Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 48, №3, 2021 Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. Vol.48, No.3, 2021 http://vestnik.dgtu.ru/_ISSN (Print) 2073-6185 ISSN (On-line) 2542-095X

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING УДК 621.56, 621.362

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-3-6-15

Оригинальная статья / Original Paper Разработка имитационной модели энергосберегающей системы на базе ПГУ-110 и АБХМ для проведения энергетического и термодинамического анализа Л.В. Галимова, Д.З. Байрамов

Астраханский государственный технический университет, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Россия

Резюме. Цель. Имитационное моделирование находит все большее применение для исследования сложных экономических, технических, биологических и т.д. систем. Такие системы характеризуются многофакторностью связей их функционирования, нелинейными зависимостями между элементами системы и стохастичностью их параметров и т.д. Целью данной работы является разработка имитационной модели на базе языка программирования С# для энергосберегающей системы ПГУ-110 и АБХМ на основе результатов ручного анализа по данным натурного эксперимента. Метод. Для разработки имитационной модели применяются методы линейной и нелинейной аппроксимации, методы энергетического и термодинамического анализа, а также методы математического имитационного моделирования. Результат. Результатом данной работы является разработанное программное обеспечение SAESSv. 3.0, которое позволяет вести анализ работы системы ПГУ-110 и АБХМ вместе и по отдельности в широком диапазоне параметров и в реальном времени. Вывод. Для оценки адекватности разработанной программы проведен сравнительный анализ программного и ручного расчета. Отклонения не превышают в среднем 3 %, что подтверждает достоверность имитационной модели.

Ключевые слова: энергосбережение, теплоиспользующая холодильная машина, имитационная модель, аппроксимация, адекватность модели

Для цитирования: Л.В. Галимова, Д.З. Байрамов. Разработка имитационной модели энергосберегающей системы на базе ПГУ-110 и АБХМ для проведения энергетического и термодинамического анализа. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (3): 6-15. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-3-6-15

Development of a simulation model of energy-saving system based on CCGT-110 and **ABCM** for energy and thermodynamic analysis L.V. Galimova, D.Z. Bayramov

Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva Str., Astrakhan 414056, Russia

Abstract. Objectives. Simulation modeling is increasingly being used for the study of complex economic, technical, biological, etc. systems. Such systems are characterized by multifactorial relationships of their functioning, nonlinear dependencies between system elements and stochasticity of their parameters, etc. The purpose of this work is to develop a simulation model based on the C# programming language for the energy-saving CCGT-110 and ABCM system based on the results of manual analysis according to the data of a full-scale experiment. Method. Methods of linear and nonlinear approximation, methods of energy and thermodynamic analysis, as well as methods of mathematical simulation modeling are used to develop the simulation model. Result. The result of this work is the developed software SAESS v. 3.0, which allows you to analyze the operation of the CCGT-110 and ABCM systems together and separately in a wide range of parameters and in real time. Conclusion. To assess the

adequacy of the developed program, a comparative analysis of software and manual calculation was carried out. Deviations do not exceed an average of 3 %, which confirms the reliability of the simulation model.

Keywords: energy saving, heat-using refrigeration machine, simulation model, approximation, adequacy of the model

For citation: L.V. Galimova, D.Z. Bayramov. Development of a simulation model of energy-saving system based on CCGT-110 and ABCM for energy and thermodynamic analysis. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (3): 6-15. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-3-6-15

Введение. Цель имитационного моделирования в общем случае состоит в клонировании поведения сложных структурированных экономических, энергетических, биологических и т.д. систем во времени. Имитационное моделирование позволяет объединить практический и теоретический опыт с математическими методами для анализа сложных схем [1, 14]. С развитием компьютерной техники имитационное моделирование получило широкое применение при решении задач в строительстве, транспортировке, производственных процессах, технических системах и т.д. [2, 12]. Также имитационное моделирование позволяет исследовать сложные действующие технические схемы, на которых возможно лишь проведение натурных экспериментов.

Объектом исследования является сложная энергосберегающая система на базе ПГУ-110 и АБХМ HSA-1157, расположенная в городе Астрахань. В работах [2, 4, 5] приводятся результаты исследования АБХМ и ПГУ в составе данной системы. В работах [5, 6] проводился полный энергетический анализ ПГУ-110 и АБХМ в рамках системного анализа. По результатам выявлен ряд отклонений в работе ПГУ: температура уходящих газов после КУ превышает проектные значения в среднем на 19 %, давление уходящих газов на 18,4 %, эффективность работы градирни оборотного водоснабжения не превышает 65 %.

Постановка задачи. Повторное проведение анализа с новыми данными является достаточно трудоемкой задачей. Для возможности многократного проведения системного анализа энергосберегающей системы целесообразно разработать математическую имитационную модель, которая позволяет учесть технические характеристики изучаемой системы и влияние на нее внешних факторов. В задачи моделирования входят:

- 1. Энергетический и эксергетический анализ АБХМ;
- 2. Энергетический и эксергетический анализ ПГУ;
- 2.1. Энергетический и эксергетический анализ ГТУ;
- 2.2. Энергетический и эксергетический анализ ГТУ КУ ПТ;
- 2.3. Энергетический и эксергетический анализ 2 ГТУ 2КУ ПТ;

Разработка любой имитационной модели требует создания блок-схемы со схематичным изображением логики работы модели. Обобщенная блок – схема программы для проведения системного анализа энергосберегающей системы на базе абсорбционный холодильной машины и парогазовой установки представлена на рис. 1, а остальные блоки описаны в работе [7]. Блок – схема состоит из 3 основных блоков: блок анализа АБХМ, блок анализа ПГУ, блок анализа ПГУ-АБХМ. Блок анализа ПГУ имеет подблоки:

- 1. Анализ одной ГТУ;
- 2. Анализ одной ГТУ с котлом-утилизатором и паровой турбиной;
- 3. Анализ двух ГТУ с двумя котлами-утилизаторами и одной паровой турбиной;

Анализ ПГУ – АБХМ состоит из 3-х подблоков: анализ ПГУ-АБХМ; оптимизация; прогнозирование.

Методы исследования. Для разработки имитационной модели были определены математические зависимости термодинамических параметров рабочих веществ системы ПГУ-АБХМ, которые описывают поведение веществ при изменении влияющих факторов.



Рис. 1. Блок-схема «Общий вид» Fig. 1. Block diagram «General form»

Рабочими веществами системы является: ГТУ – воздух, топливо; КУ – вода, вода в состоянии насыщенной жидкости, насыщенный пар, перегретый пар; ПТ – перегретый пар, конденсат; АБХМ – водный раствор бромида лития, холодильный агент, этиленгликоль.

Математические зависимости для АБХМ были получены при помощи программ для статистического анализа данных DataFit и OriginPro 2018 [8, 9]. Математические зависимости термодинамических параметров воздуха, воды и водяного пара приняты по справочникам [1, 13]. Математические зависимости энтальпии для перегретого водяного пара представлены в табл.1, коэффициенты математических зависимостей энтальпии – в табл.2.

Таблица 1. Математические зависимости энтальпии для перегретого водяного пара Table 1. Mathematical dependences of enthalpy for superheated water vapor

Энтальпия перегретого водяного пара при давлении	/ Enthalpy of superheated water vapor at pressure
P = 0.01 - 0.1 fap	

 $I = (z0 + A01*P + B01*t + B02*t^{2} + C02*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)$

Энтальпия перегретого водяного пара при давлении/ Enthalpy of superheated water vapor at pressure P = 0,1 - 1 бар

 $I = (z0 + A01*P + B01*t + B02*t^{2} + C02*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)$

Энтальпия перегретого водяного пара при давлении/ Enthalpy of superheated water vapor at pressure P = 1 - 10 бар

 $I = z0+a*P+b*t+c*P^2+d*t^2+f*P*t$

Энтальпия перегретого водяного пара при давлении/ Enthalpy of superheated water vapor at pressure P = 10 - 150 бар

 $I = (z0 + A01*P + B01*t + B02*t^{2} + B03*t^{3})/(1 + A1*P + A2*P^{2} + A3*P^{3} + B1*t + B2*t^{2})$

Таблица 2. Коэффициент для математических зависимостей энтальпии перегретого водяного пара

Table 2. Coefficient for mathematical dependences of the enthalpy of superheated water vapor

Энтальпия перегретого водяного пара при давлении/ Enthalpy of superheated water vapor at pressure									
P = 0	0,01 - 0,1 бар	P = 0,1 - 1 fap $P = 0,1 - 1$ fap $P = 1 - 10$ fap $P = 10 - 15$			Р = 10 - 150 бар				
z0	2377,61	z0	2493,37157	z0	2478,2538	z0	2011,198440		
A01	57,4327	A01	-420600,5856	а	-7,0709	A01	-58,03103		
B01	3,73E+07	B01	3200,44282	b	1,97676	B01	-16,47908		
B02	-71135,38	B02	1,96992	с	0,02444	B02	0,21885		
C02	22053,98	C02	-291,86264	d	0,0000944	B03	0,0002331780		
A1	0,02099	A1	-168,40026	f	0,01149	A1	-0,01322		
A2	-0,000010	A2	-0,44595			A2	0,0000342738		
B1	14924,75	B1	1,28001			A3	-0,000000832		
B2	-20,84448	B2	-0,00016221			B1	-0,00992		
C2	-2,1249	C2	0,01334			B2	0,0001051690		

Математические зависимости энтропии для перегретого водяного пара представлены в табл. 3, а коэффициенты - в табл. 4.

Таблица 3. Математические зависимости энтропии для перегретого водяного пара Table 3. Mathematical dependences of entropy for superheated water vapor

Энтропия перегретого водяного пара при давлении/ Entropy of superheated water vapor at pressure P = 0.01 - 0.1 бар

 $s = (z0 + A01*P + B01*t + B02*t^{2} + C02*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)$

Энтропия перегретого водяного пара при давлении/ Entropy of superheated water vapor at pressure P = 0,1 - 1 бар

 $s = (z0 + A01*P + B01*t + B02*t^2 + C02*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^2 + B2*t^2 + C2*P*t)$

Энтропия перегретого водяного пара при давлении/ Entropy of superheated water vapor at pressure P = 1 - 10 бар

 $s = (z0 + A01*P + B01*t + B02*t^{2} + C02*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^{2} + B2*t^{2} + C2*P*t)/(1 + A1*P + B1*t^{2} + C2*P*t)/(1 + C2$

Энтропия перегретого водяного пара при давлении/ Entropy of superheated water vapor at pressure P = 10 - 150 бар

 $s = (z0 + A01*P + B01*t + B02*t^2 + C02*P*t)/(1 + A1*P + B1*t + A2*P^2 + B2*t^2 + C2*P*t)$

Таблица 4. Коэффициент для математических зависимостей энтропии перегретого водяного пара

Table 4. Coefficient for mathematical dependencies of the entropy of superheated water vapor

Энтропия перегретого водяного пара при давлении/ Entropy of superheated water vapor at pressure									
P = (),01 - 0,1 бар	Р	= 0,1 - 1 бар	Р = 1 - 10 бар		Р = 10 - 150 бар			
z0	2,1052E+06	z0	50,12808	z0	z0 13158900		6,27906		
A01	2,8221E+09	A01	5330,24277	A01	169317000	A01	-0,10249		
B01	1,0940E+05	B01	2,60595	B01	1320730,00	B01	0,00948		
B02	49,03689	B02	0,0002977	B02	-443,20062	B02	-0,0000207198		
C02	4,9260E+06	C02	9,6393800	C02	397107,055	C02	0,00084487		
A1	3,3762E+08	A1	735,4058300	A1	28418100	A1	-0,00281		
A2	2,2906E+08	A2	53,8998900	A2	251735,016	A2	0,0000340924		
B1	11122,24	B1	0,2899700	B1	161835,484	B1	0,00058660		
B2	1,25504	B2	-0,0000481	B2	-87,96357	B2	-0,0000023977		
C2	370892,63	C2	0,7789500	C2	35813,8497	C2	0,0000994419		

Причиной достаточно сложных полиноминальных зависимостей является их нелинейность и зависимость от двух параметров. Полученные зависимости для основных термодинамических параметров рабочих веществ легли в основу разработанной имитационной модели и позволили получить максимальную достоверность.

На основе представленных блок-схем и математических зависимостей разработана автоматизированная система анализа работы энергосберегающей установки на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины и парогазовой установки ПГУ-110 на языке программирования С#. С# – это объектно- и компонентно-ориентированный язык программирования. С# предоставляет языковые конструкции для непосредственной поддержки такой концепции работы. Благодаря этому С# подходит для создания и применения программных компонентов [20]. Блок АБХМ предназначен для анализа абсорбционной холодильной машины отдельно от всей системы.

Для проведения термодинамического анализа необходимо определить параметры узловых точек. Дальнейший термодинамический расчет производится по описанной в данной литературе [3, 10] методике, а эксергетический анализ – по методике, представленной в [5, 17, 18].

Основное окно, которое показано на рис. 2, состоит из 3-х областей: ввод исходных данных; таблица с выводом термодинамических свойств; область результатов расчета. Инструкция по работе с блоком АБХМ представлена в программе во вкладке «Справка». Для оценки адекватности разработанного блока был проведен программный расчет по результатам замеров за 2019 год и проведено сравнение с ручным расчетом.



Рис. 2. Блок АБХМ Fig. 2. Block ABCH

В табл. 5 представлены результаты программного расчета.
Таблица 5. Результаты программного расчета
Table 5 Results of the program calculation

Table 5. Results of the program calculation										
Наименование Name	ед. измер.	Май	Июнь	Июль	Август					
	Units	May	June	July	August					
Температура конденсации			0.5.4		0.5.1					
Condensing temperature	°C	36,4	36,4	37,3	37,1					
Температура кипения Boiling temperature	°C	4,5	6,1	5,5	3,3					
Концентрация слабого раствора	0/	50.2	50 4	517	52.5					
Weak solution concentration	%0	52,5	32,4	51,7	52,5					
Концентрация крепкого раствора	0/	56 0	56 /	57 1	57 1					
Strong solution concentration	70	30,2	50,4	57,1	57,1					
Кратность циркуляции Circulation rate		14,4	13,2	12,8	12,4					
Расход холодильного агента		11	0.0	0.0	1					
Refrigerant consumption	KI/C	1,1	0,9	0,9	1					
Интервал дегазации Degassing interval	%	4	4,2	4,4	4,4					
Уд. тепловая нагрузка на испаритель	к Лук/кг	2372	2328	2289	2290					
Ud. heat load on the evaporator	КДЖ/КІ	2312	2320	220)	2270					
Уд. тепловая нагрузка на конденсатор	к Лук/кг	2485	2385	2400	2414					
Ud. thermal load on the capacitor	кдлк/ кі	2405	2303	2400	2717					
Уд. тепловая нагрузка на абсорбер	к Лж/кг	3307	3218	3223	3209					
Ud. heat load on the absorber	K/L/K/ KI	5507	5210	5225	5207					
Уд. тепловая нагрузка на генератор	кЛж/кг	3419	3380	3313	3304					
Ud. generator heat load	КДЖК	5117	5500	5515	5501					
Полная тепловая нагрузка на испаритель	кВт	2609	2095	2060	2290					
Total heat load on the evaporator		_007	_070							
Полная тепловая нагрузка на конденсатор	кВт	2734	2147	2160	2414					
Total thermal load on the condenser	1.2.1	_,								
Полная тепловая нагрузка на абсорбер	кВт	3638	2896	2901	3209					
Total heat load on the absorber			_0/0							
Полная тепловая нагрузка на генератор	кВт	3761	3042	2982	3304					
Total heat load on the generator		0.10								
Тепловой коэффициент Heat coefficient		0,69	0,69	0,69	0,69					

На рис. 3 представлена сравнительная гистограмма ручного и программного расчета удельных тепловых нагрузок на аппараты АБХМ в период 2019 года. По гистограммам можно видеть, что разница программного и ручного расчета невелика.

Следовательно, разработанный блок прошел проверку на достоверность и может быть использован. Блок анализ ПГУ предназначен для анализа ПГУ без абсорбционной холодильной машины.

Система ПГУ-110 является действующей, поэтому задача данного блока сводится к энергетическому и эксергетическому анализу. Энергетический анализ сводится к определению энтальпии и энтропии в точках цикла, а также к определению удельных тепловых нагрузок по известной методике [11, 16].







3000

2750

2500 2250

2000

1750

1500

1250

1000

750

500

250







Рис. 3. Сравнительная гистограмма ручного и программного расчета Fig. 3. Comparative histogram of manual and software calculation

Принципы построения эксергетических балансов для газотурбинной и паровых установок описаны в литературе [16, 15, 19].

На рис. 4 и 5 представлены окна разработанного блока.



Рис. 4. Окно «АнализГТУ» Fig. 4. The "GTU analysis" window

Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 48, №3, 2021 Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. Vol.48, No.3, 2021 http://yestnik.dotu.ru/ ISSN (Print) 2073-6185 ISSN (On-line) 2542-095X

	p.//	esinik	<u>.ugiu.</u>	<u>100</u>	1 (1)	ini)	2075-010.	1001	(011-	iine) 2	542-095	Λ
🧊 Эергет	ический	и эксергетич	еский анал	из ПГУ							- 🗆	\times
Выход	Выход Схемы Инструменты Справка											
АНАЛИЗ ГТ	У АНАЛ	пиз гту-ку-г		ИЗ 2 ГТУ - 2 КУ	•пту э	ксергетич	еский анализ					
		Мет	вн	~								
	Q, МДж/кг 50									h,кДж/кг	s,кДж/кг*К	
too C	Poc.	тк	h v Dv/v		Er v D							
100,0	тос, с МПа Т. К п. к.Дж/кг к.Дж/кг К Ет, кВт Расчет								288,15	289	6,662	
15	0.1	288,15	289	6,66	111000	• —		2	808,15	889	6,869	
								3	1373,15	1643	7,509	
Элеми	внт	ЕГ, кВт	Ер, кВт	Ed, KBT	yd	3		4	673,15	719	7,133	
Компресс	op	71 985	64 827	7 158	0,06	0,9	D MC					
Кам. сгор	Кам. сгорания 175 827 162 769 13 058 0,12 0,93 Ехсе									Эксерге	тический	
Газ. турби	на	162 769	148 883	13 886	0,13	0,91				ана	ализ	
Система	тту	111 000	40 931	34 102	0,31	0,37	il l					
P1 N	(Da)				1					Corneur	UTL D MS	
	- /a	120			🛉 P4,	МПа	0.4			Содран	uib b Mið veel	
⊘ 08, k		120			Gcj	им, кг/с	122,22					
а	a											
lк = h2- h1, кДж/кг				6()0	q = h3- h2, кДж/кг			754			
	Iт = h3- h4, кДж/кг			92	4	эфф. КПЛ. % 0.43						
							11			0,10		

Рис. 5. Окно «Эксергетический анализ ГТУ» Fig. 5. Window "Exergetic analysis of GTU"

Остальные окна данного блока выполняют такую же роль только с учетом котлаутилизатора и паровой турбины. Инструкция по работе с блоком «анализ ПГУ» представлена в программе во вкладке «Справка». Для оценки адекватности разработанного блока «анализ ПГУ» был проведен программный расчет эксергетического ПГУ по результатам режима работы за один месяц 2019 года и проведено сравнение с ручным расчетом. В табл. 6 представлены результаты программного расчета.

Таблица 6. Результат эксергетического анализа, сделанный в программе Table 6. The result of the exergetic analysis in the made in the program

ruble of the result of the exergence analysis in the induct in the program											
Наименование Name	Ef, MBT	Ер, МВт	Ed,MBT	yd, %	ε, %						
1	2	3	4	5	6						
камера сгорания	169	156	13	11,7	92,3						
The combustion chamber											
компрессор compressor	65	58	7	6,3	89,2						
газовая турбина gas turbine	156	137	19	17,1	87,8						
Общая система General System	111	41	39	35,1	36,9						
котел-утилизатор waste boiler	31	23	8	25,8	74						
паровая турбина steam turbine	12	11	1	3,2	91,6						
конденсатор Capacitor	3,1	2,4	0,7	2,2	77,4						
ΠΓK Freight One	3,7	3,0	0,7	2,2	81						
Общая система General System	31	8,6	10,4	33,5	27,7						

Для сравнения выбраны энергопреобразующие элементы системы. На рис.6 представлена сравнительная гистограмма программного и ручного эксергетического анализа газовой и паровой турбин, а на рис.7 для котла-утилизатора и камеры сгорания.



Рис. 6. Сравнительная гистограмма эксергии для газовой и паровой турбин Fig. 6. Comparative histogram of exergy for gas and steam turbines





По гистограммам можно видеть, что отклонение программного и ручного расчета не превышает допустимых пределов. Следовательно, разработанный блок прошел проверку на достоверность и может быть использован.

Вывод. Разработанное программное обеспечение SAESSv. 3.0 позволяет имитировать работу АБХМ и ПГУ в составе энергосберегающей системы ПГУ-110 и АБХМ в широком диапазоне рабочих параметров.

Полученные методом аппроксимации математические зависимости для водного раствора бромида лития с диаграммы i- ξ , для воздуха в диапазоне температур от -50 до 1500 C, для воды, водяного перегретого пара в диапазоне от 0,01 до 100 МПа позволяют имитировать работу не только рассматриваемой в данной работе системы, но и другие подобные энергосистемы.

Для оценки разработанной модели проводилось сравнение результатов программного и ручного расчетов. В среднем отклонение программного расчета от ручного составляет не более 3 %, что позволяет говорить о высокой достоверности результатов разработанного ПО.

Библиографический список:

- 1. Александров А. А., Григорьев Б. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 158 с.
- 2. Байрамов Д. З., Галимова Л. В. Анализ способов эксергоэкономической оптимизации сложных энергосберегающих систем // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: сб. тр. IX Междунар. науч.-техн. конф., 13–15 ноября 2019 г. СПб.: Университет ИТМО, 2019. Т. 1. С. 17–23. ISBN 978-5-7577-0618-4
- 3. Бараненко А.В., Бухарин Н.Н., Пекарев В.И., Тимофеевский Л.С. Холодильные машины. М.: Политехника, 2006. 944 с.
- 4. Галимова Л.В., Байрамов Д.З. Термодинамический анализ работы парогазовой установки в составе энергосберегающей системы на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2020. Т. 4, № 4. С. 57-65. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-4-57-65
- Галимова Л.В., Байрамов Д.З. Комплексный анализ абсорбционной бромистолитиевой ходильной машины в составе энергосистемы ПГУ-110 И АБХМ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (1): 18-27. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-1-18-27
- 6. Галимова Л.В., Байрамов Д.З., Цветков С.А., Цветков Ю.А. «Комплексный анализ действующей энергосберегающей системы на базе парогазовой установки и абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины», Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск, 24–27 февр. 2021 г.) / М-во образования Ом. обл. [и др.]; редкол.: В. А. Лихолобов [и др.]. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2021. 292 с.: ил.
- 7. Галимова Л.В., Байрамов Д.З. «Разработка блок-схемы программы для проведения системного анализа энергосберегающей системы ПГУ-БХМ». Сборник материалов всероссийской междисциплинарной научной конференции «Наука и практика-2020», Астрахань, 19-30 октября 2020 г.
- 8. Галимова Л.В., Байрамов Д.З., Байрамов Ш.З. Методика первичного проектирования научно обоснованной схемы оптимизации энергосберегающей системы на базе парогазовой энергетической

установки и абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины. Холодильная техника, №1, 2020. С. 28-33

- Галимова Л.В., Байрамов Д.З., Байрамов Ш.З. Создание базы данных для оптимизации работы абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины в составе энергоблока. LXI Международные научные чтения (памяти А.Н. Колмогорова): Сборник статей Международной научно-практической конференции. Москва: ЕФИР, 2019. - С. 40 - 45
- 10. Галимова Л.В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы. Издательство АГТУ, 1997. 226 с.
- 11. Зысин Л. В. Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 368 с.
- 12. Ревина И. В., Бояркин Г. Н. Имитационное моделирование производственного процесса изготовления деталей // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 230–234. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-230-234
- 13. Ривкин С. Л. Термодинамические свойства газов. Справочник. 4-е изд., перераб. М.: Энергоиздат, 1987. 288 с.
- 14. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование: Теория и технологии. СПб.: Корона принт; М.: Альтекс-А, 2004. 384с.
- 15. Тсатсаронис Д. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. Одесса: Студия «Негоциант», 2002. 152 с.
- 16. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. М.: Изд-во МЭИ, 2002. 584 с.
- 17. Morosuk T., Tsatsaronis G. A new approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines. Int. J. Energy. 2008 Sep 1; 33 (6): 890-907. DOI: 10.1016/j.energy.2007.09.012
- Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M. et al. Energy, exergy, economic analysis and optimization of single-effect absorption chiller network. J Therm Anal Calorim (2020). <u>https://doi.org/10.1007/s10973-020-09966-4</u>
- 19. Xiao Feng, Zhu X., Zheng J. A practical exergy method for system analysis [of steam power plants] // Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. 1996; 3: 2068–2071. DOI: 10.1109/IECEC.1996.553438
- 20. https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/

References:

- 1. Alexandrov A. A., Grigoriev B. A. Tables of thermophysical properties of water and water vapor. Moscow: MEI Publishing House, 2003; 158. (In Russ)
- Bayramov D. Z., Galimova L. V. Analysis of methods of exergoeconomical optimization of complex energysaving systems / / Low-temperature and food technologies in the XXI century: collection of tr. IX International Scientific and Technical Journal. conf., November 13-15, 2019. St. *Petersburg: ITMO University*, 2019; 1: 17-23. ISBN 978-5-7577-0618-4. (In Russ)
- 3. Baranenko A.V., Bukharin N. N., Pekarev V. I., Timofeevsky L. S. Refrigerating machines. M.: [Politekhnika] *Polytechnic.* 2006; 944. (In Russ)
- Galimova L. V., Bairamov D. Z. Thermodynamic analysis of combined cycle plant operation as part of an energy-saving systembased on an absorption bromide-lithium refrigerating machine. [Omskiy nauchnyy vestnik] Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and PowerEngineering. 2020; 4(4):57–65. DOI: 10.25206/2588-0373-2020-4-4-57-65. (In Russ)
- L.V. Galimova, D.Z. Bayramov. Comprehensive analysis of the absorption lithium bromide refrigerating machine as part of the CCGT-110 and ALBRM power system. [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of Daghestan State Technical University*. *Technical Sciences*. 2021; 48 (1): 18-27. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-1-18-27. (In Russ)
- 6. Galimova L. V., Bayramov D. Z., Tsvetkov S. A., Tsvetkov Yu. A. "A comprehensive analysis of the current energy-saving system based on a combined-cycle gas installation and an absorption bromine-lithium refrigerating machine", Equipment and technology of petrochemical and oil and gas production: materials of the 11th International Scientific and Technical Conference. conf. (Russia, Omsk, February 24-27, 2021) / Ministry of Education of the Omsk region [et al.]; editorial board: V. A. Likholobov [et al.]. Omsk: Publishing house of OmSTU, 2021; 292. (In Russ)
- Galimova L. V., Bayramov D. Z. "Development of a flowchart of a program for conducting a system analysis of an energy-saving PSU-BHM system". Participation in the All-Russian interdisciplinary scientific conference "Science and Practice-2020" with a report-Astrakhan, October 19-30, 2020. (In Russ)
- 8. Galimova L. V., Bayramov D. Z., Bayramov Sh. Z. Methodology of the primary design of a scientifically based scheme for optimizing an energy-saving system based on a combined-cycle power plant and an absorption bromide-lithium refrigerating machine. [Kholodil'naya tekhnika] *Refrigeration equipment*. 2020; 1: 28-33. (In Russ)

- Galimova L. V., Bayramov D. Z., Bayramov Sh. Z. Creation of a database for optimizing the operation of an absorption lithium bromide refrigerating machine as part of a power unit. LXI International Scientific Readings (in memory of A. N. Kolmogorov): A collection of articles of the International scientific and Practical Conference. Moscow: EFIR, 2019; 40-45. (In Russ)
- 10. Galimova L. V. Absorption refrigerating machines and heat pumps. AGTU publishing house, 1997. 226 p.
- 11. Sysin L. V. combined-cycle and gas-turbine thermal power plant. SPb.: Publishing house of Polytechnical Institute. un-ta, 2010; 368. (In Russ)
- Revina I. V., Boyarkin G. N. Simulation modeling of the production process of manufacturing parts. [Omskiy nauchnyy vestnik] *Omsk Scientific Bulletin*. 2018; 6 (162): 230-234. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-230-234. [In Russ]
- 13. Rivkin S. L. Thermodynamic properties of gases. Guide. 4th ed., pererab. M.: Energoizdat, 1987; 288 . (In Russ)
- 14. Ryzhikov Yu. I. Simulation modeling: Theory and technologies. St. Petersburg: Korona print; Moscow: *Altex- A*, 2004; 384. (In Russ)
- 15. Tsatsaronis D. Interaction of thermodynamics and economics for minimizing the cost of an energy-converting system. Odessa: *Studio "Negociant"*, 2002; 152. (In Russ)
- 16. Tsanev S. V., Burov V. D., Remezov A. N. Gas turbine and steam-gas installations of thermal power stations. Moscow: *MEI Publishing House*, 2002; 584. (In Russ)
- 17. Morosuk T., Tsatsaronis G. A new approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines. Int. J. *Energy*. 2008; 1; 33 (6): 890-907. DOI: 10.1016/j.energy.2007.09.012
- Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M. et al. Energy, exergy, economic analysis and optimization of single-effect absorption chiller network. J Therm Anal Calorim (2020). <u>https://doi.org/10.1007/s10973-020-09966-4</u>
- 19. Xiao Feng, Zhu X., Zheng J. A practical exergy method for system analysis [of steam power plants] // Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. 1996; 3: 2068–2071. DOI: 10.1109/IECEC.1996.553438
- 20. https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/

Сведения об авторах:

Галимова Лариса Васильевна, доктор технических наук, профессор, e-mail: galimova_lv@mail.ru Байрамов Джамиль Загидович, аспирант, e-mail: bairamov.dzhamil@mail.ru

Information about the authors:

Larisa V. Galimova, Dr. Sci. (Eng.), Prof., e-mail: galimova_lv@mail.ru

Dzhamil Z. Bayramov, Postgraduate, e-mail: bairamov.dzhamil@mail.ru

Конфликт интересов / Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 13.07.2021.

Одобрена после рецензирования / Reviced 02.08.2021.

Принята в печать /Accepted for publication 03.08.2021.