

Рис. 1. Состав участников опроса

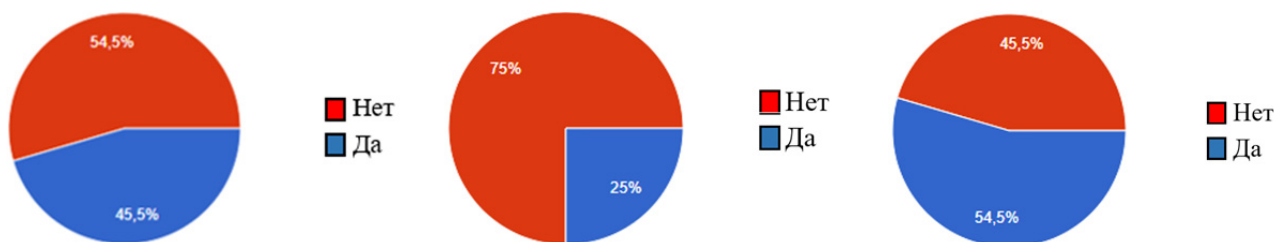


Рис. 2. Знают ли студенты, что такое метод кейсов

Рис. 3. Принимали ли студенты участие в решении кейсов

Рис. 4. Желание студентов принимать участие в решении кейсов

Метод кейсов в вузах помогает студентам применять теоретические знания, которые они получили в учебе, к реальным ситуациям. Он также способствует развитию самостоятельности, творчества и критического мышления. Кроме того, он готовит студентов к будущей профессиональной деятельности, где они будут сталкиваться с реальными проблемами и принимать важные решения.

Метод кейсов позволяет студентам развить не только знания и навыки, но и способность адаптироваться к новым ситуациям, решать проблемы, работать в команде и применять критическое аналитическое мышление в своей будущей карьере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канатников А.Н., Шмагина Е.А. Задача терминального управления движением летательного аппарата // Нелинейная динамика и управление. – 2010. – Вып. 7. – С. 79–94.
2. Стрекалова Н.Д., Беляков В.Г. Санкт-Петербургский филиал Нац. исслед. ун-та «Высшая школа экономики». – СПб.: Отдел оперативной полиграфии НИУ ВШЭ, 2013. – 80 с.
3. Юлдашев З.Ю., Бобохужаев Ш.И. Инновационные методы обучения: Особенности кейс-стади метода обучения и пути его практического использования. – Ташкент: «IQTISOD-MOLIYA», 2006. – 88 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ С ЦЕЛЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

Ю.С. Цыбочкина

Томский политехнический университет,
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. 5081

Научный руководитель: А.В. Воробьев, к.т.н., доцент И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

В последние годы в нашей стране и за рубежом заметно вырос интерес к атомной энергетике. Более 30 стран мира эксплуатируют 444 атомных реактора для выработки электроэнергии.

гии, а 66 новых атомных станций находятся в стадии строительства. Атомная энергетика обеспечивает доступ к чистой, надежной и доступной энергии. Однако атомные энергоблоки имеют сравнительно невысокий КПД, причем основные потери теплоты имеют место в конденсаторе паротурбинной установке АЭС. В силу этого представляется целесообразным совершенствование работы конденсационной установки.

Как правило, конденсатор современных турбин АЭС представляет собой горизонтальный кожухотрубный теплообменный аппарат, в котором происходит конденсация отработавшего в турбине пара за счет передачи некоторой теплоты пара охлаждающей воде, перекачиваемой через теплообменные трубки циркуляционными насосами, при постоянном давлении. Образовавшийся конденсат откачивается конденсатными насосами из конденсатосборника в систему регенерации.

Одним из способов повышения эффективности процесса конденсации отработавшего пара является интенсификация теплообмена в конденсаторе, в частности за счет использования трубок с негладкой поверхностью [1].

Для численной иллюстрации эффективности данного способа интенсификации теплообмена необходимо построение модели, позволяющей проводить сравнительные расчеты для гладких и негладких трубок.

Параметром, характеризующим эффективность теплообмена, является коэффициент теплопередачи. Достаточной точностью расчета коэффициента теплопередачи обладает методика предложенная ВТИ (при $t_{1B} \leq 35 \text{ }^\circ\text{C}$) [2].

$$k = 4070a \left(\frac{1,1W_B}{d_{BH}^{0,25}} \right)^x \left(1 - \frac{0,52 - 0,002d_k\sqrt{a}}{1000} (35 - t_{1B})^2 \right) \left(1 - \frac{z - 2}{10} \left(1 - \frac{t_{1B}}{35} \right) \right) \quad (1)$$

где a – коэффициент состояния поверхности теплообмена конденсатора (учитывает степень загрязненности теплообменных трубок); d_{BH} – внутренний диаметр теплообменных трубок, мм; W_B – скорость охлаждающей воды в трубках, м/с; d_k – удельная паровая нагрузка конденсатора, кг/(м³ · ч); t_{1B} – температура охлаждающей воды на входе в конденсатор, °C; z – число ходов охлаждающей воды; $x = 0,12a(1 + 0,15t_{1B})$.

Интенсификация теплообмена обычно учитывается умножением соответствующего коэффициента теплоотдачи, рассчитанного для гладких труб, на некоторый ненулевой коэффициент, зависящий от параметров негладкой трубы.

Однако выражение (1) не представляет возможным учесть интенсификацию теплообмена за счет применения накатанных³ трубок, т. к. в этой формуле коэффициенты теплоотдачи в явном виде не присутствуют. Вследствие чего предлагается следующий подход – расчет производить по традиционному выражению для коэффициента теплопередачи (2), но подобрать выражения для определения α_B и α_{Π} , которые бы обеспечивали близкие значения коэффициента теплопередачи для гладких трубок.

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{(d_H - d_{BH})}{2\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_{\Pi}} \right)^{-1} \quad (2)$$

где α_B, α_{Π} – коэффициент теплоотдачи со стороны воды и пара, Вт/(м² · К); d_H – наружный диаметр теплообменных трубок, мм; λ_{CT} – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м · К);

При расчете коэффициента теплоотдачи со стороны охлаждающей воды не возникает сложностей, т. к. все формулы обеспечивают одинаковую точность. Одна из самых популярных представлена ниже.

$$\alpha_B = 0,023Re_B^{0,8} Pr_B^{0,4} \frac{\lambda_B}{d_{BH}} \quad (3)$$

³ Накатка – витое профилирование теплообменных трубок с внутренней и наружной стороны одновременно [3].

где λ_B – коэффициент теплопроводности охлаждающей воды, Вт/(м·К); $Re_B = (W_B d_{BH})/\nu_B$ – число Рейнольдса по водяной стороне; ν_B – кинематическая вязкость, м²/с; Pr_B – число Прандтля по водяной стороне.

При расчете коэффициента теплоотдачи со стороны пара напротив, появляется необходимость подбора для него такого выражения, которое бы при подстановке в выражение (2) обеспечило достаточную близость результатов по сравнению с выражением (1).

Известно некоторое количество эмпирических формул, выведенных для расчета коэффициентов теплоотдачи при конденсации пара. Для сравнения были выбраны следующие выражения [4]:

1. Эмпирическая формула, полученная в ВТИ

$$\alpha_{\Pi} = 28,3 \alpha_{Nu} \Pi^{0,08} Nu^{-0,58} \quad (4)$$

где $\Pi = (\rho_{\Pi} W_{\Pi}^2)/(\rho_k g d_H)$ – безразмерное число; ρ_{Π} – плотность пара, кг/м³; W_{Π} – скорость набегающего потока пара в трубном пучке, м/с; $Nu = (\alpha_{Nu} d_H)/\lambda_k$ – число Нуссельта; α_{Nu} – теоретический коэффициент теплоотдачи со стороны пара (по (5)).

$$\alpha_{Nu} = 0,725 \left(\frac{\lambda_k^3 \rho_k^3 r g}{\mu_k \Delta t_{\text{тс}} d_H} \right) \quad (5)$$

λ_k – коэффициент теплопроводности конденсата пара, Вт/(м·К); ρ_k – плотность конденсата, кг/м³; μ_k – динамическая вязкость, Па·с; r – скрытая теплота парообразования, кДж/кг; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; $\Delta t_{\text{тс}} = (t_s - t_{\text{ст}})$ – температурный напор, °С; t_s – температура насыщения в конденсаторе, °С; $t_{\text{ст}}$ – температура стенки теплообменной трубки, °С

2. Эмпирическая формула КТЗ:

$$\alpha_{\Pi} = 19 \alpha_{Nu} \Pi^{0,1} Nu^{-0,5} \left(1 + \frac{z}{2} \right)^{0,33} \bar{s}^{0,15} \quad (6)$$

где $\bar{s} = s_{\text{узк}}/(\pi d_H N)$ – относительный периметр набегания пара на трубный пучок; $s_{\text{узк}}$ – периметр набегания пара в сечении между трубками по периферии трубного пучка; N – число труб в пучке.

3. Эмпирическая формула С.С. Кутателадзе:

$$\alpha_{\text{см}} = \alpha_{Nu} (1 - 4,716 \varepsilon^{0,477}) \quad (7)$$

где $\varepsilon = D_{\text{возд}}/D_k$ – относительное содержание воздуха в паре, кг/кг.

Сравнительные расчеты коэффициента теплопередачи проводились на основе характеристик, характерных для конденсационной установки турбины К-1200-6,8/50 Ленинградской АЭС-2. Исходные данные на один корпус конденсаторной группы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для проведения расчета

D_k , кг/ч	G_B , кг/ч	a	d_H , мм	d_{BH} , мм	z , –	d_k , кг/(м ³ ·ч)	p_k , кПа	$D_{\text{возд}}$, кг/с
1644000	170000000	0,81	28	26,8	1	32,5	4,76	0,039

Результаты расчетов представлены на рис. 1. Из рис. 1 видно, что в диапазоне скоростей от 0,2 до 0,7 м/с наиболее близкие к зависимости (1) значения выражений (4) и (7). Однако при повышении скорости течения охлаждающей воды в трубках, значения, получаемые из выражения (7) имеют больший разбег, чем значения выражения (4) по сравнению со значениями коэффициента теплопередачи, полученными из выражения (1). Значения коэффициента теплопередачи, полученные через введение коэффициента теплоотдачи, вычисленного по эмпирической формуле КТЗ, образуют собой линию, имеющую несколько другой характер, относительно линии зависимости (1).

Очевидно, что только формула (4) дает достаточно близкие значения коэффициента теплопередачи относительно соответствующих значений КТП по эмпирической формуле (4). Связано это может быть с тем, что обе формулы были выведены одним институтом.

Это указывает на возможность использования эмпирической зависимости (4) в разрабатываемой модели расчета оценки эффективности интенсифицированных поверхностей нагрева в конденсаторах АЭС.

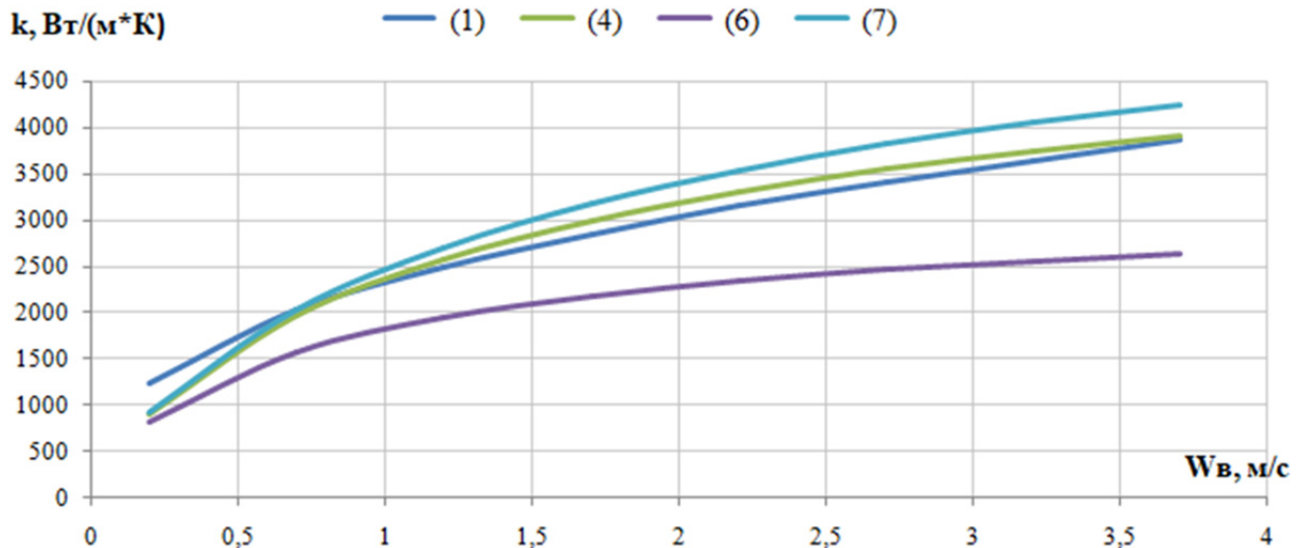


Рис. 1. Распределение коэффициента теплопередачи в зависимости от скорости движения охлаждающей воды

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гортышев Ю.Ф., Олимпиаев В.В., Байгалиев Б.Е. Теплогидравлический расчет и проектирование оборудования с интенсифицированным теплообменом. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ен-та, 2004. – 432 с.
2. Руководящие указания по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций. – Москва: СПО Союзтехэнерго, 1982.
3. Бродов Ю.М. и др. Современная ситуация и тенденции в проектировании и эксплуатации конденсаторов мощных паровых турбин ТЭС и АЭС: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2019. – 104 с.
4. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин: учебное пособие для вузов. – Москва: Энергоатомиздат, 1994. – 288 с.

ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КЕЙСОВ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

А.А. Барковская

Томский политехнический университет,
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. 5091

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, к.п.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова, ТПУ

Качественная подготовка инженерных кадров для отечественной промышленности – основная задача российских технических университетов. Учебные заведения обеспечивают студентов широким спектром теоретических знаний, которые в свою очередь необходимы для дальнейшей работы выпускников. Но устраиваясь на работу, молодой инженер может