87mischenko@mail.ru

Проблемой энерготехнологического использования древесного топлив и утилизации отходов древесины занимаются долгое время, однако в последнее десятилетие ей стали уделять больше внимания. Во многих странах с целью уменьшения зависимости от нефти и газа возрос интерес к использованию органического топлива [1]. Проблемы утилизации и рационального использования отходов древесного производства, можно решить нетрадиционными методами переработки, одним из которых является газификация, позволяющая конвертировать любые органические вещества в газ, состоящий в основном из CO, H_2, CO_2, CH_4. Разработка технологий, позволяющих применять различные виды биомассы в энергетических целях, актуальна задача, как для рационального использования природных ресурсов, так и для создания автономных источников теплоснабжения и электроснабжения, работающих на местных видах топлива. В этом смысле весьма привлекательным сырьем являются древесина и торф, относящиеся

к возобновляемым углеводородным ресурсам. В нашей стране сосредоточено около 47 % мировых запасов торфа и 24 % древесины. Запасы торфа в России в пересчете на условное топливо составляют 68,3 млрд. т., которые превосходят суммарные запасы нефти (31 млрд. т.), газа (22 млрд. т.), уступая лишь запасам угля (97 млрд. т.) [2]. Перспективным направлением данного процесса является высокотемпературная бескислородная паровая газификация.

В Кузбасском государственном техническом университете был создан экспериментальный стенд использованный при паровой газификации органического топлива, схема которого представлена на рисунке 1. Основным элементом экспериментального стенда является рабочий участок, изготовленный в виде цилиндрической трубы. В качестве исходного материала для процесса конверсии использовалась мелкая сухая древесная фракция, которой имела размер частицы 2 мм.

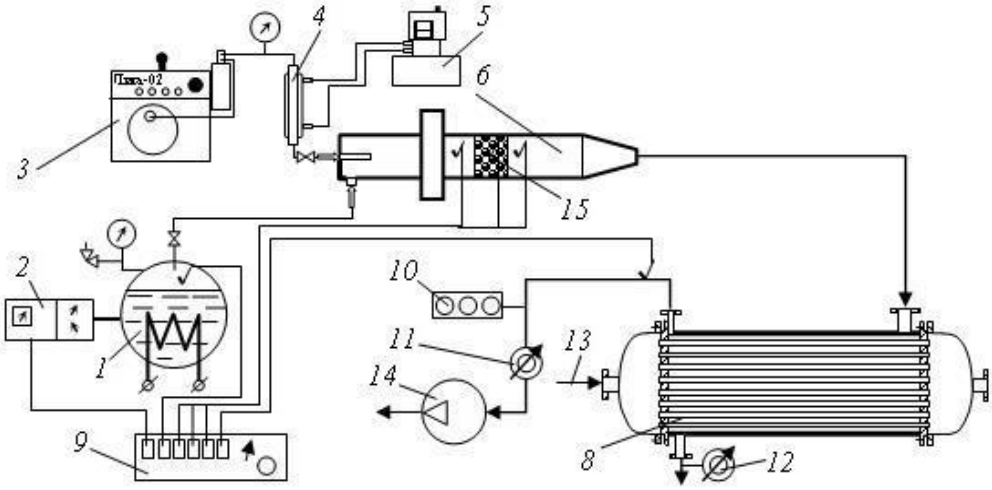


Рис.1. Схема экспериментального стенда конверсии углеродсодержащих материалов

1 – парогенератор; 2 – система термостабилизации генератора; 3 – генератор водород–кислородной горючей смеси; 4-система термостабилизации и огнезащиты горючей смеси; 5-термостат; 6-рабочий участок; 7-конденсатор-сепаратор; 8-система термопар с АЦП; 9-система сбора газовых проб; 10-система измерения расхода газа; 11- система измерения расхода конденсата; 12-магистраль оборотной воды; 13-вакуум-насос – компрессор; 14 – слой углеродсодержащего материала (сборка); 15- место засыпки древесной фракций.

Реакция водяного пара с углеродом топлива с образованием CO и H_2 [3]

$$C+H_2O=CO+H_2 \qquad (1)$$

описывается уравнением.

$$w\frac{dr_n}{dz} = -K_1 C_T r_n \ . \qquad (2)$$

Граничное условие

$$r_n \Big|_{z=0}^{0} = 1.$$

В ходе решения данного уравнения при заданных граничных условиях получаем следующее

$$r_n = \exp(-\frac{K_1 C_T z}{w}), \qquad (3)$$

где r_n – концентрация водяного пара, м3/м3; w – скорость парогазовой смеси при реальных параметрах с учетом порозности слоя, рассчитанная по составу продуктов реакции (1), м/с; z – расстояние до газораспределительной решетки, м ; K_1=7,2×103exp(-9093/T) – константа скорости взаимодействия водяного пара с углеродом древесины, м3/(с кг); T – температура кипящего слоя, К; $C_T=(1-\varepsilon)\rho_У C_C/100$ – концентрация углерода топлива в слое, кг/м3; ε – порозность слоя насадки, м3/м3; $\rho_У$ – плотность полукокса, кг/м3; C_C – содержание углерода в полукоксе на сухую массу, %.

Образование CO_2 и реагирование его с углеродом топлива

($C+CO_2=2CO_2$ ΔH=+159.7 кДж/моль), описывается уравнением:

$$w\frac{dr_{CO_2}}{dz} = 0.5K_1 C_T r_n - K_2 C_T r_{CO_2}, \qquad (4)$$

$$r_{CO_2}\,|_{z=0} = 0,$$

где r_{CO_2} - концентрация углекислого газа, м3/м3; K_2=5317exp(-7980/T) – константа скорости реагирования CO_2 с углеродом древесины, м3/(с кг).

Подставим уравнение (3) в (4) проинтегрируем его и получим:

$$r_{CO_2} = \frac{0.5K_1}{K_2 - K_1} \times \left[\exp\left(-\frac{K_1 C_T z}{w}\right) - \exp\left(-\frac{K_2 C_T z}{w}\right)\right] \qquad (5)$$

Образование CO и CO_2 описывается уравнением

$$w\frac{dr_{CO}}{dz} = 2K_2 C_T r_{CO_2} \ , \qquad (6)$$

$$r_{CO}\,|_{z=0} = 0,$$

где r_{CO} - концентрация оксида углерода, м3/м3.

Подставляя уравнение (5) в (6) и интегрируя его, получаем:

$$r_{CO_2} = \frac{K_2 K_1}{2(K_2 - K_1)} \times \left[\frac{1 - \exp\left(-\frac{K_1 C_T z}{w}\right)}{K_1} - \frac{1 - \exp\left(-\frac{K_2 C_T z}{w}\right)}{K_2} \right], \quad (7)$$

где r_{CO_2} коэффициент 2 в знаменателе учитывает уменьшение концентрации CO за счет увеличения объема продуктов реакции (8) в 2 раза.

Образование водорода из углерода и водяного пара осуществляется по реакции

$$C+H_2O \rightarrow 0{,}5(CO_2+C)+H_2 \rightarrow CO+H_2, \quad (8)$$

$$r_{H_2} = 0.5(1 - r_n), \quad (9)$$

где r_{H_2} - концентрация водорода, м3/м3; коэффициент 0,5 учитывает уменьшение концентрации водорода за счет увеличения объема продуктов реакции (8**)** в 2 раза [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК №14.740.11.0101

Список литературы

1. Грачёв А.Н., Совершенствование техники и технологии процесса термической переработки древесных отходов: Дис. . канд. тех. наук. Казань, 2005.- 186 с.
2. Зорина Г.И., Брух-Цеховой А.Р. Современное состояние технологии газификации за рубежом. -М.: ВНИИТЭнефтехим, 1986. 48с.
3. Исаева Е.Н., Иванова JI. Изучение пиролиза хвойных пород: Дис. . канд. техн. наук. -Ленинград, 1970. 223с.
4. Козлов В.Н. Пиролиз древесины. Под ред. Акад. И.П. Бардина. -М.: Академ. Наук СССР, 1954. 284с

УДК 662.613

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ КОМПАКТИРОВАННОГО НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ

Мостовщиков А.В.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: pasembellum@mail.ru

В настоящее время нитрид алюминия является одним из базовых материалов в производстве подложек для микроэлектроники. Одним из способов решения проблемы получения нитридов является использование явления связывания азота воздуха и образования нитридов при горении нанопорошка алюминия в атмосфере воздуха [1].

В условиях горения нанопорошка алюминия при свободном доступе воздуха в качестве конечных продуктов образуется нитрид алюминия в виде самостоятельной кристаллической фазы. При этом содержание нитрида алюминия может составлять от 30 до 90 мас. % [2]. Процесс горения навески НП Al в виде компактированного цилиндра (образца-таблетки) протекает в две стадии: первая стадия характеризуется невысокими температурами (~ 600-800º С), обусловленными выгоранием абсорбированного наночастицами водорода, вторая стадия представляет собой режим теплового взрыва (~2000-2200º С).

Исследование продуктов сгорания нанопорошка алюминия с использованием рентгенофазового анализа [3] позволяет сделать вывод, что в процессе горения прессованного нанопорошка алюминия основной сформировавшейся кристаллической фазой в продуктах сгорания является фаза нитрида алюминия с её содержанием до 87 мас. %.

Список литературы

1. Ильин А.П., Громов А.А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 154 с.
2. Ильин А.П., Толбанова Л.О., Мостовщиков А.В. Состав промежуточных продуктов горения нанопорошка алюминия в воздухе // Известия Томского политехнического университета, 2008 - т. 313, - № 3. - с. 19-24.
3. Ильин А.П., Тимченко Н.А., Мостовщиков А.В., Роот Л.О., Звягинцева Е.С., Галимов Р.М. Изучение зарождения, роста и формирования AlN при горении в воздухе нанопорошка алюминия с использованием синхротронного излучения // Известия вузов. Физика. -2011.-№11/3. – С. 307-312.

УДК 53.098

ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫХОДА НИТРИДА АЛЮМИНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ В ВОЗДУХЕ

Мостовщиков А.В.
Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: pasembellum@mail.ru

Синтез сжиганием нанопорошка алюминия в воздухе является альтернативным способом получение нитрида алюминия. Известно [1], что с помощью этого способа можно получать нитрид алюминия с его содержанием в шихте до 70 мас. %, но при этом становится актуальной задача повышения выхода продукта [2]. Одним из перспективных направлений является использование электромагнитных полей в синтезе сжиганием [3].

Для определения влияния магнитного поля на выход нитрида алюминия исследовали продукты сгорания нанопорошка алюминия в постоянном магнитном поле индукцией 0,30 Тл и продукты сгорания образца вне зоны действия поля. После сгорания нанопорошка алюминия в атмосфере воздуха и его охлаждения естественным путем, образец измельчали и подвергали рентгенофазовому анализу. Согласно полученным результатам, при сжигании в магнитном поле нанопорошка алюминия содержание нитрида алюминия в продуктах сгорания повышается, в среднем, на 3 мас. %.

Таким образом, при воздействии постоянным магнитным полем на горящий нанопорошок алюминия, содержание нитрида алюминия в продуктах сгорания увеличивается на 3 мас. % и достигает 83 мас. %.

Список литературы

1. Ильин А. П., Громов А. А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. Томск: Изд-во Том. ун-та. 2002. 154 с.
2. Ильин А.П., Толбанова Л.О., Мостовщиков А.В. Состав промежуточных продуктов горения нанопорошка алюминия в воздухе// Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 3. – С. 19–24.
3. Ильин А.П., Мостовщиков А.В., Роот Л.О. Рост монокристаллов нитрида алюминия в условиях теплового взрыва // Письма в ЖТФ, 2011 - т. 37 - вып. 20 – с. 49-53.

УДК 662.62

ПЛЕНОЧНАЯ КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ.

Мухамбеткалиев Е.Н., магистрант, Юхнов В.Е., доцент, к.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail:yerzhik_89@mail.ru

В различных технологиях находят широкое применение тепломассообменные аппараты с пленочным течением жидкости, на поверхности которой происходят процессы фазового перехода (испарение или конденсация, абсорбция или десорбция). Теплообменная поверхность при этом, как правило, представляет горизонтальный или вертикальный пучок труб. Существенно, что в подобных системах вследствие относительно небольшой протяженности пути стекания пленки по горизонтальному цилиндру теплообмен происходит в условиях отсутствия тепловой стабилизации. В теории конвективного тепломассообмена процессы на начальном тепловом участке изучены достаточно хорошо, особенно в случае ламинарного стекания пленок жидкости. При существенной роли начального теплового участка в теории принято относить коэффициент теплоотдачи к разности температур набегающей жидкости t_o и температуры стенки t_w . В то же время при экспериментальном исследовании процессов испарения или конденсации в качестве определяющего температурного напора принимают разность температур насыщенного пара t_s и температуры стенки. Эта неоднозначность в определении температурного напора может быть источником весьма значительных ошибок.

Целью диссертационной работы является исследование влияния содержания газа на процесс конденсации пара из неподвижной парогазовой смеси на вертикальной цилиндрической трубке конденсатора.

По результатам анализа литературных источников была разработана математическая модель движения парогазовой смеси в канале вертикальной кольцевой. Математическая модель использует трехмерную цилиндрическую систему координат и также граничные условия первого рода. Применив некоторые допущения задача была упрощена. В настоящее время задача решается аналитический и числовым методом, в частности методом конечных разностей.

Литература

1. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. − М.: Энергия, 1977. − 235 с.
2. Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Испарение и конденсация в тепловых трубах. − М.: Наука, 1989. − 187 с.
3. Дудник Н.М., Гаряев А.Б. Моделирование процесса пленочной конденсации из парогазовых смесей различного состава на наружной поверхности вертикальных труб теплообменного аппарата // Теплоэнергетика. 2010. № 6. С.63−66.

4. Кролов А.П., Левашов В.Ю. Конденсация на плоской поверхности из парогазовой смеси // Теплофизика высоких температур. 2008. № 5. С. 71−75.
5. Берман Л.Д. Определение коэффициентов массо- и теплоотдачи при расчете конденсации пара из парогазовых смесей // Теплоэнергетика. 1972. № 9. С. 19−24.
6. Бобе Л.С., Солоухин В.А. Тепло- и массообмен при конденсации пара из парогазовых смесей при турбулентном течении внутри труб // Теплоэнергетика. 1972. № 9. С. 52−55.

УДК 536.423.4:533/532.551

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ КОНДЕНСАТОРА НА ПРОЦЕСС ОБЪЕМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА ИЗ ПАРОГАЗОВОГО ПОТОКА

Мухамбеткалиев Е.Н., Юхнов В.Е.
Томский политехнический университет

Явление объемной конденсации паров с образованием тумана (мелкодисперсного аэрозоля жидкости) представляется важным при работе многих технических систем [1, 2]. В известной научной литературе [1] установлены основные законы, определяющие процесс образования и роста частиц жидкой фазы в парогазовых смесях при их охлаждении. Однако, в настоящее время при организации энерготехнологических процессов для решения практических задач связанных с энергосбережением, требуется проведение детальных теоретических исследований.

В данной работе на основе предложенной физической модели образования конденсационного аэрозоля в горизонтальном канале конденсатора сформулирована математическая постановка задачи тепломассообмена для установившегося движения потока парогазовой смеси глицерина и инертного газа в круглой трубе. В результате решения задачи получены аналитические зависимости описывающие изменение скорости движения потока, его температуры, концентрации пара глицерина в зависимости от радиальной координаты. На основе этих параметров установлена величина отношения парциального давления пара к давлению его насыщения (пересыщения) в любой координате рассматриваемой области. Превышение величины этого отношения выше критического значения для заданных начальных условий является началом процесса объемной конденсации и сопровождается образованием частиц жидкости взвешенных в инертном газе.

Установлено влияние длины трубы конденсатора на образование капель жидкости. На рис.1 показан график распределения пересыщения пара глицерина на оси канала при различных значениях радиуса с температурой стенки T_w=300 K и парогазовой смеси на входе в канал T_0=350 K.

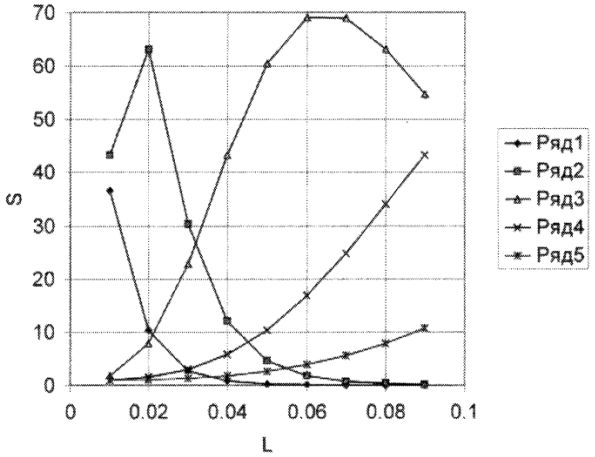


Рис.1. Распределение пересыщения S на оси канала при различных значениях его радиуса:

1 – $r_0=6\cdot10^{-3}$ м; 2 – $r_0=1\cdot10^{-2}$ м; 3 – $r_0=2\cdot10^{-2}$ м; 4 – $r_0=3\cdot10^{-2}$ м; 5 – $r_0=4\cdot10^{-2}$ м

На графике видно, что с увеличением радиуса происходит изменение характера зависимости пересыщения по длине канала L. В каналах малого радиуса оно, как уже отмечалось, достигает максимального значения вблизи входа парогазового потока, а затем быстро падает. В каналах большого радиуса имеет место более плавное возрастание величины пересыщения на оси канала.

Полученные результаты имеют важное значение для предсказания зон образования тумана при охлаждении парогазовых смесей, поскольку геометрия такой зоны легко получается на основе данных на представленных графиках, если задать величину критического пересыщения.

Разработанная математическая модель процесса объемной конденсации пара из парогазового потока в трубе конденсатора позволит обоснованно подойти к разработке лабораторной установки для получения аэрозоля жидкостей и дальнейшего экспериментального исследования их характеристик, а так же к совершенствованию энергоэффективных технологий создания высокодисперстных потоков жидкостей для химической промышленности и энергетики.

Список литературы

1. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. – М.: Химия. – 1966. – 296 с.
2. Шутов С.А., Дорохов А.Р., Куценогий К.П., Пащенко С.Э. Механизм образования мелкодисперсного тумана в винтовом маслозаполненном компрессоре // Поцессы переноса в энергохимических многофазных системах. – Новосибирск, 1983. – С. 27–30.

УДК 536.423.4:533/532.551

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО АЭРОЗОЛЯ ЖИДКОСТИ ИЗ ПАРОГАЗОВОГО ПОТОКА В ТРУБЕ КОНДЕНСАТОРА

Науметов Т.И.

При охлаждении парогазовых сред в каналах происходит образование мелкодисперсного аэрозоля (тумана). Например, в химической промышленности – при очистке газов содержащих пары; энергетике – при охлаждении газов после котельного агрегата образуется сернокислотный туман, который приводит к повышенной коррозии газоходов и является нежелательным явлением. Поэтому, исследование конденсации парогазовых смесей представляет практический интерес.

Образование новой фазы, в данном случае – это капель тумана, возможно лишь при определенном переохлаждении парогазового потока относительно равновесных условий. Величина этого переохлаждения определяется значением так называемого критического пересыщения S_{cr}.

В исследованиях [1, 2] проводился расчет поля пересыщения при охлаждении парогазовой смеси в канале и были экспериментально установлены характерные зоны образования тумана при ламинарном течении парогазовой смеси, связанные с особенностями развития теплового и диффузионного пограничного слоя на начальном участке канала. В основе метода расчета лежала известная задача Гретца-Нуссельта [3]

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния диаметра канала на распределение поля пересыщения по радиусу и длине канала.

Для определения параметров состояния пара в объеме течения рассматривается простая модель тепломассообмена в трубе в постановке Нуссельта [3]. Задача решалась при следующих допущениях: температура и концентрация пара на стенке и входе трубы считаются постоянными; течение в трубе ламинарное стабилизированное; концентрация пара мала, так

что его присутствие не влияет на теплофизические свойства газа-носителя, которые в свою очередь принимаются постоянными. В результате решения задачи Гретца - Нуссельта получают формулу для расчета поля температуры на начальном участке канала в виде ряда

$$\frac{t-t_w}{t_0-t_w}=\sum_{n=0}^{\infty}A_n\psi_n\left(\frac{r}{r_0}\right)\exp\left(-2\varepsilon_n^2\frac{1}{\mathrm{Pe}}\frac{x}{d}\right). \qquad (1)$$

Здесь t_0 – температура пара в начальном сечении канала; t_w – температура стенки; r, x – координаты в направлении радиуса трубы и потока парогазовой смеси; Pe – тепловое число Пекле.

Расчет пересыщения при ламинарном течении парогазовой смеси в охлаждаемом канале в [1] основан на предположении о тождестве в решении уравнений конвективного теплообмена и конвективной диффузии. Это значит, что поле концентраций компоненты пара в смеси описывается уравнением аналогичным уравнению энергии, а решение этого уравнения имеет вид аналогичный зависимости (1)

$$\frac{c-c_w}{c_0-c_w}=\sum_{n=0}^{\infty}A_n\psi_n\left(\frac{r}{r_0}\right)\exp\left(-2\varepsilon_n^2\frac{1}{\mathrm{Pe}_D}\frac{x}{d}\right). \qquad (2)$$

Здесь c_0 – концентрация пара в начальном сечении канала; c_w – концентрация пара при температуре стенки; Pe_D – диффузионное число Пекле.

Будем предполагать, что компоненты парогазовой смеси подчиняются закону идеального газа. Кроме того, для пара имеем уравнение для зависимости давления насыщенных паров от температуры $p_s=p(T)$, которое представим в виде зависимости

$$p_s=\alpha\exp(\beta/T).$$

где α, β – корреляционные коэффициенты.

Из решения задачи тепломассообмена для течения парогазовой смеси в охлаждаемой трубе находится распределение температуры T и пересыщения S в объеме течения. При условии, что концентрация в объеме намного больше концентрации на стенке трубы можно получить упрощенное выражение для пересыщения парогазовой смеси

$$S=\tilde{c}\frac{T}{T_0}\exp\left[\beta\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T}\right)\right]. \qquad (3)$$

На основе изложенного алгоритма расчета проведено моделирование распределения пересыщения для смеси глицерин-воздух при различных начальных параметрах.

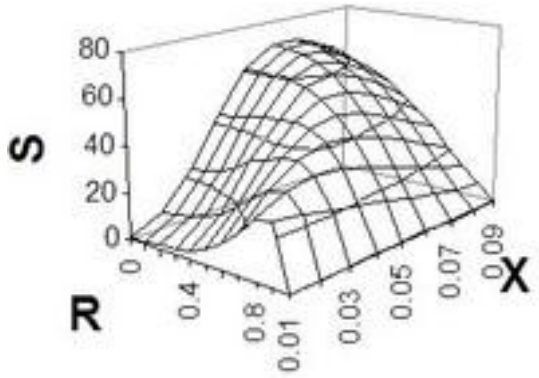


Рис. 1. Поле пересыщения парогазовой смеси в канале: T_w=300 К, T_0=375 К, D=0,04 м

На рис. 1 приведен характерный пример. Видно, что распределение пересыщения в канале имеет сложный характер. У входа в трубу максимальное пересыщение по сечению находится вблизи стенки, но ниже по потоку смещается к центру и наибольшей величины достигает на оси трубы. Показано, что с уменьшением диаметра канала область максимальных пересыщений смещается к началу канала. На основе полученных зависимостей представляется возможным предсказание возможных зон объемной конденсации паров, с образованием мелкодисперсного аэрозоля.

Список литературы

1. Шутов С.А., Пащенко С.Э., Анкилов А.Н., Дорохов А.Р., Кореньков В.И., Куценогий К.П. Исследование объемной конденсации при течении парогазовой смеси в трубе // Коллоидный журнал. – 1983. – Т.45, № 2. – С. 387–390.
2. Бурдуков А.П., Дорохов А.Р., Тарасова М.Э., Шутов С.А. О возможности предотвращения туманообразования при ламинарном течении парогазовой смеси в охлаждаемой трубе // Известия СО АН СССР. – 1988. – Вып.2, № 7. – С. 12–16.
3. Теория тепломассообмена: Учебник для вузов/ С.И. Исаев, И.А. Кожинов, В.И. Кофанов и др.; Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высш. школа, 1979. – 495 с.

УДК 661.665.2

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОДИСПЕРСНОГО КАРБИДА ВОЛЬФРАМА

Никитин Д.С., Даваа А.В.

Томский политехнический университет, г.Томск
E-mail: dima_n@sibmail.com

Карбиды различных элементов находят широкое применение в современной науке и технике благодаря удивительному разнообразию своих физических и химических свойств. Известно, что карбиды переходных металлов IV-VI групп являются самыми тугоплавкими и твердыми из всех соединений [1], что позволяет использовать их при изготовлении материалов, способных выдерживать воздействия высоких механических нагрузок и температур, а также химически агрессивной среды.

Наилучшими свойствами среди таких соединений обладает карбид вольфрама, который имеет твердость, сравнимую с алмазом (HRA около 90 единиц), и высокую точку плавления (2770 °C для WC и 2780 °C для W_2C). Эти качества активно используются при изготовлении сердечников бронебойных снарядов, а также режущего и абразивного инструмента.

В последние двадцать лет актуальной задачей химии твердого тела и физической химии является синтез наноразмерного кристаллического карбида вольфрама. Такой интерес вызван тем, что материал в нанокристаллическом состоянии имеет уникальные свойства, не характерные для объемных материалов [2]. Ожидается, что применение нанопорошков карбида вольфрама позволит существенно повысить эксплуатационные свойства материалов, к которым предъявляются высокие требования по твердости и коррозионной стойкости.

Авторы [3] отмечают, что для получения ультрадисперсного порошка карбида вольфрама необходимо обеспечить высокие pT-параметры. Эти условия полностью реализованы в работе [4], где показана возможность динамического синтеза ультрадисперсных кристаллических фаз в гиперскоростной струе углеродной электроразрядной плазмы, истекающей в азотную атмосферу. Струя плазмы генерируется сильноточным (значения токов достигают 10^5 А) импульсным (длительность импульса составляет порядка 100 мкс) коаксиальным магнитоплазменным ускорителем [5] с графитовым ускорительным каналом и вольфрамовым центральным электродом.

По данным рентгеновской дифрактометрии XRD (Shimadzu XRD 6000, CuKα-излучение) и просвечивающей электронной микроскопии (TEM) (Philips CM30) ультрадисперсный продукт состоит из 4 кристаллических фаз, которыми являются: ожидаемая фаза ковалентного нитрида углерода αC_3N_4 (пространственная группа P31c {159}) и 3 примесные фа-

зы: многослойных углеродных нанотрубок MWCNT (пространственная группа P6-3mc {186}), нитрида кремния αSi_3N_4 (пространственная группа P31c {159}), а также карбида вольфрама W_2C (пространственная группа P-312/m {162}), как видно на рис. 1 (а, б).

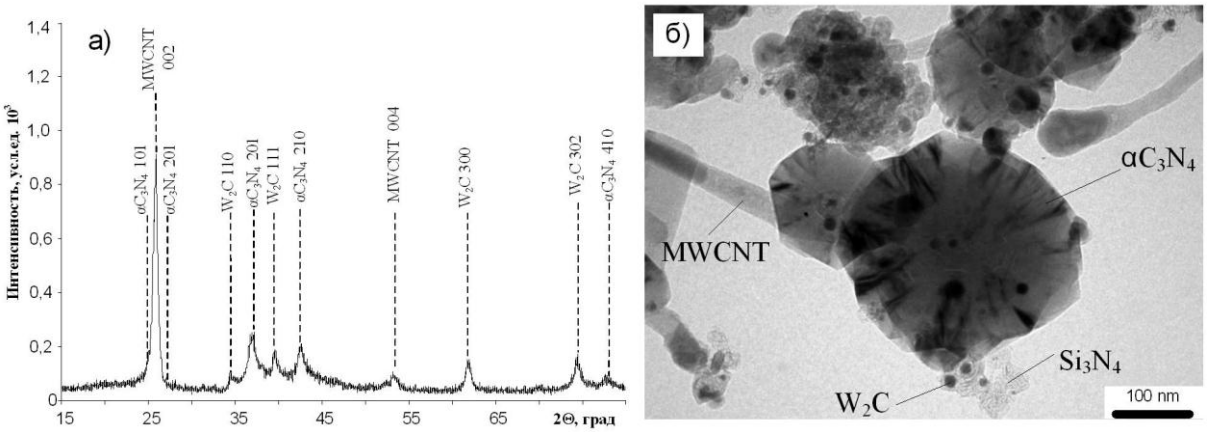


Рис.1. Результаты анализа ультрадисперсного продукта синтеза: а) XRD; б) TEM

Темные, не просвечивающиеся электронным пучком, частицы имеют средний размер до ~40 nm. Они представляют собой фазу карбида вольфрама W_2C. Его массовое содержание в материале составляет порядка 1,0 %. Образование этой фазы обусловлено эрозией вольфрамового центрального электрода КМПУ. Округлые уплощенные объекты размером до ~350 nm соответствуют фазе ковалентного нитрида углерода, а удлиненные объекты с переменным поперечным размером до ~50 nm - фазе многослойных углеродных нанотрубок MWCNT.

Морфологию частиц W_2C удалось изучить по HRTEM-снимкам (просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения Jeol JEM2100F), один из которых приведен на рис. 2, а.

На этом HRTEM-снимке и увеличенном изображении участка 1 видно, что хорошо оформленный кристаллографически объект имеет оболочку, с практически идеальной бездефектной кристаллической структурой, состоящей из 8 атомных слоев. Среднее значение межплоскостного расстояния составляет ~3,69±0,02 Å и практически совпадает с d_{110}=3,6972 Å фазы оксида вольфрама $W_{18}O_{49}$ в направлении 110 (пространственная группа P12/m1 {10}). На участке 2 в теле кристалла среднее значение межплоскостного расстояния плотного материала составляет 2,55±0,05 Å, что достаточно хорошо совпадает с d_{100}=2,5488 Å фазы карбида вольфрама W_2C.

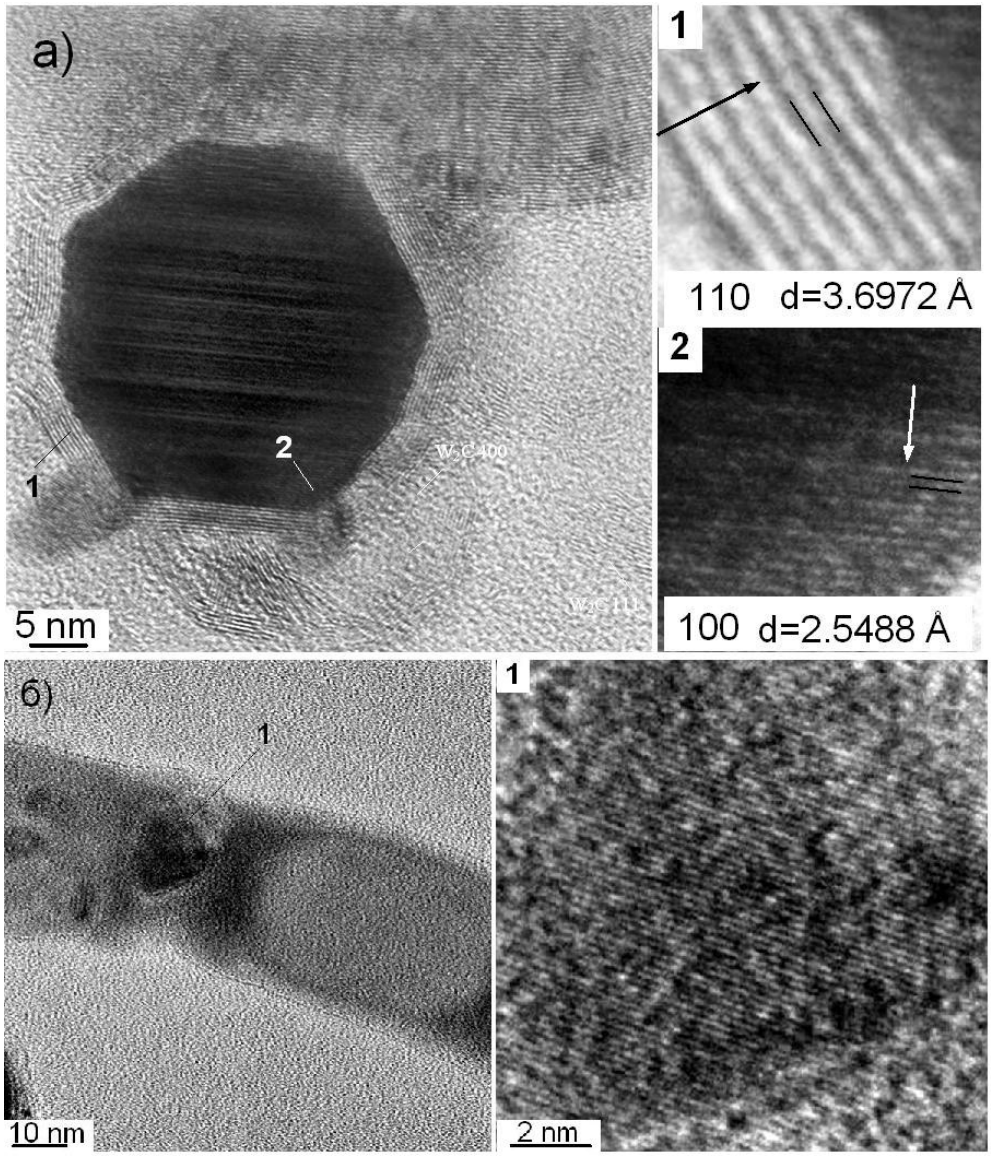


Рис. 2. Результаты анализа ультрадисперсного продукта синтеза HRTEM

Также о присутствии в порошке наночастиц карбида вольфрама можно судить по снимку характерного фрагмента многослойной нанотрубки с находящимся внутри компактным ограненным нанообъектом из высокоплотного материала. Анализ увеличенного изображения (рис. 2,б) позволяет утверждать, что хорошо различимый дальний порядок кристаллической структуры со средним значением межплоскостного расстояния ~2,10±0,01 Å соответствует кристаллической фазе низшего карбида вольфрама W_2C (пространственная группа P-312/m {162}) в направлении 102 (2,0909 Å). Полученные факты подтверждают известные представления о

том, что в процессе роста тубулярные углеродные структуры заполняются соответствующими фазами, при этом карбид вольфрама может выполнять роль центров кристаллизации и катализаторов роста нанотрубок [6].

Таким образом, с использованием современных аналитических методик, в частности, рентгеновской дифрактометрии, просвечивающей электронной микроскопии, в том числе, высокого разрешения показана возможность синтеза ультрадисперсного карбида вольфрама W_2C оригинальным способом – в гиперскоростной струе углеродной электроразрядной плазмы. Несмотря на то, что данная фаза является примесной по отношению к основному ожидаемому продукту синтеза – ковалентному нитриду углерода, и ее содержание не превышает нескольких процентов массы синтезированного материла, в дальнейшем представляется возможным обеспечение доминирования рассматриваемой фазы путем подбора газообразной среды в камере-реакторе и питающего КМПУ импульса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект номер 09-08-01110) и в рамках Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» (проект номер 2.1.2/886), с использованием оборудования Нано-Центра ТПУ, Центра коллективного пользования научным оборудованием ТГУ.

Список литературы

1. Курлов А.С. Структура и свойства карбидов вольфрама различной дисперсности: Диссертация канд. физ.-мат. наук. – Екатеринбург, 2007. – 229 с.
2. Бураков В.С. и др. Получение наноразмерного порошка карбида вольфрама методом искрового разряда в этаноле // Сборник докладов Международной научной конференции "Актуальные проблемы физики твердого тела" ФТТ-2005. –Минск, 2005. – с. 435 – 437.
3. Пат. 2028273 РФ. C01B31/34. Способ получения дисперсного порошка карбида вольфрама./ В.П.Бондаренко и др. Заявлено 03.07.1991; Опубл. 09.02.1995.
4. Сивков А.А., Найден Е.П., Пак А.Я. Динамический синтез ультрадисперсных кристаллических фаз системы C-N // Сверхтвердые материалы, 2009, - № 5. - с. 22-30.
5. Пат. 2150652 РФ. 7F41B 6100. Коаксиальный ускоритель/ Сивков А. А. Заявлено 24. 02. 1999; Опубл. 10. 06. 2000. Бюл. № 16.
6. Функциональные наноматериалы/Под ред. Ю.Д. Третьякова. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 456 с.

УДК 536.24 662.98 662.99

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПАРОВОГО СЕГМЕНТА В ПРОЦЕССЕ КИПЕНИЯ

Нурпейс А.Е., магистрант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: marisha@tpu.ru

Представлено решение задачи о температурном поле парового сегмента, образующегося в жидкости на нагреваемой поверхности металла. Рассматривается процесс роста сегмента под действием давления паров воды, образующихся на верхней границе сегмента. Задача решена в двумерной осесимметричной постановке. Математическая модель процесса включает записанные в сферической системе координат уравнения теплопроводности для слоя жидкости и парового включения. На границе раздела фаз записывались условия четвертого рода, учитывающие тепловой эффект фазового перехода на этой границе. На нагреваемой поверхности использовались граничные условия четвертого рода, а на внешних границах области решения условия первого рода. Скорость испарения воды рассчитывалась с использованием математического выражения закона Герца-Кнудсена. Математическая модель процесса также включала уравнение состояния для пара и выражения для баланса массы на границе испарения жидкости.

Задача решена методом конечных разностей. Разностные аналоги двумерных нестационарных уравнений теплопроводности решены локально-одномерным методом, а одномерные разностные уравнения методом итераций с применением метода прогонки на каждой итерации. Использовалась неявная итерационная четырехточечная разностная схема второго порядка аппроксимации по пространственной координате. При решении задачи использовалась неравномерная и нерегулярная по радиальной координате разностная сетка. На каждом временном шаге происходило ее перестроение. Размера сегмента рассчитывались из условия равенства давления пара суммарному давлению внешней среды на поверхность сегмента.

Численное моделирование температурных полей в системе «жидкость – паровой сегмент – поверхность нагрева» проведено в достаточно широком диапазоне изменения величины плотности теплового потока на границе нагрева до значений, соответствующих известным экспериментальным

данным [1]. Также при проведении численного анализа варьировались значения начальных размеров парового сегмента, внешних давлений, толщины слоя жидкости. Установлено по результатам численного моделирования удовлетворительное соответствие размеров паровых сегментов, полученных в качестве теоретических следствий, и в экспериментах, результаты которых приведены в [1]. На основании анализа и обобщения полученных результатов можно сделать вывод о перспективности дальнейшего развития предложенного в данной работе подхода к моделированию процесса роста парового сегмента.

Список литературы:

1. 1. Лабунцов Д.А. Современные представления о механизме пузырькового кипения жидкостей.// Теплообмен и физическая гидродинамика. М.: Наука, 1974, С.98-115.

УДК 532.529

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАНАЛАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК МЕТОДОМ КОНТРОЛЬНОГО ОБЪЕМА

Облупин А.Ю., Маслов Е.А., к.ф-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: au_oblupin@sibmail.com

На практике часто встречаются случаи теплообмена при ламинарном и турбулентном течении в каналах теплоносителей различной формы сечения. Плоские каналы встречаются в отопительной технике, в пластинчатых теплообменниках. С определенной степенью точности к задаче о прямолинейном плоском канале могут быть приведены и другие практически важные случаи. Например, задача о гидродинамике потока в канале теплообменной установки.

Целью работы является математическое моделирование течения вязкой несжимаемой жидкости на начальном участке цилиндрического канала.

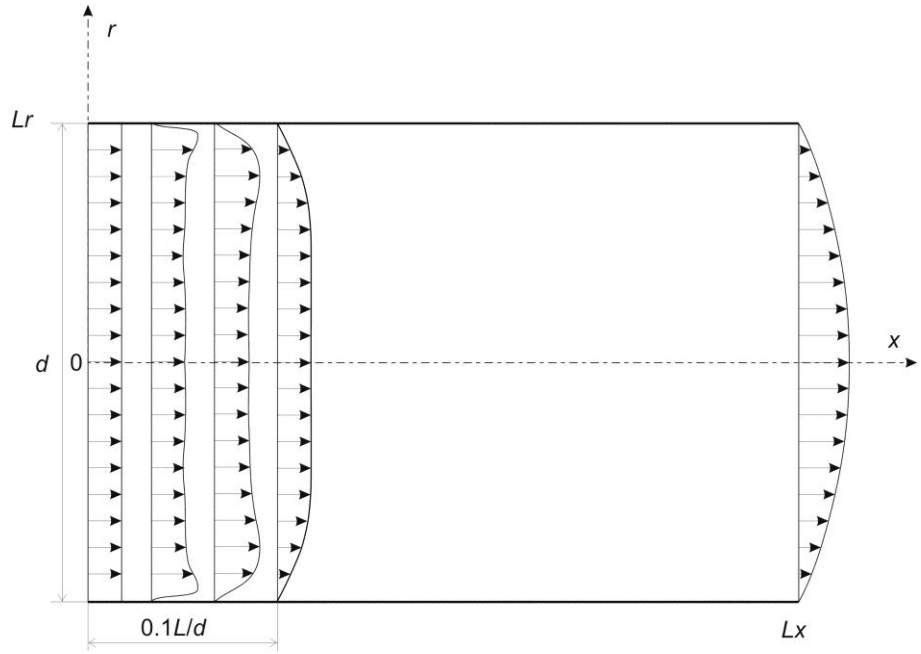


Рис.1. Область решения задачи в цилиндрической системе координат Lx, Lr – продольный и поперечный размер области решения

Математическая постановка задачи включает в себя систему уравнений Навье-Стокса в цилиндрической системе координат для вязкой сжимаемой жидкости (1)–(3) с соответствующими граничными условиями (4)–(7):

$$\frac{\partial \rho u u}{\partial x}+\frac{1}{r}\frac{\partial \rho u v r}{\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\mu r\frac{\partial u}{\partial r}\right)-\frac{\partial P}{\partial x}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u v}{\partial x}+\frac{1}{r}\frac{\partial \rho v v r}{\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\mu r\frac{\partial v}{\partial r}\right)-\frac{\partial P}{\partial r}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x}+\frac{1}{r}\frac{\partial \rho v r}{\partial r}=0; \quad (3)$$

$$x=0: u(x,r)=u_{in}, v(x,r)=0; \quad (4)$$

$$x=Lx: \frac{\partial u(x,r)}{\partial x}=0, \frac{\partial v(x,r)}{\partial x}=0; \quad (5)$$

$$r=0: \frac{\partial u(x,r)}{\partial x}=0, v(x,r)=0; \quad (6)$$

$$r=Lr: u(x,r)=0, v(x,r)=0; \quad (7)$$

В алгоритме численного решения задачи реализован метод контрольных объемов [2].

Для анализа сеточных параметров, методов и алгоритмов численного решения использовалась различная аппроксимация конвективных членов, а также различные методы корректировки поля скорости и давления при решении уравнения Пуассона. При аппроксимация конвективных членов использовалась схема против потока [2], линейный профиль – процедура SOU [2], квадратичный профиль – процедура QUICK [3]. Для расчета поля течения использовались процедуры SIMPLE, SIMPLER, PISO [2]. Диффузионные члены аппроксимировались центральной схемой второго порядка. Системы линейных алгебраических уравнений решалась методом пятиточечной прогонки.

Для решения задачи были рассмотрены равномерные и неравномерные расчетные сетки различного разрешения рис. 2, 3.

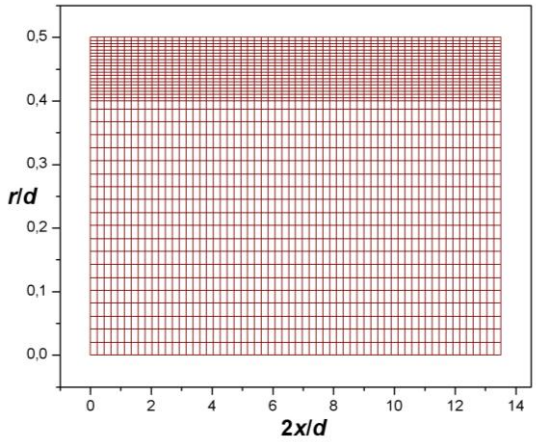


Рис.2. Расчетная сетка 60(20+20)*

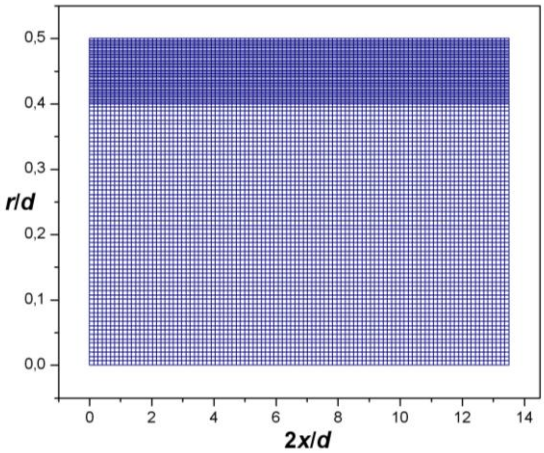


Рис.3. Расчетная сетка 100(60+40)*

На рис. 5, 6 представлено сравнение полученных результатов на сетках различного разрешения при Re_d=150 с результатами экспериментально-торетической работы известных авторов [4].

После анализа полученных результатов можно сделать вывод, что при низких сеточных разрешениях профили скорости совпадают с известными численными расчетами и экспериментальными данными [4] в пределах допустимых погрешностей. При увеличении сеточного разрешения наблюдается значительное отличие результатов на начальном участке канала (рис. 5.). Это объясняется более точным расчетом пристеночной области за счет сгущения сетки.

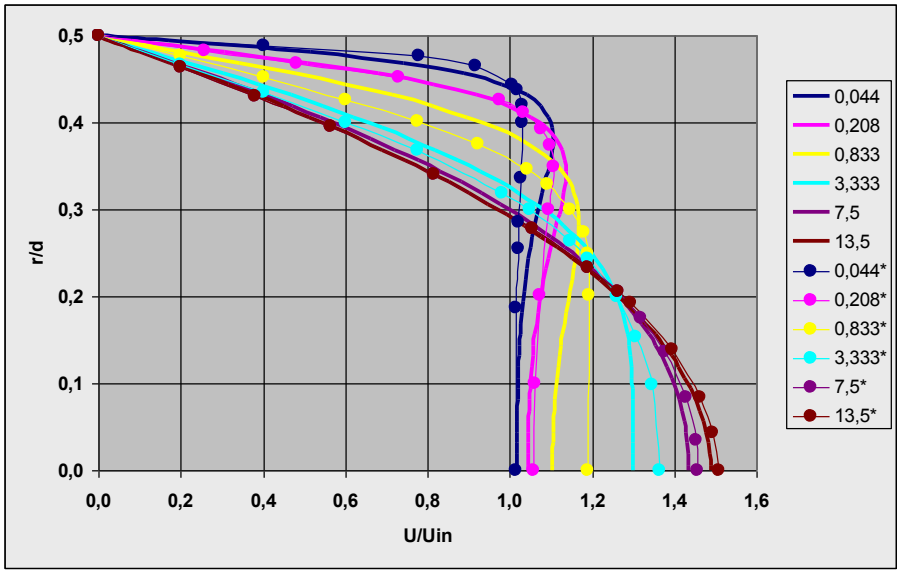


Рис.4. Распределение скорости по сечениям при $u_{in}=5\cdot10^{-4}$ м/с; d=0.3 м; (60x(20+20)): ● результаты работы [4], — результаты настоящей работы

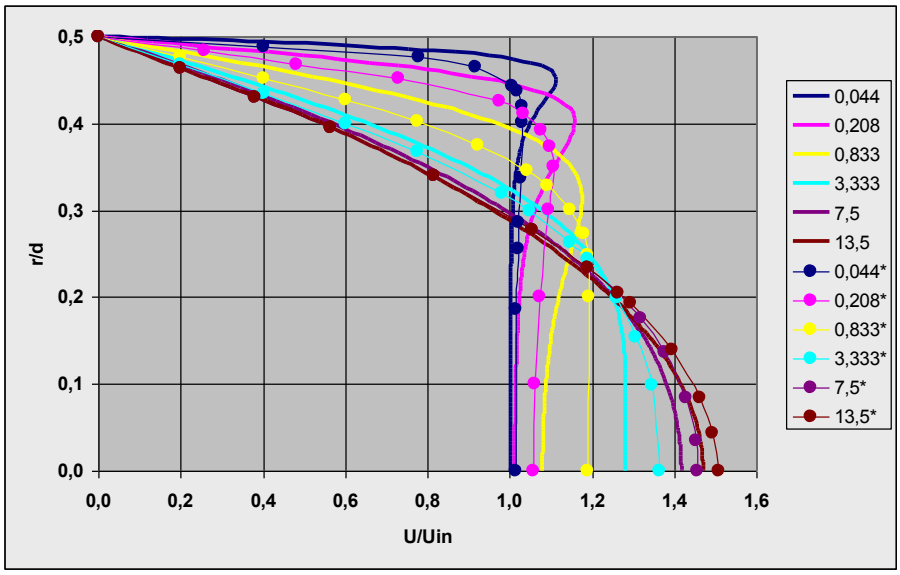


Рис.5. Распределение скорости по сечениям при $u_{in}=5\cdot10^{-4}$ м/с; d=0.3 м; (200x(60+60)) ● результаты работы [4], — результаты настоящей работы

При решении задачи были получены рекомендации по выбору количества сеточных узлов и параметров сгущения сетки в зависимости от выбора процедур аппроксимации конвективных членов и метода решения уравнения Пуассона.

Критерием оптимального выбора сеточных параметров в комплексе с используемыми наборами процедур различной аппроксимации конвективных членов и процедурами решения уравнения Пуассона являлось совпадение полученных численных результатов решения задачи течения ламинарной теплопроводной вязкой жидкости в плоском канале с результатами численного и экспериментального исследования опубликованными в [4].

Список литературы

1. Маслов Е.А., Облупин А.Ю. Численное моделирование процесса взаимодействия импактной струи с поверхностью преграды сложной формы // Современные проблемы математики и механики: Материалы II Всероссийской молодежной научной конференции / Под ред. А.И. Филькова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011. – С. 306 – 310
2. H.K. Versteeg, W. Malalasekera An introduction to computational fluid dynamics The finite volume method. – Longman Scientific&Techniacal, 1995 – P. 258.
3. R. Ganesh Rajagopolan, Chien-Jung Yu Use of Lagrange interpolation in modeling convective kinematics // Numerical Heat Transfer, Part B, 36:233-240, 1999.
4. Виноградова И.А., Зубков В.Г. Газодинамические процессы в теплоэнергетических установках на базе метода контрольного объема // Математическое моделирование, т. 14, № 6, 2002 г., С. 3-24.

УДК 536.24 662.98 662.99

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОНАХ

Опалев А.Э., магистрант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: marisha@tpu.ru

Многие проблемы тепловой защиты технологического оборудования, работающего в условиях интенсивного нагрева его отдельных конструктивных элементов, могут быть решены с применением специальных теплопередающих устройств – замкнутых двухфазных термосифонов [1]. Но их использование в практике ограничено отсутствием к настоящему времени общей теории процессов тепломассопереноса в таких технических устройствах. Сложный комплекс процессов переноса массы и энергии в термосифонах невозможно анализировать с использованием каких-либо аналитических решений. Основным по существу методом исследования термосифонов является численное моделирование. Целью настоящей ра-

боты является численные исследования теплопереноса в системе «корпус – слой жидкого хладагента – паровой канал» применительно к типичной конструктивно – компоновочной схеме двухфазного термосифона. Для этой системы решена плоская нестационарная задача теплопроводности с учетом теплоты фазовых переходов (испарение и конденсация). Предполагалось, что характерные времена течения продуктов испарения хладагента в паровом канале много меньше характерных времен теплопроводности в системе. Поэтому процессы конвективного теплопереноса в паровом канале не учитывались при постановке задачи.

Решена система нестационарных уравнений теплопроводности для прямоугольного поперечного сечения канала термосифона с нелинейными граничными условиями на поверхностях фазовых переходов. Учитывался теплоотвод с поверхности верхней крышки термосифона и подвод энергии к нижней от охлаждаемого элемента конструкции теплотехнического оборудования. Задача решена методом конечных разностей.

В результате численного решения получены распределения температур по продольной и поперечной координатам. Установлены перепады температур по паровому каналу для различных условий подвода теплоты к нижней границе области решения.

Проведено сравнение значений температур в характерных сечениях термосифона с известными данными. Получено их удовлетворительное качественное соответствие для наиболее типичных диапазонов изменения тепловых нагрузок и условий работы термосифонов. На основании результатов выполненных теоретических исследований можно сделать вывод о условиях применимости сформулированной в данной работе модели для анализа основных закономерностей теплопереноса в двухфазных термосифонах.

Список литературы:

1. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика. – 2-е издание, дополненное и переработанное. – Киев: Факт, 2005. – 704с.: илл.

УДК 621.313

СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МУЛЬТИМОДУЛЬНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАЦИЙ

Павленко И.М., аспирант, Степанов С.Ф., д.т.н.
Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А., г. Саратов
E-mail: irinkapavlenko@yandex.ru

В настоящее время большинство разработчиков ветроэлектрических станций стремятся увеличить вырабатываемую ими мощность за счет увеличения их габаритов. Однако параллельно с этими разработками развивается альтернативное направление создания ветроэлектростанций модульного типа. Мультимодульные ветроэлектрические станции (МВЭС) содержат несколько модулей, закрепленных на металлической раме, установленной на вращающейся платформе [1]. Ветроэлектростанции данного типа обладают повышенной надежностью, удобны в эксплуатации и ремонте, а также позволяют выполнить МВЭС необходимой мощности, объединением модулей небольшого размера.

Ветроустановка, являющаяся модулем ветроэлектростанции, содержит ветрогенератор (Рис. 1, 2), преобразователь частоты на основе инвертора тока, аккумуляторные батареи, микропроцессорный блок управления.

Ветрогенератор содержит ротор 7, представляющий собой обод, закрепленный на краях лопастей 2 ветроколеса 16, с расположенными на нем высококоэрцитивными постоянными магнитами 6, и статор 3.

Статор ветрогенератора представляет собой цилиндр 4 с однофазной обмоткой 5 беспазовой конструкции, расположенной на его внутренней поверхности.

Одной из наиболее сложных проблем, возникающих при применении генераторов с высококоэрцитивными постоянными магнитами, является регулирование и стабилизация напряжения. Особенностью предлагаемой конструкции ветрогенератора является наличие электромеханической системы перемещения ветроколеса, состоящей из двух втулок 15, 19, которые жестко закреплены на валу и расположены по разные стороны от ветроколеса, при этом втулка 15, расположенная за ветроколесом, связана механически с втулкой ветроколеса 11 пружиной 14, а втулка 19, расположенная перед ветроколесом, снабжена электромагнитом 18 (Рис. 2).

При низкой и средней скорости ветра ветроколесо 16, совмещенное с ротором 7 электрогенератора, располагается строго под обмоткой 5 статора 3. Выходное напряжение генератора преобразуется в переменное напряжение номинального значения частотой 50 Гц с помощью преобразователя частоты на основе инвертора тока.

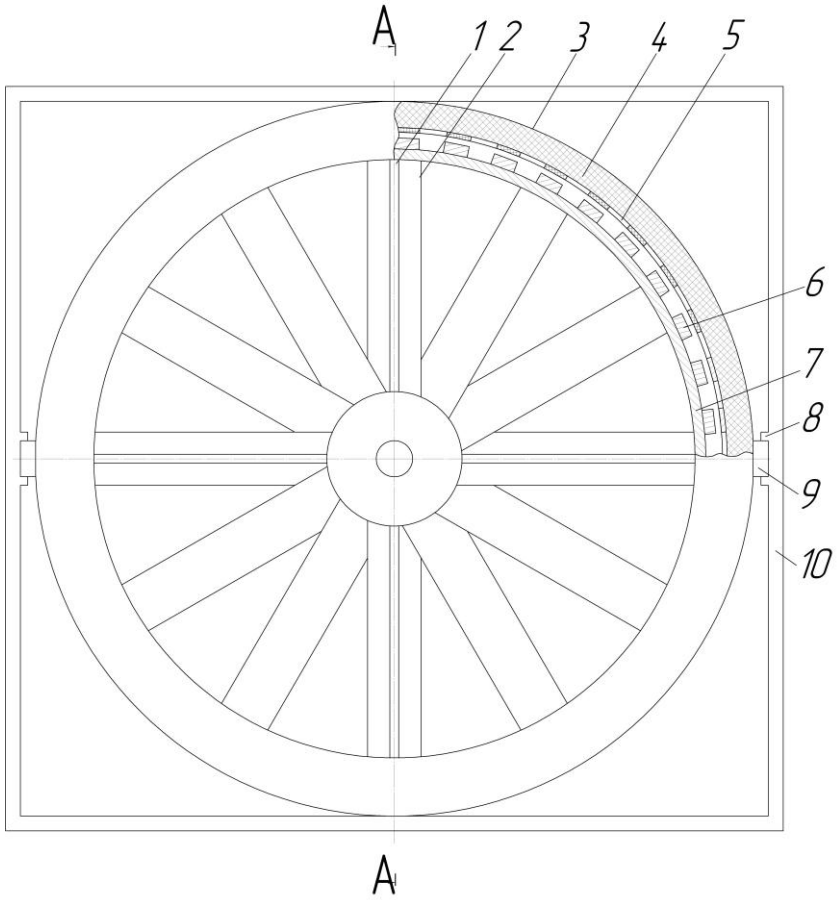


Рис. 1. Ветрогенератор для мультимодульной ВЭС:

1 – крепежные стержни, 2 – лопасть, 3 – статор ветрогенератора, 4 – сердечник статора, 5 - обмотка статора, 6 – постоянный магнит, 7 – ротор ветрогенератора, 8 – паз, 9 – направляющая балка, 10 – металлическая балка.

При большой скорости ветра от 6 до 15 м/с ветроколесо 16 перемещается вдоль вала 21, тем самым уменьшая магнитный поток, индуцирующий в обмотке статора ЭДС. Напряжение на выходе генератора, близкое к номинальному, преобразуют с помощью преобразователя частоты в переменное напряжение стандартной частоты.

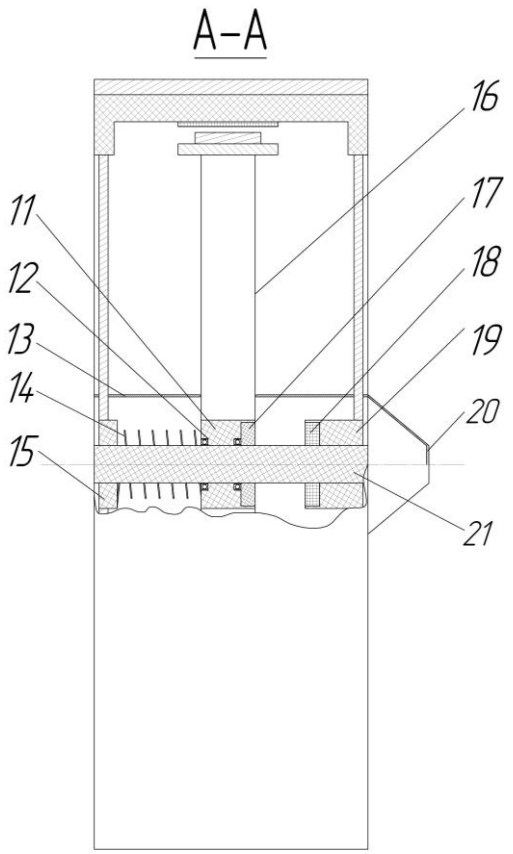


Рис. 2. Разрез ветрогенератора для мультимодульной ВЭС:

11 - втулка ветроколеса, 12 – подшипник, 13 – защитный цилиндр, 14 - пружина, 15 – неподвижная втулка, для крепления пружины, 16 – ветроколесо, 17 – кольцевой постоянный магнит, 18 – электромагнит, 19 – неподвижная втулка, для крепления электромагнита, 20 – защитный конус, 21 – вал.

Таким образом, при всех режимах работы ветроэлектростанции втулки 15 и 19 жестко закреплены на валу 21, а втулка 11 ветроколеса 16 перемещается вдоль продольной оси вала 21 в зависимости от скорости ветра. Механизм фиксации и перемещения втулки 11 ветроколеса действует при подаче сигнала с блока управления. При большой скорости ветра с блока управления на обмотку электромагнита 18 подается ток, определенного направления, в зависимости от которого втулка 11 ветроколеса 16, на которой расположен постоянный магнит 17, будет притягиваться либо отталкиваться от электромагнита 18.

Применение предложенной конструкции ветрогенератора в составе мультимодульной ВЭС позволяет стабилизировать выходное напряжение при изменяющейся скорости ветра, сокращая при этом диапазон регулирования преобразователя частоты на основе инвертора тока, за счет электромеханической системы перемещения ветроколеса.

Список литературы:

1. Заявка 2010142242 РФ, МПК7 F03D3/00. Комбинированное ветроколесо и ветроэлектростанция на его основе/ О. Б. Соломенкова, С. Ф. Степанов, И. И. Артюхов, И. М. Хусаинов (Россия). – N 2010142242/06; Заяв. 18.10.2010; Опубл. 27.04.2012. – 17 с., 5 л. ил.

УДК 621.313

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ЛИСТВЕННОЙ БИОМАССЫ

Палагин А.А, руководитель Бульба Е.Е.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск
E-mail: toxatpu@mail.ru

В ходе данного исследования планируется подробно рассмотреть процесс сушки лиственной биомассы, выявить проблемы с которыми можно столкнуться в результате сушки, оценить целесообразность её использования.

Процесс сушки влажных материалов является не только теплофизическим, но и технологическим процессом, в характере протекания которого решающую роль играет форма связи влаги с материалом [1].

Для наиболее наглядного представления о процессе сушки лиственной биомассы был проведен эксперимент, в котором участвовало 3 образца, наиболее часто встречающихся в Сибири лиственных пород древесины: тополь, клен и береза, по 4 грамма каждый. Все три образца были одновременно помещены в сушильную камеру и производилась их сушка при температуре $100\,^{\circ}C$, с последующим выниманием для взвешивания каждые 5 мин. в течении 65 мин.

В результате выполнения эксперимента была составлена таблица изменения массы образцов и зависимость массы образцов от времени их сушки и составлена зависимость массы образцов от времени сушки в камере.

Сушка листвы производилась до полного избавления о влаги, то есть до тех пор, пока масса не перестала изменяться.

Посчитав абсолютную влажность испытуемых материалов, были получены следующие результаты: тополь = 65%, клён = 80%, берёза = 60%
Из этого следует, что все три образца можно отнести к сырой древесине.
Самое большое содержание влаги оказалось у клёна.

Сушкой называется термический процесс удаления из твердых материалов или растворов содержащейся в них влаги за счет ее испарения или выпаривания. Изделия или материалы приходится сушить в зависимости от их назначения [2].

На основе проведённого эксперимента и обработанных результатов можно сделать вывод, что наиболее быстрой сушке подвержена биомасса березы, нежели другие испытуемые образцы.

Список используемых источников

1. Лыков А.В. Теория Сушки // Энергия, Москва 1968-3С.
2. Расчет и проектирование сушильных установок // Государственное энергетическое издательство, Москва 1963-9С.

УДК 536.2

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ТОПЛИВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Половников В.Ю., к.т.н., Аршанов А.А.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Свыше 30% добываемой нефти в процессе ее переработки переходит в топочный мазут, основными потребителями которого являются электростанции и котельные. Прогноз Института систем энергетики СО РАН устанавливает вероятный уровень годового потребления мазута в количестве 30 миллионов тонн условного топлива [1]. Согласно проектам [2] энергетической стратегии России в XXI веке даже в случае самых жестких ограничений добыча нефти в 2012 году будет на уровне 280 – 290 миллионов тонн, а в 2030 году – на уровне 235 – 245 миллионов тонн.

Действующие по сегодняшний день отраслевые методики расчета и проектирования мазутных хозяйств далеко не в полной мере отражают все особенности тепловых процессов, происходящих

на всех стадиях подготовки мазута к сжиганию. Тем не менее именно эти методики проектирования, несмотря на все недостатки, обеспечили строительство и развитие всего энергетического комплекса страны [3].

Проблема энергосбережения при эксплуатации мазутных хозяйств тепловых электрических станций и котельных актуальна в настоящее время и в перспективе. Необходимость энергосбережения и экономии топлива при использовании мазута в теплоэнергетике оправдана уже только одним фактом быстрого роста цен на мазут (нефть) на мировом и внутреннем рынках. Применение мазута на ТЭС и котельных в качестве основного и резервного топлива требует поиска эффективных способов энергосбережения в мазутных хозяйствах [4].

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов резервуаров для хранения резервных топлив тепловых электрических станций и котельных, а также численный анализ тепловых потерь рассматриваемых объектов в условиях взаимодействия с окружающей средой.

Рассматриваются типичные вертикальные цилиндрические стальные резервуары марки РВС–100 [3] в наземном, полуподземном и подземном исполнениях**.** Для рассматриваемых случаев решаются двумерные стационарные задачи теплопроводности в системе «резервуар для хранения топлива – окружающая среда».

Рассматриваемые задачи решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics [5] с использованием модуля General Heat Transfer. Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphisics.

При проведении численного моделирования предполагалось, что температура внутренней поверхности резервуара имеет постоянное значение, равное температуре хранящегося топлива 70 °С. Температура окружающей среды составляла – 40 °С и соответствовала температуре наиболее холодной пятидневки в городе Томске. Скорость движения окружающей среды варьировала в диапазоне 0,5 – 6 м/с.

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери резервуаров с увеличением скорости движения окружающей среды с 0,5 до

6 м/с возрастают более чем в 1,5 раза во всех вариантах численного анализа. Тепловые потери через стенку и крышку резервуара значительно превышают тепловые потери в грунт для наземного и полуподземного расположения резервуаров. Доля тепловых потерь через крышу для подземного резервуара составляет около 50% от суммарных тепловых потерь. При прочих равных условиях подземные резервуары имеют наименьшие суммарные тепловые потери. В рамках предложенной модели, также были установлены оптимальные размеры расчетных областей для грунта во всех вариантах численного анализа.

Также установлено, что результаты расчета тепловых потерь, полученные с помощью численного моделирования и потери, рассчитанные по нормативной методике, существенно отличаются. В предельных случаях отклонение составляет 5 – 7,5% для наземного варианта расположения резервуара, 20 – 23,5% для полуподземного варианта расположения резервуара, 33 – 39,5% для подземного варианта расположения резервуара.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что при проектировании и анализе тепловых режимов работы рассматриваемых систем необходимо учитывать интенсификацию теплоотвода в грунт.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Олимпиев В.В., Михеев Н.И., Молочников В.М. Энергосберегающая технология хранения и подогрева мазута в мазутных хозяйствах ТЭС и котельных // Известия академии наук. Энергетика. – 2005. – №1 – С. 14 – 17.
2. Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
3. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: МЭИ, 2002. – 612 с.
4. Олимпиев В.В. Экономия энергетических и финансовых затрат при эксплуатации основных резервуаров мазутных хозяйств ТЭС и котельных // Теплоэнергетика. – 2003. – № 9. – С. 40–45.
5. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

УДК 536.2

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Половников В.Ю., к.т.н., Глазырин Е.С.

Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Россия характеризуется самым высоким уровнем централизованного теплоснабжения (до 80 %). На ее территории проложено более 250 тысяч километров тепловых сетей (в двухтрубном исчислении) с трубами диаметром от 57 до 1400 мм [1]. Протяженность магистральных трубопроводов диаметром условного прохода 600 – 1400 мм составляет 26 тыс. км [2].

Наиболее слабым звеном централизованных систем теплоснабжения являются теплопроводы и трубопроводы горячего водоснабжения. Схемы и средства транспортировки теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения, построенные в СССР, характеризуются недостаточной надежностью, высокой повреждаемостью трубопроводов тепловой сети и большими тепловыми потерями в них [3].

По различным оценкам [4], потери тепла при транспортировке теплоносителя составляют от 10 до 30 % и более. В тепловых сетях теряется вся экономия от комбинированной выработки тепла и электроэнергии на ТЭЦ. В связи с этим, вопросы, связанные с анализом тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов, эксплуатируемых в различных условиях, приобретают особую актуальность.

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов бесканальных теплопроводов, проложенных в зонах влияния инженерных сооружений, и анализ тепловых потерь рассматриваемых объектов в подобных условиях.

Рассматривается типичный теплопровод бесканальной прокладки – трубопроводы изолированные пенополиуретаном (ППУ) и защитным покровным гидроизоляционным слоем из полиэтилена. Предполагается, что теплопровод эксплуатируется в зоне влияния инженерных сооружений.

Для рассматриваемого объекта решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный бесканальный теплопровод – окружающая среда» с учетом наличия инженерных сооружений в зоне прокладки.

Рассматриваемая задача решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphisics с использованием модуля General Heat Transfer [5].

Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке, состоящей из 36015 элементов и 18038 узлов. Количество элементов

выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphisics

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери теплопровода находящегося в зоне влияния отапливаемого инженерного сооружения уменьшаются в диапазоне от 1,53 до 10,79 в зависимости от температурного графика работы водяных тепловых сетей, температуры внутри инженерного сооружения и расстояния между оболочкой бесканальной прокладки и фундаментом здания.

Выявлено, что нормативная методика [6] и СНиП 41-03-2003 [7] дают существенно завышенные значения тепловых потерь бесканальных теплопроводов. Отклонения результатов численного моделирования от данных методики [6] и СНиП 41-03-2003 [7] составляет до 33 % и 43,5 % соответственно в зависимости от температурного графика, температуры внутри инженерного сооружения и геометрических характеристик зоны прокладки бесканального теплопровода.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения разработанного подхода к анализу тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов, находящихся в зоне влияния инженерных сооружений и возможности его применения при создании энергосберегающих систем транспортировки тепла.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Бухин В. Е. Предварительно изолированные трубопроводы для систем централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2002. – № 4. – С. 24 – 29.
2. Адрианов Д. Е., Штыков Р. А. Экономия энергии путем управления тепловыми сетями на промышленном предприятии // Промышленная энергетика. – 2003. – № 6. С. 2 – 5.
3. Слепченок В.С., Петраков Г.П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 26–32.
4. Кузнецов Л.А., Григорьева Л.А. Определение потерь тепловой энергии через изоляцию трубопроводов теплофикационной воды в результате тепловых испытаний // Новости теплоснабжения. 2006. № 3. С. 51–52.
5. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

6. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.
7. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, , ФГУП ЦПП, 2004. – 26 с

УДК 536.2

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОТРАСС В УСЛОВИЯХ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА И НАЛИЧИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ

Половников В.Ю., к.т.н., Губанов Ю.Ю.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

По различным оценкам [1], потери тепла при транспортировке теплоносителя составляют от 10 до 30 % и более. В тепловых сетях теряется вся экономия от комбинированной выработки тепла и электроэнергии на ТЭЦ. В связи с этим, вопросы, связанные с анализом тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов, эксплуатируемых в различных условиях, приобретают особую актуальность.

Не смотря на бурное внедрение и использование в тепловых сетях РФ бесканальных трубопроводов с ППУ изоляцией методика теплового расчета и анализ тепловых режимов бесканальных теплопроводов [2] базируется на общих балансовых соотношениях, не учитывающих многих особенностей взаимодействия рассматриваемых систем с окружающей средой и реальные механизмы теплопереноса. Основная используемая на практике методика теплового расчета бесканальных теплопроводов [2] не учитывает разнородность и нестационарность процессов переноса, наличие возможных фазовых переходов, изменение условий эксплуатации и взаимодействия теплопроводов с окружающей средой.

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов бесканальных теплопроводов в условиях промерзания грунта и наличия снежного покрова в зоне прокладки и анализ тепловых потерь рассматриваемых объектов в подобных условиях.

Рассматривается типичный теплопровод бесканальной прокладки – трубопроводы изолированные пенополиуретаном (ППУ) и защитным покровным гидроизоляционным слоем из полиэтилена [2]. Предполагается,

что теплопровод эксплуатируется в условиях промерзания грунта и наличия снега в зоне прокладки.

Для рассматриваемой области решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный бесканальный теплопровод – окружающая среда».

Рассматриваемая задача решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphisics с использованием модуля General Heat Transfer [3].

Исследования проводились для трубопроводов с диаметрами условного прохода трубопроводов 600 мм, изготовленных из стали 10 (толщина стенки 8 мм), тепловая изоляция – пенополиуретан (толщина 40 мм) [2]. Покровный слой – полиэтилен (2 мм) [2].Расстояние от поверхности грунта до верхней части теплопроводов составляло 2 м. Расстояние между осями трубопроводов составляло 1,3 м. Температуры подающей и обратной линии принимались равными 338 К и 323 К соответственно и соответствовали среднегодовым температурам теплоносителей в подающих и обратных трубопроводах водяных тепловых сетей при их работе по температурному графику 95/70. Толщина снежного покрова составляет 185 мм. Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за отопительный период в городе Томск 265 К. Средний коэффициент теплоотдачи на поверхности раздела «грунт – окружающая среда» варьировался в пределах от 5 до 30 Вт/(м^2·К).

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери теплопровода в условиях промерзания грунта возрастают на 0,08 – 8,80 %, увеличение интенсивности теплоотдачи на внешнем контуре в 6 раз приводит к росту тепловых потерь до 4 %.Отклонение δ_2между тепловыми потерями с учетом промерзания и наличия снежного покрова и тепловыми потерями, посчитанными по нормативной методике, всегда является отрицательной величиной. В предельных случаях отклонение составляет от минус 33,73 до минус 39,27 % для песчаного грунта и от минус 34,18 до минус 38,10 % при прокладке теплопроводов в глинистых грунтах.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения разработанного подхода к анализу тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов в условиях промерзания грунта в зоне прокладки и возможности его применения при создании энергосберегающих систем транспортировки тепла.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Кузнецов Л.А., Григорьева Л.А. Определение потерь тепловой энергии через изоляцию трубопроводов теплофикационной воды в результате тепловых испытаний // Новости теплоснабжения. 2006. № 3. С. 51–52.
2. Витальев В. П. Бесканальные прокладки тепловых сетей. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 280 с.
3. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

УДК 536.2

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ В ОБМУРОВКЕ НА ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Половников В.Ю., к.т.н., Лазарев Д.М.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Одна из сложных задач в энергетике – повышение эффективности действующего оборудования на основе внедрения энергосберегающих технологий. В решении этой проблемы немалую роль играют теплоограждающие конструкции энергетических котлов.

Проблема повышения уровня энергосбережения в энергетике неразрывно связана с совершенствованием теплоограждающих конструкций котлов, турбин, паро- и теплопроводов и других теплоэнергетических установок. Однако следует отметить, что состояние теплозащитных покрытий не позволяет реализовывать поставленную задачу сбережения энергетического потенциала [1].

Исследование тепловых режимов обмуровки котельных агрегатов является неотъемлемой частью работ при создании современной и энергоэффективной тепловой защиты котельных агрегатов. Разработка альтернативных методов анализа тепловых режимов обмуровки котельных агрегатов, базирующихся на математическом моделировании, позволит провести многоплановое исследование тепловых режимов рассматриваемых объектов и выработать обоснованные рекомендации по снижению тепловых потерь.

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов типичной конструкции многослойной обмуровки котельного агрегата в топочной части в условиях частичногоразрушения обмуровкии чис-

ленный анализ тепловых потерь рассматриваемого объекта в подобных условиях.

Рассматривается типичная конструкция многослойной обмуровки котельного агрегата в топочной части, состоящей из шамотного и диатомитового кирпича.

Рассматриваются несколько вариантов расчетных схем:

целостная обмуровка (без каких-либо разрушений);

обмуровка с частичным разрушением внешней поверхности с отсутствием участка кирпичной кладки;

обмуровка с частичным разрушением внешней поверхности с отсутствием отдельных кирпичей в разных местах кладки;

обмуровка с частичным разрушением внешней поверхности с отсутствием кирпичей в углах кладки.

Для рассматриваемых объектов решаются трехмерные стационарные задачи теплопроводности в системе «многослойная обмуровка котлоагрегата – окружающая среда».

Во всех вариантах расчета учитывается зависимость коэффициентов теплопроводности материалов от температуры. При поведении численных исследований предполагалось, что на внутренней поверхности футеровки поддерживается постоянная температура, равная температуре дымовых газов в конвективной части котельного агрегата. На внешнем контуре рассматриваемых областей решения теплообмен осуществляется конвекцией и излучением.

Рассматриваемые задачи решены с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphisicsc использованием модуля General Heat Transfer [2].

Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphisics.

Исследования проводились для обмуровки котлоагрегата Е-75-40К [3], состоящей из слоя шамотного кирпича и слоя диатомитового кирпича. При проведении численного моделирования использовалась двуслойная расчетная область. Слой шамотного кирпича имеет толщину 125 мм и размерами 6,9 м в длину, 5,85 м в ширину и 1,5 м в высоту. Слой диатомитового кирпича толщиной 125 мм и размерами 7,15 м в длину, 6,1 м в ширину и 1,5 м в высоту. Температура на внутренней поверхности обмуровки принималась равной 1500 К и соответствует средней температуре дымо-

вых газов в топочной части котлоагрегата [4]. Температура окружающей среды принималась равной 300 К. Коэффициент теплоотдачи принимался равным 8 Вт/(м^2 К).

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери обмуровки в условиях деформации от 0,02 до 10% возрастают на 0,014 – 7,2%. Разница значений тепловых потерь с учетом и без учета излучения на внешнем контуре составляет от 13,35 до 15,34%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что необходимо проведение дальнейших исследований в данном направлении с целью выработки рекомендаций по организации энергосберегающих режимов эксплуатации котлов, имеющих дефекты ограждающих конструкций, т.к. разрушение обмуровки котлоагрегата существенно влияет на тепловые потери.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Воронков С.Т. Основные направления совершенствования теплозащиты оборудования ТЭС // Промышленная энергетика. – 2003. – №5. – С. 19–23.
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
3. Логунов Ф.Г. Обмуровка котельных агрегатов. – М.Л.: Госэнергоиздат, – 1961. – 392 с.
4. Кузнецов А.Т., Кокушкин И.В., Сенявин Н.К., Шершнев А.А. Напряженно-деформированное состояние и разрушение огнеупоров при тепловом воздействии // Огнеупоры. – 1987. – № 2. С. 52–56.

УДК 536.2

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ В УСЛОВИЯХ РАЗРУШЕНИЯ ОБМУРОВКИ

Половников В.Ю., к.т.н., Майнгардт В.А.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Одна из сложных задач в энергетике – повышение эффективности действующего оборудования на основе внедрения энергосберегающих

технологий. В решении этой проблемы немалую роль играют теплоограждающие конструкции энергетических котлов.

Проблема повышения уровня энергосбережения в энергетике неразрывно связана с совершенствованием теплоограждающих конструкций котлов, турбин, паро- и теплопроводов и других теплоэнергетических установок. Однако следует отметить, что состояние теплозащитных покрытий не позволяет реализовывать поставленную задачу сбережения энергетического потенциала [1].

Исследование тепловых режимов обмуровки котельных агрегатов является неотъемлемой частью работ при создании современной и энергоэффективной тепловой защиты котельных агрегатов. Разработка альтернативных методов анализа тепловых режимов обмуровки котельных агрегатов, базирующихся на математическом моделировании, позволит провести многоплановое исследование тепловых режимов рассматриваемых объектов и выработать обоснованные рекомендации по снижению тепловых потерь.

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов типичной конструкции многослойной обмуровки котельного агрегата в конвективной части в условиях частичного разрушения футеровки и численный анализ тепловых потерь рассматриваемого объекта в подобных условиях.

Рассматривается типичная конструкция многослойной обмуровки котельного агрегата в конвективной части, состоящей из шамотного и красного кирпича. Конструкция имеет высокотеплопроводные крепежные элементы, изготовленные из чугуна, с уплотнителем из асбестита [2, 3].

Рассматриваются несколько вариантов расчетных схем:

целостная обмуровка (без каких-либо разрушений);

обмуровка с частичным разрушением внутренней поверхности между крепежными элементами;

обмуровка с частичным разрушением внутренней поверхности в зоне крепежного элемента.

Для рассматриваемых объектов решаются двумерные стационарные задачи теплопроводности в системе «многослойная обмуровка котлоагрегата – окружающая среда».

Во всех вариантах расчета учитывается зависимость коэффициентов теплопроводности материалов от температуры, а так же зависимость изменения значений коэффициента теплоотдачи по высоте на внешнем контуре. При поведении численных исследований предполагалось, что на внут-

ренней поверхности футеровки поддерживается постоянная температура, равная температуре дымовых газов в конвективной части котельного агрегата. Так же на внешнем контуре рассматриваемых объектов было учтено наличие теплообмена излучением.

Рассматриваемые задачи решены с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphisicsc использованием модуля General Heat Transfer [4].

Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphisics.

Исследования проводились для обмуровки котлоагрегата ДКВр-10-13 [2], состоящей из слоя шамотного кирпича, слоя красного кирпича, металлической обшивки, высокотеплопроводных чугунных крепежных элементов и уплотнителя из асбестита. При проведении численного моделирования использовалась расчетная область размерами 6,3 м в высоту и 0,502 м в ширину. Слой шамотного кирпича имеет толщину 125 мм, и 250 мм в местах контакта с крепежными элементами. Слой красного кирпича толщиной 250 мм. Котел имеет металлическую обшивку толщиной 2 мм. Уплотнитель из асбестита имеет толщину 250 мм. Длина крепежных элементов, изготовленных из чугуна, составляет 220 мм, толщина 20 мм. Расстояние от нижней точки расчетной области до крепежного элемента составляет 2 м, а расстояние между креплениями 1,3 м [2]. Температура на внутренней поверхности обмуровки принималась равной 623,15 К и соответствует средней температуре дымовых газов в конвективной части котлоагрегата [5]. Температура окружающей среды принималась равной 303,15 К.

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери обмуровки в условиях разрушения футеровки от 0,75 до 2% возрастают на 0,2 – 7%. Тепловые потери рассматриваемых объектов с учетом и без учета изменения коэффициента теплоотдачи по высоте отличаются друг от друга на 0,12 – 0,46%. Для рассматриваемой системы потери тепла с учетом зависимости коэффициента теплопроводности от температуры отличаются в среднем на 30% от значений полученных с постоянным коэффициентом теплопроводности. А разница значений тепловых потерь с учетом и без учета излучения на внешнем контуре составляет не более 0,8%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что необходимо проведение дальнейших исследований в данном направлении с це-

лью выработки рекомендаций по организации энергосберегающих режимов эксплуатации котлов, имеющих дефекты ограждающих конструкций, т.к. разрушение обмуровки котлоагрегата существенно влияет на тепловые потери.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Воронков С.Т. Основные направления совершенствования теплозащиты оборудования ТЭС // Промышленная энергетика. – 2003. – №5. – С. 19–23.
2. Логунов Ф.Г. Обмуровка котельных агрегатов. – М.Л.: Госэнергоиздат, – 1961. – 392 с.
3. Атлас котельных агрегатов, под общей редакцией проф. Ковалева А.П., – М.: Госэнергоиздат, – 1958. – 120 с.
4. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.
5. Кузнецов А.Т., Кокушкин И.В., Сенявин Н.К., Шершнев А.А. Напряженно-деформированное состояние и разрушение огнеупоров при тепловом воздействии // Огнеупоры. – 1987. – № 2. С. 52–56.

УДК 536.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОКЕРАМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Половников В.Ю., к.т.н., Работаев С.А.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Теплоизоляционные конструкции оборудования и трубопроводов ТЭС и АЭС при монтаже и в процессе эксплуатации подвергаются воздействию влаги, температурным, влажностным, вибрационным воздействиям, которые определяют требования, предъявляемые к изоляции.

Основные показатели, характеризующие физико-технические и эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, следующие: теплопроводность, плотность, вибрационная стойкость, стабильность формы, горючесть, водостойкость и т. п.

Теплопроводность теплоизоляционного материала определяет требуемую толщину теплоизоляционного слоя, а, следовательно, и нагрузки на

изолируемый объект, конструктивные и монтажные характеристики теплоизоляционного покрытия.

В настоящее время на российском рынке теплоизоляционных материалов помимо традиционных видов применяемых многие десятилетия – как правило минеральная вата и ее аналоги, появляется огромное количество новых жидкокерамических теплоизоляционных материалов (ЖКТМ), таких как TC Ceramic HB, (Thermal Coat), Mascoat, TSM Ceramic, Альфатек, Изолат, Астратек, Корунд. Все жидкокерамические теплоизоляционные материалы схожи по своей структуре и способу изготовления. Жидкий утеплитель представляет собой суспензию на основе структурированных акриловых полимеров. Наполнителем и теплоизолирующей составляющей в котором являются мельчайшие стеклянные и керамические капсулы, внутри которых находится вакуум (или инертный газ).

По консистенции ЖКТМ напоминает обычную краску, которую можно наносить на любую поверхность, в том числе металлическую. Толщина одного слоя покрытия составляет от 0,38 до 3мм. После высыхания образуется эластичное полимерное покрытие, которое обладает уникальными теплоизоляционными свойствами и обеспечивает антикоррозийную защиту.

Целью настоящей работы является исследование теплозащитных свойств, а именно коэффициента теплопроводности, одной из широко применяемых на практике жидкой теплоизоляционной композиции торговой марки «Корунд» [1].

В нормативно-технической документации ЖКТМ «Корунд» [1] приведены сведения о значениях параметров материала и о ряде его преимуществ.

«Корунд» можно наносить на металл, пластик, бетон, кирпич и другие строительные материалы, а также на оборудование, трубопроводы и воздуховоды.

«Корунд» имеет идеальную адгезию к металлу, пластику, пропилену, что позволяет изолировать покрываемую поверхность от доступа воды и воздуха.

«Корунд» не проницаем для воды и не подвержен влиянию водного раствора соли. Покрытия «Корунд» обеспечивают защиту поверхности от воздействия влаги, атмосферных осадков и перепадов температуры и эффективно снижает тепловые потери и повышает антикоррозионную защиту.

Например, слой покрытия «Корунд» толщиной в 1 мм обеспечивает те же изоляционные свойства, что и 50 мм рулонной изоляции или кирпичная кладка толщиной в 1–1,5 кирпича.

Главным уникальным теплоизоляционным свойством данного жидкого утеплителя [1] является значение коэффициента теплопроводности – 0.0012 Вт/(м·К).

Исследования теплозащитных свойств «Корунда» проводились в период с 20 апреля по 20 мая 2011 года на Томской ГРЭС – 2.

В качестве объекта исследования был выбран первый участок на входе в ПСГ-2300-8-1 ТГ-8 (подогреватель сетевой горизонтальный). Исследования проводились для трубопровода диаметром 820мм, изготовленного из стали 20 (толщина стенки 9мм), тепловая изоляция – «Корунд» (толщина 1,5мм).

На рисунке показан фрагмент подогревателя ПСГ-2300-8-1 ТГ-8, изолированного ЖКТМ «Корунд».

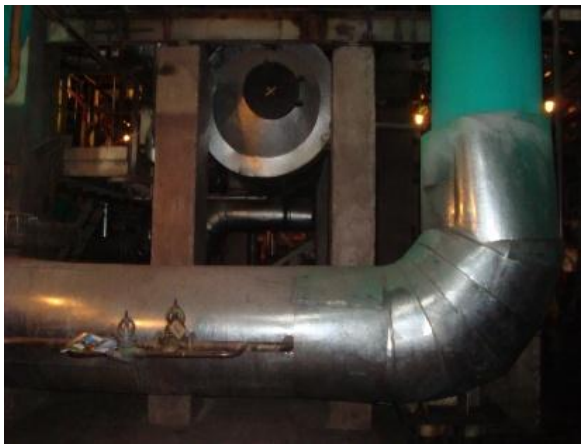


Рис. Фрагмент подогревателя, изолированного ЖКТМ «Корунд»

Целью исследования являлось измерение температуры на поверхности рассматриваемого объекта (рисунок). Измерения температур проводились по контуру, по нескольким произвольно выбранным точкам в одном сечении. Измерение температуры поверхности производилось с помощью пирометра. Также фиксировались температуры окружающей среды и теплоносителя на входе в подогреватель.

Далее, используя сведения о геометрических характеристиках и значениях характерных температур, решалась обратная задача теплопроводности для цилиндрического слоя тепловой изоляции. На внутренней поверхности слоя изоляции выставлялись граничные условия первого рода, а

на внешней – граничные условия третьего рода. Также на внешнем контуре учитывался теплообмен излучением. Целью решения этой задачи являлось определение значения коэффициента теплопроводности по известной температуре на внешней поверхности изоляции.

Математическая постановка задачи для решаемой задачи имеет следующий вид:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dT}{dr} = 0, \tag{1}$$

$$r = r_1,$$

$$T = T_1 = \text{const}, \tag{2}$$

$$r = r_2,$$

$$-\lambda\frac{dT}{dr} = \alpha\left(T - T_3\right) + \varepsilon\sigma\left(T^4 - T_3^4\right). \tag{3}$$

Обозначения: T – температура, К; r – текущий радиус, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К); ε – степень черноты, σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Индексы: 1 – внутренняя поверхность, 2 – внешняя поверхность, 3 – окружающая среда.

Рассматриваемая задача (1)–(3) решена с помощью пакета моделирования COMSOL Multiphisics [2] с использованием средств и функций модуля General Heat Transfer.

Модуль General Heat Transfer предназначен для моделирования задач теплопередачи в произвольной комбинации механизмов переноса теплоты (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение).

В таблице приведены результаты расчета коэффициента теплопроводности по известной температуре на поверхности изоляции.

Результаты расчета, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что учет теплового излучения на внешнем контуре рассматриваемой системы позволяет существенно уточнить получаемые результаты.

Обобщение результатов экспериментального определения температуры поверхности изоляции и численного решения обратной задачи теплопроводности позволяет сделать вывод о том, что заявленное производителем [1] значение теплопроводности исследованного материала не отвечает действительности. В среднем отклонение полученных в данной работе

значений коэффициентов теплопроводности от табличных значений составляет 20 %.

Таблица. Результаты расчета

Температура поверхности, К	Значение теплопроводности, Вт/(м·К)			Отклонение в расчетах, %	
	Табличное	Расчетное с учетом излучения	Расчетное без учета излучения	С учетом излучения	Без учета излучения
321.3	0.0012	0.0015	0.0009	20.0	40.0

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Сверхтонкая теплоизоляция Корунд. 2012. URL: http://www.nano34.ru/ (дата обращения: 16.02.2012).
2. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

УДК 621.643

ТЕПЛОВЛАГОПЕРЕНОС В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Половников В.Ю., к.т.н., Хабибулин А.М.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Введение

Одной из наиболее острых проблем развития топливно-энергетического комплекса России является проблема энергосбережения. От ее успешного решения во многом зависит жизнеспособность экономики страны [1]. Существенную роль в выполнении программы энергосбережения России призвана сыграть высокоэффективная тепловая изоляция, применяемая во всех областях промышленного производства и строительства [2].

Изоляция ограждений холодильных сооружений эксплуатируется в тяжелых условиях, прежде всего из-за непрерывных изменений

температуры и влажности наружного воздуха, переменного воздействия солнечной радиации и ветра. Потоки теплоты и влаги не только меняются по величине, но иногда (при относительно высоких температурах в помещениях) и по направлению. Особенностью работы изоляции холодильной техники является достаточно высокая вероятность конденсации водяного пара на поверхностях ограждения или внутри изоляции, а в некоторых случаях и замерзания выпавшей влаги [3]. Накопление влаги в теплоизоляционных конструкциях низкотемпературного оборудования может привести к столь значительному увеличению потерь холода, что необходима будет их полная замена.

Следует отметить, что используемые в настоящее время подходы к расчету тепловой защиты холодильной техники [4] не учитывают многих особенностей эксплуатации рассматриваемых систем. К этим особенностям относятся наличие фазовых переходов, взаимодействие с окружающей средой, нестационарность процессов переноса и др.

Целью данной работы является численное моделирование теплопереноса в ограждающих конструкциях резервуаров для хранения криожидкостей с учетом промерзания тепловой изоляции и анализ тепловых режимов рассматриваемой системы.

Постановка задачи

Рассматривается типичный резервуар для хранения криожидкостей [5]. Для ограждающих конструкций резервуара решается одномерная нестационарная задача теплопроводности с подвижной границей фазового перехода (промерзание влажной теплоизоляции) и учетом зависимости теплофизических свойств изоляции от объемного содержания влаги. На рис. 1 приведено схематическое изображение области решения. На внутренней R_1 и внешней R_2 поверхностях тепловой изоляции резервуара вводятся граничные условия первого и третьего рода соответственно.

Рис. 1. Схематическое изображение области решения для зон изоляции: 1) промерзшей; 2) увлажненной

Предполагается, что тепловая изоляция резервуара в начальный момент времени находится в увлажненном состоянии и имеет температуру T_0, равную температуре окружающей среды $T_{ос}$.

При постановке задачи приняты следующие основные допущения:

1. не рассматривается теплоперенос в объеме резервуара и его металлических стенках;
2. подвижная граница фазового перехода всегда имеет температуру замерзания $T_{фп}$=273 К;
3. не учитывается конденсация влаги на внешнем контуре взаимодействия;
4. значение коэффициента теплоотдачи на наружной границе системы является постоянной и известной величиной.

Принятые допущения, с одной стороны, не накладывают принципиальных ограничений на физическую модель рассматриваемой системы, а с другой – позволяют определенным образом упростить решение поставленной задачи.

Математическая модель

Математическая постановка задачи имеет вид:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_{эф1}\left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_1}{\partial r}\right),\ R_1 < r < \xi(t); \tag{1}$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_{эф2}\left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_2}{\partial r}\right),\ \xi(t) < r < R_2. \tag{2}$$

Начальное условие:

$$t = 0,\quad R_1 \le r \le R_2,\quad T = T_0 = \text{const}. \tag{3}$$

Граничные условия:

$$t > 0,\quad r = R_1,\quad T = T_{пов} = \text{const}; \tag{4}$$

$$t > 0,\quad r = R_2,\quad -\lambda_{эф2}\frac{\partial T_2}{\partial r} = \alpha\left(T_2 - T_{ос}\right); \tag{5}$$

$$r = \xi(t),\quad T_1 = T_2 = T_{фп},\quad \lambda_{эф1}\frac{\partial T_1}{\partial r} - \lambda_{эф2}\frac{\partial T_2}{\partial r} = Q\rho_в W_в \frac{d\xi}{dt}. \tag{6}$$

Для перехода к безразмерным переменным использованы следующие соотношения:

$$R = \frac{r}{R_2},\quad \Xi = \frac{\xi}{R_2},\quad \tau = \frac{t}{t_0},\quad \Theta = \frac{T - T_{пов}}{T_0 - T_{пов}},\quad \mathrm{Fo}_1 = \frac{a_{эф1}\,t_0}{R_2^{\,2}},\quad \mathrm{Fo}_2 = \frac{a_{эф2}\,t_0}{R_2^{\,2}},$$

$$\mathrm{Bi} = \frac{\alpha\,R_2}{\lambda_{эф2}},\quad \mathrm{Ko}_1 = \frac{Q\rho_в W_в}{c_{эф1}\rho_{эф1}\left(T_0 - T_{пов}\right)},\quad \mathrm{Ko}_2 = \frac{Q\rho_в W_в}{c_{эф2}\rho_{эф2}\left(T_0 - T_{пов}\right)}.$$

После перехода к безразмерным переменным математическая постановка задачи имеет вид:

$$\frac{1}{\mathrm{Fo}_1}\frac{\partial\Theta_1}{\partial\tau}=\frac{\partial^2\Theta_1}{\partial R^2}+\frac{1}{R}\frac{\partial\Theta_1}{\partial R},\ \frac{R_1}{R_2}<R<\Xi(\tau)\,; \tag{7}$$

$$\frac{1}{\mathrm{Fo}_2}\frac{\partial\Theta_2}{\partial\tau}=\frac{\partial^2\Theta_2}{\partial R^2}+\frac{1}{R}\frac{\partial\Theta_2}{\partial R},\ \Xi(\tau)<R<1\,. \tag{8}$$

Начальное условие:

$$\tau=0,\quad \frac{R_1}{R_2}\le R\le 1,\quad \Theta_1=\Theta_2=1\,. \tag{9}$$

Граничные условия:

$$\tau>0,\quad R=\frac{R_1}{R_2},\quad \Theta_1=0\,; \tag{10}$$

$$\tau>0,\quad R=1,\quad \frac{\partial\Theta_2}{\partial R}=\mathrm{Bi}\left(1-\Theta_2\right); \tag{11}$$

$$R=\Xi(\tau),\quad \Theta_1=\Theta_2,\quad \frac{\mathrm{Fo}_1}{\mathrm{Ko}_1}\frac{\partial\Theta_1}{\partial R}-\frac{\mathrm{Fo}_2}{\mathrm{Ko}_2}\frac{\partial\Theta_2}{\partial R}=\frac{d\Xi}{d\tau}\,. \tag{12}$$

Значения теплофизических характеристик тепловой изоляции при увлажнении и промерзании рассчитывались как эффективные с учетом объемных долей каждой компоненты. Следует отметить, что объемная доля льда в изоляции, вследствие расширения воды при замерзании, во всех вариантах численных экспериментов увеличивалась на 9 % [6]. Так, например, эффективные коэффициенты теплопроводности находились из соотношений:

$$\lambda_{\text{эф}1}=W_{\text{л}}\lambda_{\text{л}}+\left(1-W_{\text{л}}\right)\lambda_{\text{и}},\ \lambda_{\text{эф}2}=W_{\text{в}}\lambda_{\text{в}}+\left(1-W_{\text{в}}\right)\lambda_{\text{и}},$$

где $W_{\text{л}}=1{,}09W_{\text{в}}$.

Выражение для расчета потерь холода, отнесенных к единице длины, имеет следующий вид:

$$q_l=-\lambda_{\text{эф}}\frac{\partial T}{\partial r}\frac{F}{l}.$$

Выражение для расчета потерь холода в безразмерном виде:

$$Q_l=-\frac{\partial\Theta}{\partial R}\,.$$

Обозначения: T – температура, К; Θ – безразмерная температура; t – время, с; t_0 – масштаб времени, с; τ – безразмерное время; r – координата, м; R – безразмерная координата; R_1 и R_2 – внутренний и наружный радиусы цилиндра, м; ξ – координата границы фазового перехода, м; Ξ – безразмер-

ная координата границы фазового перехода; a – температуропроводность, м^2/с; λ – теплопроводность, Вт/(м·К); c – теплоемкость, Дж/(кг·К); α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К); ρ – плотность, кг/м^3; Q – теплота фазового перехода, Дж/кг; W – относительное объемное влагосодержание изоляции; q_l – потери холода, Вт/м; F – площадь, м^2; l – длина, м; Fo – число Фурье; Bi – число Био; Ko – число Коссовича; Q_l – безразмерный параметр, выражающий потери холода.

Индексы: 0 – начальный момент времени; 1, 2 – промерзшая и непромерзшая зоны изоляции; ос – окружающая среда; пов – внутренняя поверхность изоляции; эф – эффективный; фп – фазовый переход; в – вода; л – лед; и – изоляция.

Метод решения и исходные данные

Рассматриваемая задача решена методом конечных разностей [7]. Разностные аналоги уравнений решались с помощью метода прогонки по неявной разностной схеме [7]. Особенности решения задачи заключались в наличии дополнительного слагаемого в выражениях (6), (12) и разрыве теплофизических характеристик на границе фазового перехода.

В качестве примера рассматривается типичный объект для хранения криожидкостей [5] – аппарат с внутренним диаметром 2400 мм. В качестве изоляционного материала выбран полистирол ПС-1 толщиной 50 мм [5]. Температура внутренней границы R_1 (рис. 1) равна температуре криожидкости в резервуаре $T_{пов}$=233 К. Температура окружающей среды варьировалась в диапазоне $T_{ос}$=290…300 К, а объемная влажность изоляции $W_в$=0…3 %. Значение коэффициента теплоотдачи от наружного воздуха к поверхности изоляции во всех вариантах численного анализа принималось равным α=5,8 Вт/(м^2·К) [8], а теплота фазового перехода – Q=334·10^3 Дж/кг [6].

В табл. 1 приведены значения теплофизических характеристик воды, льда и полистирола ПС-1 [9, 10], использовавшиеся при проведении численного моделирования.

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов и веществ

Материал/вещество	λ, Вт/(м·К)	c, Дж/(кг·К)	ρ, кг/м^3
Вода	0,6	4186	994,04
Лед	2,4	1924	916,8
Полистирол ПС-1	0,0343	1188,5	100

Результаты исследования

Основные результаты численного исследования потерь холода в рассматриваемом объекте приведены в табл. 2 и на рис. 2.

Обоснованность и достоверность результатов исследований следует из проведенных проверок используемых методов на сходимость и устойчивость решений на множестве сеток и выполнения условий баланса энергии δ_2 на границах области расчета. Погрешность по балансу энергии δ_2 (табл. 2) во всех вариантах численного анализа не превышала 0,2 %, что является приемлемым при проведении исследований тепловых режимов резервуаров для хранения криожидкостей.

Таблица 2. Результаты численного моделирования

$T_{ос}$, К	W, %	q_l, Вт/м	δ, мм	δ_1, %	δ_2, %	$t_{ст}$, ч
290	0	266,0	0	–	0,079	3,4
	1	411,8	43,7	35,4	0,135	2,8
	2	554,7	46,8	52,0	0,120	3,1
	3	693,0	48,9	61,6	0,167	3,3
295	0	293,2	0	–	0,077	3,4
	1	440,2	40,8	33,4	0,111	3,0
	2	586,4	44,2	50,0	0,172	3,2
	3	727,6	46,5	59,7	0,143	3,4
300	0	317,3	0	–	0,081	3,4
	1	469,2	38,2	32,4	0,136	3,0
	2	618,3	41,8	48,7	0,078	3,5
	3	762,6	44,4	58,4	0,034	3,8

Анализ результатов исследований (табл. 2) позволяет говорить об ожидаемом увеличении теплопритоков к резервуару с ростом температуры окружающей среды $T_{ос}$ и объемной доли влаги W, содержащейся в структуре изоляции. Результаты расчета потерь холода, табл. 2, свидетельствуют о том, что увлажнение и последующее промерзание слоя тепловой изоляции приводят к росту потерь холода до δ_1=61,6 % для рассматриваемого диапазона изменений $T_{ос}$ и W.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при эксплуатации резервуаров для хранения криожидкостей даже при относительно невысоких значениях $T_{ос}$ и W возможно существенное увеличение теплопритоков к рассматриваемым объектам. Следует отметить, что в рамках рассматриваемой задачи толщина слоя промерзшей тепловой изоляции имеет максимальное значение δ=48,9 мм (табл. 2), что соответствует практически полному промерзанию теплоизоляционного покрытия рассматриваемого объекта.

На рис. 2 приведены величины теплопритоков к резервуару в зависимости от времени при температуре окружающей среды $T_{ос}$=295 К и значениях относительного объемного влагосодержания изоляции W=0 и 3 %.

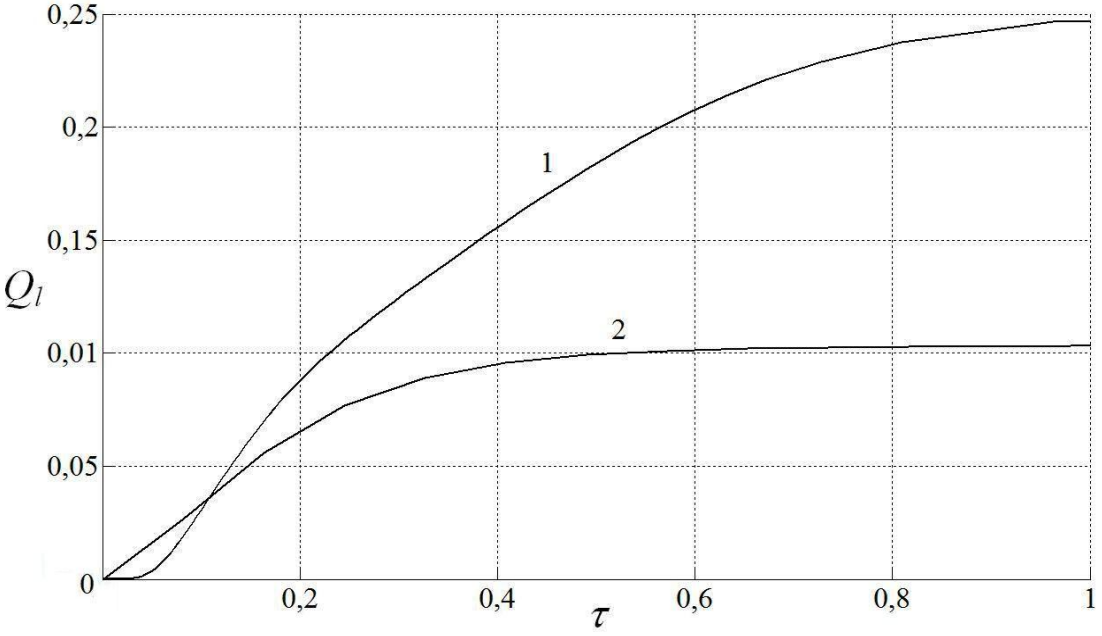


Рис. 2. Зависимость теплопритоков к резервуару от времени при W: 1) 3; 2) 0 %

Анализ нестационарности процессов теплопереноса в рассматриваемой системе позволяет сделать вывод о том, что длительность выхода на стационарный режим находится в диапазоне $t_{ст}$=2,8…3,8 ч (табл. 2) в зависимости от температуры окружающей среды $T_{ос}$ и объемной доли влаги W. Поскольку типичные времена хранения криожидкостей в резервуарах существенно превышают указанный временной интервал, то нестационарностью процессов теплопереноса в изоляции можно обоснованно пренебречь.

Выводы

1. Проведены моделирование теплопереноса в ограждающих конструкциях резервуаров для хранения криогенных жидкостей и численный анализ интенсификации потерь холода с учетом промерзания тепловой изоляции.

2. Установлены масштабы увеличения на 35…60 % теплопритоков вследствие увлажнения и последующего промерзания слоя тепловой изоляции.
3. Выявлено, что нестационарностью процессов теплопереноса в изоляции резервуаров для хранения криожидкостей можно обоснованно пренебречь.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-00201-а.

Список литературы

1. Бытенский О.М. Энергосбережение в тепловых сетях систем теплоснабжения // Энергетик. – 2009. – № 5. – С. 25–28.
2. Развитие теплоснабжения в России в соответствии с Энергетической стратегией до 2030 г. // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
3. Каганер М.Г. Тепловая изоляция в технике низких температур. – М.: Машиностроение, 1966. – 275 с.
4. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 28 с.
5. Официальный сайт ЗАО «ПЗЭМ». 2011. URL: http://www.pzem.ru/taxonomy/term/21 (дата обращения: 19.09.2011).
6. Курылев Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д. Холодильные установки. – СПб.: Политехника, 2004. – 576 с.
7. Самарский А.А., Гулин А.Н. Численные методы математической физики. – М.: Научный мир, 2000. – 316 с.
8. Ильинский В.М. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
9. Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Влажный воздух. Состав и свойства. – СПб.: СПбГАХПТ, 1998. – 146 с.
10. Новицкий Л.А., Кожевников И.Г. Теплофизические свойства материалов при низких температурах. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

УДК 536.2

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ БЕСКАНАЛЬНЫХ ТЕПЛОТРАСС В УСЛОВИЯХ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ

Половников В.Ю., к.т.н., Хузеев В.А.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: polov@tpu.ru

Россия характеризуется самым высоким уровнем централизованного теплоснабжения (до 80 %). На ее территории проложено более 250 тысяч километров тепловых сетей (в двухтрубном исчислении) с трубами диаметром от 57 до 1400 мм [1]. Протяженность магистральных трубопроводов диаметром условного прохода 600 – 1400 мм составляет 26 тыс. км [2].

Наиболее слабым звеном централизованных систем теплоснабжения являются теплопроводы и трубопроводы горячего водоснабжения. Схемы и средства транспортировки теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения, построенные в СССР, характеризуются недостаточной надежностью, высокой повреждаемостью трубопроводов тепловой сети и большими тепловыми потерями в них [3].

По различным оценкам [4], потери тепла при транспортировке теплоносителя составляют от 10 до 30 % и более. В тепловых сетях теряется вся экономия от комбинированной выработки тепла и электроэнергии на ТЭЦ. В связи с этим, вопросы, связанные с анализом тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов, эксплуатируемых в различных условиях, приобретают особую актуальность.

Не смотря на бурное внедрение и использование в тепловых сетях РФ бесканальных трубопроводов с ППУ изоляцией методика теплового расчета и анализ тепловых режимов бесканальныхтеплопроводов [5] базируется на общих балансовых соотношениях, не учитывающих многих особенностей взаимодействия рассматриваемых систем с окружающей средой и реальные механизмы теплопереноса. Основная используемая на практике методика теплового расчета бесканальныхтеплопроводов [5] не учитывает разнородность и нестационарность процессов переноса, наличие возможных фазовых переходов, изменение условий эксплуатации и взаимодействия теплопроводов с окружающей средой.

Целью работы является математическое моделирование тепловых режимов бесканальных теплопроводов в условиях промерзания грунта в зоне прокладки и анализ тепловых потерь рассматриваемых объектов в подобных условиях.

Рассматривается типичный теплопровод бесканальной прокладки – трубопроводы изолированные пенополиуретаном (ППУ) и защитным покровным гидроизоляционным слоем из полиэтилена [5]. Предполагается, что теплопровод эксплуатируется в условиях промерзания грунта в зоне прокладки.

Для рассматриваемой области решается двумерная стационарная задача теплопроводности в системе «подземный бесканальный теплопровод – окружающая среда».

Рассматриваемая задача решена с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphisics с использованием модуля General Heat Transfer [6].

Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке, состоящей из 32669 элементов и 25104 узлов. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения, сгущение сетки проводилось с использованием подпрограммы Mesh COMSOL Multiphisics.

Исследования проводились для трубопроводов с диаметрами условного прохода трубопроводов 600 мм, изготовленных из стали 10 (толщина стенки 8 мм), тепловая изоляция – пенополиуретан (толщина 40 мм) [5]. Покровный слой – полиэтилен (2 мм) [5].Расстояние от поверхности грунта до верхней части теплопроводов составляло 2 м. Расстояние между осями трубопроводов составляло 1,3 м. Температуры подающей и обратной линии принимались равными 338 К и 323 К соответственно и соответствовали среднегодовым температурам теплоносителей в подающих и обратных трубопроводах водяных тепловых сетей при их работе по температурному графику 95/70. Температура окружающей среды принималась равной средней температуре воздуха за отопительный период в различных городах Российской Федерации (Ростов-на-дону, Брянск, Тула, Пенза, Нижний Тагил, Омск, Томск, Енисейск, Чита). Средний коэффициент теплоотдачи на поверхности раздела «грунт – окружающая среда» варьировался в пределах от 5 до 30 Вт/(м^2·К).

Установлено, что в рамках предложенной модели, тепловые потери теплопровода в условиях промерзания грунта возрастают на 0,08 – 8,80 %, увеличение интенсивности теплоотдачи на внешнем контуре в 6 раз приводит к росту тепловых потерь до 5,7 %.Отклонение δ_2между тепловыми потерями с учетом промерзания и тепловыми потерями, посчитанными по нормативной методике, всегда является отрицательной величиной. В предельных случаях отклонение составляет от минус 12,10 до минус 27,17 % для песчаного грунта и от минус 21,83 до минус 28,63 % при прокладке теплопроводов в глинистых грунтах.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения разработанного подхода к анализу тепловых режимов и тепловых потерь теплопроводов в условиях промерзания грунта в зоне про-

кладки и возможности его применения при создании энергосберегающих систем транспортировки тепла.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

Список литературы

1. Бухин В. Е. Предварительно изолированные трубопроводы для систем централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2002. – № 4. – С. 24 – 29.
2. Адрианов Д. Е., Штыков Р. А. Экономия энергии путем управления тепловыми сетями на промышленном предприятии // Промышленная энергетика. – 2003. – № 6. С. 2 – 5.
3. Слепченок В.С., Петраков Г.П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 26–32.
4. Кузнецов Л.А., Григорьева Л.А. Определение потерь тепловой энергии через изоляцию трубопроводов теплофикационной воды в результате тепловых испытаний // Новости теплоснабжения. 2006. № 3. С. 51–52.
5. Витальев В. П. Бесканальные прокладки тепловых сетей. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 280 с.
6. Бирюлин Г.В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL/FEMLAB. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. – 89 с.

УДК 536.423.4:533/532.551

ТЕПЛОМАССООБМЕН ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ХЛАДАГЕНТА ИЗ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В НЕПРОТОЧНОМ ДЛЯ ГАЗА КАНАЛЕ

Польгуль А.М.

Одним из направлений при создании нового эффективного теплообменного оборудования холодильных установок является применение в их конструкции вертикально-трубных теплообменных поверхностей с организацией процесса конденсации пара внутри труб и интенсификацией теплообмена со стороны конденсирующегося хладагента, обеспечивающих высокие значения массогабаритных и энергетических показателей данных конденсаторов. При конденсации фреонов, имеющих более низкие коэффициенты теплопроводности в сравнении с охлаждающей средой (водой), интенсивность теплообмена со стороны конденсирующегося пара ниже, чем со стороны охлаждающей среды (воды) и лимитирует общую интенсивность теплообмена. В настоящее время в научной литературе наблюда-

ется ограниченность теоретических сведений по конденсации хладагентов на вертикальных поверхностях, в частности, внутри вертикальных труб, в условиях применения интенсификаторов теплообмена, поэтому исследование указанных процессов представляет несомненный интерес.

Целью работы являлось создание математической модели процесса тепломассообмена парогазовой смеси в вертикальном коаксиальном канале при пленочной конденсации хладагента на его внутренней поверхности.

Разработана математическая модель процесса тепломассообмена парогазовой смеси в вертикальном коаксиальном канале в условиях пленочной конденсации хладагента на его внутренней поверхности. Результаты математического моделирования сравнены с экспериментальными данными, полученными при исследовании теплообмена в конденсаторе холодильной установки. Проведены исследования пленочной конденсации хладагента из парогазовой смеси в непроточном для газа канале, получены коэффициенты массоотдачи и теплоотдачи на поверхности пленки конденсата при конденсации хладона R-21 в присутствии примеси воздуха, определены зависимости толщины пленки и теплового потока, передаваемого через пленку конденсата к охлаждающей поверхности от режима работы конденсатора. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и эксплуатации теплообменного оборудования фреоновых холодильных установок.

УДК 662.62

ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫЙ ЗАПУСК ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Пушненков А.А., Магистрант.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: haley77@mail.ru

Трехфазные тиристорные регуляторы напряжения (ТРН, устройства плавного пуска, soft starters) представляют собой комбинацию биполярно - соединенных тиристоров, включаемых в фазы переменного тока, с системой управления и регулирования. Они обеспечивают плавный пуск и торможение асинхронного электропривода.

В случае прямого пуска асинхронного двигателя (АД) в начальный момент происходят броски тока и электромагнитного момента, что негативно влияет на механическую часть электропривода и приводит к большому падению напряжения в питающей сети.

В качестве объекта исследования был выбран электропривод ленточного конвейера. Для управления АД марки 4АР200L4У3 ($P_н = 45$ кВт, $n_н = 1500$ об/мин) использовался тиристорный регулятор напряжения. Силовая часть асинхронного электропривода состоит из включенных встречно-параллельно тиристоров в каждой фазе.

Имитационная модель силовой схемы системы представлена на рисунке 1.

Система импульсно-фазового управления осуществляет подачу импульсов управления на тиристоры с постепенно уменьшающимся углом управления α.

В результате среднеквадратичное значение напряжения, приложенного к фазе двигателя, плавно возрастает. Это позволяет значительно снизить пульсации электромагнитного момента и токов двигателя (Рисунок 4).

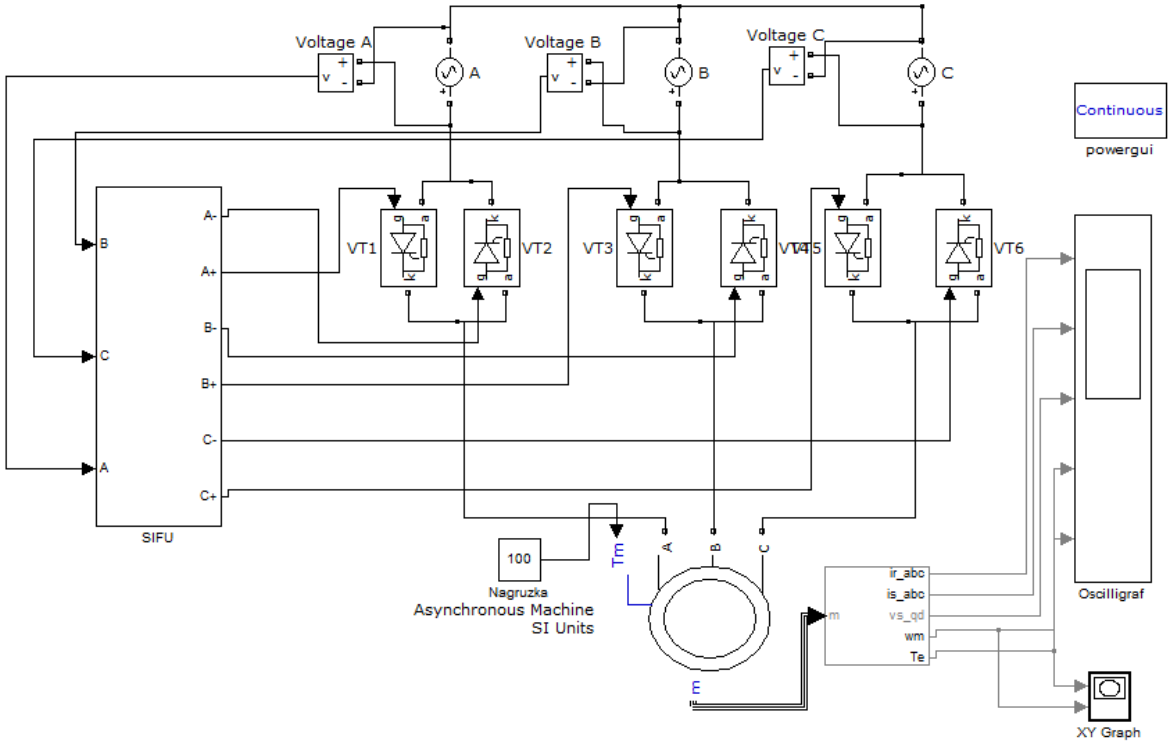


Рисунок 1 – Имитационная модель силовой схемы системы ТРН-АД

Чтобы моделирование прошло успешно необходимо в СИФУ генерировать пилообразный прямоугольный сигнал и задатчик угла α

в фазе В сдвинуть с помощью элемента Transport Delay на значение $\frac{240 \cdot 0.02}{360} = 0.01333$ с, где 0.02- период синусоиды фазы В в секундах, 360 -

период синусоиды в градусах, а 120 градусов – начало естественной точки коммутации. Аналогично для фазы С сдвинуть на $\frac{120 \cdot 0.02}{360} = 0.0066667$ с.

Сдвиг выполнен для того, чтобы сигнал управления был вовремя подан на тиристор фазы, на которой он работает.

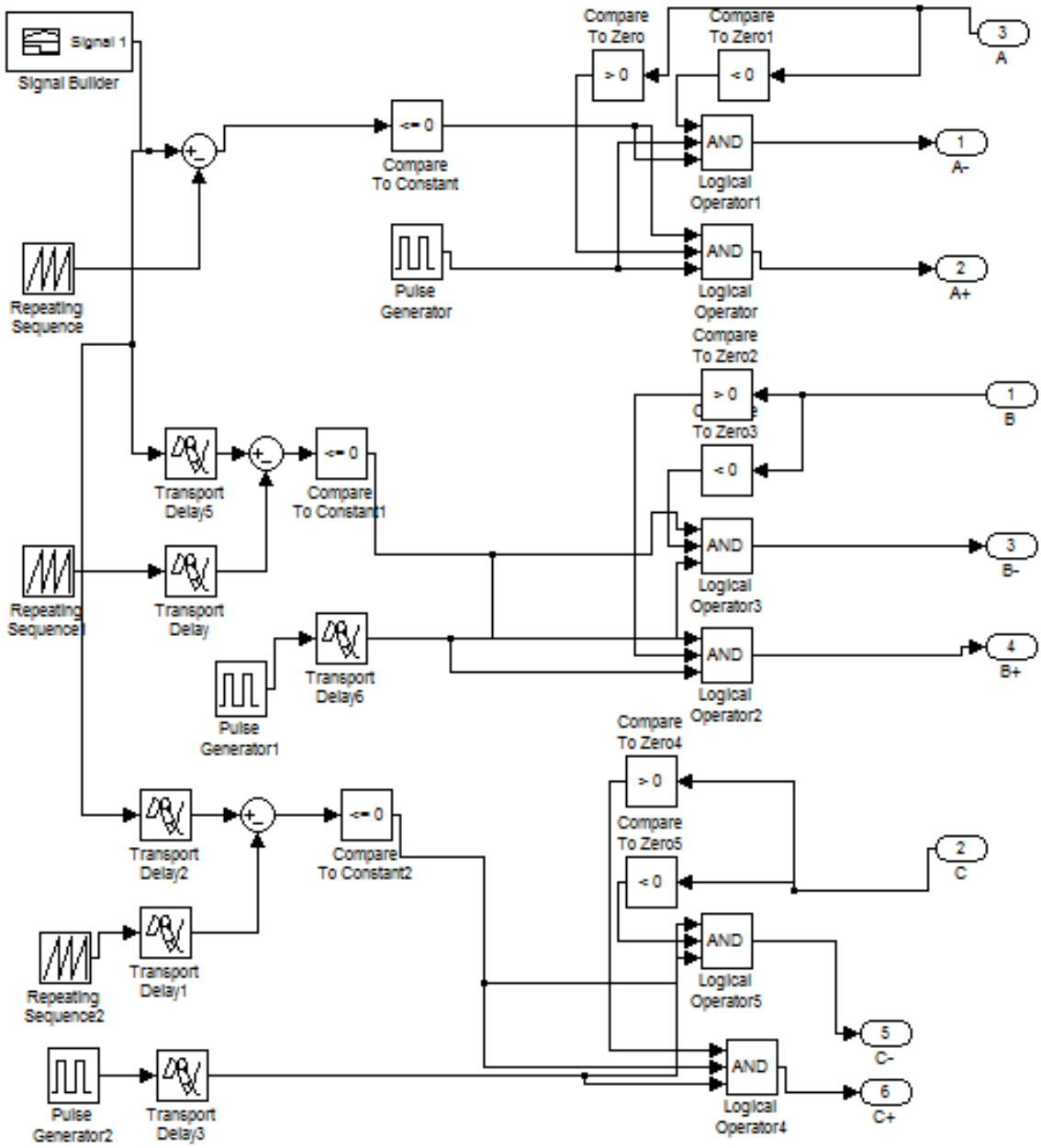


Рисунок 2– Блок системы импульсно-фазового управления.

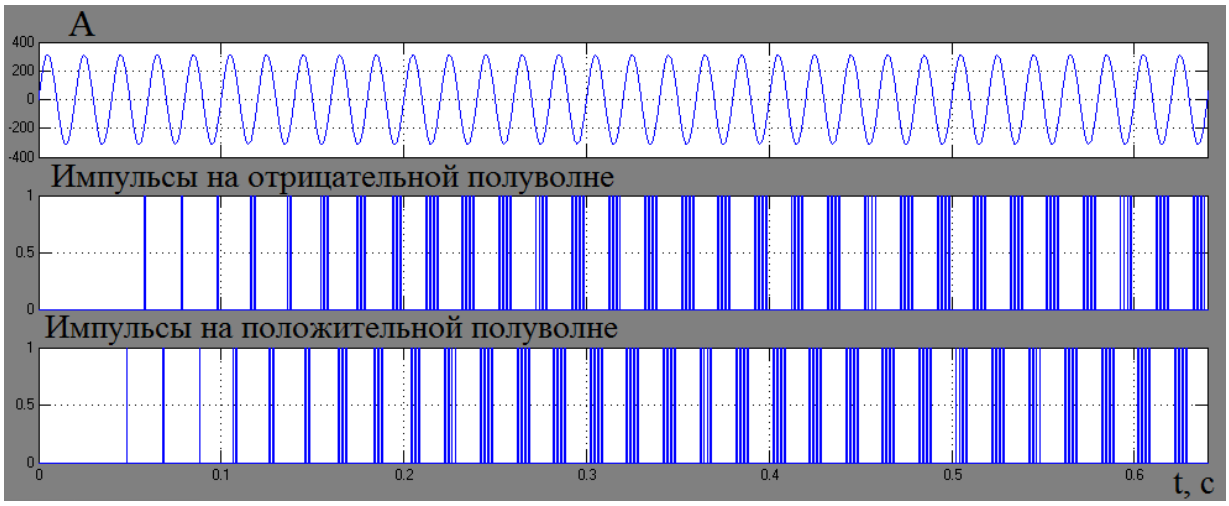


Рисунок 3 – Диаграмма работы СИФУ на примере фазы А

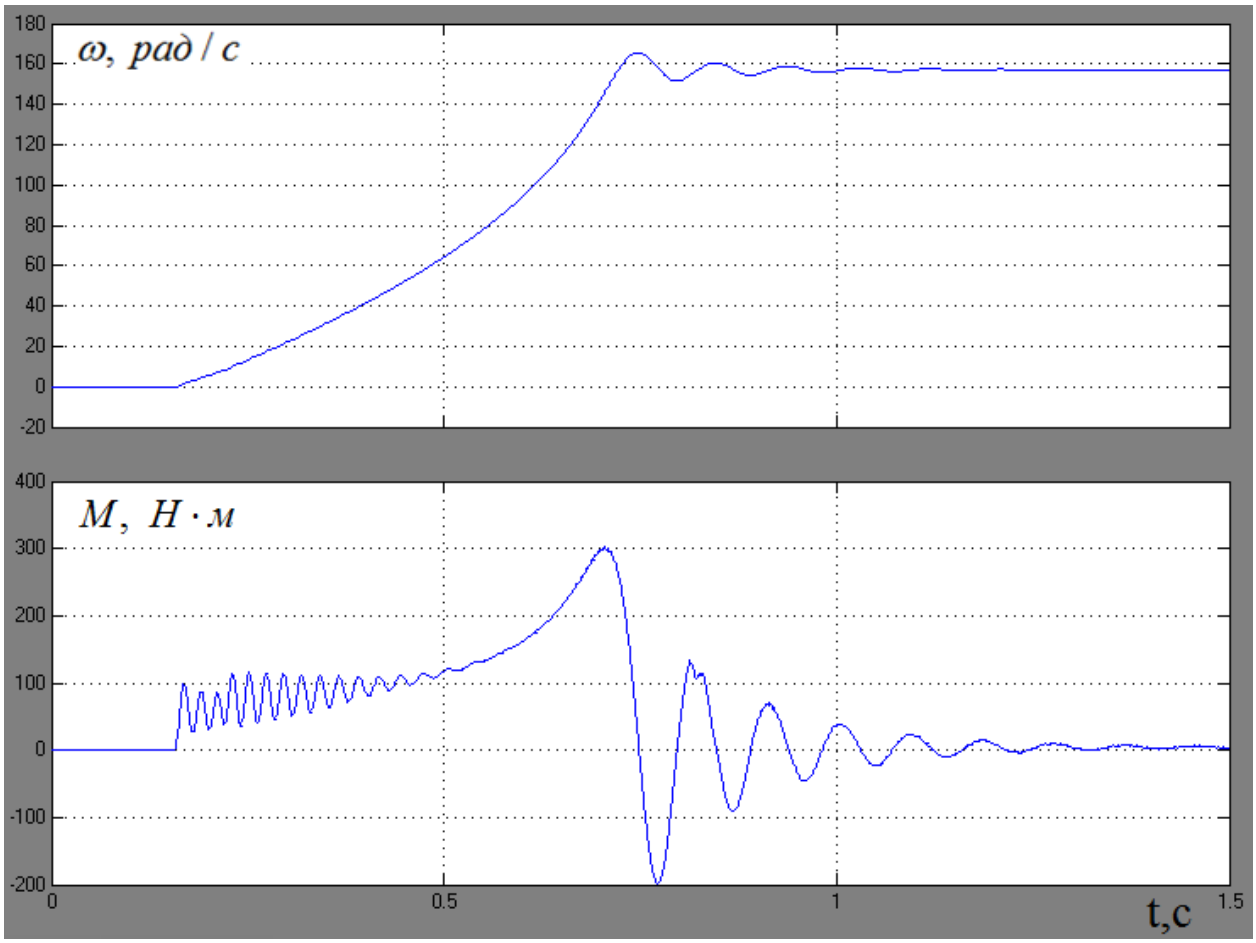


Рисунок 4 – Переходные процессы двигателя с ТРН

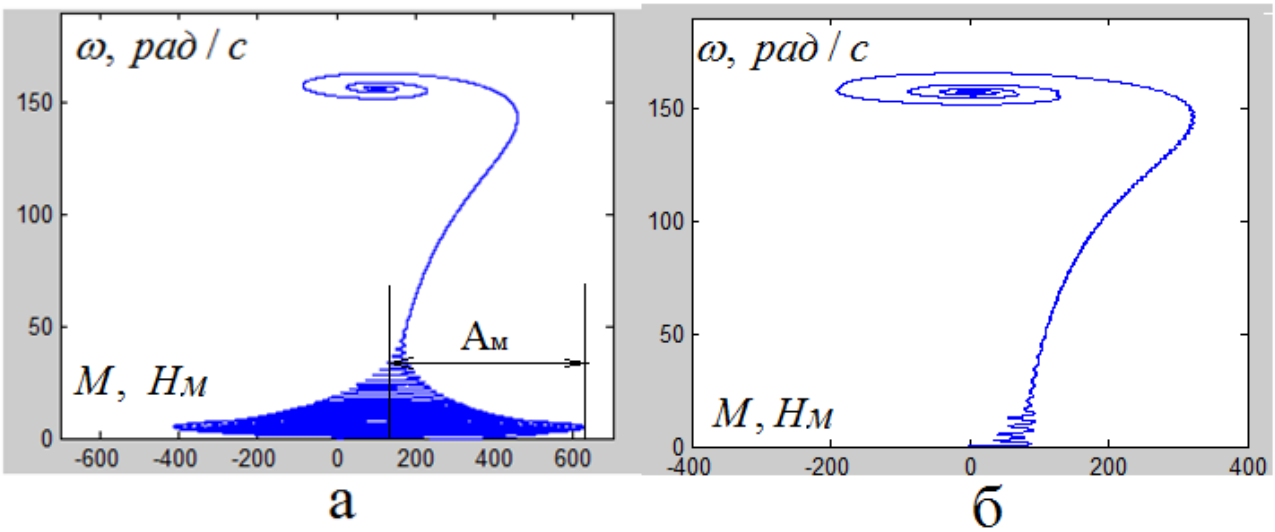


Рисунок 5 – Механические характеристики двигателя:а – от сети , б – с помощью ТРН.

Таблица 1

Параметры	Прямой пуск	Плавный пуск
Амплитуда колебаний электромагнитного момента, Нм	510	25
Максимальное значение тока, А	834	340

По итогам моделирования (рисунок 5б) видно, момент двигателя плавным образом начинает возрастать, благодаря медленному нарастанию напряжения на статоре, сопровождаясь малыми значениями амплитуд колебаний (25 Нм).

Броски тока статора и ротора значительно снижены, что уменьшает внутренние потери в электродвигателе, и в конечном итоге, увеличивает срок его службы.

Пульсации момента снизились на 485 Нм или на 95% относительно пульсаций момента при прямом пуске (Таблица 1).

УДК 544.016.2

СТАБИЛЬНЫЙ ТЕТРАЭДР LIF-KBR-LI_2MOO_4-LI_2WO_4 ПЯТИКОЙ ВЗАИМНОЙ СИСТЕМЫ LI,K||F,BR,MOO_4,WO_4

Радзиховская М.А., Гаркушин И.К., Данилушкина Е.Г.

Самарский государственный технический университет, г. Самара
e-mail*: radzihovskaya@mail.ru*

Изучение фазовых превращений в системах на основе солей щелочных металлов является актуальным, так как смеси на их основе широко используются в качестве электролитов и теплоаккумулирующих составов. Исследуемый тетраэдр LiF-KBr-Li_2MoO_4-Li_2WO_4 входит в состав пятикомпонентной взаимной системы Li,K||F,Br,MoO_4,WO_4. Элементами огранения тетраэдра являются три секущих треугольника LiF-KBr-Li_2MoO_4 [1], LiF-KBr-Li_2WO_4 [2], KBr-Li_2MoO_4-Li_2WO_4 и трехкомпонентная система с общим катионом LiF-Li_2MoO_4-Li_2WO_4.

Стабильный тетраэдр LiF-KBr-Li_2MoO_4-Li_2WO_4 был исследован методом дифференциального термического анализа [3]. В результате исследования было установлено, что в тетраэдре не образуются точки нонвариантных равновесий. В системе кристаллизуются три фазы, одна из которых - непрерывный ряд твердых растворов $Li_2Mo_xW_{1-x}O_4$. Стабильный тетраэдр представлен тремя объемами кристаллизации: бромида калия, фторида лития и твердых растворов на основе молибдата и вольфрамата лития. Для линии моновариантного равновесия, соединяющей тройные эвтектики на противоположенных сторонах тетраэдра, E_1E_2 можно описать следующее фазовое равновесие: Ж→KBr+LiF+$Li_2Mo_xW_{1-x}O_4$.

Список литературы:

1. Радзиховская М.А., Гаркушин И.К., Данилушкина Е.Г. Исследование секущих треугольников LiF-KBr-Li2MoO4, LiF-LiBr-K2MoO4, LiF-KBr-LiKMoO4 четырехкомпонентной взаимной системы Li,K||F,Br,MoO4. Химия под знаком сигма: материалы Всерос. молодеж. конф. Казань. Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. – 248с.
2. Егорцев Е.Г., Гаркушин И.К., Истомова М.А. Фазовые равновесия и химическое взаимодействие в системах с участием фторидов и бромидов щелочных элементов. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С.106.
3. Егунов В.П. Введение в термический анализ. Самара: ПО «САмВен».1996. 270 с.

УДК 544.45

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НИТРИДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ И СМЕСЕЙ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ С ОКСИДАМИ В ВОЗДУХЕ

Роот Л.О., к.т.н., Звягинцева Е.С.

Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, г. Томск
E-mail: tolbanova@mail.ru

Изучение горения в воздухе порошкообразных металлов (Al, Ti, Zr, Hf, Nb,Ta и Cr), а также смесей нанопорошка (НП) алюминия с их оксидами показало, что в составе продуктов сгорания содержались соответствующие нитриды [1]. При этом содержание фазы нитридов в продуктах сгорания превышало 50 %, несмотря на то, что охлаждение продуктов сгорания до температуры устойчивости нитридов протекало в течение десятков секунд, что по расчетам достаточно для полного окисления до оксидов. Таким образом, интерес представляет исследование причины кинетического торможения термодинамически разрешенного процесса окисления нитридов до оксидов. Целью настоящей работы являлось изучение закономерностей формирования самостоятельных фаз нитридов при горении в присутствии кислорода порошкообразных металлов и смесей нанопорошка алюминия с оксидами.

В результате исследования процессов окисления НП алюминия в воздухе были зафиксированы колебательные процессы (повышение и последующее понижение температуры реакционной смеси) в условиях высокотемпературного горения [2]. При этом установлено, что данные процессы связаны с повышением – понижением скорости взаимодействия алюминия в системе «кислород-азот». Наиболее вероятно, изменение скорости окисления связано с особыми химическими свойствами кислорода: его способности за счет излучения горящей смеси переходить в неактивное состояние, характеризующееся снижением реакционной способности, в то время как азот взаимодействует с металлами, образуя нитриды.

Список литературы

1. Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П. и др. Горение нанопорошков металлов. Томск: Дельтаплан, 2008. – 382 с.
2. Толбанова Л.О. Синтез керамических нитридсодержащих материалов сжиганием в воздухе смесей нанопорошка алюминия с нанопорошками W и Mo и порошком Cr: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2007. – 21 с.

УДК 621.311.001

О НЕОБХОДИМОСТИ АДЕКВАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Рубан Н.Ю., аспирант.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: rubanny@tpu.ru

Функционирование средств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗ и ПА) оказывает существенное влияние на протекание аварийных и послеаварийных процессов в электроэнергетических системах (ЭЭС), причем собственные процессы в устройствах РЗ и ПА неразрывно связаны с процессами в ЭЭС и, соответственно, правильность действий РЗ и ПА оказывается взаимосвязанной с этими процессами. Согласно обобщенной статистике около 25% тяжелых аварий в ЭЭС происходит из-за неправильных действий РЗ и ПА, одной из основных причин которых является их некорректная настройка, которая, помимо человеческого фактора, происходит из-за сильного загрубления рассчитываемых для указанных средств уставок. Причиной же загрубления уставок является неучет процессов, протекающих в измерительных трансформаторах и в самих средствах РЗ и ПА, в связи с чем и возникает актуальная задача полного и достоверного моделирования указанных средств.

Для решения поставленной задачи разработана методика создания подобного рода адекватных моделей средств РЗ и ПА, включающая: составление адекватных математических описаний моделируемых средств на основе их схем замещения с помощью соответствующих передаточных функций; предварительные исследования разработанной математической модели с помощью программ Mathcad и MATLAB необходимые для проверки адекватности ее функционирования; выполнение программной формализации математической модели на язык Си для возможности ее использования в моделирующих комплексах ЭЭС.

Разработанные в соответствии с данной методикой модели средств РЗ и ПА позволяют эффективно решать следующие важнейшие задачи:

достоверно выявлять причины неправильной работы РЗ и ПА;

оптимально настраивать РЗ и ПА;

вырабатывать обоснованные критерии и условия для модернизации существующих и разработки новых средств РЗ и ПА.

УДК 548.50

ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ТРАВЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ YAG:ND^{3+}, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Рыбина Э.Н., Живулин Д.Е., Брызгалов А.Н., д. ф.-м. н.
Челябинский государственный педагогический университет, г. Челябинск
E-mail: elvirarybina@mail.ru

Проведено исследование кристаллов концентрационного ряда Y3-xAl5O12+Ndx. Гидротермальным травлением установлена субструктура кристаллов, полученных методом Чохральского и направленной кристаллизации. Определён механизм роста и захвата примеси Nd, выявлен характер распределения примеси при разных способах выращивания.

Оптические свойства кристаллов YAG:Nd зависят от химического состава и концентрации активной примеси в нём. Наличие неодима (Nd) в YAG в качестве активной примеси обуславливают лазерные свойства кристалла [1,2].

Кристаллы YAG:Nd3+ выращены методом Чохральского, с выпуклым фронтом роста, а методом направленной кристаллизации – с вогнутым фронтом роста. Данный факт влияет на распределение примеси в монокристаллах, выращенных в условиях разнонаправленных конвективных потоков. Направление указанных потоков в методах Чохральского и направленной кристаллизации имеет вид, представленный на рис.1. На рис.2. приведена соответствующая картина распределения примесей в зависимости от геометрической формы фронта роста [3].

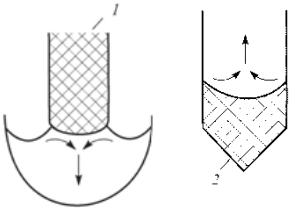


Рис.1. Конвективные потоки в расплаве (показаны стрелками) при выращивании монокристаллов в условиях 1- выпуклого и 2-вогнутого фронтов кристаллизации. Кристаллы обозначены штриховкой

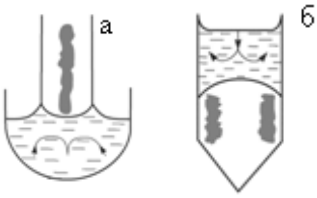


Рис.2. Распределение примеси (показано штриховкой) в зависимости от направления конвективных потоков.Форма фронта роста: а - выпуклая, б - вогнутая.

Видно, что примесь при выпуклом в сторону расплава фронте роста в методе Чохральского скапливается в центре монокристалла, а при вогнутом (метод направленной кристаллизации) фронте роста – на периферии.

Таким образом, в случае роста кристалла методом Чохральского в качестве активных элементов квантовых генераторов нужно использовать только часть периферии, а в случае направленной кристаллизации – центральную область.

Гидротермальным методом установлено, что в кристаллах метода Чохральского существует «эффект грани», где имеются сектора роста по границам которых располагается примесь неодима. Выявлены три вида субструктуры: секториальность, ячеистость и зонарность. Образцы имеют хорошо развитое секториальное строение, причём видимые секторы занимают до 30% площади. Отчётливо просматривается зонарность плотностью 2,5·103 лин·см-1. Границы зонарности в секторах роста параллельны границам центрального сектора. По мере приближения к периферии кристалла границы зонарности для цилиндрической були принимают форму концентрических окружностей, при этом плотность границ увеличивается. На границе перехода от секториальной области к зонарной наблюдается искривление линий зонарности: они принимают волнообразную форму, появляется ячеистая субструктура [4].

Однако, для кристаллов выращенных методом направленной кристаллизации, гидротермальным травлением установлено, что кристаллы имеют ячеистое строение, т.е. ионы неодима распределяются по ячейкам. С увеличением концентрации примеси возрастает плотность ячеек, а с превышением предельной концентрации образуются включения не растворившейся примеси.

Для двух методов выращивания характерны два механизма роста: послойный и нормальный. Несмотря на то, что природа остаточных напряжений зависит от многих факторов, роль механизма роста весьма существенна. В случае когда рост кристалла проходит при вогнутом фронте области граней располагаются в периферийной части фронта роста. На рис.3. приведена картина остаточных напряжений в монокристалле YAG:Nd, снятая в поляризованном свете. На рисунке видно, что на стыке двух форм роста возникают устойчивые поля напряжений, связанные с неодинаковыми коэффициентами термического расширения. Так как область, примыкающая к гранной форме, сжата, то очевидно, что коэффициента для гранных форм роста выше, чем для негранных. Избавиться от таких напряжений невозможно, поскольку эти напряжения определяются строением монокристалла [5].

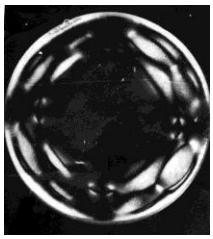


Рис.3. Картина остаточных механических напряжений, обусловленная действием двух механизмов роста. Поляризованный свет. Увеличение ×10

Для определения концентрации использовались методы оптический и магнитный, а для выявления субструктуры – гидротермальное травление.

Для определения концентрации магнитным методом использовался способ Фарадея, основанный на взаимодействии образца с неоднородным магнитным полем. YAG без примеси неодима диамагнитен, тогда как окись неодима парамагнитна. При образовании твёрдого раствора $Y_{3-x}Al_5O_{12}+Nd_x$ по мере увеличения концентрации неодима снижаются диамагнитные свойства согласно закону Кюри-Вейса:

$$\Delta\chi = \frac{N\mu^2}{3k(T-\theta)}$$

где $\Delta\chi$ изменение магнитной восприимчивости вещества при последовательном замещении ионов одной активности на ионы другой, N - количество атомов примеси в одном грамме вещества, μ - эффективный магнитный момент иона, к – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, θ – точка Кюри. В качестве контрольного образца использовался кристалл YAG с концентрацией примеси ~0,2 ат. %, определённой оптическим методом.

Таблица 1. - Концентрация неодима в кристаллах, % ат.

Магнитный метод	Оптический метод
0	0
0,20	0,20
0,35	0,32
0,65	0,38
0,95	0,56
1,23	0,78
3,79	3,0

Из таблицы следует, что значение концентрации примеси, определённое магнитным способом, выше, чем оптическим. Оптический метод указывает на концентрацию примесных ионов, вошедших изоморфно в решётку кристалла, а магнитный указывает, на полную концентрацию в кри-

сталле. По разнице концентраций можно судить о количестве примеси, не вошедшей в решётку.

С увеличением концентрации примеси в исходной среде возрастает её концентрация как в решётке кристалла, так и вне её. С приближением к концентрации ~ 1 ат.% помимо диамагнитной составляющей на отдельных участках образцов обнаруживается примесь с парамагнитной составляющей магнитной восприимчивости. При концентрации выше ~ 1,23 ат.% проявляется только парамагнитная составляющая. На рис.4. представлены субструктуры кристаллов YAG с различной концентрацией примеси. Основным элементом субструктуры у кристаллов с концентрацией до 0,65 ат.% является ячеистость.

а б

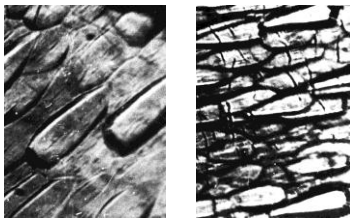


Рис.4. Ячеистое строение кристаллов YAG с примесью Nd с концентрациейа - 0,6 ат.% и б -0,7 ат.% Плоскость [001], Увеличение × 500 раз

С увеличением концентрации неодима до 0,7 ат.% возрастает плотность ячеек (рис.4б.), контуры ячеек становятся более широкими и глубокими, а внутри ячеек появляются поперечные бороздки. Дальнейшее увеличение примеси до 0,8-0,9 ат.% приводит к пластинчатым выделениям, тогда как контрастность ячеек снижается. Согласно магнитным изменениям пластинчатые выделения связаны с выделением примеси неодима. С концентрацией примеси выше ~ 1% в кристаллах наблюдаются крупные сферические образования не растворившейся примеси неодима (не проплавы).

Таким образом, между концентрацией примеси и субструктурой YAG с примесями неодима имеется некоторая связь. Причём зональность и ячеистость по-разному влияют на оптические свойства кристаллов.

Список литературы:

1. Багдасаров, Х.С. Выращивание кристаллов иттрий-алюминиевого граната [Текст]/ Х.С. Багдасаров, И.И. Карпов, Б.Н. Трегумников // Обзоры по электронной технике. Серия: Квантовая электроника.- Т.10, в.1. - 1976. – С. 106.
2. Бычков, В.З. Выращивание монокристаллов АИГ с примесью неодима [Текст]/ В.З. Бычков, С.А. Федулов, А.С. Власов// Кристаллография. – Т.14, в.6 . – 1969. - С. 1115-1116.

3. Багдасаров Х.С. Высокотемпературная кристаллизация из расплава [Текст]/ М.:Физматлит.-2004.-С. 40,61-62.
4. Брызгалов, А.Н. Зависимость субструктуры кристаллов алюмоиттриевого граната от условий их выращивания [Текст]/ А.Н. Брызгалов, Э.Т. Эмирбеков, А.О. Иванов// Физика кристаллизации. - Калинин. - 1981. - С. 70-73.
5. Брызгалов А.Н.Распределение примеси неодима в кристаллах АИГ, полученных способом направленной кристаллизации [Текст]/ А.Н. Брызгалов, Э.Т. Эмирбеков, А.Я. Аксеновских, В.А. Письменный// Физика кристаллизации. - Калинин. - 1990. - С. 65-69.

УДК 548.50

ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ТРАВЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ АЛЮМОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА С ПРИМЕСЬЮ НЕОДИМА YAG:ND^{3+}

Рыбина Э.Н., Брызгалов А.Н., д. ф.-м. н.
Челябинский государственный педагогический университет, г. Челябинск
E-mail: elvirarybina@mail.ru

Кристаллы алюмоиттриевого граната $Y_3Al_5O_{12}$:Nd^{3+} (YAG:Nd^{3+}) обладают исключительным набором свойств, делающих их весьма подходящим материалом для твердотельных лазеров [1, 2]. В случае YAG:Nd^{3+} увеличение концентрации неодима выше 10^{19} см$^{-3}$ приводит к резкому падению вероятностей излучательных переходов $^4F_{3/2}$-^4I_j, означающее резкое повышение порога генерации и снижение КПД. Мы считаем, что явление концентрационного тушения люминесценции (КТЛ) нужно объяснять исходя из субструктуры кристаллов, учитывая метод выращивания.

Исследовались кристаллы YAG:Nd^{3+} выращенные методом Чохральского, с выпуклым фронтом роста с разными углами при вершине в направлении близком к [111] с максимальной концентрацией неодима в 1ат. %. Образцы были вырезаны из цилиндрической були в виде плоскопараллельных пластин, перпендикулярных геометрической оси кристалла. Кристаллы подверглись гидротермальному травлению в КОН в автоклаве при температуре 200^{0}С.

Методом гидротермального травления выявлена субструктура кристаллов YAG:Nd^{3+} и определена взаимосвязь её с дефектностью. Исходя из субструктуры кристалла, объяснено явление концентрационного тушения люминесценции. В кристаллах YAG:Nd^{3+} выявляются три вида субструктуры: секториальность, ячеистость и зонарность. Секторы роста образуют-

ся путём нарастания по гранкам на свободной части растущей поверхности кристалла, а периферийная область связана с вынужденной формой роста, определяемой изотермой равновесия твёрдой и жидкой фаз. Ячеистость проявляется при переходе от секториальной области к периферийной, а зонарность обусловлена периодическим распределением примеси. Алюминат иттрия захватывает примесь неодима больше единицы и, в следствии, в промежуточной области происходит концентрационное тушение.

Список литературы:

1. Багдасаров Х.С. Фотоиндуцированные эффекты и реальная структура кристаллов иттрий-алюминиевого граната / Х.С. Багдасаров, Н.Б. Болотина, В.Н. Калинин и др.// Кристаллография.- 1991. - Т.36, в.3. - С. 715-728.
2. Petrosyan A.G. Crystal growth of laser oxides in the vertical Bridgman configuration // J. Cryst. Growth. - 1994. Vol.139. - P. 372-392.

УДК 661.8

УМЕНЬШЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ CU-AL С МЕДНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Сайгаш А.С. к.т.н., Колганова Ю.Л., Шаненков И.И.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: SivkovAA@mail.ru

В работе предлагается новое решение проблемы совмещения контактной пары медь-алюминий и снижение ее переходного контактного сопротивления за счет нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность с использованием коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) [1].

В процессе работы ускорителя в разряде постоянно накапливается и вовлекается в течение масса материала, наработанного электроэрозионным путем с поверхности ускорительного канала (УК). Материал выносится из УК в виде сверхзвуковой плазменной струи и осаждается на поверхность алюминиевого контактного элемента, расположенного на некотором расстоянии от среза УК.

В экспериментах осциллографировались разрядный ток i(t) и напряжение на электродах ускорителя u(t), типичные осциллограммы которых приведены на рисунке 1.

В момент времени t_1 происходит инициирование дугового разряда в начале УК КМПУ. В момент t_2 плазменная структура разряда выходит из

УК и происходит истечение плазмы в направлении обрабатываемой поверхности. Потребление энергии прекращается в момент времени t_3. По полученным осциллограммам строилась кривая мощности разряда, интегрированием которой определялась величина энергии, подведенной к ускорителю.

Измерение переходных сопротивлений контактных пар медь-алюминий с медным покрытием ($Cu\text{-}Al_{Cu}$) в сравнении с тестовым контактным соединением медь-алюминий (Cu-Al) производилось вольтамперным методом [4]. Для каждого образца контактного алюминиевого элемента с медным покрытием с площадью контактной поверхностью $S_к$= 220 мм^2 снимались зависимости величины переходного сопротивления от усилия сжатия с медным контактным элементом, которое дискретно изменялось в пределах N=12,50÷31,25 кН. Определенное таким образом удельное переходное сопротивление тестового контакта Cu-Al при N=31,25 кН составило ~2,7 мОм·мм^2. Были определены оптимальные условия работы системы, позволяющие получить удельное сопротивление контактных пар $Cu\text{-}Al_{Cu}$ $R_{уд}$=1,1 мОм·мм^2, то есть снизить в 2,5 раза. Такие результаты получены на образцах с медным покрытием, нанесенным при средней мощности разряда $P_{ср}$ около 99 МВА, как это видно из графика на рисунке 2. С уменьшением $P_{ср}$ ухудшается качество покрытия и повышается $R_{уд}$.

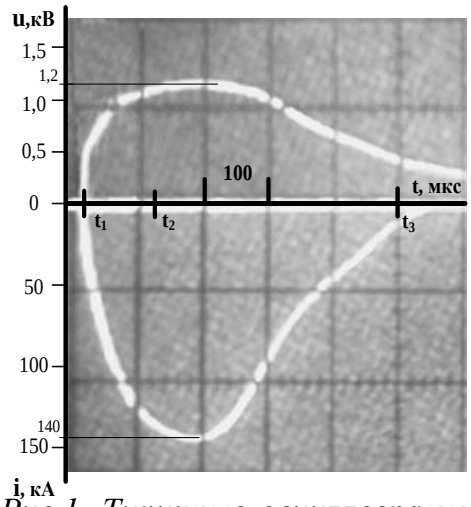


Рис.1. Типичные осциллограммы тока i(t) и напряжения u(t)

Физически это объясняется увеличением скорости плазменной струи, воздействующей на обрабатываемую поверхность, с ростом $P_{ср}$. То есть при определенной скорости, температуре и плотности материала струи (Cu) происходит его гидродинамическое перемешивание с материалом подложки (Al) с образованием граничного слоя с плавно меняющимся содержанием меди и алюминия. Наличие этого слоя толщиной около 50 мкм обеспечивает предельно прочное сцепление покрытия с поверхностью и снижение контактного сопротивления.

С повышением плотности энергии на обрабатываемой поверхности возрастают микротвердость материала покрытия, граничного и приграничного слоев материала подложки. Анализ полученных данных показал, что величина $R_{уд}$ практически линейно

уменьшается с увеличением микротвердости материала граничного слоя между медным покрытием и алюминиевой поверхностью, как это видно по графику на рисунке 3.

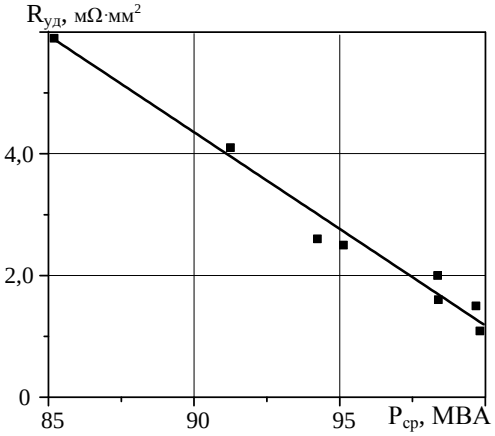


Рис.2. Зависимость удельного переходного сопротивления $R_{уд}$ от средней мощности $P_{ср}$

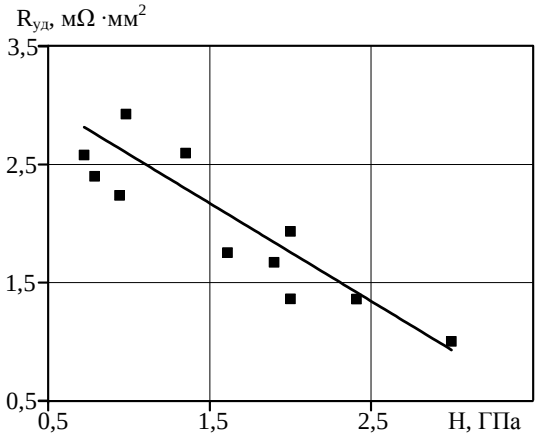


Рис.3. Зависимость удельного переходного сопротивления $R_{уд}$ от величины микротвердости материала граничного слоя H

Исследования материала медного покрытия методами рентгеновской дифрактометрии показали, что повышение микротвердости и снижение $R_{уд}$ в определенной степени связано с присутствием в материале кристаллической фазы нитрида алюминия AlN. Структурно-фазовый анализ, проведенный с использованием программы PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+, показал, что в зависимости от условий нанесения покрытия содержание основной кристаллической фазы меди ~61÷83%. Кроме того идентифицируются следующие кристаллические фазы: оксид меди CuO; алюминий Al; нитрид алюминия AlN. Присутствие фазы алюминия в покрытие обусловлено его поступлением с поверхности подложки за счет плавления, гидродинамического перемешивания и диффузии в жидкой фазе при высокоскоростном взаимодействии струи с поверхностью. Кристаллические фазы CuO и AlN образуются в силу того, что процесс нанесения медного покрытия производится в воздушной атмосфере. Важно отметить, что в данных условиях не происходит образования оксидов алюминия.

Сравнительный анализ данных исследования фазового состава и микротвердости материала покрытия, показал наличие корреляционной связи между микротвердостью медного покрытия и процентным содержанием высокотвердой фазы AlN и наименее твердой фазы Al. С увеличением содержания фазы AlN в указанных выше пределах, микротвердость возрас-

тает по близкому к линейному закону. Повышение содержания Al приводит к существенному снижению микротвердости.

Микроструктура медного покрытия и граничного слоя анализировались методами оптической микроскопии. На рисунке 4 представлены микроснимки шлифов поперечного среза двух алюминиевых образцов с медным покрытием, нанесенным при разных величинах средней мощности $P_{ср}$. Видно, что покрытие, полученное при относительно низкой величине $P_{ср}$ (рисунок 4а) сильно неоднородно по толщине и плотности, местами отслаивается от подложки. Кроме того отчетливо видно отслоение приповерхностного слоя алюминиевой подложки и разрыхление ее глубину до ~100 мкм. Причиной этой особенности структуры поверхностного слоя подложки может быть откольное явление – результат ударно-волнового процесса, протекающего в подложке. Можно предположить, что при данных параметрах плазменной струи, обусловленных $P_{ср}$= 85,2 МВА, не происходит заметного плавления и гидродинамического перемешивания материалов с образованием граничного слоя, а большая часть энергии материала струи переходит в энергию ударно-волнового процесса. В совокупности отмеченные особенности структуры граничного слоя приводят к увеличению переходного сопротивления контактной пары Cu-Al_{Cu}, которое в данном случае равно $R_{уд}$= 5,8 мОм·мм^2.

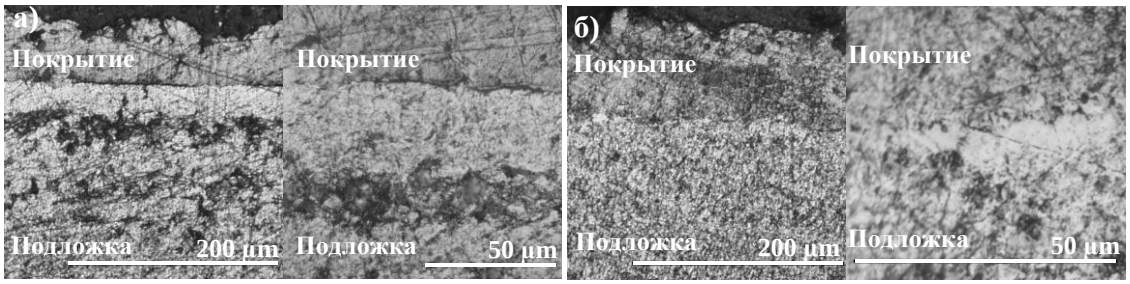


Рис.4. Оптические микрофотографии шлифов: а) Рср=85,2 МВА, Руд=5,8 мОм·мм2 б) Рср=99,8 МВА, Руд=1,1 мОм·мм2

При увеличении средней мощности до $P_{ср}$=99,8 МВт заметно изменяется структура самого медного покрытия и граничного слоя его сцепления с подложкой. На рисунке 4б видно существенное увеличение толщины медного слоя, его равномерности и плотности. Покрытие плотно прилегает к подложке, повторяя все неровности границы сопряжения. Выделяется и слой взаимного перемещивания материалов в приграничных областях медного покрытия и алюминиевой подложки. В совокупности эти особенности контактной поверхности обеспечивают более чем двух кратное сни-

жение удельного переходного сопротивления исследуемой контактной пары.

Экспериментальные исследования влияния энергетических параметров процесса нанесения медного покрытия на алюминиевую поверхность с помощью КМПУ на величину удельного переходного сопротивления сильноточной контактной пары $Cu\text{-}Al_{Cu}$ показали: 1.Увеличение средней мощности от 85,2 МВА до 99,8 МВА обеспечивает снижение удельного переходного сопротивления с ~2,7 мОм·мм^2 до ~1,1 мОм·мм^2. 2.Существенное снижение $R_{уд}$ обеспечивается за счет оптимизации структуры покрытия и граничного переходного слоя между медным покрытием и алюминиевой подложки и повышения его микротвердости.

Список литературы:

1. А.А. Сивков Патент №2150652 РФ, 2000
2. Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш, А.А. Сивков, Электроэрозионный износ ствола КМПУ// Томск, ТПУ, 2007, 104 с.
3. А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, А.Я. Пак О возможности уменьшения переходных сопротивлений сильноточных контактных соединений// Изв. Вузов, Проблемы Энергетики, 2008, №9-10/1, с.20-28.
4. Дзекцер Н.Н., Измайлов В.В., Николаева Е.В. Определение электрического сопротивления неподвижных контактных соединений. Известия высших учебных заведений. «Электромеханик» 1986 г., 87-93 с.

УДК 661.88

СИНТЕЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА В ГИПЕРСКОРОСТНОЙ СТРУЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПЛАЗМЫ

Свечканева А.А., Колганова Ю.Л., Макарова А.Ф.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: svechkanevaaa@mail.ru

В последние годы все большее внимание уделяется исследованиям, позволяющие синтезировать наноматериалы. В частности большой интерес проявляется к нанодисперсным оксидам железа разного химического и фазового состава [1]. Антиферромагнетик гематит $\alpha\text{-}Fe_2O_3$ в нанодисперсном состоянии может найти применение в качестве прекурсора для получения магнитных оксидов железа [2], пигмента-красителя, в солнечных элементах и для фотокатализа. Ферромагнетики магнетит Fe_3O_4 и маггемит $\gamma\text{-}Fe_2O_3$, а также метастабильная фаза $\varepsilon\text{-}Fe_2O_3$ с удельными намагниченно-

стями соответственно ~82, 65 и 10 Гс·см^3/г в нанодисперсном состоянии могут быть использованы как радиопоглощающие материалы, а так же в областях оптики, электроники, биологии и медицине.

В настоящей работе представленные результаты поисковых исследований по прямому синтезу и получению нанодисперсных оксидов железа универсальным плазмодинамическим методом в сверхзвуковой струе электроразрядной плазмы [3]. Струя в замкнутом объеме камеры-реактора (КР) генерируется импульсным, сильноточным, коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ) со стальными электродами (сталь3). Устройство КМПУ и схема питания от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) с емкостью конденсаторной батареи С = 14,4 мкФ и зарядным напряжением $U_{зар}$= 4,0 кВ, показаны на рис.1.

Электрод-ствол изготавливается из отрезка стальной трубы с диаметром цилиндрического ускорительного канала (УК) $d_{ук}$ = 15 мм и длиной $\ell_{ук}$ = 220 мм. Давление воздушной атмосферы P_0 в КР изменялось от 0,5 до 2,0 атмосфер. Осциллограммы рабочего тока i(t) и напряжения U(t) на электродах ускорителя приведены на рис.2. Основной материал для синтеза нарабатывается электроэрозионным путем с поверхности УК в течение всего цикла работы КМПУ, ускоряется в плазме разряда, выносится сверхзвуковой струей и распыляется в КР с образованием ультрадисперсных порошков (УДП) оксидов железа. Вскрытие КР и отбор синтезированного продукта производится через некоторое время после полного осаждения взвешенных в воздухе частиц на стенке и на постоянных магнитах, установленных в КР. Данные серии экспериментов приведены в таблице 1, из которой видно, что величина P_0 не влияет на параметры плазменного выстрела и выход УДП.

В экспериментальных условиях рассматриваемая система на основе КМПУ позволяет производить за 1 час до 12 плазменных выстрелов с суммарным выходом УДП фракций до ~65 г. Энергозатраты относительно накопленной энергии в ЕНЭ (при к.п.д. ее передачи в нагрузку КМПУ ~60%) не превышают 6,0 Вт·час/г, что значительно выше показанных в работе [2].

При ультразвуковой обработке образцов, получены очень широкие кривые распределения по размерам агломератов (анализатор Shimadzu XRD-6000), приведенные на рис.3. Наиболее широкое полимодальное распределение имеют агломерированный УДП, полученный при P_0 = 1,0 атм. (кривая 1, рис.3)

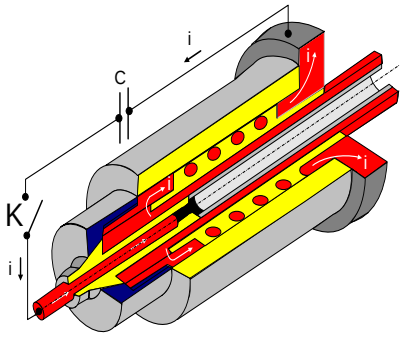


Рис.1 Устройство КМПУ

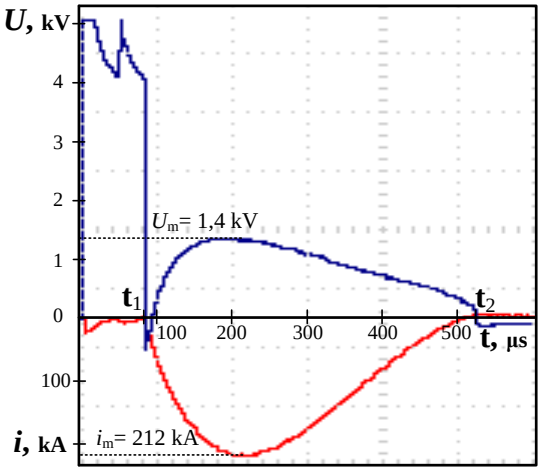


Рис.2 Осциллограммы рабочего тока i(t) и напряжения U(t) на электродах ускорителя

Таблица 1. – Данные экспериментов

Параметры \ Эксперимент	1	2	3
Давление P_0, атм	0,5	1,0	2,0
Максимальное напряжение, $U_м$, кВ	1,4	1,4	1,5
Максимальный ток, $I_м$, кА	239,0	212,0	230,0
Максимальная мощность, $P_м$, кВт	325	290	350
Подведенная энергия, W, кДж	71,0	61,0	67,0
Эрозия ствола, $m_э$, г	9,0	7,2	7,7
Удельная эрозия, $m_э$/ W, г/кДж	0,13	0,12	0,12
Масса УДП, m, г	5,6	4,4	6,2

. Заметно меньшие и близкие между собой диапазоны размеров агломератов имеют УДП, полученные при 2,0 и 0,5 атм (кривая 2 и 3). Это может быть обусловлено отмеченной нами в работе [3] тенденции увеличения степени агломерации с уменьшением среднего размера наночастиц в УДП.

На рис.4 приведены характерные рентгеновские дифрактограммы УДП (дифрактометр Shimadzu XRD-6000), синтезированных при P_0=1,0атм и собранных со стенок камеры-реактора (1) и с постоянных магнитов (2). Их очевидным отличием является наличие на кривой (2) диффузного пика аморфной фазы с максимумом вблизи 2θ = 20 градусов, свидетельствующее о ее содержании до 50% в УДП, собранном с постоянных магнитов. Аналогичные сравнительные оценки содержания аморфа – 40% и 30% сде-

ланы по дифрактограммам УДП, полученных соответственно при 0,5 и 2,0 атм. Следует отметить, что кривые XRD для полученных УДП соответствуют гетерофазным системам с одинаковым фазовым составом.

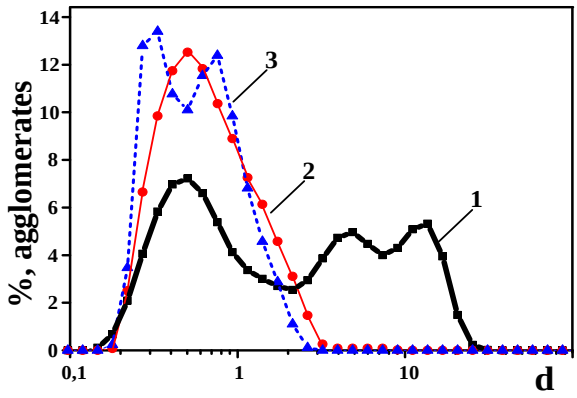


Рис.3 Кривые распределение по размерам агломератов.

1. (■) 1,0 атм.; 2. (●) 2,0 атм.; 3. (▲) 0,5 атм

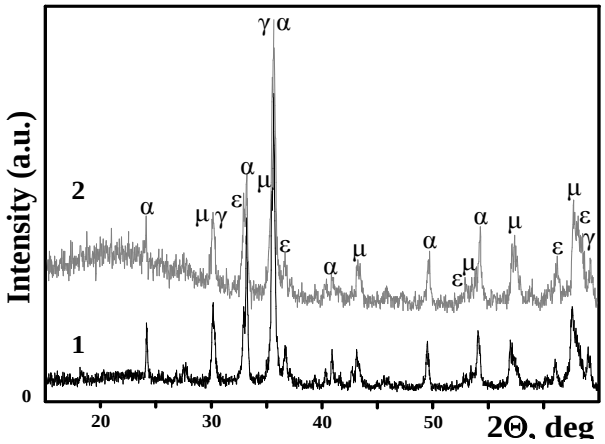


Рис. 4 Характерные дифрактограммы УДП.

1–со стенок КР; 2–с постоянных магнитов.

α – гематит α-Fe2O3; γ – маггемит γ-Fe2O3;

ε – орторомбическая модификация ε-Fe2O3; μ – магнетит Fe3O4.

Во всех случаях в расчетах с использованием программы PowderCell2.4 наилучшие показатели сходимости получены при использовании следующих структурных моделей кристаллических оксидов железа: магнетит Fe_3O_4 (пространственная группа SG: Fd3m);

маггемит γ-Fe_2O_3 (SG:P 4_3 2_1 2); гематит α-Fe_2O_3 (SG: R3c).Эти фазы следует считать основными компонентами получаемых УДП.

В таблице 2 видно, что для всех УДП имеет место сравнимое массовое соотношение четырех кристаллических фаз. Минимальные средние размеры областей когерентного рассеяния (ОКР), соответствующие среднему размеру частиц [2], имеет УДП, полученный при P_0 =1,0 атм. Кроме того, этот порошок содержит и большее количество аморфной фракции, которая осаждается в основном на магнитах. Наибольший средний размер ОКР имеет УДП, синтезированный при P_0=2,0атм.

Таблица 2. – Данные рентгеновского анализа

P_o, атм.	Фаза	Содерж., % масс	Содерж. магнит.фаз, % масс	ОКР, нм	Средний ОКР магнит.фаз, нм
0,5	Fe_3O_4	12,6	89,6	43,9	44,0
	γ-Fe_2O_3	43,7		39,4	
	ε-Fe_2O_3	33,3		48,1	
	α-Fe_2O_3	10,4		>100	
1,0	Fe_3O_4	18,3	88,8	38,2	35,0
	γ-Fe_2O_3	38,2		36,2	
	ε-Fe_2O_3	32,3		29,4	
	α-Fe_2O_3	11,2		>100	
2,0	Fe_3O_4	20,6	90,6	46,9	49,0
	γ-Fe_2O_3	35,7		57,6	
	ε-Fe_2O_3	34,3		43,9	
	α-Fe_2O_3	9,4		63,4	

Приведенные экспериментальные данные исследования показали возможность синтеза нанодисперсных гетерофазных порошков оксида железа новым плазмодинамическим методом с относительно высокой производительностью и низкими энергетическими затратами.

Список источников:

1. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства// Успехи химии-2005-74(6), с.539-574
2. Осипов В.В., Платонов В.В., Уймин М.А., Подкин А.В. Лазерный синтез нанопорошков магнитных оксидов железа// Журнал технической физики - 2012- т. 82, вып.4, с.123-129

3. Сивков А.А., Найден Е.П., Герасимов Д.Ю. Прямой динамический синтез нанодисперсного нитрида титана в высокоскоростной импульсной струе электроэрозионной плазмы// Сверхтвердые материалы -2008-№5(175), с.33-39

УДК 621.365

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СВЧ-НАГРЕВА ПОЛУБЕСКОНЕЧНОГО УГОЛЬНОГО МАССИВА С ОДНОРОДНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

[1]Сладков С.О., аспирант, [2,3]Саломатов Вл.В, д.т.н,
[3]Пащенко С.Э., к.ф-м.н., [2]Саломатов Вас.В., к.ф-м.н
1 Томский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Томск,
2Институт теплофизики СО РАН г. Новосибирск
3 Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет, г. Новосибирск
E-mail: slaSO@yandex.ru

Введение. Инновационное развитие угольной энергетики (внедрение энергоблоков на сверхкритических и суперсверхкритических параметрах, применение таких прогрессивных технологий сжигания низкокачественных улей как вихревая, в циркулирующем кипящем слое, в виде водоугольного топлива и др.), должно базироваться и на развитии новых подходов к процессам подготовки и эффективного сжигания топлива. Нетрадиционный путь здесь — использование различных физических полей, в том числе сверхвысокочастотного (СВЧ), для активации воздействия на органическую и минеральную составляющие угля и топочный факел.

Принципиальным отличием процесса нагрева вещества с помощью СВЧ - электромагнитного излучения от традиционных способов (кондуктивный, конвективный, лучистый) является селективность объемного поглощения СВЧ-энергии, которая выражается в различной интенсивности внутреннего энерговыделения отличающихся по своим электрофизическим свойствам компонентов гетерогенных сред [1].

Важное преимущество СВЧ нагрева — тепловая безынерционность, т.е. возможность практически мгновенного включения и выключения теплового воздействия на обрабатываемый материал. Отсюда высокая точность регулировки процесса нагрева и его воспроизводимость.

Достоинством СВЧ нагрева является также принципиально высокий КПД преобразования СВЧ- энергии в тепловую, выделяемую в объеме

нагреваемых тел. Теоретическое значение этого КПД близко к 100%. Тепловые потери в подводящих трактах обычно невелики, и стенки волноводов и рабочих камер остаются практически холодными, что создает комфортные условия для обслуживающего персонала.

Важным преимуществом СВЧ нагрева является возможность осуществления и практического применения новых необычных видов нагрева, например избирательного, равномерного, сверхчистого, саморегулирующего.

Для энерго- и экологоэффективного применения СВЧ-энергии при воздействии на уголь, прежде всего, необходимо знать информацию о температурном поле в углях разных марок и различной геометрической формы (полубесконеный массив, угольный брикет, отдельная угольная частица и др.).

Поиск температурных полей в зависимости от сложности задачи можно осуществить с помощью аналитических (точных или приближенных), либо численных методов решения задач теплопроводности с переменным внутренним источником тепла. Среди аналитических методов следует отметить хорошо разработанные методы конечных и бесконечных интегральных преобразований (например,sin-преобразование Фурье, преобразование Лапласа, преобразование Ханкеля и др), а также весьма универсальный метод функций Грина. При решении таких задач допустимо сочетание нескольких видов интегральных преобразований одновременно. Среди численных методов необходимо отметить метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ), для которых существует большой ряд специализированных многофункциональных пакетов программ: Matlab, ANSYS, Elmer, Comsol Multyphysics, CFG-ACE и др..

Целью работы: является поиск аналитических решений для температурного поля угольного полумассива в условиях СВЧ-нагрева.

Допущения при математической постановке задачи СВЧ-нагрева полубесконечного массива угля

а) геометрическая форма угля – полубесконечный массив;

б) теплофизические свойства угля постоянны;

в) внутреннее тепловыделение от СВЧ-излучения меняется по глубине экспоненциально (закон Бугера);

г) процесс нестационарный и одномерный;

Геометрическая схема задачи(см. Рис 1):

Рис 1. Геометрия задачи

С учетом данных допущений математическая постановка задачи имеет вид:

Уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = a\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x} + \frac{q_{vo}}{c\rho}\exp(-\psi x) \qquad (1)$$

Начальные условия t=0:

$$T(x,0) = 0 \qquad (2)$$

Условие на границе x=0:

$$T(0,t) = 0 \qquad (3)$$

Условие на границе x=∞:

$$\frac{\partial T(\infty,t)}{\partial x} = 0 \qquad (4)$$

Решение задачи:

Задачу (1)–(4) будем решать методом двойного интегрального преобразования: по t-преобразование Лапласа [2], по x-бесконечное sin-преобразование Фурье [3]. Переходя в (1)–(4) к изображениям по Лапласу, получим следующую систему уравнений рассматриваемой математической модели:

$$T_L^{//}(x,s) - \frac{s}{a}\cdot T_L(x,s) + \frac{1}{s}\cdot\frac{q_{V0}}{\lambda}\cdot e^{-\psi\cdot x} = 0 \qquad (5)$$

$$T_L(0,s) = 0 \qquad (6)$$

$$T_L^{/}(\infty,s) = 0 \qquad (7)$$

Здесь s – оператор преобразования Лапласа, $T_L(x,s)$-изображение функции $T(x,t)$, / –знак производной по координате.

Далее к (5)-(7) применим конечное sin-преобразование Фурье :

$$T_{LS}(s,p)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^\infty T_L(x,s)\cdot\sin pxdx \qquad (8)$$

где p – оператор преобразования sin-Фурье.

В результате применения двойного интегрального преобразования Лапласа и sin-преобразования Фурье к (5)-(7) получим:

$$-p^2\cdot T_{LS}(p,s)-\frac{s}{a}\cdot T_{LS}(p,s)+\sqrt{\frac{2}{\pi}}\cdot\frac{1}{s}\cdot\frac{q_{V0}}{\lambda}\cdot\frac{p}{\psi^2+p^2}=0 \qquad (9)$$

Из (9) для $T_{LS}(p,s)$ имеем:

$$T_{LS}(p,s)=\sqrt{\frac{2}{\pi}}\cdot\frac{1}{s}\cdot\frac{q_{V0}}{\lambda}\cdot\frac{p}{\psi^2+p^2}\cdot\frac{1}{p^2+\frac{s}{a}} \qquad (10)$$

Найдем оригинал $T_{LS}(p,s)$ от sin-преобразования по формуле обращения [3] и получим выражение для $T_L(x,s)$:

$$T_L(x,s)=\frac{1}{s}\cdot\frac{q_{V0}}{\lambda}\cdot\left(\frac{e^{-\psi\cdot x}-e^{-\sqrt{\frac{s}{a}}\cdot x}}{\frac{s}{a}-\psi^2}\right) \qquad (11)$$

Осуществляя обратное преобразование Лапласа в (11) получим выражение для искомого температурного поля:

$$T(x,t)=\frac{q_{v0}}{\lambda\psi^2}\Big[1-\exp(-\psi x)+\frac{1}{2}\exp\left(a\psi^2t-\psi x\right)\mathrm{erfc}\left(\psi\sqrt{at}-\frac{x}{2\sqrt{at}}\right)-$$

$$\frac{1}{2}\exp\left(a\psi^2t+\psi x\right)\mathrm{erfc}\left(\psi\sqrt{at}+\frac{x}{2\sqrt{at}}\right)\Big]-\frac{q_{v0}}{\lambda\psi^2}erf\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \qquad (12)$$

Заключение. Аналитические методы являются мощным инструментом решения задач СВЧ-воздействия на уголь и дают возможность получать явные выражения для температурного поля . Выведенная координатно-временная зависимость температуры для канонической геометрии, в частности, для полубесконечного угольного массива, позволяет провести

параметрический анализ решения. С ее помощью можно найти значение наибольшей температуры в массиве и координату ее расположения, максимальную разность температур по сечению, которая ответственна за прочность, оптимальные параметры СВЧ-нагрева и др технологические характеристики. Задачи диэлектрического нагрева, востребованные прак-

тикой, являются более сложными, т.к. требуют учета таких факторов как конвекция, излучение, диффузия, фильтрация воды через поры угля, химические реакции и т.д. Их решение составляет программу дальнейших исследований.

Список литературы:
1. СВЧ-энергетика. Т 2. Под ред. Э. Окресса.- М.: Мир, 1971. 272с.
2. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования.- М.: Наука. 1971, - 288с.
3. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.

УДК 620.92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ КАБЕЛЕЙ ОТ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Слептерева Н.К., аспирант
ФГБОУ ВПО Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск
E-mail: viniwedal@mail.ru

При сближении кабеля с электрифицированной железной дорогой для защиты металлических оболочек от коррозии служат изоляционные покровы шлангового типа, выполняемые из поливинилхлорида или полиэтилена. Совместное использование изолирующих покровов и электрохимических методов значительно повышает эффективность противокоррозионной защиты. При повреждении изоляции разрушение металлической оболочки в условиях действия электрифицированного железнодорожного транспорта зависит от плотности тока, стекающего с оболочки.

Оценим коррозионную опасность для алюминиевой оболочки кабеля в условиях работы электрифицированного железнодорожного транспорта при различной площади повреждения полимерного изолирующего покрова. При плотности тока на границе раздела сред «металлическая оболочка-земля» в месте повреждения изолирующего покрова, не превышающей критическое значение, коррозионную опасность можно не учитывать. Согласно [1] критическое значение плотности тока для алюминия составляет 7 мА/см^2. На рисунке 1 приведена схема замещения оболочки кабеля, начало кабеля находится у тяговой подстанции, а конец – около электровоза при повреждении изолирующего покрытия с полным переходным со-

противлением в месте повреждения $R_{ПП}$. В конце каждой строительной длины кабель заземлен на сопротивления $R_1, R_2, \ldots, R_{n+1}$. $E_{И1}, E_{И2}, \ldots E_{Иn}$ и $E_{Г1}, E_{Г2}, \ldots E_{Гn+1}$ – ЭДС от индуктивного и гальванического влияния электрифицированной железной дороги переменного тока; z – полное сопротивление металлических защитных покровов кабеля на 1 км; $l_1, l_2, \ldots l_n$ – строительные длины; $I_1, I_2, \ldots I_n$ – токи через заземлители.

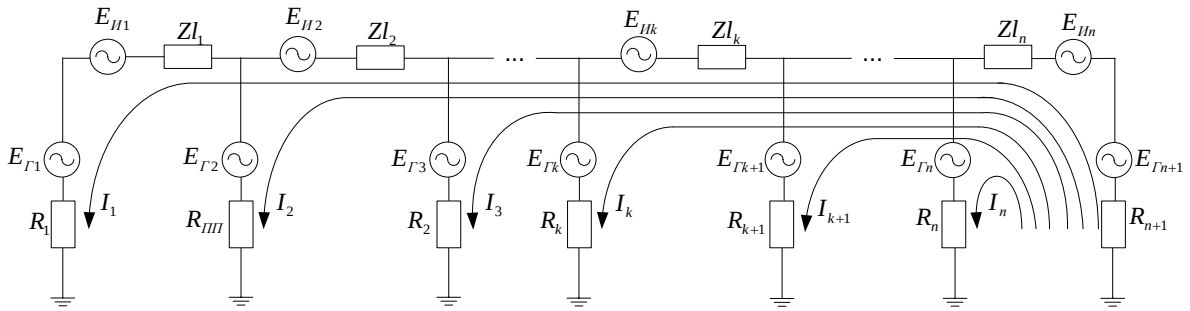


Рис. 1 Схема замещения оболочки кабеля

Токи, стекающие через заземлители, в том числе и через полное переходное сопротивление в месте повреждения на первой строительной длине, при гальваническом и индуктивном влияниях определяются с помощью метода контурных токов [2].

Поскольку фазовые соотношения токов от гальванических и магнитных влияний имеют случайный характер, результирующие токи $I_{МГ}$ принято определять по квадратичному закону

$$I_{ИГ}^2 = I_Г^2 + I_И^2,$$

где $I_Г$ – токи, протекающие через заземлители при гальваническом влиянии электротяги переменного тока

$I_И$ – токи, протекающие через заземлители при индуктивном влиянии электротяги переменного тока

Плотность тока, стекающего через повреждение площадью S,

$$J = \frac{U_{ИГ}}{R_{ПП} \cdot S},$$

где $U_{ИГ}$ – потенциалы оболочки кабеля относительно удаленной земли, определяемые как произведение результирующего тока $I_{ИГ}$ на соответствующее сопротивление заземлителя, а для места повреждения – на полное переходное сопротивление $R_{ПП}$.

Рассмотрим, как изменяется плотность тока, стекающая через пониженное сопротивление шлангового изолирующего покрытия кабеля марки МКСАБпШп 7х4х1.2 в зависимости от сопротивления земли и от места расположения повреждения относительно тяговой подстанции и электровоза. Примем, что ширина параллельного сближения с электрифицированной железной дорогой переменного тока 25 м. В соответствии с рекомендациями [3] у тяговой подстанции (начало участка) кабель заземлен на сопротивление $R_1 = 3$ Ом, а далее – в конце каждой строительной длины, равной 0.75 км, на сопротивления $R_2 = R_3 = \ldots = R_{n+1} = 10$ Ом. Полное переходное сопротивление $R_{\text{ПП}}$ для частоты 50 Гц определено по [4] при различных значениях удельного сопротивления среды и площади повреждения изолирующего покрытия. Полное продольное сопротивление z металлических покровов кабеля на 1 км рассчитано по методике [5]. ЭДС $E_{Г1}, E_{Г2}, \ldots, E_{Гn+1}$ и $E_{И1}, E_{И2}, \ldots, E_{Иn}$ рассчитаны по методике [6]. В таблице 1 приведены значения плотности токов, стекающих через повреждение при расположении дефекта изолирующего покрова кабеля в начале и в середине участка, между тяговой подстанцией и электровозом.

Таблица 1. – Плотности токов, стекающих через повреждение, мА/см^2

Площадь повреждения S, м^2	В начале участка кабельной линии		В середине участка кабельной линии	
	$\rho = 1$ Ом·м	$\rho = 100$ Ом·м	$\rho = 1$ Ом·м	$\rho = 100$ Ом·м
$0.5 \cdot 10^{-6}$	24.01	0.43	3.38	0.07
$1 \cdot 10^{-3}$	17.47	0.18	1.78	0.03

Таким образом, вблизи источников блуждающих токов при повреждении шлангового изолирующего покрова кабеля плотность тока, стекающего через пониженное сопротивление изоляции, превышает критическое значение 7мА/см^2 и увеличивается с уменьшением площади дефекта и удельного сопротивления земли. Выполненные расчеты указывают на неэффективность средств защиты кабелей от коррозии блуждающими токами, рекомендуемых [3]. Поэтому при выходе из строя кабеля необходимо быстро определить точное местоположение повреждения. Следует учесть, что в условиях действия электрифицированной железной дороги и ЛЭП необходимым требованием для оперативного определения мест повреждения является применение помехоустойчивой аппаратуры.

Список литературы:
1. Михайловский Ю.Н. Коррозия металлов под действием переменных токов в жидких электролитах и влажных почвах: Дис... д-ра хим. наук. – М., 1963. – 440 с.
2. Кандаев В.А. Совершенствование эксплуатационного контроля коррозионного состояния подземных сооружений систем электроснабжения железнодорожного транспорта // Монография. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2003. – 226 с.
3. Руководство по проектированию и защите от коррозии подземных металлических сооружений связи. М.: Связь, 1978. – 216 с.
4. Адамов Н.И., Кандаев В.А. Исследование параметров металлической алюминиевой оболочки в местах наличия повреждения шлангового изоляционного покрытия // Влияние внешних электромагнитных полей на линии железнодорожной связи. Омский ин-т инж. ж-д. трансп. Омск, 1982. – С. 67-80.
5. Михайлов М.И., Разумов Л.Д. Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей – М.: Связь, 1967. – 343 с.
6. Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог переменного тока. – М.: Транспорт, 1989. – 134 с.

УДК 544.45:452.2

ОКИСЛЕНИЕ И ГОРЕНИЕ НАНОПОРОШКА ТИТАНА В ВОЗДУХЕ

Смирнова В.В., аспирант, Клековкин И.В., аспирант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: vv_smirnova@sibmail.com

Получение нанопорошков диоксида титана из водных растворов связано с рядом проблем: конечный продукт, как правило, является гелем или золем, а при нагревании в воздухе переходит в пористый материал [1]. В то же время окисление нанопорошка титана с целью получения диоксида титана происходит в режиме теплового взрыва и сопровождается выделением значительного теплового потока (до 26 Вт/м^2). Нанопорошок титана получали путем электрического взрыва титановых проводников в среде аргона. Особенностью его химических свойств является термическая неустойчивость в процессе пассивирования, которая связана с локальным разогревом при добавлении малых порций кислорода. Поэтому процесс пассивирования осуществляли в среде гептана. Навеску пассивированного нанопорошка титана (4,9700 мг), нагревали в атмосфере воздуха до 1200 ˚С

в ячейке термоанализатора SDT Q600 Научно-аналитического центра ТПУ. Согласно ТГ-зависимости до 500 ˚С наблюдалась десорбция газообразных продуктов. При дальнейшем нагревании (> 600 ˚С) вес образца увеличился примерно на 60 %. Процесс окисления закончился при 950 ˚С и вес не менялся до 1200 ˚С. В соответствии с ДТА процесс сопровождался выделением 9738 Дж/г. Интенсивность теплового потока при горении нанопорошка титана измеряли с помощью специально сконструированного прибора «Термомет-1». После инициирования процесса горения излучением лазера максимальная интенсивность теплового потока от горящего нанопорошка титана составила 26 Вт/м^2. Согласно проведенным исследованиям конечным продуктом сгорания нанопорошка титана является нанопорошок диоксида титана со сферической формой частиц и диаметром 100 – 200 нм, который является перспективным материалом для изучения процессов сорбции, в том числе растворимых примесей тяжелых металлов в воде.

Список литературы:

1. Коробочкин В.В., Ханова Е.А. Определение окисленных титана, кадмия и меди при электролизе на переменном токе // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2005. – Т. 71. – № 6. С. 20 – 23.

УДК 621.314

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ НА ОБЩУЮ ШИНУ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Степанов С.Ф., д.т.н., Коваленко В.В., к.т.н., Коваленко П.В.
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А., г.Саратов
e-mail: epp@sstu.ru

Для осуществления подключения автономных источников электроснабжения к промышленной электросети с отличными от нее величинами выходного напряжения и частоты, применяется преобразователи частоты на полупроводниковых элементах с промежуточным звеном постоянного тока или без него. Этим же обеспечивается заданное качество вырабатываемой автономной электростанцией электрической энергии.

В случаях, когда в автономной электрогенерирующей установке применяются генераторы различной мощности, необходимо при изменяющейся во времени нагрузке, обеспечить регулирование величины генерируе-

мой мощности. Если управление величиной тока генератора невозможно, решить задачу регулирования мощности можно на уровне преобразователя частоты, путем соответствующего воздействия на управляемый выпрямитель, подключенный к выводам генераторы. При этом необходимо обеспечить одинаковое значение выпрямленного напряжения на выходе всех выпрямителей и синхронное управление распределением нагрузки между параллельно работающими генераторами различной мощности. Для этих целей предлагается модель обеспечения синхронного управления выпрямителями на примере трех параллельно работающих генераторов различной мощности и структурная схема управления.

Структура схема модели синхронного управления выпрямителями в комплексе трех параллельно работающих генераторов G1, G_2, G_3 различной мощности и скорости вращения вала ротора с указанием мест размещения датчиков опорных величин для осуществления оценки и получения управляющего сигнала изображена на рисунке 1.

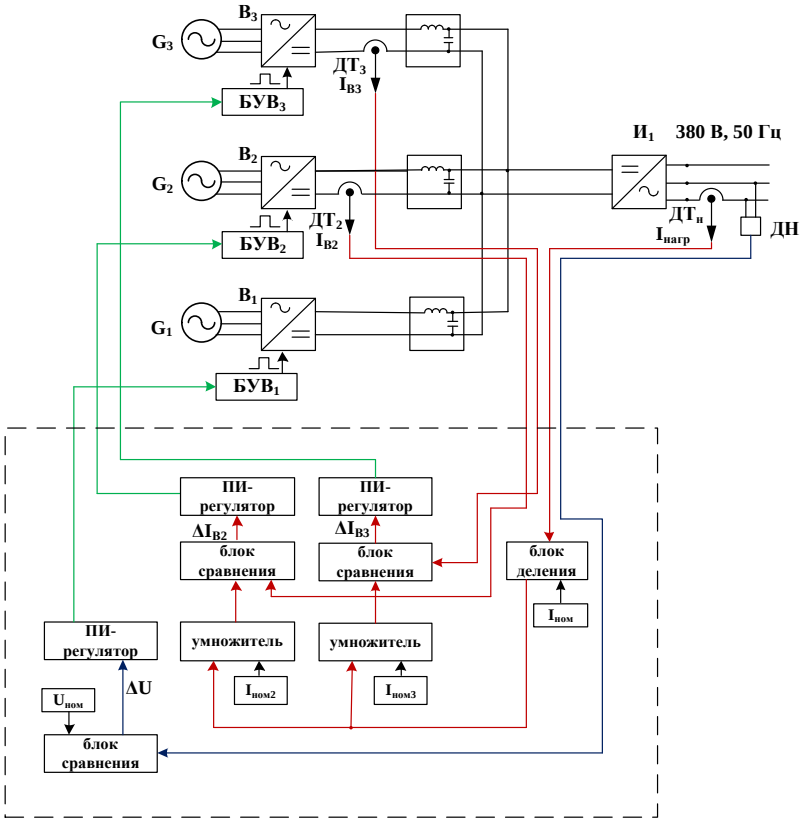


Рис.1.Структурная схема формирования управляющих сигналов выпрямителей

Преобразователь частоты состоит из трех выпрямителей B_1, B_2, B_3 и одного инвертора $И_1$. Каждый генерирующий контур имеет свое выпрями-

тельное устройство с индивидуальным блоком управления (БУВ). Для суммирования мощности каждый генерирующий контур через выпрямитель подключен на общую шину постоянного тока.

Управляющее воздействие на выходные величины выпрямителей $В_2$ и $В_3$ осуществляется через обратную связь по величине тока нагрузки, определяемой датчиком тока $ДТ_Н$. Сигнал с $ДТ_Н$ передается на блок деления, в котором величина тока нагрузки сравнивается с заданной величиной номинального тока генерируемого электроустановкой: выходной сигнал блока деления пропорционален отношению тока нагрузки к номинальному току (коэффициент загрузки). Сигнал с блока деления поступает на умножители, в которых формируются сигналы, кратные величине номинального тока генератора на коэффициент загрузки. Для получения информации о величинах выработанного тока $I_{В2}$, $I_{В3}$ в выходные цепи выпрямителей подключены датчики тока $ДТ_2$, $ДТ_3$. Сигналы с умножителей поступают на блоки сравнения, в которых определяется отклонение величины вырабатываемого тока генераторов от требуемого по условиям нагрузки. С выхода каждого блока сравнения на блок управления выпрямителей поступает сигнал о величине отклонения тока нагрузки от номинального. В свою очередь, блоки управления выпрямителями формирует сигнал управления, который передается на управляемый электрод тиристора и отпирает его. Так как изначальный сигнал обратной связи по величине тока нагрузки поступает одновременно на все блоки управления выпрямителями (БУВ) и процесс формирования управляющего сигнала одинаков, процентное распределение величины генерируемой мощности каждым генератором сохраняется при любой величине нагрузки. Таким образом, загрузка генераторов одинакова и изменяется синхронно пропорционально своей номинальной мощности.

Для обеспечения на выходе инвертора требуемой величины напряжения во всех режимах, в том числе, в режиме холостого хода, к $БУВ_1$ подключается устройство стабилизации напряжения, в которое входит датчик напряжения ДН, блок сравнения и регулятор (см.рисунок 1). $U_{уст}$ – величина опорного напряжения, которая формируется задатчиком. Информация о величине напряжения на выходе инвертора поступает от датчика напряжения ДН на блок сравнения, в котором она сравнивается с величиной опорного напряжения $U_{уст}$. Сигнал с блока сравнения поступает через регулятор на $БУВ_1$, который формирует управляющий сигнал, необходимый для поддержания напряжения на необходимом уровне, независимо от величины

нагрузки. Регуляторы необходимы для повышения чувствительности блока управления.

Предлагаемая система управления позволяет осуществлять управление электрогенерирующего комплекса с любым количеством генераторов различной мощности и скоростей вращения ротора.

Описанная выше структурная схема системы управления выпрямителями послужила основой для построения и анализа математической модели в программном комплексе MatLab с пакетом приложений Simulink. Визуализированная модель выпрямительной части преобразователя частоты, содержащая три модуля выпрямления с индивидуальными блоками управления в виде шестипульсных генераторов, изображена на рисунке 2.

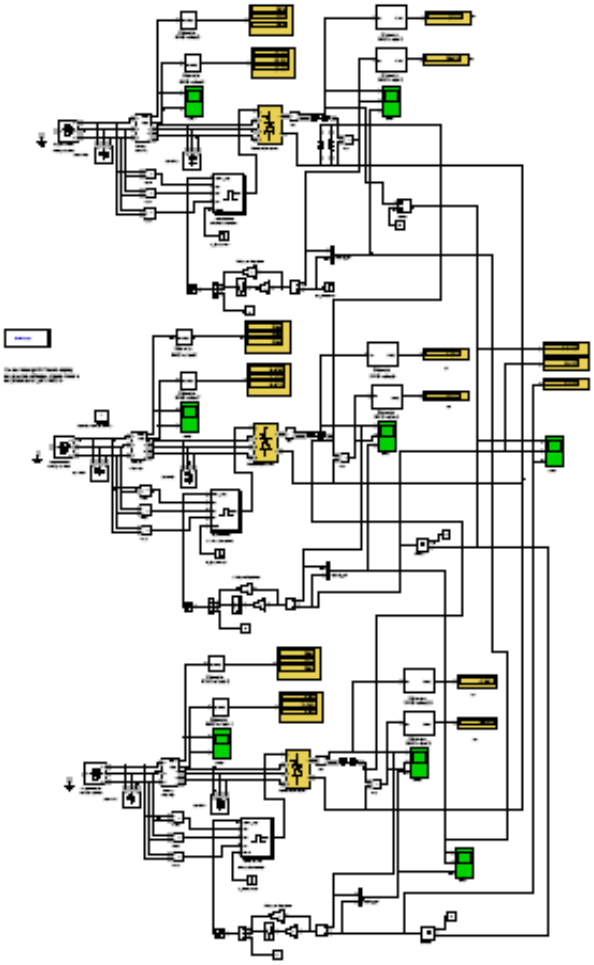


Рис.2. Визуализированная модель системы управления параллельно подключенных генераторов различной мощности

Модель приспособлена к управлению выпрямителями при любом количестве генераторов путем добавления дополнительных типовых модулей.

Предварительный анализ выходных сигналов с индикаторов тока и напряжения, подключенных к выпрямителям, показала работоспособность предлагаемой схемы: для стабилизации напряжения достаточно управления одного из выпрямителей по величине вырабатываемого напряжения, подключенного к наиболее мощному генератору, управление остальными выпрямителями осуществляется синхронно пропорционально номинальной мощности подключенных к ним генераторов; а созданная на ее основе математическая модель позволяет осуществить дальнейшие исследования переходных процессов в различных режимах и при иных заданных параметрах.

Список литературы

1. Левин, А.В. Автономные системы электроснабжения / А.В. Левин, Н.Н. Лаптев // Энергетика. – 2003. – № 1(9). – С.12 –14.
2. Степанов, С.Ф. Автономные источники электропитания локальных систем электроснабжения / С.Ф. Степанов, В.В. Курдя, И.И. Артюхова // Анализ, синтез и управление в сложных системах: сб. науч. тр. – Саратов: Сарат.гос.техн.ун-т, 2006. – С.16 – 23.
3. Артюхов, И.И. Автономная система электроснабжения с перестраиваемой структурой / И.И. Артюхов, С.Ф. Степанов, А.В. Коротков, Н.В. Погодин // Проблемы электроэнергетики: межвуз. науч. сб. – Саратов: Сарат.гос.техн.ун-т, 2004. – С.9 – 14.

УДК 621.311

ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Суворов А.А., Прутик А.Ф.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: lejkasvr@yandex.ru

Математическое моделирование энергосистем - это исследование на соответствующих математических моделях процессов, протекающих в электроэнергетической системе. Целью работы является анализ методов математического моделирования ЭЭС и определение наиболее перспективного из них.

Математическое моделирование можно разделить на три основных метода: аналоговое, цифровое и гибридное.[1]

Рассмотрим аналоговые и цифровые методы моделирования. Отметим, что они имеют схожие технологии реализации, в частности моделирование основывается на способности описывать различные по своей природе явления, используя способность описывать отдельные стороны поведения систем без полного описания всего поведения. Тем не менее, аналоговое моделирование воспроизводит не весь процесс в целом, а отдельные математические операции, которые выполняют элементы модели, а цифровое моделирование основывается на элементах, производящих математические операции дискретно.

Перейдём к гибридному моделированию, которое является сочетанием моделей упомянутых выше и выполненных в виде соединения непрерывных элементов: аналоговой модели и специализированных цифровых машин.

В заключении отметим, что проведенный анализ методов и технологий моделирования позволяет сделать вывод о том, что для полного, достоверного и оперативного математического моделирования энергосистемы необходимо использовать ее всережимную математическую модель, адекватно воспроизводящую весь спектр процессов в оборудовании при всевозможных режимах. Сообразно с этим, по нашему мнению наиболее перспективным путём решения проблемы моделирования является подход, заключающийся в объединения эффективных аспектов цифрового и аналогового моделирования, образующих гибридное моделирование.

Список литературы:

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики.–М.: Высш. шк., 1966.–487с.

УДК 536.2, 622.692.4.058

РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА УЧАСТКА ТРЕХСЛОЙНОГО ТРУБОПРОВОДА ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

В.И.Сунгатуллина, магистрант
О.С.Симонова, аспирант
Томский политехнический университет
E-mail: ossimonova@mail.ru

Математическая постановка задачи включает двумерные нестационарные уравнения теплопроводности с начальными и граничными условиями.

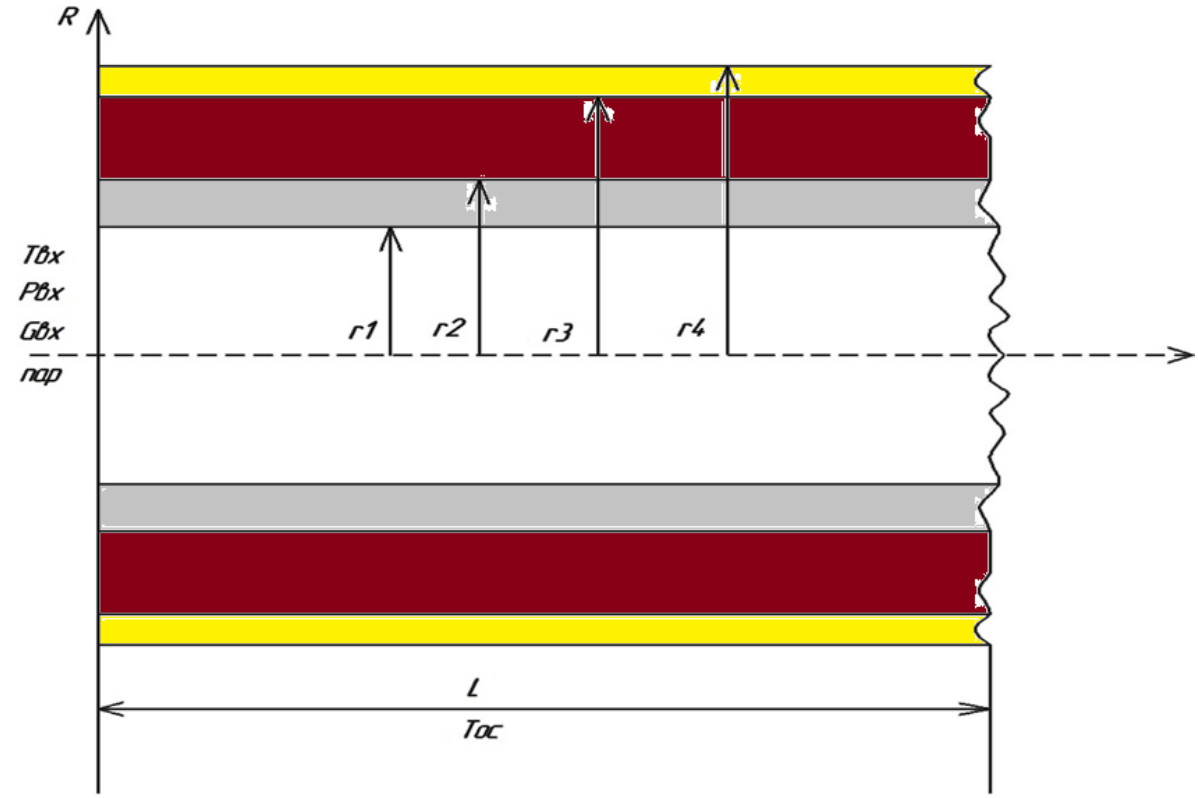


Рис.1 Схема участка трубопровода.

На схеме обозначены: Pвх, Gвх, Tвх – параметры теплоносителя(пар, горячая вода) на входе; ρп, Cрп – его плотность и теплоемкость; T1, T2, T3 – распределение температур внутри соответствующих слоев; Tп – температура теплоносителя; Tос – температура окружающей среды; r1, r2, r3, r4, L – размеры участка теплопровода, м.

Система уравнений, описывающая перенос теплоты в теплопроводе, имеет вид:

$$\frac{\partial T_i}{\partial \tau} = a_i\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T_i}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2}\right), \quad \tau > 0; (i = 1,2,3).$$

При краевых условиях:

$$T_i(r,z,0) = T_0; \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}\bigg|_{r=r_1}^{0<z<L} = \alpha_1 (T_n - T_1\big|_{r=r_1}^{0<z<L});$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}\Big|_{r=r2}^{0<z<L} = \lambda_2 \frac{\partial T_1}{\partial r}\Big|_{r=r2}^{0<z<L};\ T_1\Big|_{r=r_2} = T_2\Big|_{r=r_2});$$

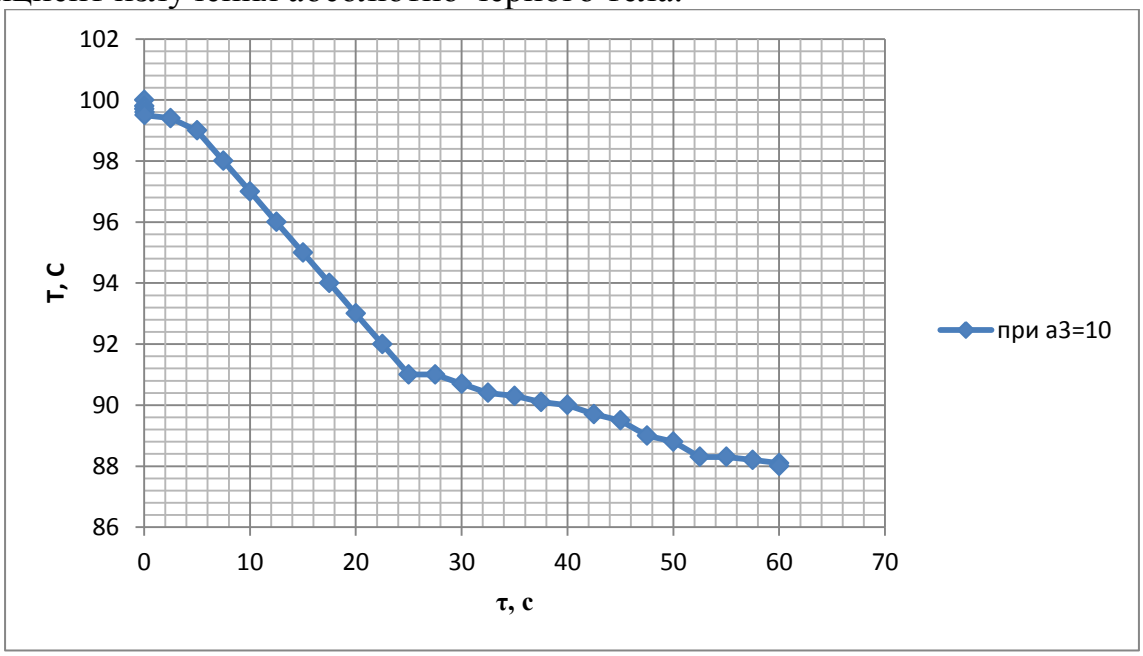
$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}\Big|_{r=r_3}^{0<z<L} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}\Big|_{r=r_3}^{0<z<L},\ T_2\Big|_{r=r_3} = T_3\Big|_{r=r_3}),$$

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}\Big|_{r=r_4}^{0<z<L} = \alpha_{oc}(T_3\Big|_{r=r_4}^{0<z<L} - T_{oc}) + \varepsilon_3 c_0[(\frac{T_3}{100})^4 - (\frac{T_{oc}}{100})^4],$$

$$z = 0;\ T = T_{вх};\ z = L;\ \Delta p = p_{вх} - p_{вых} = \frac{L}{D_1} \cdot \frac{\xi}{2\rho_{ж}} \cdot \left(\frac{4G}{\pi D_1^2}\right)^2;$$

$$T_П = \varphi(p_{вых}, h_{вых}).$$

Здесь τ – время; T_0 – температура в начальный момент времени; $\lambda_{1,2,3}$ – коэффициент теплопроводности материалов; a_i – коэффициент температуропроводности; D_1 – внутренний диаметр паропровода; ξ – гидравлическое сопротивление; G – расход теплоносителя; ε – степень черноты, C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела.



Программа расчета температурного поля трубопровода составлена в Turbo Pascal.

Программа предназначена для определения зависимости нестационарного температурного поля в трехслойном трубопроводе в зависимости от геометрических размеров, тепловыделения, теплофизических свойств материалов и условий охлаждения. Она может применяться при разработке элементов энергетического оборудования: ускорителей заряженных частиц, электрических машин и аппаратов, и на промышленных установках (теплотрубопроводы, нефтегазопроводы).

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК №14.740.11.0101.

Список литературы

1. Дорохов А. Р. Моделирование тепловыделяющих систем: учебное пособие / А. Р. Дорохов, Заворин А.С., В. С. Логинов – Томск: Изд-во НТЛ, 2000.- 234с.

УДК 662.62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ПОРИСТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРИМЕРЕ ДРЕВЕСИНЫ

Тагабайкызы Ж., магистрант
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: t.j.t_89@mail.ru

Древесина находит самое широкое применение в различных отраслях промышленности. При этом, для достижения необходимых качеств древесины, процесс сушки должен проходить в таком темпе, который обеспечивал бы удаление излишков влаги без нарушения целостности структуры (без появления трещин). Во всех случаях целью сушки является превращение древесины из природного сырья в промышленный материал с коренным улучшением ее физико- технических, технологических и потребительских свойств.

К ограничениям известных исследований по математическому моделированию тепломассопереноса в древесине, в частности, [1], можно отнести подход к древесине как к гомогенной среде, одномерный характер изучаемых процессов и недостаточный учет термодинамических особенностей поверхностно капиллярных явлений. Методологической основой для изучения тепло- и массопереноса в древесине, имеющей нерегулярную структуру, может служить математического моделирования явлений в рамках механики многофазных систем [2].

По результатам анализа литературной источников сформирована математическая модель теплофизических процессов в древесине, как в трехфазной системе, с учетам различных механизмов переноса массы воды и теплоты с учетом анизотропии структурных свойств системы древесина-вода. Модель записен в декартовой системе координат и включает в себе уравнение сохранения массы, количества движения и энергии в виде уравнения теплопроводности для всех фаз, а также уравнения сохранения на межфазных поверхностях.

Список литературы

1. А.В. Лыков.Теория сушки.- М.: Энергия,1968. 472с.
2. Дорняк О.Р. Тепломассоперенос в ненасыщенных коллоидных капиллярно-пористых анизотропных материалах //автореф. дис. .д-ра техн. наук : 01.04.14 / Воронеж, 2007. - 32 с.

УДК 621.316.9

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ В ПРОГРАМНОЙ СРЕДЕ SIMULINK

Утанан С.А., Глазырин А.С., к.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: acsv@yandex.ru

Основным видом неисправностей асинхронных двигателей (АД) являются электрические повреждения обмоток. Испытание систем релейной защиты АД часто затруднительно, так как может вызвать поломку защищаемого объекта или значительный простой производства. Для испытания данных систем производятся стендовые испытания и проверка путём математического моделирования.

Под математическим моделированием будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, позволяющий получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Для моделирования работы релейной защиты требуется выполнить 3 основных момента: приведение математической модели защищаемого объекта, определение принципов функционирования реле защиты, проверка работоспособности данной модели. При описании большинства процессов асинхронного двигателя (АД) удобна двухфазная модель АД в неподвижной системе координат. Моделирование режимов работы релейной защиты реализовано в программной среде Simulink.

В ходе исследований производилась настройка временных уставок защиты минимального напряжения и защиты от перегрузки в режимах пуска АД, наброса и сброса нагрузки. Моделирование показало эффективность и работоспособность исследуемых защит АД.

Список литературы:

1. Удут Л.С. и др. Проектирование и исследование автома-тизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
2. Корогодский В.И., Кужеков С.Л.Релейная защита электро-двигателей напряжением выше 1 кВ.– М.: Энергоатомиздат, 1987.- 248с.
3. Копьев В.Н. Релейная защита основного электрооборудования электростанций и подстанций. Вопросы проектирования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп.Томск: Изд. ЭЛТИ ТПУ, 2005. - 107с.

УДК 662.62

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ДФЗ 201

Уфа Р.А.,
научный руководитель А.С. Гусев, д.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: hecn@tpu.ru

В настоящее время расчет уставок релейной защиты (РЗ) осуществляется в соответствии с нормативными документами и руководящим указаниям, которые не пересматривались уже несколько десятков лет. В них представлены расчетные формулы с эмпирическими, принятыми за стандарт, коэффициентами, учитывающими погрешности в измерительных, преобразовательных устройствах, топологию и элементную базу защиты. Однако эти коэффициенты рассчитаны для общего случая с определенным запасом. Поэтому, хотя рассчитанные по этим коэффициентам уставки и удовлетворяют требованиями надежности и чувствительности средств РЗ, принимаются они с большим загрублением. В связи с этим возникает необходимость в разработке методики расчета и учета этих коэффициентов для конкретной схемы защит в целях более точной и адекватной

настройки защиты при уточненном определении погрешности формируемыми элементами схемы.

Предлагаемая авторами методика включает:

• анализ принципиальной схемы, с точки зрения выявления состава учитываемых элементов;

• синтез адекватной математической модели функционирования средств РЗ, включающие измерительные трансформаторы;

• анализ погрешности с помощью передаточных функций.

Согласно методике была составлена математическая модель одной из наиболее распространенной в электроэнергетических системах защиты линий высокого и сверхвысокого напряжения дифференциально-фазной высокочастотной защиты ДФЗ 201.

Разработанная математическая модель устройства позволила более точно и детально учитывать погрешности, формируемые измерительными трансформаторами, собственно аппаратной реализацией ДФЗ 201, высокочастотным трактом, а соответственно увеличить достоверность расчета уставок защиты.

УДК 621.18

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЖАРОТРУБНЫХ КОТЛОВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Хаустов С.А., Фисенко Р.Н., Буваков К.В., к.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: KhaustovSA@tpu.ru

В настоящее время широкое применение находят системы автономного теплоснабжения на базе жаротрубных котлов малой мощности. Однако практика расчета данных котлов имеет особенность: отсутствие единой нормативно-расчетной базы. В представленной работе предлагается методика расчета температурного режима жаротрубных котлов на основе численного моделирования с помощью пакета прикладных программ ANSYS.

В настоящем исследовании моделировались следующие процессы: факельное сжигание метана, турбулентность в реагирующей среде, конвективный и лучистый теплообмен. Моделирование газовой фазы проводилось в приближении Эйлера. Использовалась RNG k-ε модель турбулентности. Расчёт лучистого теплообмена выполнялся методом сферических гармоник в 1 приближении (т.н. P1 - модель).

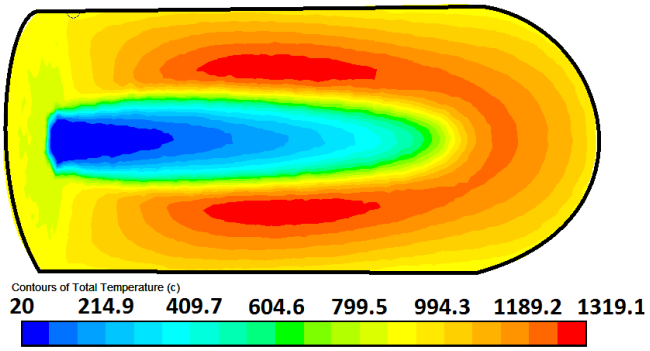


Рис.1. Температурные поля топочной среды по результатам численного моделирования.

Для подтверждения достоверности математической модели был произведен натуральный эксперимент. В ходе эксперимента посредством установленных в газовом тракте котла термопар замерялась температура дымовых газов на выходе из топки, а по показаниям индикатора на пульте автоматики (прибор 2ТРМО в комплекте с ХА-термопарой) фиксировалась температура уходящих из котла дымовых газов. Для оценки влияния завихрителей потока на теплообмен в дымогарных трубах, замеры производились как с установленными в трубах турбулизаторами, так и без них. Результаты измерения температуры приведены в таблице 1. Разброс значений температуры на выходе из топки 40 ^{o}C обоснован ростом измеряемой температуры с прогревом котла.

Таблица 1. – Температуры в газовом тракте котла по результатам эксперимента

	Температура газов на выходе из топки	Температура уходящих газов
Без турбулизаторов	870 – 910 ^{o}C	195 ^{o}C
С турбулизаторами а	870 – 910 ^{o}C	145 ^{o}C

УДК 621.43.016.4

О РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В АППАРАТАХ С ПЕРЕКРЕСТНЫМ ТОКОМ НА ПЕРСОНАЛЬНОМ КОМПЬЮТЕРЕ

Хворова Е.Н., магистрант

Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: loli_bani@mail.ru

Во многих областях техники, например, в нефтехимии, теплоэнергетике, транспортном машиностроении, предъявляют высокие требования к теплообменным аппаратам с перекрестным током теплоносителей. Это послужило причиной модификации существующих и разработке новых конструкций теплообменников. Существенно увеличился объем вычислений, потребовались совершенствование алгоритмов и программ для конструкторского теплогидравлического расчета теплообменников и обработки результатов их экспериментальных исследований.

Расчет теплообменных аппаратов представляет собой сложный итерационный процесс. При «ручных» вычислениях возникают дополнительные погрешности ввиду использования номограмм, методов расчета с низкой точностью (графическое решение трансцендентных уравнений, вычисления определенных интегралов и т.п.). В ряде монографий, учебных пособий по теплообменным аппаратам сохраняется такой подход, что нельзя оправдать его доступностью.

Вместе с тем, известны аналитические решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих распределения температур газовой и жидкой сред в аппаратах с перекрестным током, которые содержат специальные функции. Реализация этих зависимостей на Turbo Pascale с привлечением интерполяционных формул, либо готового математического обеспечения, предложенного в средах MathCad, Mathematica и др., упрощает проведение параметрического анализа и может использоваться как на стадии проектирования, так и в учебном процессе. Другой вариант повышения точности расчетов заключается в численной реализации соответствующих краевых задач.

Рассмотренные варианты автоматизированных методов прогнозирования характеристик теплообменных аппаратов с перекрестным током рабочих тел легко реализовать на практике, т.к. многие проектные организации имеют мощные персональные компьютеры с современным математическим обеспечением.

УДК 621.643

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Ю.С. Цыганкова

ОАО «ТомскНИПИнефть», г. Томск
E-mail: tsygankovays@nipineft.tomsk.ru

В современных условиях, когда проблеме энергосбережения уделяется значительное внимание [1], необходимым фактором экономически эффективной работы тепловых сетей является снижение непроизводительных потерь теплоты через изоляционные конструкции при транспортировке теплоносителя.

В ходе эксплуатации различные воздействия окружающей среды вызывают деструктивные процессы в теплоизоляционных конструкциях трубопроводов, которые приводят к увеличению эксплуатационной влажности, деформации, разрушению изоляционного слоя, следовательно, к резкому снижению его теплозащитных свойств [2].

Целью данной работы является оценка фактических потерь теплоты при транспортировке теплоносителя с учетом технического состояния и реальных условий эксплуатации теплотрассы. Анализ возможности теплосбережения в системе транспортирования тепловой энергии.

В качестве примера рассматривается фрагмент тепловой сети (рис.). Типы изоляции: пенополиуритановая (ППУ), толщиной по[3], минеральная вата (МВ), толщиной по [4].

Исходные данные: средняя годовая температура наружного воздуха 273 К, средняя температура теплоносителя 363 К, температура воздуха в канале 296 К [5], средняя температура грунта на глубине заложения 278К.

Для оценки влияния нештатных условий работы теплопроводов на изменение тепловых потерь рассматривалось несколько типичных вариантов эксплуатации тепловых сетей:

1. влажный воздух в непроходных каналах;
2. участок № 13 - изоляция увлажнена на 30 %, участок № 14 – на 100 %, участок № 15 – на 30 %, участок № 18 – на 70 %;
3. участок № 1 - изоляция увлажнена на 100 %, участок № 11 – на 70 %, участок № 22 – на 10 %;
4. изоляция отсутствует на участках № 4, 6, 8, 20;
5. участки № 1, 4, 19 - умеренная деформация изоляции.

Проектный режим означает, что трубопроводы изолированы в соответствии с [4], изоляция находится в сухом состоянии.

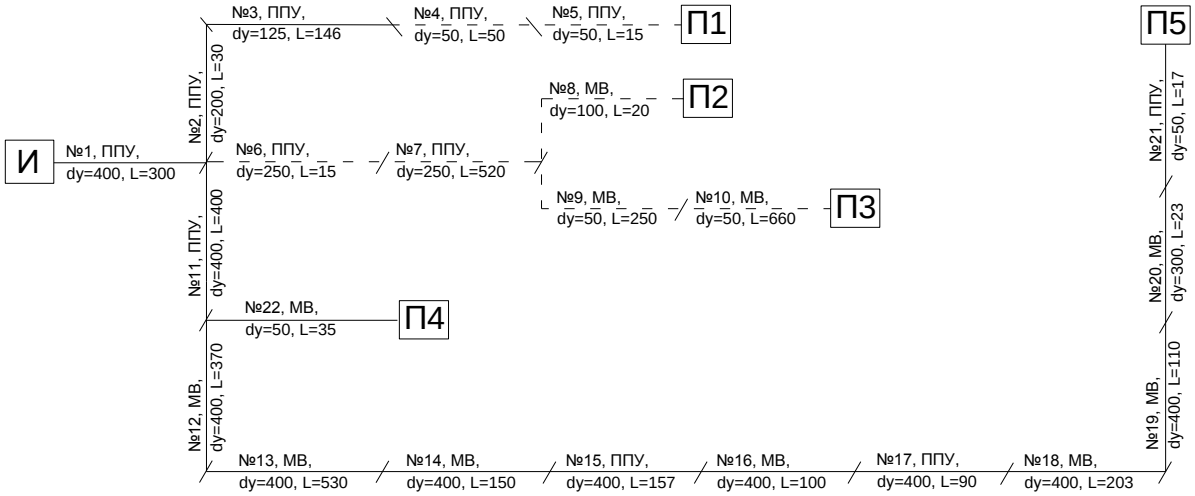


Рис. Схема фрагмента тепловой сети:

И – источник теплоснабжения; П1–П5 – потребители № 1–5; № 1–22 – характерные участки трубопроводов, отличающиеся условиями прокладки или состоянием изоляции;dy- условный диаметр трубопровода, мм, L – длина участка, м; --- – надземная прокладка, □ – подземная прокладка.

Основные результаты расчетов потерь тепловой энергии теплоносителем приведены в табл.

Таблица.– Результаты расчета тепловых потерь

Вариант	**Qп1, Вт**	**Qп2, Вт**	**Qп3, Вт**	**Qп4, Вт**	**Qп5, Вт**
Нормативные потери	29500	51489	71601	49840	170488
Проектные потери	17290	30245	53274	29292	170030
Вариант 1	21748	33560	56587	37106	190220
Вариант 2	21748	33560	56587	37106	287170
Вариант 3	39939	51743	74752	72604	225000
Вариант 4	56711	94898	90338	37106	190220
Вариант 5	24669	36482	59350	39871	194530

Из табл. видно, что эксплуатация рассматриваемой тепловой сети (рис.) в условиях, отличающихся от проектных, приводит к ожидаемому увеличению тепловых потерь. Например, при учете увлажнения воздуха в непроходных каналах (вариант 1), тепловые потери на пути к потребите-

лям с преобладанием подземного способа прокладки теплопроводов возрастают в 1,12…1,25 раз по сравнению с проектными значениями.

По варианту 2 при незначительном увлажнении (до 30 %) около 28 % протяженности тепловой сети до потребителя П5 и при полном увлажнении (100 %) 14 % протяженности тепловой сети тепловые потери на пути к потребителю П5, по сравнению с проектными значениями, возрастают в 1,69 раз.

В варианте 3 при увлажнении изоляции более 70 % на 95 % протяженности трубопроводов до потребителя П4 и при незначительном увлажнении 5 % трубопроводов потери теплоты увеличиваются в 2,48 раза.

В случае отсутствия изоляции (вариант 4) наблюдаются максимальные потери тепла. В частности, при разрушении изоляции всего на 9 % длины тепловой сети до потребителя П1 потери теплоты увеличиваются в 3,28 раза по сравнению с потерями при проектных условиях эксплуатации.

При деформации изоляции (вариант 5) на 64 % длины тепловой сети от общей протяженности трубопроводов до потребителя П1 теплопотери возрастают в 1,43 раза.

Полученные результаты свидетельствуют о важности и необходимости учета реальных условий эксплуатации тепловых сетей при расчетной оценке потерь теплоты. Расчет фактических тепловых потерь позволит оценить масштаб тепловых потерь, выявить «проблемные» места на участках тепловых сетей и принять соответствующие меры по устранению непроектных режимов работы. Своевременные ремонтные работы и оперативное реагирование теплоснабжающих компаний в свою очередь обеспечат частичное выполнение программы энергосбережения [1].

Выводы

Проведена аналитическая оценка фактических тепловых потерь с учетом неоднородности теплозащитных свойств изоляции по длине трубопровода и реальных условий эксплуатации тепловых сетей.

Показана существенная возможность теплосбережения при своевременном проведении ремонтно-изоляционных работ.

Список литературы:

1. ФЗ № 261 от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

2. Слепченок В.С., Рондель А.Н., Шаповалов Н.Н. Влияние различных эксплуатационных факторов на тепловые потери в бесканальных подземных трубопроводах тепловой сети // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 6. – С. 18 – 23.
3. ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007.- 49 с.
4. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой России, 2001. – 42 с.
5. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 472 с.

УДК 502.566

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Чащина Ю.А.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: chaschinayu@tpu.ru

При существующих в химической промышленности технологиях переработки сырья наряду с полезными конечными продуктами, как известно, вырабатываются и отходы производства в виде газов, жидкостей и пыли [1].

Проблема утилизации жидких отходов химических производств изучается не первое десятилетие. В случаях, когда концентрация и количество органических и минеральных примесей в сточной воде высоки, применяют термические методы обезвреживания, заключающиеся в окислении при повышенной температуре органических примесей сточной воды с образованием нетоксических соединений CO_2, H_2O, N_2 [2, 3].

Самым эффектным и универсальным из термических методов обезвреживания сточных вод является огневой метод. Сущность его заключается в распылении сточных вод в топочные газы, нагретые до температуры 900-1000 °С. Вода при этом полностью испаряется, а органические примеси сгорают. Минеральные примеси при этом образуют твердые или расплавленные частицы, которые выводятся из рабочей камеры печи или уносятся дымовыми газами [4].

Целью работы является теоретическое исследование процесса тепломассопереноса при огневом обезвреживании сточных вод и оценка влияния изменения одного из режимных параметров на ход процесса.

Объектом исследования является реактор для термического обезвреживания отходов химических производств, оборудованный горелочными устройствами для сжигания газообразного топлива и форсунками для распыливания сточной воды. Топливовоздушная смесь подается на горелочное устройство реактора. Сточная вода подеется форсуночными устройствами в рабочую область реактора выше уровня горелки. Таким образом, жидкие отходы в распыленном состоянии вводятся в высокотемпературные продукты горения органического топлива. Капли воды полностью испаряются, а токсические органические примеси подвергаются термическому разложению и окислению за счет кислорода реакторной атмосферы, образуя продукты полного сгорания. Содержащиеся в сточной воде минеральные примеси образуют твердые или расплавленные частицы, которые улавливаются в пределах рабочей камеры и уносятся с дымовыми газами.

При математическом описании процесса был принят ряд допущений. Предполагалось, что свойства сточной воды не изменяются с ростом концентрации примесей. Рассматривалось движение группы капель, начальная скорость которых принималась равной скорости истечения из форсунки. Считалось, что термодинамические свойства испаряющихся капель воды незначительно отличаются от термодинамических свойств газовой среды. Химическая реакция топливовоздушной смеси (метан-воздух) в реакторе описывалась на основе обобщенной одношаговой химической модели с конечной скоростью реакции, в которой предполагается полное сгорание топлива до CO_2 и H_2O. Скорость реакции рассчитывалась из предположения, что турбулентное смешение реагентов является ограничивающим фактором протекания химической реакции. Лучистый теплообмен при нагреве и испарении капель не учитывался.

Математическая постановка задачи с учетом указанных допущений представлена системой уравнений [5, 6], включающей уравнение неразрывности, уравнения движения топливовоздушной смеси и капель, гипотезу Буссинеска, уравнение энергии, уравнения диффузии, уравнения изменения концентрации газовых компонентов, уравнение состояния, уравнения k-ε модели турбулентности, а также уравнения, описывающие деформацию и условия дробления капель, уравнение теплообмена капель с газовой средой и уравнение испарения капель [4].

Численный анализ процесса осуществлялся при помощи программного пакета ANSYS FLUENT [7], двумерная расчетная сетка была построена при помощи программного пакета GAMBIT. При построении расчетной сетки было выполнено сгущение сеточных параметров в пристеночной области и при удалении от области поступления смеси реагирующих газов и сточных вод в реактор. Во входной области реактора сетка была выполнена более мелкой, с шагом по y-координате в 1 мм.

Моделирование процесса огневого обезвреживания проводилось в диапазоне изменения начального диаметра капель $d_{к0}$= 50 … 500 мкм.

В результате численного анализа установлено, что максимальная скорость потока развивается в области протекания химической реакции (горения метана) и варьируется в диапазоне 75 … 78 м/с. В этой же области, под струей смеси реагирующих газов отмечено образование небольшого вихря, вызванного турбулентным характером течения. Восходящие потоки продуктов сгорания и водяного пара движутся в основном вблизи стенок реактора. В центре реактора скорости этих потоков принимают минимальные значения.

Распределение температуры в реакторе приведено на рис. 1. Установлен масштаб снижения температуры парогазовой смеси на выходе из реактора и в пристеночных областях в направлении движения капель жидкости и продуктов химической реакции.

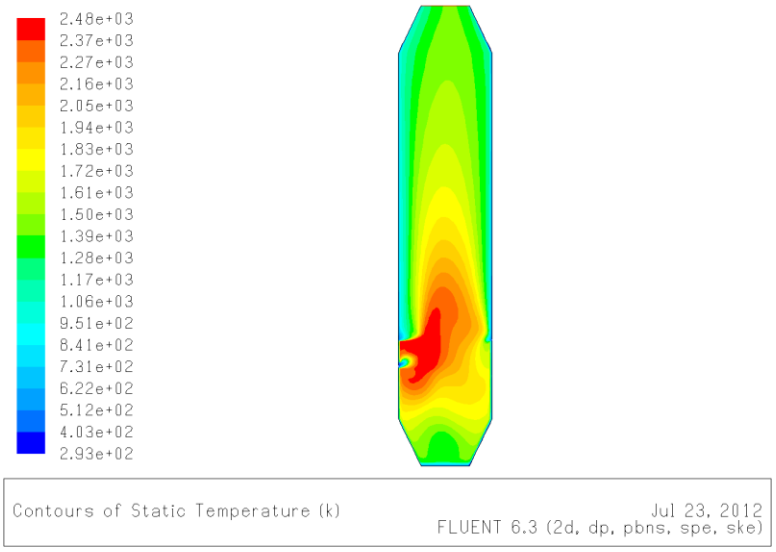


Рис. 1. Изолинии температуры в реакторе

Траектории течения капель на выходе из форсунки в зависимости от времени пребывания в реакторе приведены на рис. 2.

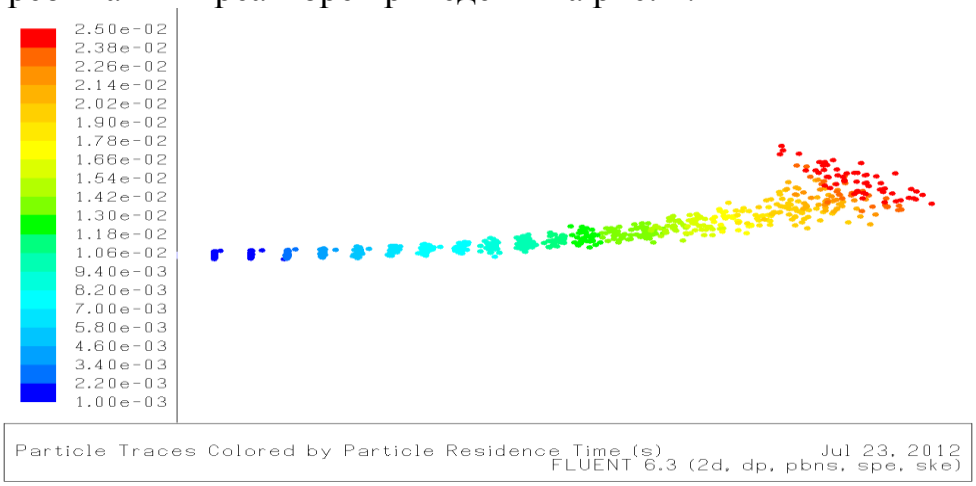


Рис. 2. Траектории течения капель на выходе из правой форсунки в зависимости от времени пребывания в реакторе, dк0= 200 мкм

По полученным результатам можно судить о скорости и полноте рассеивания капель воды в пространстве реактора. Так, полнота рассеивания капель с начальным диаметром 50 мкм в 7 раз больше степени рассеивания капель с начальным диаметром 500 мкм за аналогичный период времени ($25 \cdot 10^{-3}$ с). Скорость рассеивания капель воды в реакторе изменяется пропорциально начальному диаметру капель.

Изменение времени полного испарения капель воды в пространстве реактора в зависимости от величины начального диаметра капли представлено на рис. 3.

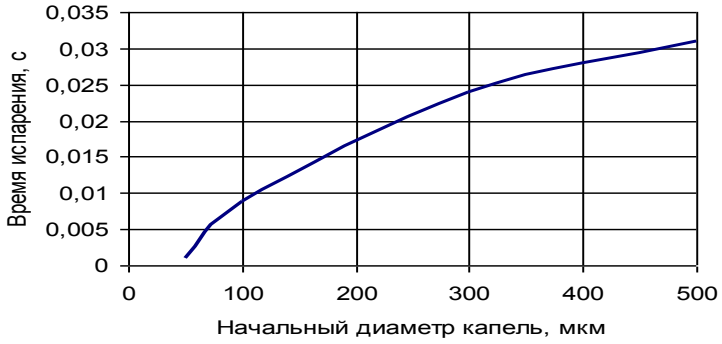


Рис. 3. Зависимость времени испарения капель от из начального диаметра при средней температуре продуктов горения в реакторе 1750 °С

В результате математического моделирования при совмещении физико-химических процессов, протекающих в реакторе, по времени и в пространстве установлено влияние начального (максимального) диаметра капель жидких отходов на ход и время протекания процесса огневого обезвреживания промышленных стоков. Установлено, что наиболее устойчиво и эффективно процесс огневого обезвреживания жидких отходов протекает при начальном диаметре капель $d_{к0} \leq 200$ мкм.

Список литературы:

1. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1999. – 472 с.
2. Хайбулин Р.Г. Особенности технологических процессов в установке термического обезвреживания отходов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2008. – № 1 (11). – С. 114 – 122.
3. Современные технологии очистки сточных вод гальванических производств / А.А. Поворов и [и др.] // Водоочистка. – 2009. – № 10. – С. 34-36.
4. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. – М.: Химия, 1990. – 304 с.
5. Сажин В.А. Управление процессом термического обезвреживания сточных вод и жидких органических отходов // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 3. – С.63.
6. Луконин В.П., Сажин В.А. Исследование статических характеристик установки по термическому обезвреживанию жидких органических отходов // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 7. – С. 57-60.
7. FLUENT 6.3 User's Guide. Fluent Inc. September 2006. – 2501 p.

УДК 621.311

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕНОСА В МАЗУТОХРАНИЛИЩАХ ТЭС

Чащина С.А.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: chashchina_s@inbox.ru

В последнее время основной проблемой при эксплуатации мазутных хозяйств остаются значительные затраты энергии на подогрев при хранении мазута и подготовке его к сжиганию. Эксплуатационные затраты на содержание мазутного хозяйства намного больше по сравнению с газом и углем и составляют более 9 % от нагрузки котла [1].

Мазутные резервуары независимо от своей конструкции постоянно отдают теплоту в атмосферу или грунт. Кроме того, вновь загружаемый мазут может иметь различную температуру в зависимости от климатических условий, способа подачи или загрузки его в резервуар, длительность доставки.

Основной целью работы является математическое моделирование процессов теплопереноса в резервуарах для хранения мазута с локальными источниками нагрева.

На первоначальном этапе была решена задача, описывающая течение жидкости в выемке с движущейся крышкой. В отличие от исходной задачи были приняты некоторые допущения, в качестве жидкости вместо мазута выступала вода, а система уравнений не включала в себя уравнение энергии и уравнение теплопроводности для стенок выемки.

В нашем случае, размеры каверны были приняты 1x1, вместо 0,5x0,5, равномерная квадратная сетка взята 50x50, вместо сетки 20x17 [2], а также был взят интервал времени $t=100000$ *с*, с шагом $\tau=1$ *с*. Это было сделано с целью получения более точного и достоверного результата расчета.

Проанализировав полученные данные и сравнив их с результатами, представленными в [2], видим, что относительная погрешность значений функции тока составила не более 4%. Это связано с тем, что в нашем случае при решении уравнений использовано большее количество узлов сетки, чем в [2].

В дальнейшем планируется решить эту задачу уже для мазута, и с использованием уравнений энергии и теплопроводности стенок выемки.

Список литературы:

1. Энергетическая стратегия РФ до 2030 года.
2. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.

УДК 662.764: 662.659

ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УГЛЕЙ НА СОСТАВ ГАЗА ПРИ БЕСКИСЛОРОДНОЙ ПАРОВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

[1]Шевырёв С.А., [2]Богомолов А.Р., д.т.н., [1]Кагакин Е.И., д.х.н.
1-Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; 2-Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН
E-mail: ssa.pmahp@kuzstu.ru, barom@kuzstu.ru, kei.htf@kuzstu.ru

Для получения синтез-газа и топливного газа при газификации можно использовать в качестве исходного материала различные угли [1]. При этом в зависимости от их свойств (углеводородный состав, состав и количество минеральных примесей), можно получать газ различного состава. Исследование влияния свойств используемых материалов на состав получаемого генераторного газа является важной задачей.

В литературе в настоящее время представлены противоречивые данные о влиянии состава углей на кинетику процесса газификации и состав продуктового газа. Нами проведены исследования влияния минеральной части углей на кинетику процесса и состав газа при высокотемпературной бескислородной паровой газификации некоторых углей кузнецкого бассейна.

Эксперименты по газификации карбонизированных углей показали, что добавление зольного остатка (до 5 % от массы исходного материала) в газифицируемый образец позволяет увеличить выход целевых компонентов (CO, H_2), а также уменьшить количество балластных примесей (CO_2, O_2) (таблица 1).

Таблица 1. – Состав продуктового газа (объемные доли)

Исходные угли	Компонент газовой смеси			
	H_2	CO	CO_2	O_2
Шахта «Березовская»	0,50	0,36	0,09	0,05
Шахта«Березовская» +Kt	0,55	0,39	0,04	0,02
Разрез «Междуреченский»	0,51	0,32	0,12	0,05
Разрез «Междуреченский» + Kt	0,58	0,36	0,04	0,02

*Kt – зольный остаток угля шахты «Березовская»

Список литературы:

1. Шевырёв, С. А. Высокотемпературная бескислородная паровая газификация угля и шлама / С.А. Шевырёв, М.В. Алексеев // II Всероссийская научно-практ. конф. «Теплофизические основы энергетических технологий»: сб. науч. тр. / Национальный исследов. Томский политехн.ун-т. - Томск, 2011. - С.278-282.

УДК 544.45:452.2

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ СМЕСЕЙ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ С ОКСИДАМИ ЭЛЕМЕНТОВ ЧЕТВЕРТОЙ ГРУППЫ ПОБОЧНОЙ ПОДГРУППЫ

Шинкевич Е.В., магистр
Томский политехнический университет, г.Томск
E-mail: Hartnett@sibmail.com

В качестве объектов изучения были выбраны смеси нанопорошка алюминия с порошками диоксида TiO_2 и ZrO_2. Интерес к продуктам сгорания этих смесей связан с возможностью получения тугоплавких нитридов путем химического связывания азота воздуха [1] Горение смеси НПАl и диоксидов происходило при высоких температурах, с несколько замедленной скоростью в сравнение с горением НПАl без добавок.

При горении в воздухе смесей диоксидов титана и циркония с нанопорошком алюминия при определенных соотношениях компонентов образуются нитриды алюминия, титана и циркония. В результате обработки данных рентгенофазового анализа в продуктах сгорания образцов смесей НПАl с диоксидом титана были обнаружены следующие соединения: TiN, TiO_2, Al_2O_3 и AlN, а в продуктах сгорания образцов смесей НПАl с диоксидом циркония – ZrN, ZrO_2 и AlN.

Необходимо отметить, что, состав продуктов сгорания изменяется в зависимости от соотношения НПАl:диоксид в исходных смесях. Нитрид титана обнаруживается при содержании НПАl 20 мас.% и более. При этом с увеличением содержания НПАl в смеси с TiO_2 происходит увеличение содержания TiN в продуктах, достигая максимума 83% при 43 мас.% НПАl, затем выход TiN уменьшается.

В то же время присутствие нитрида циркония в продуктах сгорания НПАl и ZrO_2 наблюдается с 20 мас.% НПАl, ZrN обнаружен в образцах с содержанием НПАl более 20 мас.%. Максимальный выход нитрида циркония 56% достигается при 67 мас.% НПАl в исходной смеси. Дальнейшее увеличение содержание нанопорошка Al в исходной смеси практически не влияет на содержание ZrN.

Литература

1. Громов А.А., хабас Т.А., Ильин А.П. и др. Горение нанопорошков металлов / Под ред. А.А. Громова. – Томск: Дельтаплан, 2008. – 382 с.

УДК541.64:547.759.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

И.А. Шпилькина, магистр
Томский политехнический университет, г.Томск
E-mail: loginovvs@tpu.ru

По заданию фирмы ООО «Рекон» возникла необходимость определения теплофизических характеристик нового строительного материала, который используется в строительстве. Установка представляет собой шар, внутри которого нагревательный элемент, а снаружи шар омывается воздухом.

Исследование теплофизических свойств теплоизоляционных материалов является актуальной проблемой, так как в современном промышленном и гражданском строительстве они находят самое широкое применение. Проблемы энергосбережения выдвигают жёсткие требования к стеновым строительным материалам с точки зрения эффективности их теплоизоляционных свойств.

Цель: Разработка метода по определению теплофизических характеристик строительного материала.

Задачи исследования:

- Анализ литературы по определению теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов.
- Выбор метода решения, методики по определению коэффициента теплопроводности строительного теплоизоляционного материала.
- Решение нестационарной задачи теплопроводности для неограниченной пластины при граничных условиях второго и третьего рода.
- Решение нестационарной задачи теплопроводности для полого шара при граничных условиях второго и третьего рода.
- Экспериментальное исследование по известной методики определения коэффициента теплопроводности нового строительного материала по методу шара.
- Оценка погрешности определения коэффициента теплопроводности.
- Анализ полученных результатов.

Дифференциальное уравнение теплопроводности для шара [1]:

$$\frac{\partial T(r,\tau)}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 T(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial T(r,\tau)}{\partial r}\right), \quad (1)$$

$$(r > 0;\ R_1 < r < R_2) \quad (2)$$

При краевых условиях:

$$T(r,0) = T_0 = \text{const}, \quad (3)$$

$$-\frac{\partial T(R_1,\tau)}{\partial r} = \frac{q_c}{\lambda}, \quad (4)$$

$$-\frac{\partial T(R_2,\tau)}{\partial r} = H[T(R_2,\tau) - T_c]. \quad (5)$$

Решение в изображениях операционным методом Лапласа [1] имеет вид:

$$T_L(r,s) = \frac{T_0}{s} + \frac{1}{rsm_1}\left[\frac{q_c R_1^2}{\lambda} ch\sqrt{\frac{s}{a}}r + \frac{1}{M}\left\{\frac{q_c R_1^2}{\lambda s} m_2 + BiR_2 m_1\left(\frac{T_c - T_0}{s}\right)\right\}\right.,$$

$$\left.\left[R_1\sqrt{\frac{s}{a}} ch\sqrt{\frac{s}{a}}(r - R_1) + ch\sqrt{\frac{s}{a}}(r - R_1)\right]\right.,$$

где

$$m_1 = R_1\sqrt{\frac{s}{a}} sh\sqrt{\frac{s}{a}}R_1 - ch\sqrt{\frac{s}{a}}R_1,$$

$$m_2 = R_2\sqrt{\frac{s}{a}} sh\sqrt{\frac{s}{a}}R_2 + (Bi - 1)ch\sqrt{\frac{s}{a}}R_2,$$

$$d_1 = R_1\sqrt{\frac{s}{a}} ch\sqrt{\frac{s}{a}}R_1 - sh\sqrt{\frac{s}{a}}R_1,$$

$$d_2 = R_2\sqrt{\frac{s}{a}} ch\sqrt{\frac{s}{a}}R_2 + (Bi - 1)sh\sqrt{\frac{s}{a}}R_2$$

$$M = R_1 R_2 \frac{s}{a} sh\sqrt{\frac{s}{a}}(R_2 - R_1) + R_2\sqrt{\frac{s}{a}} ch\sqrt{\frac{s}{a}}(R_2 - R_1) + (Bi — 1)R_1\sqrt{\frac{s}{a}} ch\sqrt{\frac{s}{a}}$$

$$*$$

$$* (R_2 - R_1) + (Bi — 1)sh\sqrt{\frac{s}{a}}(R_2 - R_1)$$

Полученное решение представлено в изображениях. На основе проведенного исследования установлено, что переход от изображения к оригиналу является затруднительным.

Решение было получено приближенным методом, как функция параболического распределения температуры по радиусу, а коэффициенты зависят от времени.

$$\vartheta(r,\tau) = a_0(\tau) + a_1(\tau)\cdot r + a_2(\tau)\cdot r^2,$$

$$\frac{\partial\vartheta}{\partial\tau} = \frac{da_0}{d\tau} + \frac{da_1}{d\tau}\cdot r + \frac{da_2}{d\tau}\cdot r^2.$$

Окончательное приближенное решение имеет вид

$$\vartheta(r,\tau) = \vartheta_0 - \frac{\frac{qr}{\lambda}\left[1 + exp\left(\frac{2a\tau}{r^2}\right)\right]}{(1-4Fo)e^{2Fo}} -$$

$$-A_2\left(\frac{2R_1 r(1-6Fo)e^{4Fo}\left(1+exp\left(\frac{2a\tau}{r^2}\right)\right)}{(1-4Fo)} - r^2\left(1+\mathrm{e}^{\frac{6a\tau}{r^2}}\right)\right).$$

Здесь

$$A_2 = \frac{\frac{q}{\lambda}\left\{\left[e^{2\frac{Fo}{R_2^2}}\left(1-4\frac{Fo}{R_2^2}+Bi\right)+Bi\right]\right\} - H\vartheta_0(1-Fo)e^{2Fo}}{\exp\left(\frac{8Fo(2R_2^2+1)}{R_2^2}\right)\left\{2R_1(1-6Fo)\left[\left(1-4\frac{Fo}{R_2^2}\right)+Bi\left(1+e^{2\frac{Fo}{R_2^2}}\right)\right] - R_2(1-4Fo)\left[2\left(1-6\frac{Fo}{R_2^2}\right)+Bi\left(1+e^{6\frac{Fo}{R_2^2}}\right)\right]\right\}}$$

Таблица 1. Результаты численного и приближенного расчета температур.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расчет по методу [2]	73	59	49	41	45	30	27	24	23
Приближенное решение	74	60	51	40	44	29	27	23	22

Для определения теплофизических характеристик материала был выбран метод обобщенной закономерности упорядоченного теплового режима [3]. Выражение углового коэффициента прямой линии является универсальной закономерностью упорядоченного теплового режима в твердых телах.

$$\Phi = b + k\cdot\tau$$

$$b = T_0 - \frac{q_c R}{\lambda}\left[\frac{3}{10} - \frac{1}{2}\left(\frac{x}{R}\right)^2\right]$$

$$k = \frac{3q_c a}{\lambda R}$$

Угловой коэффициент прямой линии

$$\Phi = ln\Delta\theta \pm p\int\frac{d\theta_{\text{н}}}{\Delta\theta} = -\mu_1^2\cdot Fo + const$$

$$\Phi = ln\Delta T \pm p\int\frac{dT_{\text{р}}}{\Delta T} = -\mu_1^2\cdot\frac{a}{R^2}\tau + const$$

Ф численно равен множителю А

$$\text{A} = 9.8\frac{a}{R^2}$$

Полученный коэффициент А усредняется и по нему подсчитывается коэффициент температуропроводности

$$a = \text{A}\frac{R^2}{9.8}$$

Выводы:

1. Не все задачи нестационарной теплопроводности для тел классической формы можно решить операционным методом Лапласа при различных граничных условиях.

2. Получено приближенное аналитическое решение нестационарной задачи теплопроводности при граничных условиях второго и третьего родов. Установлен диапазон параметров, при котором приближенное решение можно практически использовать: 0.01<Fo<0.2, 0.1<Bi<7.5, 10<q<260 Вт/м^2.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.- 600 с.
2. Ваничев А.П. Приближенный метод решения задач теплопроводности при переменных константах.// Изв. АН СССР, ОТН, 1946, № 12.
3. Бойков Г.П., Видин Ю.В., Фокин В.М., Шаронова О.В. Определение теплофизических свойств строительного материала: Монография. - Издательство Красноярского университета, 1992. – 172с.
4. Чиркин, Виктор Сергеевич. Теплопроводность промышленных материалов / В. С. Чиркин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машгиз, 1962. — 247 с. : ил. — Библиогр.: с. 236-246.

УДК 662.62

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЙ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ.

Яманбекова А.К., магистрант.
E-mail: aiau_talgar@mail.ru
Томский политехнический университет, г. Томск

Фундаментальные изменения, происходящие в энергетике, непрекращающийся рост цен на нефть и природный газ диктуют необходимость применения нетрадиционных технологий использования твердых топлив. Одним из перспективных направлений является подземная газификация твердого топлива. Значимость подземной газификации твердого топлива обусловлено еще тем, что газифицировать можно практически любое органическое твердое топлива, независимо от их свойств, при этом получать горючие газы различного состава, начиная от чистого водорода, оксида углерода, метана и их смесей в разных пропорциях [1].

Несмотря на перспективность данной технологии, известны не столь многочисленные примеры ее реализации. Это объясняется тем, что технология подземной газификации угля (ПГУ) имеет и недостатки. Эти недостатки определяют пути дальнейших исследований, направленные на повышения эффективности ПГУ, связанных с необходимостью совершенствования как теории процессов ПГУ на базе новых моделей, так и методам численной реализации этих подходов.

Моделирование процессов газификации угля позволит распространить разрабатываемые методики и на вопросы промышленного производства газообразного горюющего из твердого органического сырья, и на вопросы пожарной опасности торфоразработок и т.п.

Целью работы является исследование процессов подземной газификации и повышение их эффективности.

По результатам анализа литературных источников была сформулирована математическая модель описывающая процессы подземной газификации угля. Математическая модель использует двухмерную цилиндрическую систему координат и включает в себя учет влияния испарения влаги, термическое разложения угля, гетерогенные и гомогенные реакции. Математическая модель содержит уравнения законов сохранения массы исходного конденсированного вещества, газовой фазы и отдельных компонентов газовой фазы, уравнение сохранения энергии и уравнение сохранения движения, которое опирается на закон Дарси. Формулируются начальные и краевые условия [2].

Список литературы

1. Крейнин Е.В., Федоров Н.А., Звягинцев К.Н., Пьянкова Т.М. Подземная газификация угольных пластов. М., Недра, 1982, с. 151.
2. Кузнецов Г.В., Субботин А.Н. Тепломассоперенос в условиях подземной газификации угля//Тепловые процессы в технике. – 2010. - №9. – С. 422 – 426.

СОДЕРЖАНИЕ

Авдеев В.Ю., Гидаспов А.А., Мощенский Ю.В.
Взаимосвязь между температурами разложения и температурами вспышки БВВ. 3

Сивяков Б.К., Аврясова О.С.
Разработка автоматизированной инженерной системы прогнозирования и контроля электромагнитного загрязнения высоковольтных ЛЭП. 7

Андреев М.В.
Всережимное моделирование релейной защиты. 11

Арестова А.Ю., Хмелик М.С., Сидоркин Ю.М.
Специальные технологии противоаварийного управления большими энергообъединениями. 12

Аршанов А.А., Половников В.Ю.
Тепловые режимы резервуаров для хранения резервных топлив ТЭС и котельных в условиях взаимодействия с окружающей средой. 16

Астапенко Р.Е.
Влияние каталитических добавок оксидов переходных металлов на полноту сгорания каменных углей. 18

Бабинович Д.Е.
Прогнозирование потребления электроэнергии для объектов водоснабжения. 19

Барановский Н.В.
Физическое моделирование процесса зажигания лесного горючего материала сфокусированным солнечным излучением. 24

Барановский Н.В., Захаревич А.В.
Экспериментальное исследование процесса зажигания опада хвойных пород деревьев нагретой до высоких температур частицей. 25

Барановский Н.В., Захаревич А.В., Максимов В.И.
Исследование процесса воспламенения опада широколиственных пород нагретой до высоких температур частицей. 26

Барановский Н.В.
Математическое моделирование зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом. 27

Барановский Н.В., Барановская С.В. 28
Математическое моделирование физических процессов при

воздействии нагретой частицы на поверхностные дыхательные пути.
Бетхер Т.М., Гиль А.В., Мамаев А.К.
Исследование пристенной области тангенциальных топок. 29
Беховых К. Н., Прутик А.Ф.
Возможности пользовательского интерфейса Eurostag. 30
Беховых К. Н., Прутик А.Ф.
Моделирование устройств компенсации реактивной мощности в ПВК Eurostag. 31
Беховых К. Н., Прутик А.Ф.
Применение ПВК Eurostag для анализа и оптимизации режимов работы ЭЭС. 32
Боловин Е.В. Магистр, Глазырин А.С.
Использование разностных схем для разработки и экспериментальной проверки метода идентификации параметров электродвигателей. 33
Бондарчук И.С., Жуков А.С.
Критерий формообразования частиц в процессе плазмохимического синтеза порошков. 34
Бондарчук И.С., Жуков А.С.
Оценка эффективности экологической защиты при открытом сжигании зарядов РДТТ. 39
Борисова Е.В.
Исследование тепломассообмена при конденсации водяных паров из уходящих дымовых газов. 43
Булутбаева Ж.С.
Оценка эффективности использование древесных отходов для получение тепловой энергии. 47
Василевский М.В., Разва А.С., Севостьянов С.В. 47
Гидродинамика циклонного элемента батарейного сепаратора.
Васильев А.С.
Программно-технические средства Всережимного моделирования устройств FACTS. 59
Визгавлюст Н.В., Старченко А.В., Гиль А.В., Васильев А.А.
Исследование образования оксидов азота в топке котла БКЗ-320-140. 60
Волков П.В., Брызгалов А.Н. 61
О микротвердости травленой поверхности кварцевого стекла.

Высокоморный В.С.
Энергообеспечение автономных объектов газотранспортной системы. 62
Гвоздяков Д.В.
Математическое моделирование процесса образования кислот на прилегающей к тепловой электрической станции территории. 63
Голдаев С.В., Литвинов А.А.
Об устойчивости запуска в водной среде открытого газогенератора. 67
Голдаев С.В., Козина А.А.
Перспективы использованияаппаратов периодического действия. 70
Гордиенко И.С.
Математическое моделирование дистанционных защит в целях повышения эффективности их функционирования. 73
Горшенин А.С.
Влияние режимных и конструктивных факторов для повышения энергоэффективности теплообмена при охлаждении алюминиевых слитков. 74
Даирбекова С.М., Борисов Б.В.
Моделирование процессов в биогазовых установках с целью повышения их эффективности. 79
Демидов Д.С.
Анализ эффективности и долговечности воздухоподогревателей паровых котлов. 80
Должиков А.С., Тютяев А.В.
Изучение условий воспламенения паровоздушной смеси нефтепродуктов при заполнении ёмкости дизельным топливом. 82
Голдаев С.В., Дюкарев И.Е.
Об эффективности применения утилизаторов теплоты в теплоэнергетике. 85
Жантлесова А.Б.
Измерительный орган для релейной защиты трехфазных симметричных токопроводов напряжением 6÷10 кв. 89
Жданова М.В., Мостовщиков А.В.
Повышение теплоты сгорания отходов деревообработки за счёт добавок нанопорошков. 92
Жданова М.В.
Влияние добавок нанопорошков на состав газообразных продуктов сгорания древесных опилок. 93

Жуйков А.В.
Подавление образования оксидов азота в топочных газах. 94
Жумабаева Н.Б.
Исследование режимов работы резервуаров для хранения топлив. 98
Жусупбеков Ж.Ж., Юхнов В.Е.
Объемная конденсация парогазового потока в горизонтальной трубе. 102
Жусупбеков Ж.Ж., Юхнов В.Е.
Математическое моделирование процесса объемной конденсации пара из парогазового потока в трубе конденсатора. 104
Захаревич А.В., Мошков А.Г.
Зажигание сухих диспергированных отходов деревообработки. 106
Захаревич А.В., Огородников В.Н.
Экспериментальное исследование процесса зажигания бурого угля одиночной нагретой до высоких температур частицей. 109
Захваткин А.С.
Анализ методов определения теплофизических свойств строительных теплоизоляционных материалов. 112
Захваткин А.С., Крайнов А.В.
Расчёт оптимального режима работы теплового насоса в системах утилизации ВЭР. 114
Звягинцева Е.С., Роот Л.О.
Каталитическое действие добавок нанопорошков молибдена и вольфрама на горение нанопорошка алюминия в воздухе. 118
Золотухина Е.В., Губанова Т.В., Гаркушин И.К.
Стабильный тетраэдр LiF-KF-KBr-KVO_3. 119
Иванова Е.В.
Влияние параметров вулканизационной камеры на процесс полимеризации резиновой оболочки кабеля. 120
Ильин А.П.
Новое в горении порошков металлов в воздухе. 121
Иримбетова Н.Р.
Моделирование процесса получения биогаза из отходов животноводства (птицеводства) в тенках цилиндрической формы с целью повышения его эффективности. 122
Казаков А.В.
Упрощенная динамическая модель топки котельного агрегата. 123

Коцюба Д.Н.
Анализ применения тепловых насосов в системах теплоснабжения жилых зданий. 127
Ким Т.Л.
Скорость подвигания границы диссоциации твердых растворов природного газа в угольной матрице. 131
Ким Е.С.
Тепловые процессы, протекающие при обработке металлов резанием. 134
Кирилова Т.Н.
Влияние планирования потребления электроэнергии на энергосбережение на промышленном предприятие. 136
Коваленко В.В., Степанов С.Ф., Коваленко П.В.
Управление инновационными объектами в электроэнергетике на основе кластерного подхода. 140
Кожевников Е. А., Гидаспов А. А., Постнов С. И.
Экспериментальное нахождение времени срабатывания электродетонатора повышенной безопасности. 144
Козлова Л.Е.
Перспективы внедрения электропривода по схеме «ТРН-АД» в питателях сырого угля. 148
Коновчук Т.В.
Зависимость фазового состава продуктов сгорания нанопорошка алюминия от добавок солей элементов 6 группы. 149
Костин Д. А., Разуваев А. В. 150
Срок окупаемости газопоршневой мини-ТЭЦ.
Круглов Е.Ю., Сивенков А.Б.
Характеристики тепловыделения для прогнозной оценки пожарной опасности строительных объектов из древесины. 154
Ленькова А.В., Долотовский И.В.
Система утилизации горючих отходов блоков регенерации абсорбента установок подготовки природного газа. 159
Максимов В.И., Нагорнова Т.А.
Моделирование сопряженного теплопереноса в замкнутой системе с радиационным источником нагрева. 162
Максимов В.И., Нагорнова Т.А.
Теплоперенос в системе с радиационным источником нагрева при числах грасгофа равных от 10^6 до 10^{11}. 167

Максимов В.И., Нагорнова Т.А.
Теплоперенос в открытой системе с радиационным источником нагрева. 168
Максимов В.И., Байрамов В.М.
Исследование процессов тепло- и массобмена протекающих в условиях низких в температур в морозильных камерах. 169
Максимов В.И., Бань Е.В.
Анализ использования комбинированной теплонасосной установки в условиях Западной Сибири. 173
Максимов В.И., Галынский Д.М.
Экспериментальное исследование процессов фазового перехода рабочего агента при различных тепловых нагрузках теплонасосной установки. 176
Максимов В.И., Нагорнов Д.А., Ударцев Е.И.
Экспериментальное исследование естественной и смешанной конвекции в прямоугольной области с локальным источником нагрева. 179
Мальцева А.В., Губанова Т.В., Гаркушин И.К.
Фазовый треугольник $lino_3$ – $nano_3$ – nai трехкомпонентной взаимной системы li,na || i,no_3. 182
Манчын Е.Н., Голдаев С.В. 183
Повышение надежности внешних газоходов и дымовых труб.
Мелешкин Д.С., Бульба Е.Е.
Экспериментальное исследование скорости испарения различных типов жидкостей применительно к сушке биомассы. 185
Мищенко А.Ю., Юнусов А.А.
Элементарная математическая модель пиролиза древесных отходов. 186
Мостовщиков А.В.
Фазовый состав продуктов сгорания компактированного нанопорошка алюминия. 189
Мостовщиков А.В.
Применение постоянного магнитного поля для увеличения выхода нитрида алюминия при горении нанопорошка алюминия в воздухе. 190
Мухамбеткалиев Е.Н., Юхнов В.Е. 191
Пленочная конденсация парогазовой смеси на вертикальной трубе.
Мухамбеткалиев Е.Н., Юхнов В.Е.
Влияние геометрических размеров конденсатора на процесс объемной конденсации пара из парогазового потока. 193

Науметов Т.И.
Прогнозирование процесса образования мелкодисперсного аэрозоля жидкости из парогазового потока в трубе конденсатора. 195
Никитин Д.С., Даваа А.В.
Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида вольфрама. 197
Нурпейс А.Е.
Тепломассоперенос при образовании парового сегмента в процессе кипения. 202
Облупин А.Ю., Маслов Е.А.
Численное моделирование газодинамических процессов в каналах теплоэнергетических установок методом контрольного объема. 203
Опалев А.Э.
Математическое моделирование теплопереноса в двухфазных термосифонах. 207
Павленко И.М., Степанов С.Ф.
Способ стабилизации выходного напряжения мультимодульных ветроэлектростаций. 208
Палагин А.А, Бульба Е.Е.
Анализ эффективности сушки лиственной биомассы. 212
Половников В.Ю., Аршанов А.А.
Тепловые режимы резервуаров для хранения резервных топлив ТЭС и котельных в условиях взаимодействия с окружающей средой. 213
Половников В.Ю., Глазырин Е.С.
Численный анализ влияния инженерных сооружений на тепловые потери бесканальных теплопроводов. 215
Половников В.Ю., Губанов Ю.Ю.
Численное моделирование тепловых режимов бесканальных теплотрасс в условиях промерзания грунта и наличия снежного покрова в зоне прокладки. 218
Половников В.Ю., Лазарев Д.М.
3D моделирование влияния дефектов в обмуровке на тепловые режимы котельных агрегатов. 220
Половников В.Ю., Майнгардт В.А.
Численный анализ тепловых потерь через ограждающие конструкции котельных агрегатов в условиях разрушения обмуровки. 222
Половников В.Ю., Работаев С.А.
Исследование теплозащитных характеристик жидкокерамической 225

тепловой изоляции в условиях реальной эксплуатации.
Половников В.Ю., Хабибулин А.М.
Тепловлагоперенос в низкотемпературной тепловой изоляции. 229
Половников В.Ю., Хузеев В.А.
Тепловые потери бесканальных теплотрасс в условиях промерзания грунта в зоне прокладки. 236
Польгуль А.М.
Тепломассообмен при конденсации хладагента из парогазовой смеси в непроточном для газа канале. 239
Пушненков А.А.
Энергоэкономичный запуск ленточного конвейера. 240
Радзиховская М.А., Гаркушин И.К., Данилушкина Е.Г.
Стабильный тетраэдр LiF-KBr-Li_2MoO_4-Li_2WO_4 пятикой взаимной системы Li,K||F,Br,MoO_4,WO_4. 244
Роот Л.О., Звягинцева Е.С.
Закономерности нитридообразования при горении порошков металлов и смесей нанопорошка алюминия с оксидами в воздухе. 245
Рубан Н.Ю.
О необходимости адекватного моделирования средств релейной защиты и автоматики. 247
Рыбина Э.Н., Живулин Д.Е., Брызгалов А.Н.
Гидротермальное травление кристаллов yag:nD^{3+}, полученных разными методами. 248
Рыбина Э.Н., Брызгалов А.Н.
Гидротермальное травление кристаллов алюмоиттриевого граната с примесью неодима yag:nD^{3+}. 252
Сайгаш А.С. Колганова Ю.Л., Шаненков И.И.
Уменьшение переходного сопротивления при использовании контактной пары cu-al с медным покрытием. 253
Свечканева А.А., Колганова Ю.Л., Макарова А.Ф.
Синтез ультрадисперсных оксидов железа в гиперскоростной струе электроэрозионной плазмы. 257
Сладков С.О., Саломатов В.В, Пащенко С.Э., Саломатов В.В.
Аналитическое решение задачи свч-нагрева полубесконечного угольного массива с однородными граничными условиями. 262
Слептерева Н.К.
Определение коррозионной опасности кабелей от блуждающих токов. 266

Смирнова В.В., Клековкин И.В.
Окисление и горение нанопорошка титана в воздухе. 269
Степанов С.Ф., Коваленко В.В., Коваленко П.В.
Модель системы обеспечения параллельной работы генераторов различной мощности на общую шину постоянного тока. 270
Суворов А.А., Прутик А.Ф.
Технологии и методы реализации математического моделирования энергосистем. 274
Сунгатуллина В.И., Симонова О.С.
Расчет нестационарного теплового режима участка трехслойного трубопровода тепловой сети. 275
Тагабайкызы Ж.
Моделирование процессов сушки пористых веществ на примере древесины. 278
Утанан С.А., Глазырин А.С.
Релейная защита асинхронного двигателя. Моделирование работы в програмной среде Simulink. 279
Уфа Р.А.
Разработка и исследование математической модели дифференциально-фазной высокочастотной защиты линии ДФЗ 201. 280
Хаустов С.А., Фисенко Р.Н., Буваков К.В.
Расчет температурного режима жаротрубных котлов на основе численного моделирования. 281
Хворова Е.Н.
О реализации математических моделей теплообмена в аппаратах с перекрестным током на персональном компьютере. 282
Цыганкова Ю.С.
Тепловые потери при транспортировании теплоносителя. 283
Чащина Ю.А.
Особенности процесса термического обезвреживания промышленных отходов. 287
Чащина С.А.
Численное исследование процесса теплопереноса в мазутохранилищах ТЭС. 291
Шевырёв С.А., Богомолов А.Р., Кагакин Е.И.
Влияния минеральной части углей на состав газа при бескислородной паровой газификации. 292

Шинкевич Е.В.
Фазовый состав продуктов сгорания смесей нанопорошка алюминия с оксидами элементов четвертой группы побочной подгруппы. 294
Шпилькина И.А.
Исследование теплофизических свойств строительного материала. 295
Яманбекова А.К.
Изучение процессов подземной газификации угля с целью повышений ее эффективности. 298

ISBN © ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2011

ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ И СТАТЕЙ
Всероссийской молодежной конференции

Компьютерная верстка *А.В. Захаревич, В.И. Максимов, Т.А. Нагорнова*

Подписано к печати 21.10.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 19. Уч.-изд.л 11.5. .
Заказ 1283-11. Тираж 150 экз.

Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru