нием слоистых) компоненты можно разделить на матрицу и включенные в нее армирующие элементы.

В последнее время научные центры экспериментируют с композитными материалами. Целью служит создание более удобных в производстве, а значит – и более дешёвых материалов. Исследуются саморастущие кристаллические структуры, склеенные в единую массу полимерным клеем (цементы с добавками водорастворимых клеев), композиции из термопласта с короткими армирующими волоконцами.

В настоящее время известно огромное количество композитов и их главное преимущество заключается в том, что материал и конструкция создается одновременно. Также в его плюсы входит высокая удельная прочность (3500 МПа), высокая жесткость (модуль упругости в композитных материалов колеблется от 130 до 240 ГПа), высокая износостойкость, легкость и высокая усталостная прочность. Стоит отметить, что разные классы композитов могут обладать одним или несколькими преимуществами. Некоторые качества композитных материалов невозможно добиться одновременно.

Не смотря на то, что композитные материалы имеют множество положительных сторон, у них есть и масса крупных недостатков, которые сдерживают их распространение. Из существенных недостатков можно выделить высокую стоимость производства, анизотропию свойств (непостоянство свойств композитных материалов от образца к образцу), низкую ударную вязкость (обуславливает высокую повреждаемость изделий из композитных материалов), высокий удельный объем, гигроскопичность, выделение токсичных паров при эксплуатации. Композиционные материалы обладают низкой эксплуатационной технологичностью, низкой ремонтопригодностью и высокой стоимостью эксплуатации. Часто объекты из композиционных материалов вообще не подлежат какой-либо доработке и ремонту.

Рассмотрим значение композитных материалов для судостроения. Здесь основной задачей является уменьшение количества используемых материалов, повысив при этом надежность и качество конструкций. Решению этой задачи во многом способствует применение композиционных материалов и современных средств защиты от коррозии.

Новые полимерные и металлополимерные композиционные материалы позволяют создавать безнаборные или редко подкрепленные набором корпусные конструкции из сэндвич-композиций с высокопрочными слоями из стеклопластика или стали и средним слоем из полимерных композиций низкой плотности. Применение таких материалов обеспечивает строительство современных высокоскоростных судов.

В условиях ужесточения требований по пожаробезопасности и экологичности судов новых поколений возрастает значение многофункциональных теплозвукоизоляционных материалов и покрытий для обустройства судовых помещений. Малая плотность материалов при обеспечении пожаробезопасности позволяет применять их в архитектуре надводной части судов всех типов, что способствует улучшению устойчивости, уменьшению радиолокационной заметности судов, облегчению эксплуатации корпуса.

Уникальные свойства композиционных материалов позволяют изготавливать высокопрочные, легкие корпуса катеров, яхт. Для их создания главным образом используются различные виды стеклопластиков, которые имеют отличную химическую и биологическую стойкость. К его преимуществам также относятся: прочностные и технологические свойства, улучшение условий труда, сокращение расходов на вентиляцию производственных помещений. Одним из интересных применений композиционных материалов в судостроении является использование углепластиков для подводных крыльев судов. Также из композиционных материалов изготавливаются спасательные шлюпки для танкеров, перевозящих нефтепродукты. Такие шлюпки способны вынести экипаж судна из зоны утечки горящей нефти в случае аварии.

Итак, подведём итог. Высокая коррозионная стойкость, способность к восприятию ударных нагрузок, отличное качество поверхности, красивый внешний вид обусловили широкое применение композиционных материалов практически во всех отраслях промышленности, в том числе и в судостроении. Можно сделать вывод, что композит – это материал будущего.

ЭКСТРАПОЛЯТОР ТРЕНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Егорушкин С.В., Кошкин С.В.

ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Комсомольск-на Амуре, e-mail: egorushkin89@mail.ru

Экстраполятор трения пластины является базой для прогнозирования вязкостного сопротивления воды движению судна при его безотрывном обтекании. Аналитические экстраполяторы трения основаны на решениях уравнений движения жидкости при заданном профиле скорости в пограничном слое (ПС). При этом особенности движения жидкости в ламинарном подслое не учитываются [1, 2, 3, 4,…]. Кроме того, им присущи значительные погрешности в области средних чисел Рейнольдса. Для устранения этого недостатка часто применяют эмпирические зависимости [2, 5].

В работе разрабатываются экстраполяторы трения на основании решения уравнения движения жидкости в ламинарном подслое. В результате для пристеночной области движение жидкости описывается уравнением Лапласа [1]:

$$\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial y^2} = 0 . \qquad (1)$$

Наиболее простым способом отыскания проекции скорости вдоль пластины ux является разделение переменных $\upsilon_x = \upsilon_1(x) \cdot \upsilon_2(y)$, с учетом которого решение уравнение определяется функцией вида:

$$\upsilon_x = \left(A_1 e^{\lambda x} + A_2 e^{-\lambda x} \right) \sin \lambda y . \qquad (2)$$

Постоянные A_1 и A_2 определяются как:

$$A_1 e^{\lambda x} + A_2 e^{-\lambda x} = \frac{\tau_0}{\mu\lambda} , \qquad (3)$$

а именно из значений касательных напряжений t00 на носике пластины (при x=0) и t_{0L} – конце пластины (при x=L). Соответствующий закон изменения касательных напряжений по длине пластины примет вид

$$\tau_0 = \frac{\tau_{0L} \cdot Sh\lambda x - \tau_{00} \cdot Sh\lambda(x - L)}{\mu \cdot \lambda \cdot Sh\lambda L} . \qquad (4)$$

В настоящее время [1,2,5,…] в пристеночной области υ_x описывается линейным законом $\upsilon_x = \frac{\tau_0}{\mu} \cdot y$, который удовлетворяет уравнению движения (1) и хорошо согласуется с экспериментально подтвержденным фактом [5], что

$$\tau = \tau_0 = const \qquad (5)$$

в области ламинарного подслоя и переходной зоне по толщине ПС при $y/\delta \le 0{,}15 \ldots 0{,}19$. По существу

линейная зависимость для υ_x является частным тривиальным решением (1). Решение вида (2) более общим и не противоречит условию (5). Невозможность точного определения λ из условия (5) не исключает возможности использования (4) для определения экстраполятора трения C_f для пластины. В этом случае λ можно рассматривать как коэффициент, определяемый из условия согласования C_f с экспериментальными данными. Для этого случая выражение для экстраполятора будет, конечно, полуэмпирическим. Но используемые в настоящее время экстраполяторы, например, Прандтля-Шлихтинга,

$$C_f = \frac{0.455}{(\lg Re)^{2.58}} \qquad (6)$$

так же являются полуэмпирическими, за счет корректировки выполненной Шлихтингом (по экспериментальным данным) [2] для решения полученного Прандтлем.

Перейдем к определению структурной зависимости для экстраполятора трения C_{f0}. Коэффициент трения пластины единичной ширины, длиной L определится в результате суммирования касательных напряжений по длине пластины,

$$C_{f0} = \frac{R_{\text{тр}}}{\rho\frac{\upsilon^2}{2}L\cdot 1} = 2\frac{\int_0^L \tau_0 dx}{\rho\upsilon^2 L}, \qquad (7)$$

которая при $\lambda L \sim \left(\frac{\delta}{L}\right)^{-1}$ и $\text{th}\frac{\lambda L}{2} \to 1$, дает соотношение:

$$C_{f0} = \frac{2(\tau_{00} - \tau_{0L})}{\lambda L \rho \upsilon^2}. \qquad (8)$$

Формула (8) кроме неопределенного члена λL содержит значения касательных напряжений τ_{00} и τ_{0L} в носике и на конце пластины. Для их определения воспользуемся интегральным соотношением для ПС пластины [1]:

$\frac{\partial\delta^{**}}{\partial x} = \frac{\tau_0}{\rho\upsilon^2}$, где $\partial\delta^{**} = \int_0^\infty \frac{\upsilon_x}{\upsilon}\left(1 - \frac{\upsilon_x}{\upsilon}\right)dy$ – толщина потери импульса ПС. Тогда структура формулы для экстраполятора трения C_{f0} будет:

$$C_{f0} = \frac{2(a+b)}{\lambda L}\frac{\delta_L^{**}}{L}, \qquad (9)$$

что хорошо согласуется с известным решением для C_{f0}, полученным из интегрального соотношения [1]: $C_{f0} = 2\frac{\delta_L^{**}}{L}$. Относительная толщина на задней кромке пластины δ_L^{**}/L, в настоящее время, может быть определена по одной из следующих формул [1, 2 ,5, …]:

$$\frac{\delta_L^{**}}{L} = \frac{a}{(\lg Re)^n} \qquad (10)$$

$$\frac{\delta_L^{**}}{L} = \frac{a}{(\lg mRe)^n} \qquad (11)$$

$$\frac{\delta_L^{**}}{L} = a(\lg Re)^n + b(\lg Re)^m \qquad (12)$$

Коэффициенты *a, n, m, b* в них определяются из экспериментальных данных для пластины обобщённых Шлихтингом [2] и Г.Е. Павленко [7].

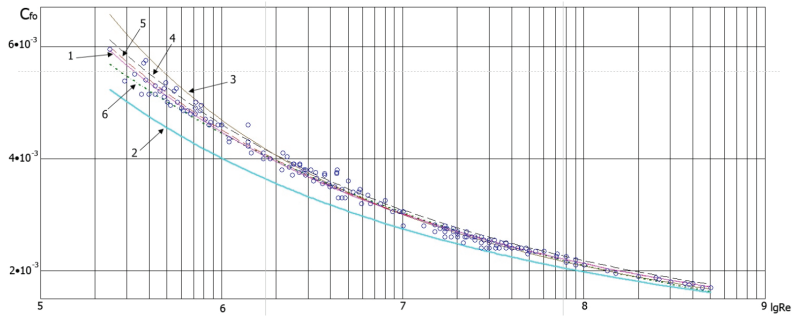
В результате обработки этих данных (с использованием метода наименьших квадратов и исключением явных промахов) получены следующие экстраполяторы трения:

$$C_{f0} = 0.486/(\lg)\, Re^{-2.612} \qquad (13)$$

$$C_{f0} = 9.48\cdot 10^{14}\left[\lg Re + 24.08\right]^{-11.722} \qquad (14)$$

$$C_{f0} = 0.229(\lg Re)^{-2.705} + 0.262(\lg Re)^{-2.532} \qquad (15)$$

Эти зависимости приведены на рис. 1, где (для сравнения) нанесены и другие экстраполяторы трения.



Экстраполятор трения. Обобщение экспериментальных данных (точки):
1 – по формуле Прандтля-Шлихтинга $C_{f0} = 0.455/(\lg Re)^{2.58}$ *; 2 – по формуле А.Ф. Пустошного и В.М. Котловича* $C_{f0} = 0.323/(\lg Re)^{2.45}$ *;*
3 – по формуле МКОБ $C_{f0} = 0.075/(\lg Re - 2)^2$ *; 4, 5, 6 – по формулам (15), (13), (14) соответственно*

Анализируя результаты, приходим к следующим выводам:

– экстраполятор трения (13)

$$C_{f0} = 0.486/(\lg Re)^{-2.612}$$

хорошо соответствует обобщенным экспериментальным данным (рисунок). При этом его значения численно близки к соответствующим значениям, полученным с использованием экстраполятора Прандтля-Шлихтинга. Но в тоже время, этот экстраполятор частично устраняет недостаток отмечаемый для формулы Прандтля-Шлихтинга – занижение значений трения при малых числах Рейнольдса;

– экстраполяторы трения (14) и (15) полученные исходя из более детального анализа характеристик ПС на пластине хорошо согласуются с экспериментальными данными в области чисел Рейнольдса $Re > 1\cdot 10^7$, где все экстраполяторы практически идентичны. В области более малых Re экстраполятор (15)

завышает значения C_{f0}, а (14) приводит к занижению этих значений. Таким образом, область их применения ограничена $Re>1\bullet10^7$ при большей точности (14).

Список литературы

1. Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И, Федяевский К.К. Гидромеханика. Л.: Судостроение, 1982. – 456 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.
3. Кошкин С.В., Селиванов Е.И., Тарануха Н.А., Шадрин М.П. Модернизация и развитие дальневосточного опытового бассейна КнАГТУ // Морские интеллектуальные технологии, специальный выпуск № 2, 2011. – 45 с.
4. Кошкин С.В., Селиванов Е.И., Тарануха Н.А., Шадрин М.П. Методика обработки результатов буксировочных испытаний моделей судов в опытовом бассейне // Ученые записки КнАГТУ, № II-1(6), 2011. – 86 с.
5. Кацман Ф.М., Пустошный А.Ф., Штумпф В.М. Пропульсивные качества морских судов, Л.: Судостроение, 1972. – 512 с.
6. Ротта И.К. Турбулентный пограничный слой в несжимаемой жидкости. – Л.: Судостроение, 1967. – 226 с.
7. Павленко Г.Е. Сопротивление воды движению судов. – М.: Морской транспорт,1 956. – 508 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЕКТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТУРБОУСТАНОВКИ СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРА

Зуева А.Е., Седельников Г.Д.

ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Комсомольск-на-Амуре, e-mail: ido@knastu.ru

Одним из основных направлений совершенствования паротурбинных энергоблоков является повышение начальных параметров пара. Известно, что повышение начальной температуры пара t_0 при фиксированном давлении увеличивает КПД энергоблока, т.к. это благоприятно сказывается на термическом КПД цикла и на внутреннем КПД цилиндра высокого давления (ЦВД).

Влияние начального давления пара p_0 не столь однозначно. При постоянной температуре повышение p_0 ведет к снижению высоты лопаток ЦВД и, следовательно, к росту относительных потерь и снижению внутреннего КПД ЦВД. Кроме того, возрастает влажность пара в конце процесса его расширения. Это снижает внутренний КПД цилиндра низкого давления и усиливает эрозию его лопаток. С другой стороны, увеличение p_0 сопровождается ростом адиабатного теплоперепада в ЦВД. При этом возрастает мощность ЦВД при том же массовом расходе пара. Положительное влияние прироста теплоперепада преобладает над отрицательными факторами и КПД энергоблока будет расти примерно до давления p_0= 40 МПа. При p_0 больше 40 МПа крутизна начальных изотерм и конечных изобар ЦВД в i-s диаграмме такова, что адиабатный теплоперепад начнет уменьшаться.

Наибольший энергетический эффект достигается при одновременном росте p_0 и t_0. Однако повышение параметров свежего пара и переход на сверхкритические параметры приводит к необходимости применять более дорогие жаростойкие и жаропрочные материалы для лопаток турбин, трубок котлов и главных паропроводов. Поэтому необходим проектный поиск оптимальных значений начальных параметров пара по технико-экономическому критерию.

Данная задача решалась на основе разработанной с учетом рекомендаций [1] математической модели для энергоблока с конденсационной турбиной К-300, у которой проектные начальные параметры составляли 16,6 МПа и 540 ºС. Были рассмотрены 7 вариантов сочетаний начальных параметров, в том числе варианты 4-7 со сверхкритическими параметрами (табл.). Расчеты показали, что одновременное повышение начальных параметров с 16,6 МПа/540 ºС до 30 МПа/610 ºС увеличивает КПД по выработке электроэнергии $\eta_{эл}$ с 0,437 до 0,484, т.е. примерно на 11 %.

Для расчета экономических показателей в математическую модель были введены зависимости по влиянию начальных параметров пара на капитальные затраты по энергоблоку (цена котла, турбоагрегата, паропроводов), предложенные в работе [2], а также зависимости по расчету годовых эксплуатационных затрат, срока окупаемости дополнительных капитальных затрат $\tau_{ок}$, годового экономического эффекта $Э_г$ по отношению к исходному варианту и др.

Результаты расчетов (таблица) показывают, что наибольший годовой экономический эффект из всех рассмотренных сочетаний начальных параметров соответствует варианту 24 МПа/580 ºС и составляет 0,767 млн.$ в год.

Результаты технико-экономических расчетов

№ варианта	p_0, МПа / t_0, ºС	$\eta_{эл}$, %	$\tau_{ок}$, годы	$Э_г$, млн.$ / год
0	16,6 / 540	43,7	–	–
1	18 / 550	44,3	6,67	0,393
2	20 / 560	45,0	7,95	0,467
3	22 / 570	45,7	8,54	0,489
4	24 / 580	46,2	8,39	0,767
5	26 / 590	47,0	9,44	0,301
6	28 / 600	47,7	9,80	0,125
7	30 / 610	48,4	9,95	0,031

Список литературы

1. Дорохов, Е.В. Основы проектирования тепловой схемы энергоблоков ТЭС на суперкритических параметрах / Е.В. Дорохов, А.С. Седлов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 152 с.
2. Ларионов, В.С. Технико-экономическая эффективность энергоблоков ТЭС: Учебное пособие / В.С. Ларионов, Г.В. Ноздренко, П.А. Щинников, В.В. Зыков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 31 с.

ОБЗОР ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПАЛЬМОВОГО МАСЛА

Ильина С.В., Абрамов Д.П.

ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», Комсомольск-на-Амуре, e-mail: sn-0377@mail.ru

Пальмовое масло – растительное жирное масло, получаемое прессованием из мякоти плодов масличной пальмы (Elaeis guineensis), которая произрастает в Азии, Африке и Южной Америке (содержание масла 25–70 %). Масло из семян этой пальмы называется косточковым пальмовым или ядропальмовым. Извлеченное сырое пальмовое масло имеет темно-красный (оранжевый) цвет, приятный запах, полужидкую или твердую консистенцию (при температуре 20 °С), богато каротиноидами и пальмитиновой кислотой. Затвердевает при температуре минус 30 °С. Температура плавления – плюс 30 – плюс 43 °С. Рекомендуемая тара для перевозки пальмового масла – металлические бочки. Удельный погрузочный объем составляет 1,7–1,8 м^3/т.

Пальмовое масло – это универсальный, высокотехнологичный жир, который находит широкое при-