

этажный дом, а также для преодоления гидравлического сопротивления двух теплообменников и всей разветвленной гидравлической сети ГВС. В часы минимального водоразбора и высокого давления в городской водопроводной сети это давление поднималось до 8 МПа. На входе насоса ГВС устанавливалось давление на 1,2-1,5 МПа ниже, чем на его выходе в часы наибольшего водоразбора, этим обеспечивались циркуляция горячей воды через теплообменник в системе ГВС и защита ее от остывания в период наименьшего водоразбора. Разрежение, обеспечиваемое насосом ГВС, было нестабильно, поскольку и давление, создаваемое насосом ХВС, находилось в существенной зависимости от водоразбора.

Выводы:

1. Определена наиболее эффективная структура по максимуму энерго- и ресурсосбережения (электроэнергия, вода и теплота) при комплексной автоматизации насосов ХВС и ГВС путем применения частотного регулирования электродвигателей насосов для ЦТП;
2. По сравнению с нерегулируемым режимом управления насосами получена экономия потребления (экономия – от расчетной договорной нагрузки):
 - 36 % по электроэнергии (34,3 % - ХВС, 44,5 % - ГВС);
 - 20,4 % по воде;
 - 29 % по теплоте;
3. Установлено, что комплексная автоматизация отличается высокой эффективностью- срок окупаемости комплектного энергосберегающего оборудования и затрат на его установку на данном ЦТП составляет 8,5 мес.;
4. Использование при автоматизации созданного комплектного энергосберегающего оборудования для управления насосами ХВС и ГВС на ЦТП в составе автоматического регулятора приводов переменного тока (преобразователя частоты) типа «Универсал», станции группового управления СГУ на 2 или 3 насоса и датчика технологического параметра (давления или температуры) на каждую из двух групп насосов (ХВС и ГВС) показало, что:
 - 1)оборудование обладает высокой надежностью;
 - 2)отличается всеми необходимыми для энергосбережения функциями;
 - 3)доступно для управления оперативным и электротехническим персоналом ЦТП без дополнительного обучения;
 - 4)приспособлено к специфике эксплуатации в условиях ЦТП;
 - 5)дешевле зарубежных аналогов.

Список литературы:

1. Соколов Е.А. Теплофикация и тепловые сети. 8-ое издание, стереотип., М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 472 с.: ил.
2. Сорокин А.М., Дамбиев Ц.Ц., Ганбаатар Ш., Баранова Е.А.. Экспериментальные исследования эффективности комплексной автоматизации насосов холодного и горячего водоснабжения на центральном тепловом пункте”. // Вестник ВСГУТУ. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2014. - № 2 (47). С, 40-43.
3. Авдошенко П.А., Воробьев А.К., Лебединец С.В. Автоматизация центральных тепловых пунктов на базе систем частотного регулирования // Теплоэффективные технологии, специальный выпуск, Информационный бюллетень 2007. -№2. С, 42-48.

О зажигании под водой двухосновного твердого топлива с термостойким стаканом спиралью накаливания средней мощности

*Барсуков В.Д. *, Голдаев С.В., Минькова Н.П. * Бабушкин Н.А.*

** НИИ прикладной математики и механики Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Открытые твердотопливные газогенераторы (ОГ) применяются при термическом и силовом воздействии на нефтеносные пласты [1], подъеме затонувших малогабаритных предметов [2] и др.

При наполнении эластичных оболочек понтонов с помощью ОГ требуется снизить температуру продуктов сгорания до уровня 373...400 К, допускаемого термостойкостью материала емкости. В монографии [2] описаны такие устройства, охлаждение газов которых достигалось за счет их барботажа через окружающую ОГ воду [2].

Конструктивно ОГ представляет собой шашку из двухосновного твердого топлива (ДТТ), предварительно покрытую прочным бронирующим составом по боковой поверхности и верхнему торцу.

В нижней части шашки имеется полость, в торцевой части которой выполнено углубление для спирали накаливания (СН). После подачи напряжения 25...40 В от внешнего источника питания осуществляется зажигание ДТТ. Для обеспечения устойчивости работы ОГ устанавливается на открытой снизу обечайке.

Недостатком такого варианта ОГ является необходимость нанесения прочного бронирующего состава на шашку и выполнение в ней полости для размещения СН. Это приводит к удорожанию его изготовления. Кроме того, в случае возникновения нештатной ситуации ОГ будет продолжать работу. Наличие обечайки исключает возможность использования этого пространства для размещения, например, необходимых при разогреве СН источников питания средней мощности, которые применяются в различных осветительных приборах под водой [3].

В работе [4] предложен способ подводного сжигания ДТТ, согласно которому в жидкости размещается цилиндрическая шашка 1 в вертикальном положении (рис.1).

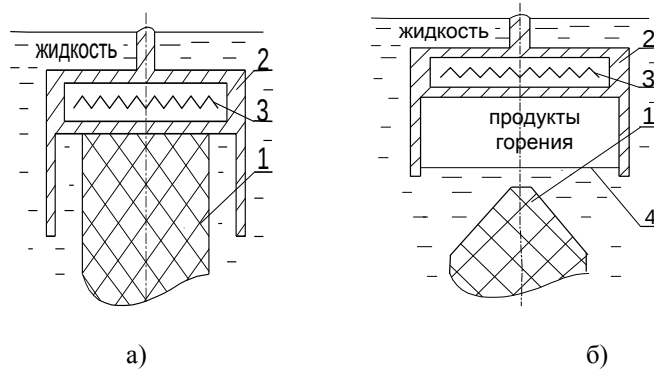


Рис. 1. Схемы расположения шашки и термостойкого стакана при различных стадиях зажигания и горения: а) при зажигании; б) при самопроизвольном прекращении горения

Локализация зоны предполагаемого горения на верхнем торце достигается использованием термостойкого стакана (ТС) 2, в днище которого размещена СН 3. ТС устанавливают с охватом его боковыми стенками верхней части шашки, причём жидкость может полностью заполнять образующийся между стенками и шашкой зазор (рис. 1а).

Перед зажиганием донная часть ТС нагревается до температуры, превышающей температуру воспламенения T_{bc} , и затем, в течение всего процесса сжигания, поддерживается эта температура.

После зажигания ДТТ по верхнему торцу осуществляется принудительное движение ТС вниз, для прекращения горения ТС отводится вверх (рис. 1б).

На верхнем торце шашки 1 возникает прослойка продуктов горения, которые вытесняют остатки жидкости из зазора с образованием свободной поверхности 4, затем они истекают наружу и всплывают.

При квазиравномерном движении ТС 2 верхняя часть шашки 1 приобретает форму усечённого конуса. В этом случае поверхность горения оказывается несколько возросшей. Если такое ее значение является излишним, то ТС 2 отводят назад (рис. 1б). В результате нижняя часть поверхности горения оказывается погружённой в жидкость. Топливо в этом месте гаснет.

Проверка реализуемости такого способа сжигания ДТТ в жидкой среде проводилась при околоатмосферном давлении следующим образом [5].

Образцы изготавливались из шашек ДТТ типа Н диаметром 20 мм, их длина изменялась в пределах 0,06...0,120 м. Они устанавливались в вертикальном положении на специальной подставке и помещались в емкость, заполненную водой. На верхний торец шашки надевался ТС в перевернутом положении, в донную часть которого была вмонтирована СН, изготовленная из нихромовой проволоки диаметром 0,25 мм и длиной 70 мм. ТС мог свободно перемещаться в вертикальном направлении. Зазор между поверхностью образца и внутренней поверхностью стакана составлял (1...2) мм и в исходном положении заполнялся жидкостью.

После подачи напряжения порядка 5 В, СН развивала мощность 15 Вт и через (6...10) с осуществлялось воспламенение торцевой поверхности образца. Когда процесс горения выходил на стационарный режим, ТС отводился вверх, и ДТТ погасало в течение долей секунды. Суммарное

время горения в зависимости от длины образцов изменялось в пределах (24...120) с. Результаты испытаний показали, что предложенный способ сжигания ДТГ обеспечивают безотказное воспламенение, стабильное горение, надёжное прерывание горения.

Параметры СН в работе [5] подбирались эмпирически, и они гарантированно обеспечивали зажигание шашки с используемыми размерами. Открытым оставался вопрос о возможности снижения мощности СН.

В настоящей работе осуществлена оценка зажигания ДТГ с помощью СН средней мощности, чтобы воспользоваться для ее разогрева существующими источниками питания, применяемыми в различных автономных светильниках под водой [3]. Расчет времени задержки зажигания плоской СН проводился с использованием критерия «температура вспышки» [6, 7]. Согласно данным работы [8] для ДТГ типа Н при его зажигании провололочкой накаливания $T_{bc} \approx 500$ К.

Предлагаемая методика обобщена для рассматриваемого случая путем учета затрат на разогрев донной части ТС также, как для СН.

Время зажигания t_k определялось путем интегрирования уравнения теплопроводности для ДТГ, считавшимся инертным веществом

$$\rho_k c_k \frac{\partial T_k}{\partial t} = \lambda_k \frac{\partial^2 T_k}{\partial x^2}. \quad (1)$$

Начальное и граничные условия записывались следующим образом:

$$T_k(x;0) = T_0 = \text{const} \quad \text{при } t = 0, \quad (2)$$

$$T_k(\infty;t) = T_0 = \text{const} \quad \text{при } x \rightarrow \infty, \quad (3)$$

$$\text{при } x = 0 - \lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial x} = q_h - (c_h \cdot \rho_h \cdot d_h + c_s \cdot \rho_s \cdot d_s) \frac{\partial T_k}{\partial t}. \quad (4)$$

Здесь ρ_k – плотность ДТГ, кг/м³; c_k – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К); λ_k , a_k – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ρ_h – плотность сплава, кг/м³; c_h – его удельная массовая теплоемкость; d_h – диаметр проволоочки; ρ_s – плотность металла, из которого изготовлен ТС, кг/м³; c_s – его удельная массовая теплоемкость; d_s – толщина донной части ТС.

Плотность теплового потока на торцевой поверхности ДТГ площадью S_c , равна $q_h = N_h / S_c$. Здесь $N_h = U_h^2 / R_l$ – мощность СН, имеющей электрическое сопротивление R_l , вычисляемое по известной формуле $R_l = \rho_e l_h / \sigma_h$, где ρ_e – удельное электрическое сопротивление сплава (нихром, константан); U_h – напряжение на СН, В; l_h – длина проволоочки; σ_h – площадь ее поперечного сечения.

Как видно из (4), в случае $d_h = 0$, $d_s = 0$, или достаточно тонких СН и ТС, получаем вариант граничного условия второго рода. В монографии [9] отмечено, что при использовании СН из нихрома толщиной 5 мкм, граничное условие (4) допустимо заменить условием нагрева ДТГ постоянным тепловым потоком. Подобный режим описывается зависимостью

$$\bar{T}_k(t) = T_0 + (2q_h / \lambda_k) \sqrt{a_k t}. \quad (5)$$

Для изменения температуры поверхности контакта топлива со СН получено следующее выражение:

$$T_f(t) = T_0 \left\{ 1 + \frac{q}{b} \left(\frac{2b}{\sqrt{\pi}} \sqrt{Fo} - 1 + \exp(b^2 Fo) \right) \cdot [1 - \text{erf}(b \sqrt{Fo})] \right\}. \quad (6)$$

В решении (5) использованы такие безразмерные параметры:

$$q = q_h \cdot \delta_h / (\lambda_k \cdot T_0); \quad b = (c_k \cdot \rho_k \cdot d_h + c_s \cdot \rho_s \cdot d_s) / (c_h \cdot \rho_h \cdot d_h). \quad (7)$$

Критерий Фурье играл роль безразмерного времени

$$Fo = a_k \cdot t / \delta_h^2.$$

где a_k – коэффициент температуропроводности, м²/с;

При выполнении прикладных расчетов нахождение значений интеграла вероятностей $\text{erf}(z)$ можно осуществлять по аппроксимационной формуле из [10]

$$\text{erf}(z) = \sqrt{1 - \exp(-1,26z^2)}.$$

Теплофизические свойства ДТГ типа Н согласно [6] равны: $\lambda_k = 0,26$ Вт/(м·К); $\rho_k = 1600$ кг/м³; $c_k = 1460$ Дж/(кг·К); $a_k = 10^{-7}$ м²/с.

Результаты расчета характеристик зажигания ДТГ Н для нескольких тепловых нагрузок СН из нихромовой проволоочки, использовавшийся в опытах, приведены в таблице 1. Мощность

варьировалась путем изменения U_h от 5 до 10 В.

Таблица 1. Влияние мощности СН на создаваемый ею тепловой поток и время зажигания

N_h , Вт	15,79	19,11	22,74	26,69	30,96	35,54
$q_h 10^{-4}$, Вт/м ²	5,03	6,08	7,24	8,5	9,85	11,31
t_z , с	8,60	5,90	4,20	3,0	2,30	1,70

В монографии [6] приведены результаты численного расчета времени зажигания ДТТ Н постоянным тепловым потоком. При $q_c = 4,2 \cdot 10^4$ Вт/м² время $t_z = 2,2$ с и температура зажигания равна 494 К.

Для сравнения была вычислена температура зоны контакта в зависимости от времени при этом же q_c по формуле (5). Оказалось, что при $t = 2,70$ с, $T_f = 499,4$ К, что подтверждает допустимость использования критерия «температура вспышки».

Проверка достоверности полученных расчетных результатов осуществлена сравнением их с опытными данными по зажиганию ДТТ Н, приведенными в таблице 2, которые выполнялись при начальной температуре 20 °С таким образом [11]. Между двумя плотно прижатыми друг к другу образцами вещества помещалась нихромовая фольга толщиной 5 мкм, по которой пропусклся постоянный электрический ток. Здесь t_h – время работы нагревательного элемента; q_h – средняя плотность теплового потока на «инертной» части зависимости температуры поверхности от времени $T_s(t)$.

Таблица 2. Влияние плотности теплового потока, создаваемого СН, контактирующей со стенками ДТТ, на время зажигания

$q_h \cdot 10^{-4}$, Вт/м ²	5,3	6,7	8,4	9,2	12	15
t_z , с	5,9	4,34	2,52	2,08	1,1	1,04

Хорошее качественное и удовлетворительное количественное соответствие свидетельствует о влиянии ТС на экранировку ДТТ, и о применимости предлагаемой упрощенной методики для подготовки эксперимента и анализа полученных результатов.

Таким образом, показано, что диапазон варьированных мощностей СН, используемых для зажигания ДТТ с термостойким стаканом, находится в пределах, обеспечиваемых автономными источниками подводного освещения.

Список литературы:

1. Термогазохимическое воздействие на малодебитные и осложненные скважины /Г.А.Чазов, В.И. Азаматов, В.В. Якимов, А.М. Савич. – М.:Недра, 1986. – 150 с.
2. Барсуков В.Д., Голдаев С.В. Подводное зажигание и горение унитарных твердых топлив. Теория, эксперимент, технические предложения – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 343 с.
3. Стопцов Н.А., Груздев М.А. Средства подводного освещения – Л.: Судостроение, 1985 – 200 с.
4. Способ сжигания унитарного твердого топлива в жидкой среде. Патент 2345277 Рос. Федерация //В.Д. Барсуков, С.В. Голдаев, Н.П. Минькова, С.Н. Поленчук. – Оpubл. в БИ №3 от 27.01.2009. – 7 с.
5. Новый способ подводного сжигания унитарного твёрдого топлива при движении фронта горения сверху вниз /В. Д. Барсуков, С. В. Голдаев, Н. П. Минькова, С. Н. Поленчук // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Материалы конференции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – С. 64–65.
6. Вилонов В.Н. Теория зажигания конденсированных веществ. – Новосибирск: Наука, 1984. – 185 с.
7. Альтман Д., Грант А. Теория зажигания твердых горючих накалиной проволокой /В кн.: Материалы IV международного симпозиума по вопросам горения и детонации волн /Пер. с англ. под общ. ред. Предводителя А.С. – М.: Оборон. издат. – С.126 – 129.
8. Зарко В.Е., Хлевной С.С. Зажигание баллистического пороха накаливаемыми проволочками//Физика горения и взрыва – 1968 –Т.4, №2 –С.165–169.
9. Голдаев С.В. Тепловое воздействие на конденсированные вещества плоскими и цилиндрическими нагревателями – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 180 с.
10. Резников А. Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
11. Земских В.И., Лейпунский О.И. Определение кинетики тепловыделения конденсированных реагирующих веществ при зажигании по зависимости температуры поверхности от времени //Физика горения и взрыва – 1987 – Т.23, №3 – С.3–8.