

функции производится до требуемой точности. Следует отметить, что использование предлагаемого критерия с ортогональной системой экспоненциальных функций позволяет удовлетворительно выполнить аппроксимацию кривых разгона любого вида (S-образных, импульсных и др.) до 3—4-го порядка.

В ы в о д ы

Использование временной погрешности в оценке точности аппроксимации, определенной как функция ординатной ошибки, времени интегрирования и производной заданной кривой, снижает объем вычислительных операций, обеспечивает высокую точность и сходимость исходной аппроксимирующей функции. Применение полученного критерия свободно от ограничений по характеру кривых разгона, а по качеству превосходит интегральный квадратичный критерий ошибки в области малых времен. Предлагаемый критерий не исключает применение его модификаций в частотной области, а также — во временной с различными ортогональными функциями.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г у р е ц к и й Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польск. — М.: Машиностроение, 1974. — 328 с. 2. Б а л а к и р е в В.С., Д у д н и к о в Е.Г., Ц и р л и н А.М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. — М.: Энергия, 1967. — 232 с. 3. И ц х о к и Я.С. Приближенный метод анализа переходных процессов в сложных линейных цепях. — М.: Советское радио, 1969. — 176 с. 4. С о л о д о в н и к о в В.В., Д м и т р и е в А.И., Е г у п о в Н.Д. Ортогональный метод анализа и синтеза линейных систем автоматического управления на основе понятия моментов. — В сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника. М.: Машиностроение, 1968, вып. 8, с. 30—86.

УДК 621.1.016

В.К. СУДИЛОВСКИЙ, канд. техн. наук,
Ю.В. МУЛЕВ, инженер,
В.В. КРАВЕЦ, инженер,
В.В. БОБРОВ, студент (БПИ)

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНТАЛЬПИЙ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА ПО ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ

Зачастую при проведении экспериментальных работ и эксплуатационных испытаний теплотехнического оборудования и дальнейшем осуществлении теплотехнических расчетов определяются и используются величины энтальпий воды и водяного пара по линии насыщения. Так как на линии насыщения температура и давление пара связаны однозначно, то определение энтальпий воды и водяного пара можно осуществлять по любому из этих параметров. Однако как экспериментатору, так и эксплуатационнику важно при этом достичь оптимальной степени точности, что приводит к необходимости выбора измеряемого параметра, типа измерительного прибора и его класса точности. До сих пор решение такого вопроса осуществляется интуитивно, так как на него отсутствует обоснованный ответ.

С целью уточнения данного вопроса авторами проведен анализ погрешностей определения энтальпий, для чего были рассчитаны частные производные воды и водяного пара на линии насыщения по давлению и температуре.

Расчет производных осуществлялся на ЭВМ по уравнениям, разработанным физической лабораторией ВТИ [1], обладающих в настоящее время лучшими характеристиками для машинной реализации и наиболее высокой точностью. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

На рис. 1, 2 изображены полученные зависимости частных производных по давлению и температуре энтальпий воды $(\frac{\partial h^I}{\partial P})_T$, $(\frac{\partial h^I}{\partial T})_P$ и водяного пара $(\frac{\partial h^{II}}{\partial P})_T$, $(\frac{\partial h^{II}}{\partial T})_P$ на линии насыщения.

Данные зависимости позволяют рассчитывать погрешности определения энтальпий воды и водяного пара и обоснованно осуществлять в каждом конкретном случае выбор методик измерений, измеряемых параметров, необходимых приборов.

В качестве примера в табл. 2 приведены результаты расчета абсолютных погрешностей определения энтальпий воды при измерении давления Δh^I_P и при измерении температуры Δh^I_T и соответственно водяного пара Δh^I_P , Δh^I_T . Для расчета принято, что измерение температур осуществляется термо-

Т а б л и ц а 1. Частные производные энтальпий воды и водяного пара на линии насыщения

$P, 2$ кгс/см ²	$P,$ МПа	$T_s,$ К	$(\frac{\partial h^I}{\partial P})_T,$ кДж/кг·МПа	$(\frac{\partial h^I}{\partial T})_P,$ кДж/кг·К	$(\frac{\partial h^{II}}{\partial P})_T,$ кДж/кг·МПа	$(\frac{\partial h^{II}}{\partial T})_P,$ кДж/кг·К
10,0	0,98	452,19	172,047	4,408	29,202	0,884
20,0	1,96	484,55	124,802	4,584	13,254	0,402
30,0	2,94	505,92	90,641	4,722	1,667	0,038
40,0	3,92	522,33	74,052	4,865	- 4,104	-0,302
50,0	4,90	535,84	64,047	5,015	- 7,876	-0,641
60,0	5,88	547,42	57,335	5,170	-10,646	-0,976
70,0	6,86	557,62	52,546	5,338	-12,826	-1,320
80,0	7,85	566,76	48,955	5,506	-14,665	-1,663
90,0	8,83	575,07	46,175	5,682	-16,289	-2,015
100,0	9,81	582,70	43,995	5,962	-17,701	-2,372
110,0	10,79	589,78	42,199	6,050	-19,026	-2,736
120,0	11,77	596,39	40,746	6,239	-20,229	-3,100
130,0	12,75	602,60	39,548	6,436	-21,292	-3,473
140,0	13,73	608,46	38,565	6,633	-22,318	-3,850
150,0	14,71	614,00	37,710	6,838	-23,344	-4,232
160,0	15,69	619,28	37,026	7,043	-24,285	-4,626
170,0	16,67	624,31	36,385	7,248	-25,140	-5,011
180,0	17,65	629,12	35,914	7,467	-25,952	-5,405
190,0	18,63	633,74	35,487	7,684	-26,807	-5,812
200,0	19,61	638,18	35,102	7,902	-27,577	-6,218
210,0	20,59	642,45	34,759	8,124	-28,347	-6,624
220,0	21,57	646,57	34,503	8,346	-29,031	-7,035

метром со шкалой 0–400 °С и классом точности 0,5, а измерение давлений – манометром со шкалой 0–2,50 МПа и классом точности 1,0, часто применяемыми для проведения наладочных испытаний на котлах докритического давления.

Из приведенного расчета можно сделать вывод, что для определения энтальпий воды и водяного пара на линии насыщения в данном случае до дав-

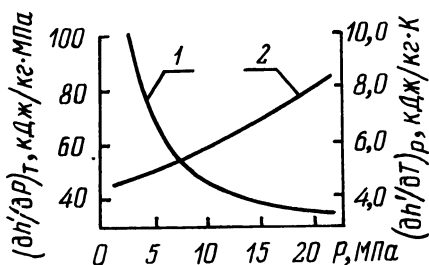


Рис. 1. Частные производные по давлению и температуре энтальпий воды на линии насыщения: 1 – $(\frac{\partial h'}{\partial P})_T$; 2 – $(\frac{\partial h'}{\partial T})_P$.

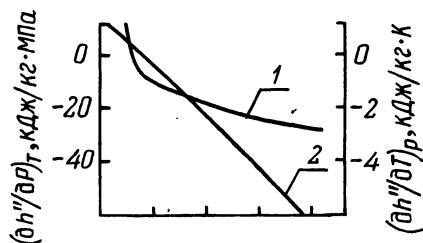


Рис. 2. Частные производные по давлению и температуре энтальпий водяного пара на линии насыщения: 1 – $(\frac{\partial h''}{\partial P})_T$; 2 – $(\frac{\partial h''}{\partial T})_P$.

Т а б л и ц а 2. Абсолютные погрешности определения энтальпий воды и водяного пара

P , кгс/см ²	P , МПа	T_s , К	Δh_p^I , кДж/кг	Δh_T^I , кДж/кг	Δh_p^{II} , кДж/кг	Δh_T^{II} , кДж/кг
10,0	0,98	452,19	42,151	8,816	7,156	1,768
20,0	1,96	484,55	30,578	9,168	3,247	0,804
30,0	2,94	504,92	22,207	9,444	0,410	0,075
40,0	3,92	522,33	18,143	9,729	1,005	0,603
50,0	4,90	535,84	15,691	10,031	1,927	1,282
60,0	5,88	547,42	14,049	10,341	2,610	1,952
70,0	6,86	557,62	12,876	10,676	3,142	2,639
80,0	7,85	566,76	11,996	11,011	3,595	3,327
90,0	8,83	575,07	11,313	11,363	3,999	4,031
100,0	9,81	582,70	10,781	11,724	4,336	4,743
110,0	10,79	589,78	10,341	12,101	4,663	5,472
120,0	11,77	596,39	9,985	12,478	4,956	6,201
130,0	12,75	602,60	9,691	12,872	5,216	6,947
140,0	13,73	608,46	9,448	13,266	5,468	7,701
150,0	14,71	614,00	9,239	13,676	5,719	8,463
160,0	15,69	619,28	9,071	14,087	5,949	9,251
170,0	16,67	624,31	8,979	14,497	6,159	10,022
180,0	17,65	629,12	8,799	14,765	6,360	10,810
190,0	18,63	633,74	8,694	15,369	6,570	11,623
200,0	19,61	638,18	8,602	15,805	6,758	12,436
210,0	20,59	642,45	8,518	16,249	6,947	13,248
220,0	21,57	646,57	8,455	16,693	7,114	14,070

лений в 0,9 МПа следует использовать показания термометра, а при давлениях свыше 0,9 МПа наиболее точные результаты измерения будут получены с помощью манометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовой алгоритм расчета технико-экономических показателей конденсационных энергоблоков мощностью 300, 500, 800 и 1200 МВт. — М.: СПО, Союзтехэнерго, 1978. — 378 с.

УДК 621.1.016

В.К. СУДИЛОВСКИЙ, канд.техн.наук,
В.В. КРАВЕЦ, инженер,
Ю.В. МУЛЕВ, инженер,
А.В. БУЗО, студент (БПИ)

К ВОПРОСУ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВЛАЖНОГО ВОДЯНОГО ПАРА

Определение массового расходного паросодержания влажного водяного пара имеет большое значение как при изучении теплообмена и механизма течения пароводяной смеси, так и для режимных испытаний и регулирования технологических процессов в парогенераторах, ядерных реакторах и паровых турбинах.

Однако до сих пор непосредственное и непрерывное измерение паросодержания влажного пара не нашло практического решения. Одной из важных причин такого положения является отсутствие как теоретических, так и экспериментальных данных по диэлектрической проницаемости влажного водяного пара.

В связи с этим в отраслевой научно-исследовательской лаборатории оптимизации режимов и комплексной автоматизации тепловых электрических станций БПИ выполнено исследование электрофизических свойств влажного водяного пара на изобаре 0,294 МПа с использованием специального электронного преобразователя, предназначенного для получения непрерывного электрического сигнала по степени сухости водяного пара. Исследования проводились на экспериментальном стенде (рис. 1). Получение влажного пара заданной степени сухости достигалось путем дросселирования и последующего охлаждения перегретого пара, подаваемого на стенд из паровой магистрали с параметрами $P = 1,2$ МПа, $T = 500$ К. Для охлаждения использовалась техническая вода с температурой 288 К и давлением 0,5 МПа. Экспериментальный стенд представляет трехсекционный рекуператор типа "труба в трубе", выполненный из труб $D_{\gamma} 32$ и $D_{\gamma} 50$. Длина каждой секции 3 м. Пар протекает по внутренним трубам теплообменника, охлаждающая вода — в межтрубном пространстве, причем по охлаждающей воде возможно отключение одной или двух секций. На выходе пара из последней секции теплообменника установлен емкостный датчик [1].

Расход пара измерялся диафрагмой с датчиком типа ДМ и вторичным прибором КСД-2 класса точности 0,2, расход охлаждающей воды — мерным