



Стохастические уравнения для моделирования процессов переноса в установках на базе органического цикла Ренкина

Дмитренко А.В.^{***}, Колпаков М.И.^{*}, Лазарева М.А.^{*}, Нестеренко И.С.^{*}, Рагулин И.Ю.^{*}, Королев А.Д.^{*}, Мишин А.А.^{*}, Хлобыстов С.М.^{*}, Фесенко А.А.^{*}

^{*}Российский университет транспорта «МИИТ», Москва

^{**}Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

На современном этапе изучения процессов в природе и технике остаются востребованы инженерные методики. Здесь представлены результаты, полученные на основе стохастической теории турбулентности и теории эквивалентности мер, учитывающие интенсивность турбулентности при кипении и конденсации в агрегатах энергетики.

Введение

Модуль органического цикла Ренкина

На сегодняшний день одним из актуальных решений использования вторичной энергии является применение модуля органического цикла Ренкина (далее — ОЦР). Данный цикл позволяет ис-

пользовать энергетические ресурсы низкого потенциала с целью повышения энергоэффективности объекта [1, 2].

Варианты исполнения схем утилизации низкопотенциальной энергии на установках ОЦР представлены на Рис. 1.

В случае использования фреона R245fa схема дополняется участком пароперегрева, который отмечен точкой 6 на Рис. 1(б). Ключевым моментом для ОЦР является выбор рабочего тела, физико-химические характеристики которого определяют энергетическую эффективность цикла. Вопросу выбора рабочего тела для ОЦР посвящено достаточное количество исследований [2–4]. Поэтому задача поиска рабочих тел ОЦР, обладающих требуемым набором свойств, имеет компромиссное решение

Уравнения переноса

Для описания процессов переноса для условий аппаратов, представленных на Рис. 1 разработана стохастическая теория в [3, 4]. Эквивалентность мер между детерминированным и случайным движением записано для области начала генерации

© Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН
© Институт проблем механики им А.Ю. Ишлинского РАН
© Дмитренко Артур Владимирович, AVDmitrenko@mephi.ru
© Колпаков Михаил Игоревич, fdiolit@mail.ru
© Лазарева Мария Александровна, m.a.kolosova@yandex.ru
© Нестеренко Илья Сергеевич, nemo1709@mail.ru
© Рагулин Илья Юрьевич, ilya-ragulin@mail.ru
© Королев Александр Дмитриевич, alkorolev0400@gmail.com
© Мишин Алексей Андреевич, Maamsk871@gmail.com
© Хлобыстов Сергей Михайлович, Khlobystov1997@gmail.com
© Фесенко Андрей Александрович, fesenko.andrej@mail.ru

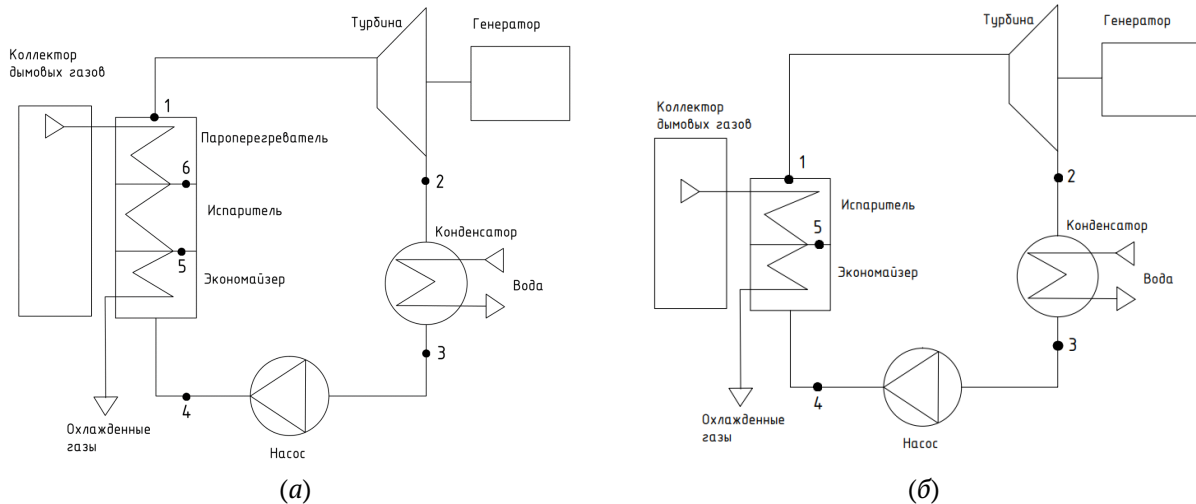


Рис. 1. Принципиальная схема ОЦР: (а) схема котельной на базе ОЦР без перегрева пара с рабочими телами R113, R141b, R365mf3; (б) схема котельной на базе ОЦР с перегревом пара, где в качестве рабочего тела выступает фреон R245fa

Таблица 1. Свойства некоторых органических веществ, применяемых в ОЦР и сравнение их с водой

Рабочее тело	Формула	t , °C	p , бар	t , °C
Вода	H ₂ O	379.9	220.6	100
R-245fa	C ₃ H ₃ F ₅	154.1	36.4	14.8
R-134a	CF ₃ CH ₂ F	101.1	40.6	-26.1

Таблица 2. Сравнение результатов для расчета Nu_d

Re	Nu_d , уравнение (1)	Nu_d , уравнение (2)
10 ⁴	46	53
10 ⁵	344	337
10 ⁶	2587	2125

(1,0) как

$$Nu_d = 0.2 \left[\left(\frac{\sqrt{E_{st}/\rho}}{U_0} \right) Re_d \right]^{7/8} \left[(Pr)^{7/12} \right], \quad (1)$$

которая сопоставлялась с эмпирическим уравнением

$$Nu = 0.021(Pr_L)^{0.43}(Re_d)^{0.8}(Pr_L/Re_d)^{0.25}. \quad (2)$$

Выводы

В настоящее время перспективным способом утилизации низкопотенциальной тепловой энергии на объектах энергетики является применение технологии ОЦР. Расчеты по формуле (1), полученной на основе стохастических уравнений [1–4], показывают удовлетворительное соответствие величинам, полученным по эмпирическим зависимостям при кипении и при конденсации (2). Существенное влияние на термодинамическую эффективность и экологичность оказывает выбор органического рабочего тела для проектируемой установки, поэтому применение разных методологий.

Список литературы

- [1] Lake A.A., Bolland O. Working fluids for low-temperature heat source // Applied Thermal Engineering. 2010. V. 30. P. 1262–1268.
- [2] Колосова М.А., Колпаков М.И., Дмитренко А.В. Особенности расчёта конденсационного оборудования для электроэнергетических комплексов на основе органического цикла Ренкина // Энергетик. 2022. № 10. С. 50–54.
- [3] Dmitrenko A.V. Analytical determination of the heat transfer coefficient for gas, liquid and liquid metal flows in the tube based on stochastic equations and equivalence of measures for continuum // Contin. Mech. Thermod. 2017. V. 29(6). P. 1197–1206.
- [4] Dmitrenko A.V. Theoretical calculation of laminar-turbulent transition in the round tube on the basis of stochastic theory of turbulence and equivalence of measures // Cont. Mech. and Thermod. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00161-022-01125-4>.