

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ КОНДЕНСАТОРА ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОФИКАЦИОННОМ ЦИКЛЕ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Хвостиков А.С.

*ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: knastu@list.ru*

В работе представлены результаты расчетов паротурбинных установок с системами утилизации тепловой энергии конденсатора. Целью исследования является определение наиболее рационального метода утилизации низкопотенциальной теплоты конденсатора. Выполнен расчет двух вариантов утилизации низкопотенциального тепла паротурбинной установки паротурбинного и абсорбционного тепловых насосов. Создана модели, действующей на КТЭЦ-2 турбоустановки Т50/55-130, проводили с помощью программы Aspen Hysys, определяющей технико-экономические показатели на основе решения балансовых уравнений. Проведена оценка эффективности работы турбины с этими системами в зависимости от режимных нагрузок. Коэффициент использования топлива растет у абсорбционного насоса быстрее, так как у него коэффициент преобразования теплоты больше, чем у пароконденсационного. Применение тепловых насосов более эффективно для повышения выработки тепловой энергии в условиях ее дефицита. Замена тепловой мощности вырабатываемой в турбоагрегате не дает столь значительного эффекта из-за сокращения выработки на тепловом потреблении. Тепловые насосы позволяют передать низкопотенциальную теплоту циркуляционной воды на теплоснабжение и снизить расход топлива на выработку электроэнергии. Наиболее перспективными в применении являются абсорбционные насосы в связи с низким потреблением электроэнергии. Однако применение абсорбционных тепловых насосов несколько изменяет соотношение отборов пара в турбине, изменяя соотношение пара в разных ее частях. Использование систем утилизации низкопотенциального тепла позволяет повысить эффективность работы теплоэлектростанции за счет более полного использования тепла топлива.

Ключевые слова: тепловой насос, низкопотенциальное тепло, энергоэффективность, паротурбинная турбоустановка, конденсатор, теплофикация

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF UTILIZATION OF LOW-POTENTIAL HEAT OF A STEAM TURBINE CONDENSER IN A HEATING CYCLE USING HEAT PUMPS

Khvostikov A.S.

Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, e-mail: knastu@list.ru

The paper presents the results of calculations of steam turbine installations with heat recovery systems of the condenser. The aim of the study is to determine the most rational method of utilization of low-potential heat of the condenser. The calculation of two options for the utilization of low-potential heat of a steam turbine installation of steam turbine and absorption heat pumps has been performed. The creation of a model operating on KTEP-2 of the T50/55-130 turbine unit was carried out using the Aspen Hysys program, which determines technical and economic indicators based on solving balance equations. The efficiency of the turbine with these systems has been evaluated depending on the operating loads. The fuel utilization coefficient increases faster for an absorption pump, since its heat conversion coefficient is higher than that of a compression pump. The use of heat pumps is more effective for increasing the production of thermal energy in conditions of its shortage. Replacing the thermal power generated in the turbine unit does not have such a significant effect due to a reduction in heat consumption. Heat pumps allow you to transfer the low-potential heat of circulating water to heat supply and reduce fuel consumption for electricity generation. Absorption pumps are the most promising in application, due to low energy consumption. However, the use of absorption heat pumps slightly changes the ratio of steam extraction in the turbine by changing the ratio of steam in different parts of it. The use of low-potential heat recovery systems makes it possible to increase the efficiency of a thermal power plant due to a more complete use of fuel heat.

Keywords: heat pump, low-potential heat, energy efficiency, steam turbine turbine unit, condenser, heating

Введение

Одним из определяющих факторов эффективного внедрения утилизации на тепло-технологических объектах является нахождение рациональных конструктивных характеристик и компоновочных решений установок, обеспечивающих высокую эффективность, надежность эксплуатации и полноту утилизации. Повышение эффек-

тивности получения энергии от низкопотенциальных источников теплоты является актуальной задачей, решение которой позволит не только выполнить требования федерального закона, но также производить энергию без первичных энергоресурсов.

Важным показателем повышения эффективности является термический коэффициент полезного действия энергоуста-

новки, зависящий от начальных и конечных параметров пара. Наиболее популярным методом повышения эффективности энергоустановки является повышение начальных параметров пара. При этом значительно возрастает влияние температуры на надежность энергоустановки [1, 2]. Для повышения эффективности можно воспользоваться снижением конечной температуры в конденсаторе за счет более полной утилизации низкопотенциального тепла.

При совместной выработке тепловой и электрической энергии наибольшие потери происходят в конденсаторе, где теряется до 50% тепловой энергии. Использование теплоты конденсатора не представляется возможным вследствие низких температур теплоносителя.

В последние годы набирает популярность использование энергосберегающих технологий на предприятиях энергетики, нефте-, газодобычи и др. Получили популярность системы на основе органического цикла Ренкина, цикла Калины, тепловые насосы различных конструкций. Тепловые насосы по циклам и схемам работы подразделяются на компрессионные (парокомпрессионные и газокompрессорные) и сорбционные (абсорбционные и адсорбционные). Мало распространены системы утилизации низкопотенциальной теплоты, основанные на эффекте Ранка, двойного цикла Ренкина, цикла Стирлинга, цикла Брайтона, цикла Калины, а также термоэлектрические и обращенный топливный элемент. Проведя обзор способов утилизации низкопотенциальной теплоты, можно констатировать, что наиболее перспективными методами являются встраивания, утилизация тепла конденсатора с помощью тепловых насосов [3].

Для определения технико-экономических параметров совместной работы были определены параметры тепловых насосов. По результатам энергетических расчетов были смоделированы процессы теплообмена. Методика моделирования наиболее полно описана в работе [4]. В условиях существующих и вновь проектируемых турбоустановок существует проблема охлаждения конденсаторов в условиях недостатка охлаждающей воды [5]. Для решения этой проблемы возможна установка комплексов утилизирующих низкопотенциальное тепло конденсатора для улучшения показателей турбоустановки.

Цель исследования заключается в определении наиболее рационального метода повышения эффективности выработки теплоты и электроэнергии ТЭЦ посредством применения систем утилизации в структуре ТЭЦ для обеспечения тепловой нагрузки потребителя.

Материалы и методы исследования

Технико-экономические показатели теплового насоса зависят от параметров теплофикации. Для парокомпрессионного теплового насоса с температурой нагрева системы теплофикации 65°C результаты расчета сведены в таблицу. Для абсорбционного теплового насоса. Абсорбционный тепловой насос наиболее целесообразно проектировать на основе солей бромистого лития [6]. Результатами расчета абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса стали для установки с тепловой мощностью 25 МВт, количество подводимой энергии в генератор из теплофикационного отбора 3049, 482 кВт, утилизируемая низкопотенциальная теплота в конденсаторе 2371,54 кВт, кратность циркуляции раствора 6,48.

Характеристики схем включения ТНУ

Характеристика	Режим загрузки		
	Номинальный	частичная 1	частичная 2
Теплопроизводительность, МВт	14,258	10,184	8,147
Холодопроизводительность, МВт	11,3	8,5	6,9
Расход хладагента, кг/с	11,57	8,26	6,59
Максимальная температура сжатия/температура конденсации, °C	154/70	130/60	1119/55
Давление сжатия перед конденсатором, МПа	3,3	2,6	2,3
Удельная работа компрессора, кДж/кг	253	204	183
Коэффициент трансформации	3,7	4,6	5,1
Энергетическая мощность компрессора, МВт	3,853	2,217	1,587
КПД ТНУ	0,525	0,532	0,524

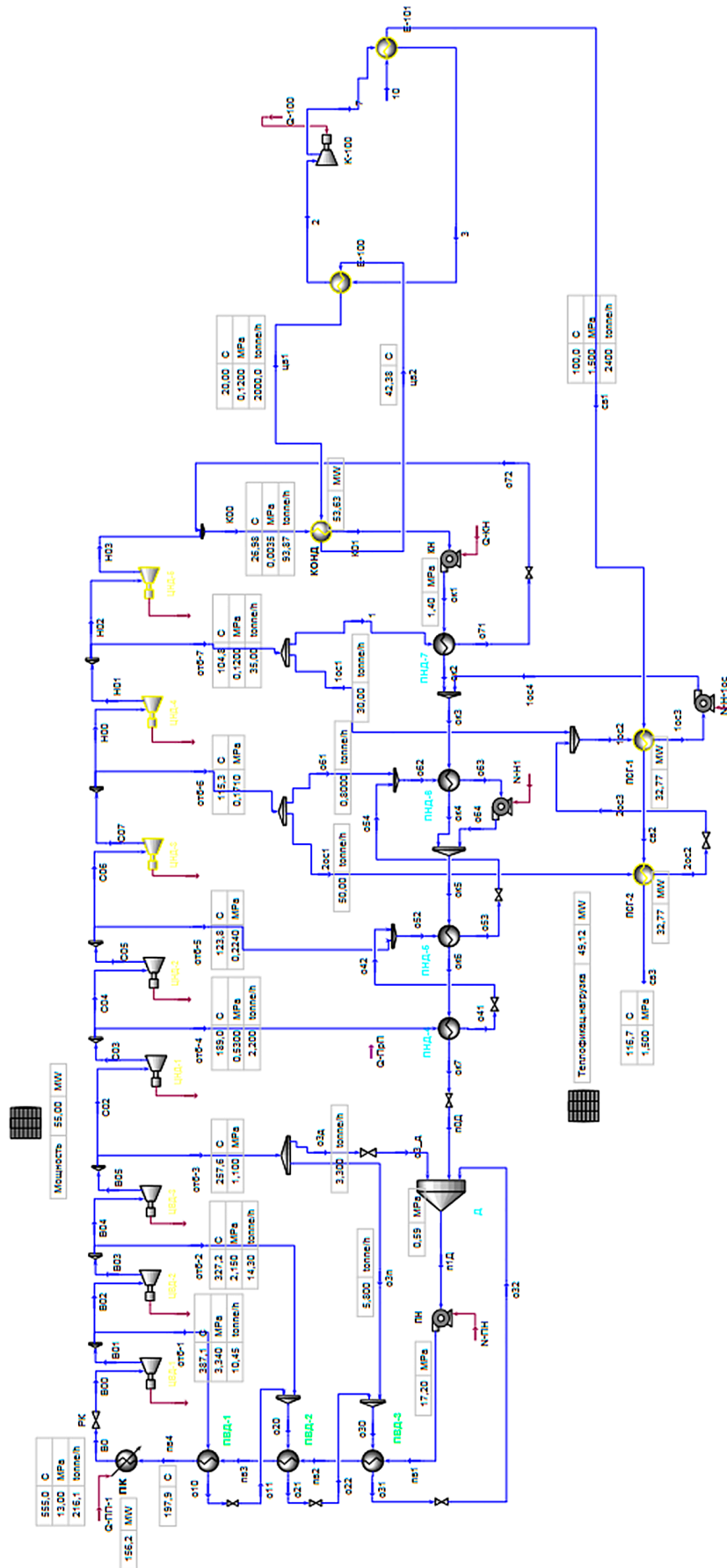


Рис. 2. Модель технологического цикла ТНУ в схеме турбины Т-50/55-130 в ПК Aspen Hysys

Создание модели, действующей на КТЭЦ-2 турбоустановки Т50/55-130, проводили с помощью программы Aspen Hysys. На начальном этапе исследования были заданы компоненты установки и произведена настройка пакета свойств, построена топология всех потоков турбоустановки со всеми входящими в ее состав элементами. Тепловая схема турбоустановки Т50/55-130 показана на рис. 1. Проведена настройка параметров турбоустановки и расчет этих параметров.

На следующем этапе нам необходимо:

- описать фазовое равновесие и свойства системы компонентов;
- определиться с логикой внешних и внутренних потоков турбоустановки;
- определиться со спецификациями турбоустановки.

Задаем параметры рабочего тела, в нашем случае это пар с температурой 555°C, давление 13,0 МПа. Так же задаются параметры по отборам турбоустановки. Задавая расход перегретого пара, получаем номинальную мощность турбоагрегата 55 МВт.

При номинальном режиме работы турбоустановки с включенной теплофикацией получаем параметры отборов пара. В параметрах отбора задаем давление и расход пара, требуемый для подогрева питательной воды и основного конденсата до требуемых температур. Остальные параметры считаются по балансовым уравнениям энергетических потоков [7, 8].

Создание модели турбоустановки с пароконденсационным тепловым насосом ПКТН в программе Aspen Hysys не имеет отличия от создания модели турбоустановки без теплового насоса.

В систему охлаждения конденсатора добавляем контур с теплообменником пароконденсационного теплового насоса, способного, забирая тепло циркуляционной воды на выходе из конденсатора турбины, повысить ее температуру и передать ее сетевой воде на входе в ПСГ-1 [9]. Модель технологического цикла турбоустановки с ПКТН, рассчитанная в программе Aspen Hysys, представлена на рис. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Тепловые насосы при разных режимах работы дают разные показатели эффективности: так, АБТН дает большее значение КПД при большей тепловой нагрузке, а ПКТН показывает лучшие показатели при меньшей тепловой нагрузке.

При использовании пароконденсационного теплового насоса расходуется электрическая энергия на привод компрес-

сора, и, следовательно, удельный расход на выработку электроэнергии значительно увеличивается. В абсорбционном режиме зависимости не столь значительны. В качестве показателей эффективности выбран коэффициент полезного действия по производству электроэнергии, расход пара на производство электрической и тепловой энергии (рис. 3) и коэффициент использования топлива (рис. 4).

КПД по производству электроэнергии представляет собой соотношение произведенной электрической энергии к затратам энергии на ее производство. КПД по выработке электрической энергии у абсорбционного теплового насоса (АБТН) растет, вследствие увеличения выработки электрической энергии на тепловом потреблении. У пароконденсационного же, наоборот, падает из-за потребления электрической энергии на привод компрессора теплового насоса и низменном тепловом потреблении. Значительные расходы электричества на привод компрессора теплового насоса делают применение малоэффективным.

На рис. 3 видим, что при увеличении тепловой нагрузки ПКТН увеличивается удельный расход пара на выработку одного кВт час электроэнергии, а у АБТН удельный расход пара на выработку одного кВт час электроэнергии не меняется от нагрузки теплофикационной установки турбоагрегата.

Удельный расход пара на производство электроэнергии у АБТН остается практически неизменным. Расход пара, идущий на тепловой насос, учитывается как тепловое потребление и мало влияет на показатели энергоэффективности производства электрической энергии. У ПКТН выработка электрической энергии уменьшается из-за затрат на собственные нужды и показатели производства электрической энергии ухудшаются (рис. 3).

Коэффициент использования топлива растет у абсорбционного насоса быстрее, так как у него коэффициент преобразования теплоты больше, чем у пароконденсационного. Коэффициент использования топлива у ПКТН выше при нагрузке 50 МВт по сравнению с АБТН при такой же тепловой нагрузке насоса.

Тепловые насосы позволяют передать низкопотенциальную теплоту циркуляционной воды на теплоснабжение и снизить расход топлива на выработку электроэнергии. Использование ТНУ для утилизации теплоты оборотного водоснабжения приводит к снижению расхода пара теплофикационного отбора, что дает значимую экономию топлива.

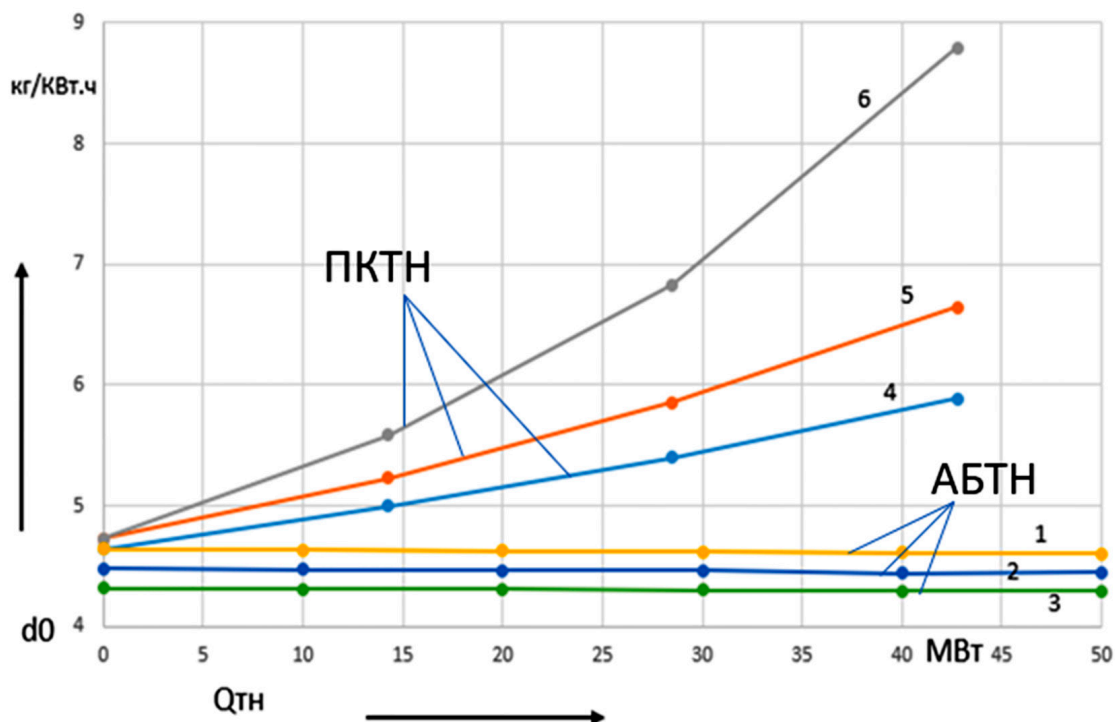


Рис. 3. Сравнение зависимостей удельного расхода пара на выработку 1 кВт час от тепловой нагрузки тепловых насосов: 1 – тепловая нагрузка АБТН 100 МВт; 2 – тепловая нагрузка АБТН 80 МВт; 3 – тепловая нагрузка АБТН 50 МВт; 4 – тепловая нагрузка ПКТН 100 МВт; 5 – тепловая нагрузка ПКТН 80 МВт; 6 – тепловая нагрузка ПКТН 50 МВт

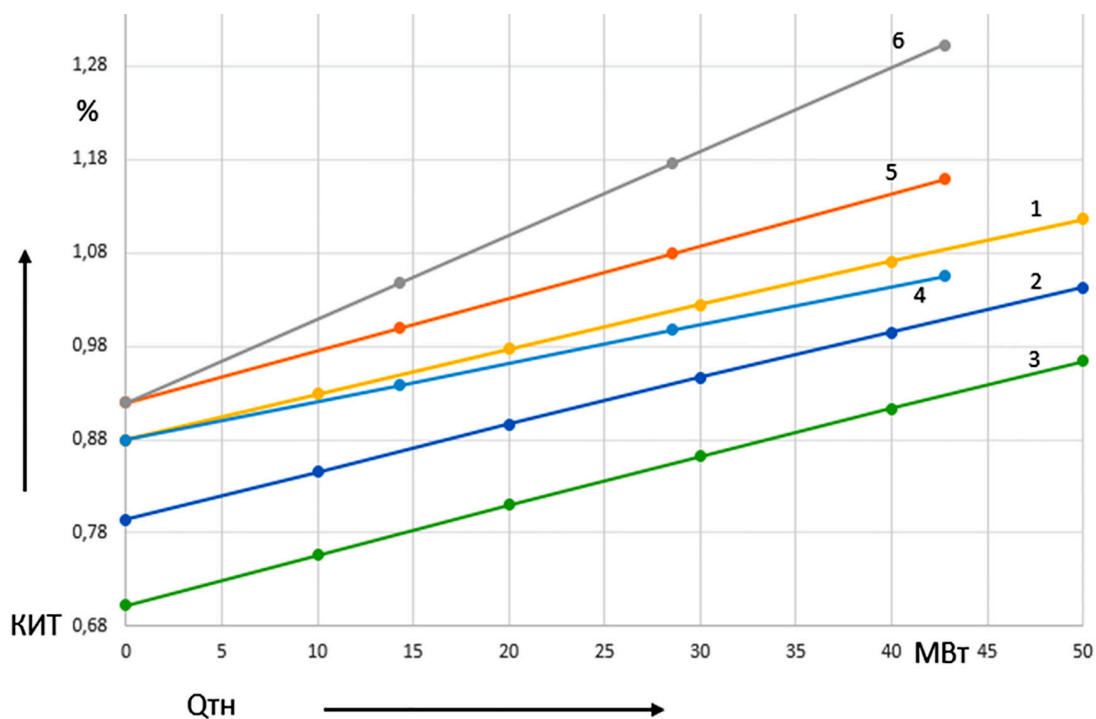


Рис. 4. Сравнение зависимостей коэффициента использования топлива от нагрузки тепловых насосов: 1 – тепловая нагрузка 100 МВт с АБТН; 2 – тепловая нагрузка АБТН 80 МВт; 3 – тепловая нагрузка АБТН 50 МВт; 4 – тепловая нагрузка 100 МВт с ПКТН; 5 – тепловая нагрузка 80 МВт и электрическая нагрузка 40 МВт ПКТН; 6 – тепловая нагрузка ПКТН 50 МВт

Заключение

По результатам работы можно сделать вывод о целесообразности применения тепловых насосов на ТЭЦ. Наибольшее количество теплоты на электростанции утилизируется в конденсаторе. Утилизация теплоты конденсатора позволяет снизить тепловую нагрузку турбоустановки, повысить коэффициент использования топлива и увеличить КПД. Применение тепловых насосов дает повышение показателей эффективности при увеличении теплового потребления. При замене выработки теплового потребления с теплофикационных отборов на тепловой насос в энергоустановке происходит снижение выработки энергии на тепловом потреблении, и показатели эффективности падают.

Большой прирост показателей эффективности дает абсорбционный тепловой насос, поскольку он для производства тепловой энергии использует тепло отборов турбины. При использовании парокompрессионных тепловых насосов не требуется использования пара отборов турбоустановки, но при этом для работы компрессора затрачиваются значительные объемы электроэнергии. Электрическая энергия – конечный продукт электрической станции, вследствие чего более дорогой, и использование ее для производства тепловой энергии нецелесообразно.

Тепловой насос позволяет более эффективно охлаждать конденсатор, что приведет к равномерному и постоянному температурному режиму. Замкнутая система охлаждения конденсатора турбоустановки с тепловым насосом исключает возможность загрязнения конденсатора органическими веществами, примесями и отложениями. Так же снижается количество выбросов

вредных примесей в окружающую среду, как при оборотном водоснабжении.

Список литературы

1. Шаломов В.И. Численное исследование эффективности замещающей турбины с повышенной температурой свежего пара для технического перевооружения турбоустановок семейства Т-100 // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 5 (53). С. 11–18.
2. Шаломов В.И. Оценка эффективности применения повышенных докритических начальных параметров пара для теплофикационного энергоблока мощностью 200–250 МВт // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 5 (45). С. 4–11.
3. Курнакова Н.Ю., Нуждин А.В., Волхонский А.А. О возможности повышения энергоэффективности тепловой схемы ТЭС с применением теплового насоса // iPolytech Journal. 2018. № 7. С. 114–122.
4. Ким К.К., Просолович А.А., Иванов С.Н. Алгоритм CFD-моделирования процесса теплопереноса в совмещенном электротехническом устройстве // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 3 (43). С. 65–72.
5. Шаломов В.И. Предварительный анализ эксплуатационных показателей паротурбинных установок новой Советско-Гаванской теплоэлектростанции // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2023. № 3 (67). С. 28–34.
6. Гришкова А.В., Нечаев А.В. Применение абсорбционных тепловых насосов на паротурбинных ТЭЦ // Молодежный научный вестник. 2018. № 6. С. 119–127.
7. Андрианов И.К. Построение обобщенного критерия оптимизации конкурирующих параметров тепловой защиты оболочечных элементов в условиях теплового и силового нагружения // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 1 (49). С. 4–9.
8. Андрианов И.К. Численная модель многокритериальной оптимизации тепловой защиты оболочечных элементов в условиях теплового и силового нагружения // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 3 (51). С. 14–20.
9. Фецов С.С. О моделировании нестационарного охлаждения пористых саморазогревающихся объектов методом конечных объемов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 5 (53). С. 52–54.