



ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ПАРОВОЙ ВИНТОВОЙ МАШИНЫ

Р.Р. Ротач, Ю.В. Ваньков, Ш.Г. Зиганшин, Е.В. Измайлова

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

rita-nurkaeva@mail.ru

Резюме: целью работы является повышение эффективности работы ТЭЦ путем внедрения в тепловую схему паровой винтовой машины (ПВМ). Предлагается исключить пропуск пара из отбора турбины через РОУ собственных нужд. Острый пар перелазается направлять в паровую винтовую машину, установленную параллельно РОУ. Данное техническое решение позволит получать пар, используемый в деаэраторах низкого давления, а также электроэнергию на собственные нужды ТЭЦ. В статье приведены режимные параметры, а также результаты расчетов турбоагрегата Р-70/100-130/15. Выполнен технико-экономический расчет внедрения ПВМ в тепловую схему станции: рассчитана экономия условного топлива и электроэнергии на собственные нужды, а также срок окупаемости проекта по внедрению паровой винтовой машины. В ходе проведения расчетов получены следующие результаты: снижение удельного расхода условного топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии – на 1,9 г; экономия условного топлива при внедрении ПВМ составит 13 т.у.т. в год, что также влечет за собой уменьшение выбросов в окружающую среду; выработка электроэнергии на собственные нужды составляет 8100 кВт·ч; срок окупаемости проекта по внедрению паровой винтовой машины в тепловую схему ТЭЦ составляет 5 лет.

Ключевые слова: паровая винтовая машина; тепловая схема; эффективность; дресселирование; полезная утилизация пара.

Для цитирования: Ротач Р.Р., Ваньков Ю.В., Зиганшин Ш.Г., Измайлова Е.В. Оптимизация тепловой схемы путем внедрения паровой винтовой машины // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. №5. С. 14-21. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-14-21.

OPTIMIZATION OF THE THERMAL CIRCUIT BY INTRODUCTION OF THE STEAM SCREW-ROTOR MACHINE

RR Rotach, YuV Vankov, ShG Ziganshin, EV Izmaylova

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

rita-nurkaeva@mail.ru

Abstract: the aim of the work is to increase the efficiency of the CHP by introducing a steam screw-rotor machine (SSRM) into the thermal circuit. It is proposed to exclude the passage of steam from the selection of the turbine through the pressure reduction and desuperheating station (PRDS) of own needs. Superheated steam is diverted to be sent to a steam screw-rotor machine installed parallel to the PRDS. This technical solution will allow to obtain steam used in low pressure deaerators, as well as electricity for own needs of the CHP. The article presents the operating parameters, as well as the calculation results of the backpressure turbine. A feasibility study was carried out for the introduction of SSRM into the plant's thermal circuit: the equivalent fuel and electricity savings for own needs were calculated, as well as the payback period of the project for introducing a steam screw-rotor machine. In the course of the calculations, the following results were obtained: a decrease in the specific consumption of equivalent fuel for the production of 1 kWh of electricity – by 1,9 g; saving of equivalent fuel during the implementation of the SSRM will be 13 tons per year, which also entails a reduction in emissions into the environment; Electricity production for own needs is 8100 kWh, the payback period for the project to introduce a steam screw machine in the thermal circuit of a thermal power plant is 5 years.

Keywords: *steam screw-rotor machine; thermal circuit; efficiency; throttling; beneficial steam recovery.*

For citation: Rotach RR, Vankov YuV, Ziganshin ShG, Izmaylova EV. Optimization of the thermal circuit by introduction of the steam screw-rotor machine. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2019; 21(5):14-21. (In Russ). doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-14-21.

Введение

В энергетической стратегии России до 2030 года, одобренной Правительством Российской Федерации, основной упор в развитии сектора энергогенерации делается на двукратное увеличение доли комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Современная тенденция значительного роста стоимости электроэнергии может привести только к возрастанию целесообразности комбинированной выработки электроэнергии и тепла. При внедрении комбинированного производства (когенерации) возможно покрытие части собственных нужд ТЭЦ в электроэнергии за счет полезной утилизации пара в винтовых детандерах, иначе называемыми паровыми винтовыми машинами (ПВМ) [1-6]. Поэтому исследование внедрения паровой винтовой машины в тепловую схему ТЭЦ является актуальным.

В работе рассматривается вариант повышения эффективности работы тепловой электрической станции на примере Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1) путем внедрения в ее тепловую схему паровой винтовой машины. Данное техническое решение позволит получать пар 1,2 ата для собственных нужд и одновременно дополнительно вырабатывать 1300 кВт электроэнергии за счет полезной утилизации пара.

На Нижнекамской ТЭЦ-1 для получения пара собственных нужд, в том числе и для подогрева обессоленной воды в деаэраторах низкого давления (ДНД) используют пар 1,2 ата. Источником пара 1,2 ата являются паровые турбины Т-110/120-130/3, Т-100/120-130/2. В зимнее время и при дефиците теплофикационных отборов 1,2 ата этих турбин, используют редуционно-охладительную установку РОУ 14/1,2. Источником пара, проходящего через РОУ, является пар из регулируемого отбора пара за ЦВД.

Пар 14 ата, проходя через РОУ 14/1,2, снижая свою температуру и давление до установленных пределов, направляется на отопительный коллектор 1,2 ата. Характеристики РОУ 14/1,2 приведены в табл. 1.

Основным недостатком использования РОУ 14/1,2 заключается в дросселировании пара, так как это приводит к потере его работоспособности [7-9].

С целью исключения дросселирования пара предлагается вариант модернизации тепловой схемы РОУ 14/1,2 на базе паровой винтовой машины. Включение ПВМ в тепловую схему ТЭЦ позволит получать пар 1,2 ата для собственных нужд и одновременно дополнительно вырабатывать электроэнергию, за счет исключения дросселирования пара через РОУ 14/1,2.

Таблица 1

Техническая характеристика РОУ 14/1,2

Наименование	Номинальная производительность, кг/с	Параметры острого/редуцированного пара	
		Давление, ата (МПа)	Температура
РОУ 14/1,2	11,3	14/1,2 (1,4/0,12)	246/130

Модернизация тепловой схемы Нижнекамской ТЭЦ-1 с установкой паровой винтовой машины

В диапазоне мощности 200-2000 кВт паровые винтовые машины, имеют ряд несомненных преимуществ перед другими видами детандеров. Это малые габариты, вес, превосходство перед лопаточными турбинами по удельной стоимости, маневренности. КПД расширения у ПВМ практически такой же, что и у лопаточных турбин малой мощности, при этом частота вращения существенно меньше [10,11].

Важным достоинством ПВМ, выделяющей ее из ряда других машин, является хорошая работа на двухфазных средах, например, на влажном паре. Жидкая фаза в газе при вращении отбрасывается к периферии винта и затекает в зазор между корпусом и винтами, уменьшая перетечки и тем самым способствуя повышению КПД [12-14].

Предлагается установка ПВМ параллельно РОУ 14/1,2 (рис. 1). Вырабатываемая электроэнергия будет выдаваться на шины собственных нужд Нижнекамской ТЭЦ-1.

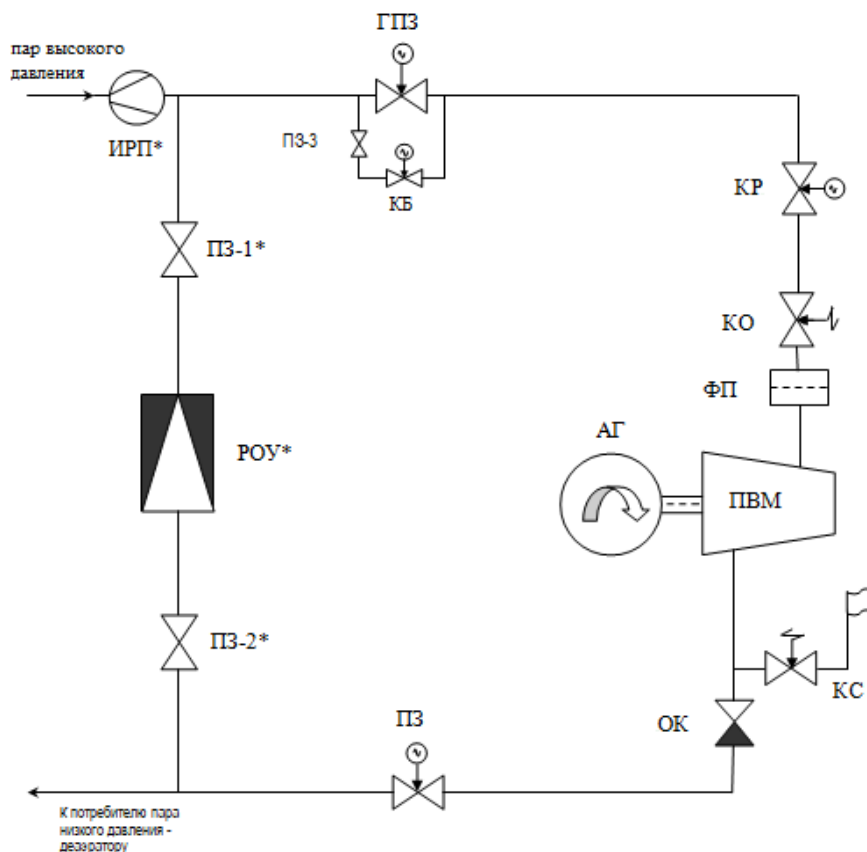


Рис.1. Тепловая схема энергоустановки ПВМ

ПВМ – паровая винтовая машина, АГ – электрогенератор, КР – кран регулирующий, ГПЗ – главная паровая задвижка, КБ – кран паровой байпасный, ПЗ – паровая задвижка, КО – клапан отсечной аварийный, ОК – обратный клапан, КС – клапан сброса пара из ПВМ, ФП – фильтр паровой, ИРП – измеритель расхода пара, РОУ – редукционно-охлаждающее устройство

Материалы и методы исследования

В работе использованы методы вычислительной математики, теории тепломассообмена, методы технико-экономических расчетов в энергетике, термодинамического анализа энергоустановок.

Для определения средних параметров пара, направляемого в ПВМ, произведен расчет тепловой схемы турбоустановки Р-70/100-130/15 на номинальном режиме согласно [15] и определены ее основные технико-экономические показатели.

Исходные данные и результаты расчета турбоустановки Р-70/100-130/15 приведены в табл. 2-4.

Таблица 2

Исходные данные для расчета тепловой схемы турбоустановки Р-70/100-130/15

Наименование	Значение
Номинальный расход свежего пара на турбину	$D_0=208,3$ кг/с
Давление свежего пара	$P_0=12,75$ МПа
Температура свежего пара	$t_0=555^\circ\text{C}$
Температура питательной воды	$t_{\text{пв}}=230^\circ\text{C}$

Таблица 3

Параметры пара в отборах турбины, полученные расчетным путем

Точка	$P_{\text{п}}$, МПа	$t_{\text{п}}$, °С	$h_{\text{п}}$, кДж/кг
0 (параметры пара на входе в турбину)	12,75	555	3485
0 (параметры пара перед 1-ой ступенью турбины)	12,4	552	3485
1 (параметры пара после 1-ой ступени турбины)	3,03	353	3122
2 (параметры пара после 2-ой ступени турбины)	1,95	299	3024
3 (параметры пара на регулируемом отборе пара)	1,4	246	2926

Выходные данные расчета турбоустановки Р-100-130/15 для номинального режима

Наименование	Значение
Полный расход тепла на турбоустановку $Q_{\text{ТУ}}$, кВт	519 021
Расход тепла на производственные потребители $Q_{\text{пр}}$, кВт	403 906
Расход тепла турбоустановки по производству электроэнергии $Q_{\text{ТУ}}^3$, кВт	115 115
Электрическая мощность турбины $N_{\text{э}}$, кВт	111 322
Коэффициент полезного действия по производству электроэнергии $\eta_{\text{ТУ}^3}$	0,96

Определение электрической мощности ПВМ:

$$N_{\text{эл}} = D \cdot (h_1 - h_2) \cdot \eta = 11,3 \cdot (2926 - 2741) \cdot 0,62 = 1273 \text{ кВт} \quad (1)$$

где: h_1 – энтальпия пара на входе в ПВМ, кДж/кг; h_2 – энтальпия пара на выходе из ПВМ, кДж/кг; D – расход пара через ПВМ, кг/с.

Полный расход тепла на турбоустановку Р-70/100-130/15:

$$Q_{\text{ТУ}} = D_0 \cdot (h_0 - h_{\text{пт}}^{\text{в}}) = 208,3 \cdot (3485 - 993,3) = 519021 \text{ кВт} \quad (2)$$

где: h_0 – энтальпия пара на входе в турбину, кДж/кг; $h_{\text{пт}}^{\text{в}}$ – энтальпия питательной воды в ПВД, кДж/кг.

Расход тепла на производственные потребители (собственные нужды) при использовании РОУ или ПВМ:

$$\begin{aligned} Q_{\text{пр}} &= D_{\text{пр}} \cdot (h_3 - h_{\text{пв}}) - D_{\text{РОУ}} \cdot (h_3 - h'_{\text{РОУ}}) = \\ &= 175,52 \cdot (2926 - 624,8) - 11,1 \cdot (2926 - 2741) = 401853 \text{ кВт}. \end{aligned} \quad (3)$$

где: $D_{\text{пр}}$ – расход пара на производство, кг/с; h_3 – энтальпия в регулируемом отборе пара, кДж/кг; $h_{\text{пв}}$ – температура питательной воды после деаэратора, кДж/кг; $D_{\text{РОУ}}$ – расход пара на РОУ, кг/с;

Расход тепла турбоустановки по производству электроэнергии при использовании РОУ или ПВМ:

$$Q_{\text{ТУ}}^3 = Q_{\text{ТУ}} - Q_{\text{пр}} = 519021 - 401853 = 117168 \text{ кВт}. \quad (4)$$

Коэффициент полезного действия по производству электроэнергии при использовании РОУ:

$$\eta_{\text{ТУ}}^3 = \frac{N_{\text{э}}}{Q_{\text{ТУ}}^3} = \frac{111322}{117168} = 0,95. \quad (5)$$

Коэффициент полезного действия по производству электроэнергии энергоблока при использовании РОУ:

$$\eta_{\text{с}}^3 = \eta_{\text{ТУ}}^3 \cdot \eta_{\text{КУ}} \cdot \eta_{\text{ТР}} = 0,95 \cdot 0,93 \cdot 0,986 = 0,87, \quad (6)$$

где $\eta_{\text{КУ}}$ – КПД котельной установки, принимается 0,93; $\eta_{\text{ТР}}$ – КПД трубопроводов, принимается 0,986.

Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии при использовании РОУ:

$$b_{\text{у}}^3 = \frac{123}{\eta_{\text{с}}^3} = \frac{123}{0,88} = 141,38 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \quad (7)$$

Коэффициент полезного действия по производству электроэнергии при использовании ПВМ:

$$\eta_{\text{ТУ}}^3 = \frac{N_{\text{э}} + N_{\text{ПВМ}}}{Q_{\text{ТУ}}^3} = \frac{111322 + 1273}{117168} = 0,96. \quad (8)$$

Коэффициент полезного действия по производству электроэнергии энергоблока при использовании ПВМ:

$$\eta_c^3 = \eta_{гв}^3 \cdot \eta_{ин} \cdot \eta_{тр} = 0,96 \cdot 0,93 \cdot 0,986 = 0,88. \quad (9)$$

Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии при использовании ПВМ:

$$b_y^3 = \frac{123}{\eta_c^3} = \frac{123}{0,88} = 139,77 \frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}. \quad (10)$$

Разность удельного расхода условного топлива на производство электроэнергии при использовании РОУ и ПВМ:

$$\Delta b_y^3 = 141,38 - 139,77 = 1,61 \frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}. \quad (11)$$

Планируемое число часов работы ПВМ в году составляет 6 480 часов.

Годовая экономия удельного расхода условного топлива:

$$\Delta b_y^{\Gamma \text{од}} = \Delta b_y^3 \cdot N = 1,61 \cdot 8100 = 13,043 \frac{\Gamma \cdot \text{У} \cdot \Gamma}{\text{год}}. \quad (12)$$

Выработка электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ ПВМ:

$$N = N_{эл} \cdot n_{ч} = 1,25 \cdot 6480 = 8100 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \quad (13)$$

где: $N_{эл}$ – выработка электроэнергии на собственные нужды ТЭЦ ПВМ, $n_{ч}$ – время наработки, час.

Экономия электрической энергии на собственные нужды ТЭЦ за год составит:

$$\Theta = N \cdot C_{сн} = 8100 \cdot 951,42 = 7706502 \text{ руб/год}, \quad (14)$$

где: N – выработка электроэнергии ПВМ в год, тыс. кВт·ч, $C_{сн}$ – цена электроэнергии на собственные нужды, руб/тыс. кВт·ч (принимается для расчёта фактическую стоимость покупной э/э на СН в узле Нижнекамской ТЭЦ-1 по данным на 2020 г).

$C_{сн} = 951,42$ руб/МВт·ч.

$$\text{Прибыль} = \Theta - Z_{\text{ремонт}} = 7706,5 - 169,4 = 7537,1 \text{ тыс.руб.}, \quad (15)$$

где $Z_{\text{ремонт}}$ – затраты на ремонт оборудования 169 400 тыс. руб.

Результаты расчетов и их обсуждение

Оценочный расчет экономической эффективности внедрения ПВМ приведен в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Оценочный расчет экономической эффективности внедрения ПВМ за период 2020-2026 гг.

Год	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Экономия э/э на СН, тыс.кВтч/год	8100	8100	8100	8100	8100	8100	8100
Цена кВтч с учётом индексации, руб/тыс.кВтч	951,42	980,91	1011,32	1042	1074,99	1108,32	1142,68
Экономия на СН, тыс. тыс.руб/год	7706,5	7945,4	8191,7	8440,2	8707,4	8977,4	9255,7
Средний коэффициент индексации стоимости э/э	1,031	1,031	1,031	1,031	1,031	1,031	1,031
Затраты на ремонт среднегодовые тыс.руб.	169,4	176,4	184	191,3	199	206,1	213,1
Темп роста индекса цен строительства (ремонт)	1,043	1,041	1,043	1,04	1,04	1,036	1,034
Итоговая экономия, тыс. руб./год	7537,1	7769	8013,7	8248,9	8508,4	8771,3	9042,6

Таблица 6

Оценочный расчет экономической эффективности внедрения ПВМ за период 2027-2030 гг.

Год	2027	2028	2029	2030
Экономия э/э на СН, тыс.кВтч	8100	8100	8100	8100
Цена кВтч с учётом индексации, руб/кВтч	1178,10	1214,62	1252,28	1291,09
Экономия на СН, тыс. руб/год	9542,6	9838,4	10143,5	10457,8
Средний коэффициент индексации стоимости э/э	1,031	1,031	1,031	1,031
Затраты на ремонт среднегодовые тыс.руб.	220,4	228,1	236,1	243,9
Темп роста индекса цен строительства (ремонт)	1,034	1,035	1,035	1,033
Итоговая экономия, тыс. руб./год	9322,2	9610,3	9907,4	10213,9

Экономический эффект, тыс.руб.

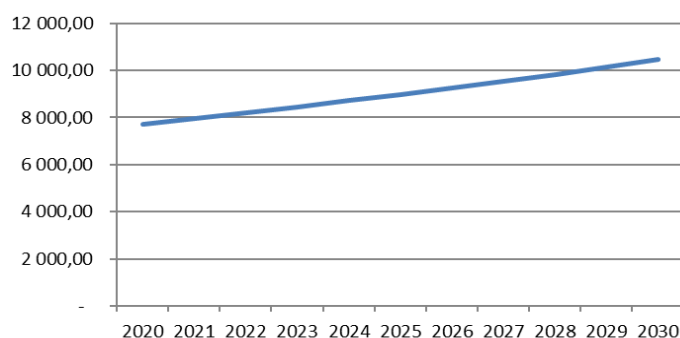


Рис. 2. Экономический эффект с 2020 по 2030 г.

Таблица 7

Период окупаемости ПВМ

№	Показатель	Значение
1	Чистый дисконтированный доход (<i>NPV</i>), тыс.руб.	8672
2	Внутренняя норма доходности (<i>IRR</i>), %	14,09
3	Индекс прибыльности (<i>PI</i>)	1,19
4	Период окупаемости (<i>PBP</i>), лет	4,89

Выводы

1. Внедрение паровой винтовой машины в тепловую схему Нижнекамской ТЭЦ-1 позволит получать пар 1,2 ата для собственных нужд (в том числе и для ДНД) и одновременно дополнительно вырабатывать 1,3 МВт электроэнергии, за счет исключения дросселирования пара через РОУ 14/1,2 ата. Результатом данного внедрения также станет ежегодная экономия 13 тонн условного топлива.

2. Приведенные расчеты показывают, что срок окупаемости проекта модернизации тепловой схемы Нижнекамской ТЭЦ-1 на базе ПВМ составит 5 лет, экономический эффект в 2020 г. составит 7537,1 тыс. руб. и будет расти из года в год, учитывая изменение коэффициента индексации.

Литература

1. Репин А.Л. Повышение эффективности работы паровых котельных при использовании когенерационных установок с винтовым двигателем: Дис. канд. техн. наук. Краснодар, 2006.
2. Гузаиров Р.М., Ахметшин Р.М. Паровой винтовой машины еще нет в словарях // Инженерные системы. 2009. №3. С. 6-9.
3. Березин С.Р. Винтовые детандеры: учебное пособие. Уфа, УГАТУ. 2010. 53 с.
4. Зарницкий Г.Э., Сергеева Е.Я., Шагинова Н.С. Эффективность использования винтовых детандеров в линии топливного газа компрессорных станций // Экономика газовой промышленности. 2015. №5. С. 17-28.
5. Гузаиров М.Б., Муравьева Е.А., Соловьев К.А. Компьютерная модель функции выходной мощности паровой винтовой машины // Вестник УГАТУ. 2015. №1. С. 106 -111.
6. Семёнов А.С., Шевченко А.М. Тепловой расчёт паровой турбины. Киев: Высшая школа. 1975. 280 с.

7. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. М.: Изд. МЭИ, 1999. 168 с.
8. Григораш О.В., Богатырев И.И., Курзин И.И. Нетрадиционные источники электроэнергии в составе систем гарантированного электроснабжения. Промышленная энергетика. 2014. №1. С. 88-95.
9. Данилов М.М., Иванова З.Н. Изменение объема парной полости в процессе расширения в винтовом детандере // Вестник МАХ. 2016. №4. С. 58-61.
10. Березин С. Р., Носков А. Н., Щеглов Г. А. Определение показателей рабочего процесса паровой винтовой машины // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 1. С. 50-56.
11. Куличихин В.В., Лазарев О.О. Использование избыточного давления природного газа на промышленных предприятиях // Надежность и безопасность энергетики. 2015. №2. С. 48-54.
12. Дубинин В.С., Лаврухин К.М. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в котельных // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века, 2015. № 6. С.7-15.
13. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Экспериментальные исследования оптимального управления расходом энергии // АВОК. 2016. № 1. С. 51-55.
14. Агабабов, В.С. Анализ влияния параметров работы бестопливной энергогенерирующей установки на ее эффективность // Энергосбережение и водоподготовка. 2015. № 6 (74). С. 26-28.
15. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: М.: Энергоатомиздат, 1987. 230 с.

Авторы публикации

Ротач Рита Рустемовна – аспирант Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Ваньков Юрий Витальевич – д-р. технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Зиганин Шамиль Гаязович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Измайлова Евгения Вячеславовна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПТЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Repin AL. *Povyshenie effektivnosti raboty parovykh kotel'nykh pri ispol'zovanii kogeneracionnykh ustanovok s vintovym dvigatelem*: dissertation. Krasnodar; 2006.
2. Guzairov RM, Akhmetshin RM. Steam screw rotor machine is not in the dictionaries yet. *Engineering systems*. 2, 2009. pp. 6-9.
3. Berezin SR. *Screw expanders: tutorial*. Ufa, USATU, 2010. P.53.
4. Zarnickij GE, Sergeeva EYa, Shaginova NS. Effektivnost' ispol'zovaniya vintovykh detanderov v linii toplivnogo gaza kompressornykh stancij. *Ekonomika gazovoj promyshlennosti*. 2015;5:17-28.
5. Guzairov MB, Murav'eva EA, Solov'ev KA. Komp'yuternaya model' funkcii vyhodnoj moshchnosti parovoy vintovoy mashiny. *Vestnik USATU*. 2015;1:106-111.
6. Semyonov SS, Shevchenko AM. *Thermal calculation of the steam turbine*. Vysshaya Shkola, Kyev. 1975. P. 280.
7. Aleksandrov AA, Grigoryev BA. *Tables of thermophysical properties of water and water vapor*. Moscow, MEI, 1999. P. 168.
8. Grigorash OV, Bogatyrev II, Kurzin II. Netradicionnye istochniki elektroenergii v sostave sistem garantirovannogo elektrosnabzheniya. *Promyshlennaya energetika*. 2014;1:88-95.
9. Danilov MM, Ivanova ZN. Izmenenie ob"ema parnoj polosti v processe rasshireniya v vintovom detandere. *Vestnik MAH*. 2016;4:58-61.
10. Berezin SR, Noskov AN, Shcheglov GA. Opredelenie pokazatelej rabocheho processa parovoy vintovoy mashiny Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. *Mashinostroenie*. 2016;1:50-56.
11. Kulichihin VV, Lazarev OO. Ispol'zovanie izbytochnogo davleniya prirodnogo gaza na promyshlennykh predpriyatiyah. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki*. 2015;2:48-54.

12. Dubinin BC, Lavruhin KM. *Kombinirovannaya vyrobotka teplovoj i elektricheskoj energii v kotel'nyh. Stroitel'nye materialy, oborudovanie i tekhnologii XXI veka*. 2015;6:7-15.

13. Tabunshchikov YuA, Brodach MM. *Eksperimental'nye issledovaniya optimal'nogo upravleniya raskhodom energii AVOK*. 2016;1:51-55.

14. Agababov BC. *Analiz vliyaniya parametrov raboty bestoplivnoj energogeneriruyushchej ustanovki na ee effektivnost'. Energoberezhenie i vodopodgotovka*. 2015;6 (74):26-28.

15. Ry`zhkin VYa. *Teplovy`e e`lektricheskie stancii*: M: E`nergoatomizdat, 1987. P. 230.

Authors of publication

Rita R. Rotach – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Yurii V. Vankov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Shamil G. Ziganshin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Evgeniya V. Izmailova – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Поступила в редакцию

25 октября 2019 г.