

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА ДЛЯ
НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ МИНИ-ТЭС

О.В. Высокоморная, Е.С. Потегаяева

Научный руководитель инженер-исследователь О.В. Высокоморная
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Увеличение тарифов на энергоснабжение, удаленность предприятий добывающей промышленности от единой энергетической системы и снижение уровня надежности систем энергоснабжения стало причиной развития малой энергетики на предприятиях нефтяной и газовой отрасли и необходимости использования надежных автономных энергоустановок [4]. В настоящее время в удаленных районах Восточной Сибири и Дальнего Востока России для обеспечения электрической энергией малых технологических потребителей (крановых узлов, пунктов телемеханики и электрохимической защиты магистральных газопроводов) функционируют более 100 автономных энергоустановок, работающих по замкнутому термодинамическому циклу и использующих в качестве топлива транспортируемое сырьё – природный газ. Схема такой энергоустановки представлена на рис. 1.

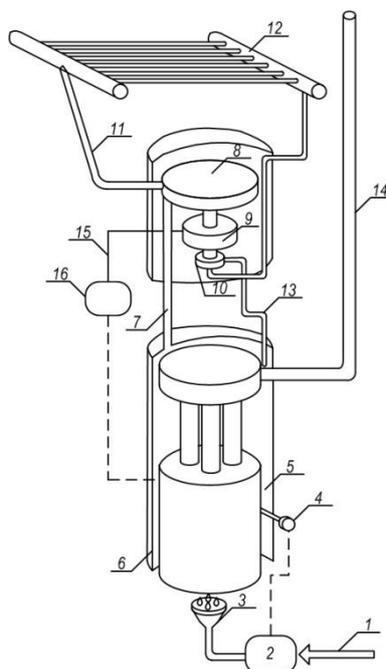


Рис.1. Схема мини-ТЭС, работающей по замкнутому циклу пара:

1 – магистраль подвода органического топлива; 2 – панель управления подачей горючего; 3 – горелка; 4 – термостат; 5 – органическая жидкость; 6 – парогенератор; 7 – паропровод; 8 – турбина; 9 – генератор переменного тока; 10 – насос; 11 – трубка подачи пара в конденсатор; 12 – конденсатор; 13 – трубка вывода конденсата; 14 – дымовая труба; 15 – кабели входа переменного тока к выпрямителю; 16 – электрический щит

При эксплуатации таких мини-ТЭС часто возникают отказы в работе элементов. В работе [2] показано, что одной из причин отказов в работе мини-ТЭС, функционирующих на основе термодинамического цикла Ренкина с использованием органического рабочего вещества [6] и применяемых для автономного энергоснабжения удаленных объектов газотранспортной системы в Восточной части России, является повышенная температура рабочего тела на выходе из конденсатора.

В качестве рабочего вещества на эксплуатируемых мини-ТЭС в настоящее время применяется дихлорбензол. В условиях климата России с большими перепадами температуры наружного воздуха целесообразным является применение альтернативных теплоносителей для предотвращения остановов вследствие предельно высокой температуры рабочего вещества. В качестве альтернативного теплоносителя для данной энергоустановки можно рассмотреть одно из заявленных заводом-изготовителем вещество – толуол. Учитывая специфические требования, предъявляемые к рабочему веществу (одновременно должно являться и смазкой для подшипника скольжения вала турбогенератора [6]) также в качестве альтернативы дихлорбензолу и толуолу можно рассмотреть вещество с хорошими смазывающими свойствами – даутерм А [3].

Цель работы – определение с помощью численного моделирования необходимых параметров рабочего вещества для обеспечения надежной работы мини-ТЭС при эксплуатации в условиях Восточной Сибири и Дальнего Востока России.

В работе [1] представлены физическая и математическая модели теплопереноса при конденсации рабочего вещества в соответствующем узле энергоустановки. Модель включала в себя уравнение энергии для паров рабочего вещества, уравнения теплопроводности для плёнки конденсата и стенки трубки, уравнения диффузии, движения, неразрывности и состояния паров рабочего вещества. Система нестационарных дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями решалась методом конечных разностей с использованием неявной четырёхточечной разностной схемы.

С использованием представленной в [1] модели получены значения температуры на выходе из конденсатора T_{output} мини-ТЭС при различных значениях температуры наружного воздуха, а также при различных температурах рабочего вещества на входе в конденсатор, соответствующих различным значениям мощности энергоустановки (табл. 1).

Численное моделирование выполнено при следующих значениях теплофизических характеристик [3, 5]: толуол: $C_1=1500$ Дж/(кг·К), $\rho_{input}=22$ кг/м³, $\lambda_1=0,105$ Вт/(м·К); $C_2=1325$ Дж/(кг·К), $\rho_2=687$ кг/м³, $\lambda_2=0,118$ Вт/(м·К); $Q_c=411,33 \cdot 10^3$ Дж/кг;

даутерм А: $C_1=1681$ Дж/(кг·К), $\rho_{input}=1,179$ кг/м³, $\lambda_1=0,02$ Вт/(м·К); $C_2=1629,5$ Дж/(кг·К), $\rho_2=1043,6$ кг/м³, $\lambda_2=0,1355$ Вт/(м·К); $Q_c=320,2 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Здесь C – теплоёмкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; λ – теплопроводность, Вт/(м·К); Q_c – тепловой эффект конденсации вещества, Дж/кг; индексы «1», «2» и «input» соответствуют парам, конденсату рабочего вещества и состоянию на входе в конденсатор соответственно.

Таблица 1

Зависимость температуры рабочего вещества на выходе из конденсатора T_{output} от температуры наружного воздуха T_{out} при разных значениях входной температуры T_{input}

Толуол									
$P, \text{Вт}$	$T_{input}, \text{К}$	$T_{out}, \text{К}$	253	263	273	283	293	303	313
1000	393	$T_{output}, \text{К}$	375,35	381,69	388,2	394,87	401,72	408,74	415,94
2000	408	$T_{output}, \text{К}$	384,85	391,38	398,08	404,96	412,01	419,24	426,67
3000	420	$T_{output}, \text{К}$	392,56	399,24	406,11	413,15	420,38	427,8	435,43
4000	427	$T_{output}, \text{К}$	397,12	403,9	410,87	418,01	425,35	432,89	440,64
Даутерм А									
$P, \text{Вт}$	$T_{input}, \text{К}$	$T_{out}, \text{К}$	253	263	273	283	293	303	313
1000	540	$T_{output}, \text{К}$	502,26	506,94	511,71	516,59	521,58	526,67	531,87
2000	550	$T_{output}, \text{К}$	511,38	516,2	521,13	526,17	531,31	536,56	541,94
3000	556	$T_{output}, \text{К}$	517,03	521,94	526,97	532,1	537,35	542,71	548,2
4000	560	$T_{output}, \text{К}$	520,87	525,85	530,94	536,15	541,47	546,91	552,48

Анализируя результаты численного моделирования, представленные в таблице 1, можно сделать вывод о нецелесообразности использования толуола в качестве рабочего вещества в условиях температур наружного воздуха, соответствующих летнему периоду на Дальнем Востоке России, т.к. это вещество характеризуется относительно невысокой температурой насыщения (около 390 К), и градиент температур между рабочим веществом и охлаждающим воздухом недостаточен для интенсивного теплоотвода.

Результаты численного моделирования процесса конденсации с использованием в качестве рабочего вещества даутерма А указывают на возможность использования данного вещества в автономных мини-ТЭС даже в условиях повышенной температуры наружного воздуха.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что для надёжной работы автономных источников энергоснабжения с замкнутым циклом пара в условиях повышенной температуры наружного воздуха в цикле необходимо использовать органические вещества с температурой насыщения, превышающей значение температуры наружного воздуха на величину порядка 100 К.

Литература

1. Высокоморный В.С. Анализ интегральных характеристик надёжности и ресурсоэффективности мини-ТЭС удаленных линейных объектов газотранспортной системы России: диссертация кандидата техн. наук – Томск, 2013. – 127 с.
2. Высокоморный В.С., Высокоморная О.В., Стрижак П.А. Оценка параметров надёжности работы автономных устройств энергоснабжения удаленных линейных объектов магистральных газопроводов Восточной Сибири и Дальнего Востока // Известия Томского Политехнического университета, 2013. – № 4. – С. 38– 42.
3. Высокотемпературные органические теплоносители «Энергохимкомплект» // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ehk.ru/>
4. Долотовский И.В., Долотовская Н.В., Ларин Е.А. Системный анализ эффективности электростанций собственных нужд на предприятиях переработки газа и газового конденсата // Вестник СГТУ, 2012. – №2 (66). – С. 66 – 74.
5. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Под ред. Н.Б. Варгафтик.– М.: ООО «Старс», 2006. – 720 с.
6. Энергоустановки компании «Ormat» // [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ormat.com/>.