

- повышение грузоподъемности автопоезда;
- гибкость применения исходя из транспортных задач;
- возможность объединения прицепных звеньев для транспортировки длинномерных и крупногабаритных тяжёлых грузов;
- снижение разрушающего воздействия на почву до 40%.

Таким образом, модульная концепция активного автопоезда, предусматривающая применение однотипных активных колёсных модулей, является весьма перспективной, т.к. обеспечивает унификацию, снижение стоимости как самого транспортного средства, так и транспортных перевозок и значительно повышает возможности транспортных предприятий.

Появление в современном парке таких транспортных машин с активными прицепными звеньями можно ожидать только тогда, когда они будут обладать большей эффективностью по сравнению с аналогичными машинами с традиционными механическими трансмиссиями. Получить такие результаты реально лишь в том случае, если ГОТ будут оснащаться системами автоматического адаптивного управления, которые в процессе движения машины из всего многообразия возможных вариантов будут выбирать режим работы ГОТ, обеспечивающий максимальную эффективность системы «автомобиль-двигатель-трансмиссия-двигатель-опорная поверхность».

Литература

1. Шухман С.Б., Соловьев В.И., Прочко Е.И. Гидрообъёмные передачи – перспектива для полноприводных АТС. «Автомобильная промышленность», 1997, № 6. – с. 21-23.
2. Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля (прикладные вопросы оптимизации конструкции шасси). – М.: ЮНИТИ-ДАНА: Элит-2000, 2001. – 230 с., ил.
3. Коркин С.Н., Курмаев Р.Х., Петров С.Е. Экологические аспекты движения тяжёлых специальных автопоездов в условиях бездорожья // Материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». – М.: МГТУ «МАМИ», 2010 г. – Книга 1. – с. 179 – 185.
4. Лепёшкин А.В., Курмаев Р.Х., Бочаров С.Е., Куру Д.С. Приводы активизированных прицепов автопоездов // Материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». – М.: МГТУ «МАМИ», 2010 г. – Книга 1. – С. 227 – 231.
5. Лепешкин А.В. Математическая модель установившегося движения автопоезда с активизированным прицепным звеном, позволяющая оценить потери в трансмиссии. Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», №2 (12), 2011. – с. 27 – 41.

Исследование процесса теплоотдачи в сетчатой матрице роторного теплообменника

доц. к.т.н. Костюков А.В., Алексеев Р.А.

Университет машиностроения
ronopolk88@mail.ru, kostukov123@yandex.ru

Аннотация. Приводятся результаты расчетных исследований тепловых процессов в сетчатых матрицах роторных каркасных теплообменников. Получена уточненная зависимость теплоотдачи сетчатой матрицы от характеристик потока теплоносителя.

Ключевые слова: компактные теплообменники, моделирование теплогидравлических процессов, коэффициент теплоотдачи пористых матриц.

Одним из путей повышения эффективности применяемых в настоящее время в распре-

деленной энергетике микротурбин является установка в них теплообменников со сверхвысокой степенью регенерации (95-97%). По этому направлению идет американская компания Wilson, разрабатывающая микротурбину мощностью 300 кВт с электрическим КПД 50% [1]. Получение степени регенерации на уровне 95-97% при приемлемых габаритах возможно только в компактных роторных теплообменниках. В таких теплообменниках, как правило, используется пористая теплопередающая матрица. В частности, в роторном теплообменнике транспортного газотурбинного двигателя (ГТД) Горьковского автозавода (ГАЗ) применяется пористая матрица, образованная намоткой металлических сеток [2]. Имеющаяся информация по теплопередаче в таких сетках весьма невелика. В частности, в Николаевском кораблестроительном институте им. С.О. Макарова проводилось исследование теплогидравлических характеристик пористой сетчатой матрицы, применяемой в теплообменниках ГТД ГАЗ [3,4,5,6,7]. Однако работы проводились в очень узком диапазоне температур матрицы и теплоносителей (в эксперименте сетчатая матрица обдувалась попеременно воздухом с температурами 50⁰С и 30⁰С соответственно, в этом же диапазоне менялась температура сетчатой матрицы) и в полученной эмпирической зависимости (см. ниже) отсутствуют элементы, учитывающие температуру сетчатой матрицы.

$$J_k = 0.11 \cdot \text{Re}_x^{-0.46}, \quad (1)$$

где: Re_x - модифицированное число Рейнольдса: $\text{Re}_x = \text{Re} \cdot \frac{0.00375}{P^3}$;

$$J_k - \text{фактора Колборна: } J_k = \text{St} \cdot \text{Pr}^{2/3} = \frac{\alpha \cdot d_r}{\lambda \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}^{1/3}};$$

α - коэффициент теплоотдачи матрицы;

d_r - гидравлический диаметр матрицы;

λ - коэффициент теплопроводности;

St – число Стэнтона;

Pr – число Прандтля;

Re – число Рейнольдса;

P – пористость матрицы.

Следствием этого явилось значительное, на 3-4% (абсолютных), несовпадение экспериментально полученной на режиме с температурой матрицы, лежащей в диапазоне 230-600⁰С, и расчетной (с использованием зависимости (1)) степени регенерации теплообменника ГТД ГАЗ [2].

Уточнению эмпирической зависимости (1) теплоотдачи для пористой сетчатой матрицы посвящена данная статья.

Для выполнения поставленной задачи проводилось математическое моделирование теплогидравлических процессов в сетчатой матрице. В качестве объекта исследования была выбрана сетчатая матрица, применяемая в роторных каркасных теплообменниках ГТД ГАЗ [2]. Основные геометрические параметры сетчатой матрицы: диаметр проволоки $d_{пр} = 0.13$ мм, “Ячейка в свету” $S = 0.2$ мм, пористость $P = 0.69$, компактность $K = 9508 \text{ м}^2/\text{м}^3$, гидравлический диаметр $d_r = 0.291$ мм

Схематичное изображение слоя сетки показано на рисунке 1.

Расчетная модель представляла собой фрагмент теплопередающей матрицы, состоящий из десяти слоев сеток (рисунок 2). Математическое моделирование базировалось на решении системы уравнений, включающей уравнения Навье-Стокса, энергии, неразрывности и состояния. Физические свойства стали и воздуха брались переменными в зависимости от температуры. В качестве материала теплопередающей матрицы элемента выбрана сталь 12Х18Н9Т.

Зависимости её теплофизических свойств от температуры приведены в таблице 1.

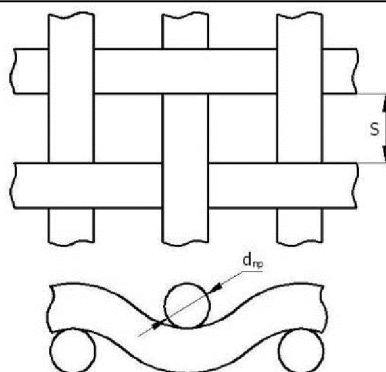


Рисунок 1 – Фрагмент сетки матрицы

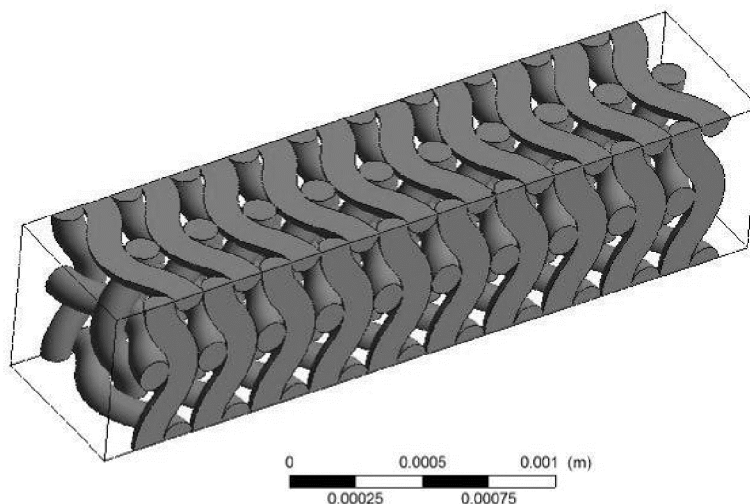


Рисунок 2 – Исследуемый участок сетчатой матрицы

Таблица 1

Зависимость коэффициента теплопроводности, удельной теплоёмкости и плотности стали 12Х18Н9Т от температуры

Температура, К	Теплопроводность, Вт/м ² · К	Теплоемкость, Дж/кг · К
273	15	457
373	16	469
573	20	498
873	25	528
973	26	541

Теплофизические свойства воздуха были аппроксимированы в виде полиномов в зависимости от температуры.

Динамическая вязкость:

$$\mu = (5.0697 + 0.005006 \cdot T - 0.00001262 \cdot T^2) / 1000000 \text{ Па} \cdot \text{сек}$$

Теплоемкость:

$$C_p = 933.91 + 0.19019 \cdot T + 0.000016667 \cdot T^2 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

Теплопроводность:

$$\lambda = (0.233 + 0.00891 \cdot T + 0.0000022857 \cdot T^2) / 100 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Численный эксперимент проводился в области чисел Рейнольдса $Re = 10-70$ (ламинарный режим течения). Продувка воздухом матрицы проводилась до момента полного ее нагрева или охлаждения. Температуры воздуха T_e и матрицы T_m брались приближенными к их реальным значениям в роторном теплообменнике ГАЗ.

В случае нагрева: $T_e = 965K, T_m = 300K$

В случае охлаждения: $T_e = 500K, T_m = 965K$

Обработка результатов численного эксперимента выполнялась в следующей последовательности:

1. Для всякого выбранного расчетного момента времени t были получены средние интегральные величины температур матрицы (T_m) и воздуха в ней (T_e), а также теплофизических свойств теплоносителей.
2. Вычислялся коэффициент теплоотдачи и критерии подобия Прандтля:

$$\alpha = \frac{\Delta H \cdot G}{F_{m.o.} \cdot |T_e - T_m|}, \quad \text{Pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda},$$

где: ΔH - разности энтальпий воздуха на входе и на выходе;

G – расход воздуха;

$F_{m.o.}$ - полная площадь теплообмена в данном объеме сетчатой матрицы;

μ - динамическая вязкость;

C_p - коэффициент теплоемкости;

λ - коэффициент теплопроводности.

3. Находился фактор Колборна:

$$J_k = \frac{\alpha \cdot d_s}{\lambda \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}^{0.33}}.$$

4. Вычислялся модифицированный критерий Рейнольдса:

$$\text{Re}_X = \text{Re} \cdot \frac{0.00375}{P^3}.$$

5. Определялись температурные факторы для случаев нагрева и охлаждения:

$$\text{Te}_{\text{нагрева}} = T_{\text{матр}} / T_{\text{возд_вх}}, \quad \text{Te}_{\text{охлаждения}} = T_{\text{возд_вх}} / T_{\text{матр}}.$$

В результате расчета получены семейства кривых, отражающие процессы нагрева и охлаждения матрицы (рисунок 3 а, б).

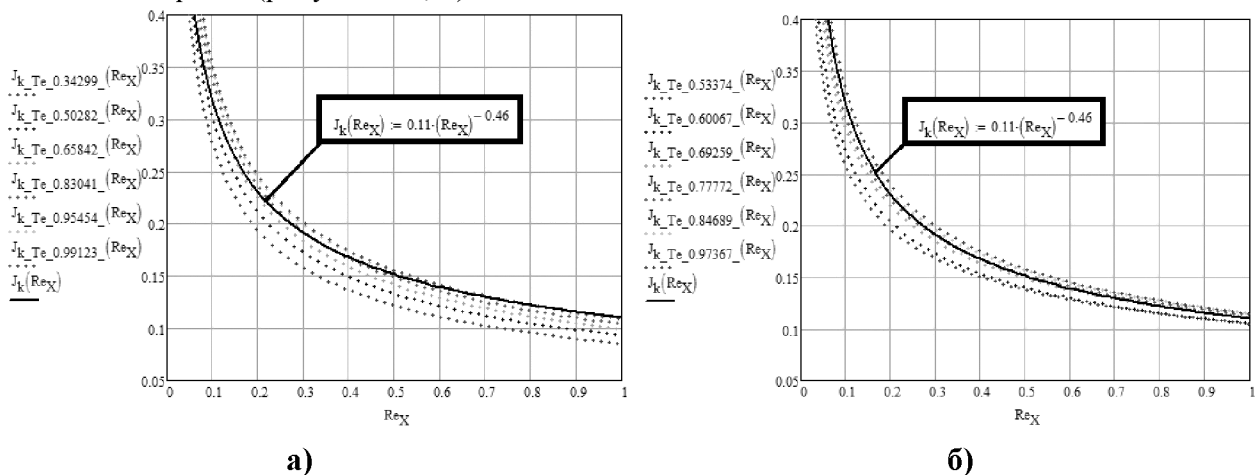


Рисунок 3 – Полученные зависимости $J_k = f(\text{Re}_X)$, соответствующие различным значениям температурного фактора в случае: а) нагрева матрицы; б) охлаждения матрицы

Тройки значений (Re_X , Te , J_k) аппроксимировались следующим образом: сначала для каждого выбранного $\text{Te}=\text{const}$ была проведена аппроксимация пар значений (Re_X, J_k) функцией:

$$J_k = A \cdot \text{Re}_X^B.$$

Далее находились аппроксимационные зависимости полученных коэффициентов A и B от температурного фактора Te в виде:

$$A = M_1 \cdot Te + N_1$$

$$B = M_2 \cdot Te + N_2$$

В итоге были получены зависимости:

$$J_k^{\text{НАГР}} = (0.029 \cdot Te + 0.06) \cdot Re_X^{0.00631 \cdot Te - 0.514},$$

$$J_k^{\text{ОХЛ}} = (0.019 \cdot Te + 0.064) \cdot Re_X^{-(0.143 \cdot Te + 0.32)}. \quad (2)$$

Проверка полученных зависимостей проводилась путем расчета в конечно-элементном комплексе теплогидравлических процессов в пористом теле с заданием процессов теплоотдачи зависимостями (2), а также формулой (1). Используемая расчетная методика приведена в работе [8].

В результате были получены значения температур воздуха на выходе из моделей и средних температур матриц в каждый расчетный момент времени.

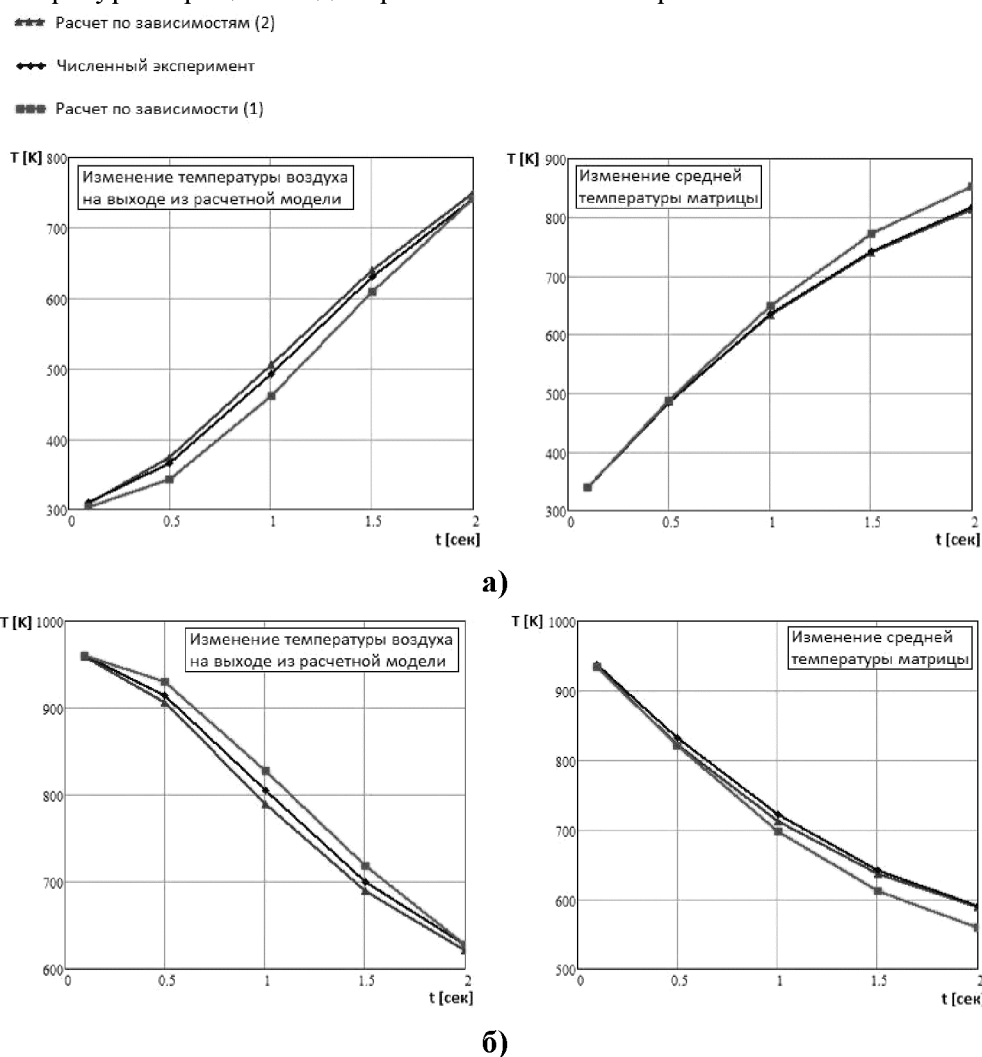


Рисунок 4 – Графики изменения во времени температур воздуха на выходе из расчетной модели и средних температуры матрицы в случае: а) нагрева матрицы; б) охлаждения матрицы

Сравнение этих значений с результатами численного эксперимента по продувке фрагмента сетчатой матрицы (рисунок 2) показано в виде графиков на рисунке 4 а, б.

Как видно, расчет с применением формул (2) дает более близкое совпадение с численным экспериментом.

Выводы

1. Проведено расчетное исследование тепловых процессов в сетчатой матрице роторного каркасного теплообменника.

2. Для случаев нагрева и охлаждения получены зависимости фактора Колборна (связанного с коэффициентом теплоотдачи матрицы) от параметров потока теплоносителя с учетом температурного фактора.
3. Результаты поверочного расчета с применением полученных зависимостей показали хорошее совпадение с численным экспериментом.

Литература

1. Dr. David Gordon Wilson Professor Emeritus, MIT Chief Scientist, Wilson TurboPower Inc. «The high efficiency of our multistage ceramic-bladed turbine design can produce an attractive economic return even in the absence of CHP».
2. Плотников Д.А. Разработка и исследование дисковых секционных регенераторов автотракторных ГТД. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1981 г.
3. Лебедь Н. Исследование гидравлических и теплообменных характеристик теплопередающих поверхностей для вращающегося регенератора секционного типа. Научно-технический отчет, 1971 г.
4. Исследование роторного теплообменника малоразмерного регенеративного газотурбинного двигателя. Общероссийский н/т журнал "Полет" №1, 2005г., с.38-42. А.В. Костюков и др.
5. Расчет распределения температур в каркасе дискового роторного теплообменника при нестационарных граничных условиях. Общероссийский н/т журнал "Полет" №10, 2005г., с.14-18. А.В. Костюков и др.
6. Высокотемпературный роторный теплообменник для газотурбинных и героторных двигателей. Известия МГТУ "МАМИ" №2 (12), 2011г., с.23-26. А.В. Костюков и др.
7. Исследование системы охлаждения каркаса роторного теплообменника. Известия МГТУ "МАМИ" №2 (4), 2007г., с.61-65. А.В. Костюков и др.
8. Алексеев Р.А., Костюков А.В. Повышение эффективности роторного теплообменника малоразмерного газотурбинного двигателя. Известия МГТУ "МАМИ" №1 (13), 2012 г., с.52-58.
9. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Н.Б. Варгафтик, 1972г.

Исследование режимов горения энергоаккумулирующих веществ

к.т.н. проф. Костюков А.В., доц. Кузнецов В.В., доц. Ащеульников Е.К., Родькин К.П.

Университет машиностроения

kostukov123@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются модель горения порошкообразных энергоаккумулирующих веществ (ЭАВ) в цилиндрической камере сгорания. Такая камера может рассматриваться как форкамера водородного реактора для транспортных и стационарных энергоустановок на базе ГТД. Составлена программа расчета горения порошкообразных ЭАВ в потоке перегретого водяного пара. Получено распределение температуры по оси камеры при различных значениях коэффициента избытка окислителя – водяного пара. Определены размеры глубины фронта пламени при заданных условиях работы камеры сгорания на энергоаккумулирующих веществах.

Ключевые слова: энергоаккумулирующие вещества, модель горения в цилиндрической камере сгорания

Продолжаются поисковые работы по использованию альтернативных источников энергии, среди которых первое место отводится новым методам получения водорода. Разработка новых методов получения водорода из воды играет важную роль в современной науке и технике, поскольку в отличие от органического топлива запасы воды являются неограниченными и возобновляемыми. В нашей стране и за рубежом разрабатываются методы получения водорода из воды с помощью энергоаккумулирующих веществ (ЭАВ) на основе алюминия и