

7universum.com
UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научный журнал
Издается ежемесячно с декабря 2013 года
Является печатной версией сетевого журнала
Universum: технические науки

Выпуск: 12(141)

Декабрь 2025

Часть 9

Москва
2025

| | |
|--|-----------|
| Содержание | |
| Статьи на русском языке | 4 |
| Энергетика | 4 |
| ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГОСБЫТОВЫЕ КОМПАНИИ, ПРИМЕНЯЮЩИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ СИСТЕМУ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ Редин Алексей Сергеевич | 4 |
| РАСЧЁТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ БИОМАССЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНДЕНСАТОРОВ-ТЕПЛООБМЕННИКОВ Узаков Гулом Норбоевич Маматкулова Сайёра Гулямовна | 10 |
| Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение | 15 |
| ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОВОЗДЕЙСТВИЯ В ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ КОЛЛЕКТОРАХ: МЕХАНИЗМЫ, МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ Авляярова Наргиза Махмудовна | 15 |
| Papers in English | 19 |
| Engineering geometry and computer graphics | 19 |
| EFFICACY OF THE ALGORITHMIC APPROACH IN INDEPENDENT PROBLEM-SOLVING IN DESCRIPTIVE GEOMETRY Muhammadiyev Elyor To'iqinovich Turaev Xumoyiddin Abdug'afforovich | 19 |
| INNOVATIVE PEDAGOGICAL APPROACHES TO DEVELOPING DESIGN COMPETENCE OF PROSPECTIVE TECHNOLOGY TEACHERS Turayev Khumoyiddin Abdugafforovich Abdirakhmanov Sardor Normukhamadovich | 23 |
| Computer science, computer engineering and management | 27 |
| RISK MANAGEMENT IN THE OPERATION OF APARTMENT BUILDINGS: TECHNICAL SAFETY, INSURANCE AND CONTROL Berdibaeva Guliza Berdibay qizi | 27 |
| MODERN APPROACHES TO THE APPLICATION OF GEOINNOVATIVE TECHNOLOGIES IN ROAD STRUCTURE DESIGN AND CADASTRAL WORKS Ergashev Mukhammad Yusuf Mukhammadolim ogli | 33 |
| CLOUD TECHNOLOGIES IN ROBOT MOTION PLANNING: CURRENT STATE Mardanzada Yusif Azer | 37 |
| METHODOLOGY FOR BUILDING STATEFUL MICROSERVICES USING EVENT LOGS INSTEAD OF CENTRALIZED DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS Rybchanka Aliaksandr Vasilievich | 42 |
| EXPLAINABLE AI IN SMART CITY MANAGEMENT: TRANSPARENT DECISION-MAKING FOR URBAN SUSTAINABILITY Salim Togzhan Turlybekkyzy Kuatbayeva Akmaral Alikhanovna | 48 |
| EVALUATION OF NEXT-GENERATION YOLO DETECTORS FOR COTTON WEED IDENTIFICATION USING A REGION-SPECIFIC DATASET FROM UZBEKISTAN Uteuliev Nietbay Uteulievich Dauletnazarov Jaksilik Iskender-uli | 56 |
| Civil engineering and architecture | 61 |
| GEOMETRIC NONLINEAR BEHAVIOR OF SUSPENSION BRIDGES AND THE SUSCEPTIBILITY OF THEIR SUPPORTS TO DISPLACEMENT Kholmurodov Aslon Ibragimovich Abduazizov Inomjon Alisherovich | 61 |

**РАСЧЁТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ
БИОМАССЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНДЕНСАТОРОВ-ТЕПЛООБМЕННИКОВ****Узаков Гулом Норбоевич***Каршинский государственный технический университет,
Узбекистан, г. Карши***Маматкулова Сайёра Гулямовна***Каршинский государственный технический университет,
Узбекистан, г. Карши
E-mail: urisheva80@mail.ru***CALCULATION OF THERMODYNAMIC PROPERTIES OF BIOMASS VAPOR–GAS MIXTURE
FOR OPTIMIZATION OF CONDENSER–HEAT EXCHANGERS****Uzakov Gulom Norboyevich***Professor,
Department of Energy Engineering,
Karshi state technical university,
Uzbekistan, Karshi***Mamatkulova Sayyora Gulyamovna***PhD student,
Department of Energy injiniring,
Karshi state technical university,
Uzbekistan, Karshi***АННОТАЦИЯ**

В работе рассчитаны и проанализированы термодинамические свойства парогазовой смеси пиролиза растительной биомассы для повышения эффективности конденсаторов-теплообменников. По заданному многокомпонентному составу определены средняя молярная масса и газовая постоянная; в Aspen Plus выполнены параметрические расчёты при 373–473 К и давлениях до 7 бар с моделью Peng–Robinson. Оценено влияние 5–25% H₂O на ρ , C_p , λ , μ , C_p/C_v , β и скорость звука. Рост температуры снижает плотность, повышает теплоёмкость и теплопередачу; увеличение пара уменьшает вязкость. Полученные зависимости рекомендованы для расчёта теплоотдачи, сопротивления и оптимизации конденсации.

ABSTRACT

The study calculates and analyzes the thermodynamic properties of the pyrolysis vapor–gas mixture from lignocellulosic biomass to improve the performance of condenser–heat exchangers. For a specified multicomponent composition, the mean molar mass and gas constant were determined; parametric simulations were performed in Aspen Plus at 373–473 K and pressures up to 7 bar using the Peng–Robinson model. The effect of 5–25% H₂O on ρ , C_p , λ , μ , C_p/C_v , β , and the speed of sound was evaluated. Higher temperature decreases density but increases heat capacity and heat transfer; higher steam content lowers viscosity. The obtained relationships are recommended for heat-transfer and pressure-drop calculations and for optimizing condensation regimes.

Ключевые слова: пиролиз, растительная биомасса, термодинамика, парогазовая смесь, модель Peng–Robinson, теплопередача, влажность.

Keywords: pyrolysis, plant biomass, thermodynamics, vapor–gas mixture, Peng–Robinson model, heat transfer, moisture content.

Введение

На фоне глобального перехода к экологически устойчивой энергетике возрастает значимость биомассы как доступного возобновляемого ресурса. В этом контексте переработка сельскохозяйственных отходов рассматривается как перспективное направление, способное частично заместить традиционные ископаемые виды топлива [1,2].

Одним из ключевых направлений переработки биомассы является пиролиз — термохимический процесс, протекающий при повышенных температурах в бескислородной среде. Он включает стадию сушки сырья (до ~100 °С) и последующее интенсивное разложение органических компонентов (до ~500 °С) с образованием летучей парогазовой смеси переменного состава, в значительной степени определяемого типом исходной биомассы [3].

Термическое разложение биомассы сопровождается комплексом химических превращений, приводящих к образованию парогазовой смеси, включающей CO₂, CO и H₂. Точное определение её состава и термодинамических свойств с учётом влияния температуры и влажности сырья является ключевым

условием корректного проектирования и оптимизации теплообменного оборудования, работающего с указанными средами [4].

Материалы и методы исследования

В исследовании рассматривается парогазовая смесь, формирующаяся при термоллизе (пиролизе) растительной биомассы, с акцентом на количественное определение её ключевых термодинамических свойств — плотности, газовой постоянной, теплоёмкости и теплопроводности. Многокомпонентный состав смеси представлен H₂, H₂O, CO, CO₂, CH₄, C₂H₄, C₃H₆ и рядом других углеводородов [5].

Для выполнения расчётов сформирован многокомпонентный состав смеси с заданными молярными долями, по которому определены средняя молярная масса и приведённая удельная газовая постоянная. Методика опирается на стандартный аппарат технической термодинамики и верифицирована по данным учебной и справочной литературы [6].

Средняя молярная масса газовой смеси рассчитывается по формуле [6]:

$$M_{\text{cp}} = \sum (X_i \cdot M_i) = 24,49 \left(\frac{\text{г}}{\text{моль}} \right) \quad (1)$$

где: X_i – молярная доля i -го компонента, M_i – молярная масса i -го компонента.

Средняя удельная газовая постоянная (R_{cp}) вычисляется по формуле [6]:

$$R_{\text{cp}} = \frac{R}{M_{\text{cp}}} = \frac{8,314}{0,02449} = 339,6 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right) \quad (2)$$

где: R – универсальная газовая постоянная.

Для определения плотности парогазовой смеси (ρ), используем уравнение состояния идеального газа [6]:

$$\rho = \frac{P}{R_{\text{cp}} \cdot T} \quad (3)$$

где: P – давление (Па), T – температура (К), R_{cp} – средняя удельная газовая постоянная (339,6 Дж/(кг·К)).

Плотность смеси определяли по уравнению состояния идеального газа с учётом температурно-давленостных условий, характерных для пиролизных установок (100–200 °С; 1–7 бар).

Все расчёты выполнены в программной среде Aspen Plus, обеспечивающей высокоточную термодинамическую модель. С учётом многокомпонентного преимущественно неполярного состава пиролизной газовой фазы её поведение описано модифицированным уравнением состояния Peng–Robinson, демонстрирующим надёжную точность при умеренных и повышенных давлениях.

Дополнительно были учтены особенности определения теплопроводности и вязкости. Теплопроводность рассчитывали в рамках молекулярно-кинетической теории, адекватно описывающей перенос энергии в многокомпонентных газовых смесях [7,8]. Вязкость определяли по методу Брокава, обеспечивающему высокую точность для полярных газов и систем с выраженными межмолекулярными взаимодействиями.

В модели также учтена молярная доля водяного пара, изменяемая в пределах 5–25%, что соответствует типичному диапазону влажности исходного сырья.

Результаты и обсуждения

Для оценки влияния водяного пара в смеси использована формула определения массовой доли воды на основе её молярной доли [9]:

$$w_{H_2O} = \frac{X_{H_2O} \cdot M_{H_2O}}{\sum(X_i \cdot M_i)} \tag{4}$$

где: w_{H_2O} – массовая доля воды (влажность); X_{H_2O} – молярная доля воды; M_{H_2O} – молярная масса воды; X_i и M_i – молярные доли и молярные массы всех компонентов смеси.

Это позволило выявить связь между составом парогазовой смеси и её влажностью. На основе этих данных в программном комплексе Aspen Plus выполнены численные расчёты термодинамических свойств смеси в диапазоне $T = 373\text{--}473$ К при $y(H_2O)$

= 5–25%. Результаты моделирования представлены на рис. 1-7.

Как видно на рис. 1, повышение температуры приводит к снижению плотности смеси, что обусловлено увеличением удельного объёма газа при росте тепловой энергии. Увеличение молярной доли водяного пара также уменьшает плотность вследствие меньшей молярной массы пара по сравнению с другими компонентами смеси.

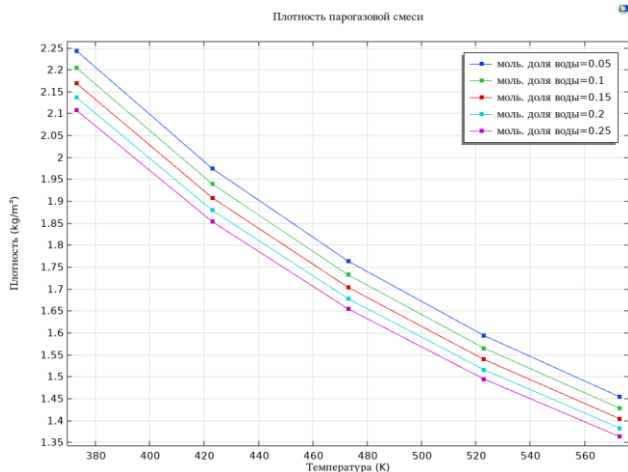


Рисунок 1. Плотность парогазовой смеси.

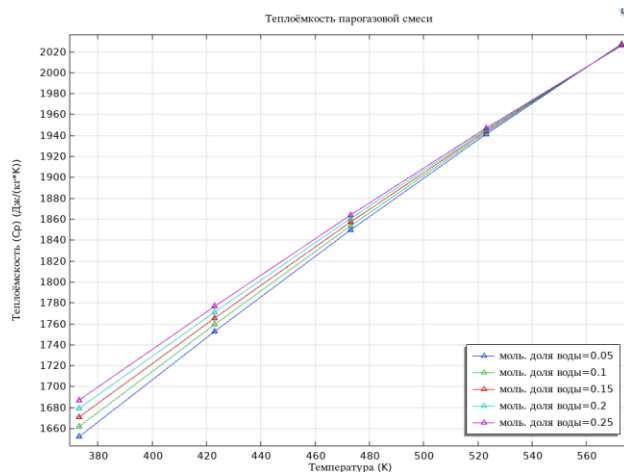


Рисунок 2. Теплоёмкость парогазовой смеси.

На рис. 2 показано увеличение удельной теплоёмкости с ростом температуры, что обусловлено повышением внутренней энергии молекул и значительным вкладом водяного пара, обладающего высокой теплоёмкостью, при увеличении его доли. Отмечается близкая к линейной зависимость $C_p(T)$, упрощающая прогнозирование параметра в инженерных расчётах.

На рис. 3 показано, что теплопроводность смеси возрастает с повышением температуры вследствие усиления молекулярной кинетики. Увеличение молярной доли водяного пара, напротив, приводит к снижению теплопроводности, что связано с более низкой эффективностью переноса тепла водяным паром по сравнению с другими компонентами смеси.

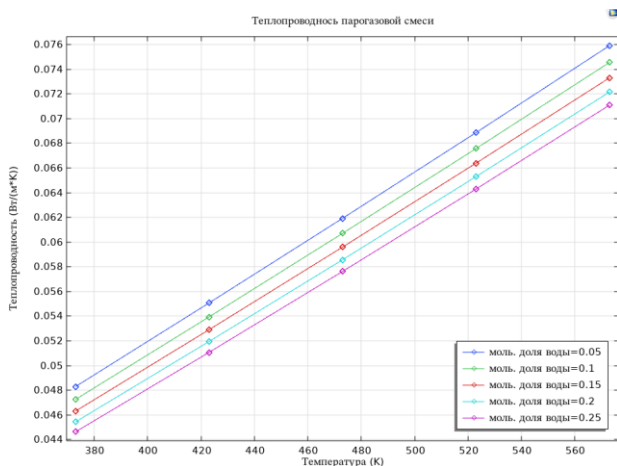


Рисунок 3. Теплопроводность парогазовой смеси.

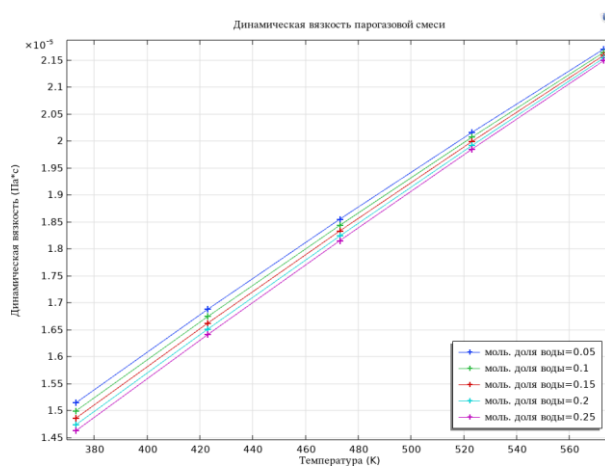


Рисунок 4. Динамическая вязкость парогазовой смеси.

Согласно данным рис. 4, динамическая вязкость возрастает с повышением температуры, что обусловлено усилением переноса импульса вследствие роста молекулярной активности. Увеличение моляр-

ной доли водяного пара, напротив, приводит к снижению вязкости, поскольку водяной пар характеризуется меньшей вязкостью по сравнению с остальными компонентами парогазовой смеси.

Согласно рис. 5, при повышении температуры наблюдается снижение отношения C_p/C_v , что обусловлено более интенсивным ростом изохорной теплоёмкости C_p/C_v . При фиксированной температуре увеличение доли водяного пара приводит к росту C_p/C_v вследствие высокой теплоёмкости пара.

Как следует из рис. 7, скорость звука возрастает с увеличением температуры, что связано с усилением молекулярного движения и ускорением распространения акустических возмущений. Рост паросодержания также повышает скорость звука, поскольку водяной

пар характеризуется более высокой акустической проводимостью по сравнению с сухой газовой смесью.

Термодинамические свойства парогазовой смеси пиролиза биомассы являются определяющим фактором эффективности конденсатора-теплообменника. Установленные зависимости для плотности, теплоёмкости, теплопроводности, вязкости и скорости звука обеспечивают корректное описание тепло- и массообмена, а также позволяют обоснованно оценивать гидравлическое сопротивление и теплототери оборудования.

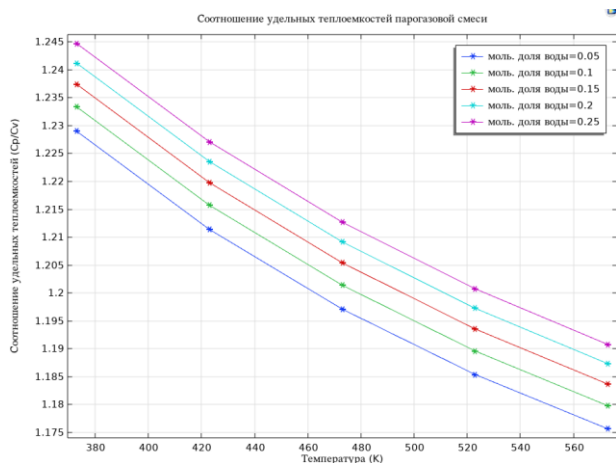


Рисунок 5. Соотношение удельных теплоёмкостей парогазовой смеси.

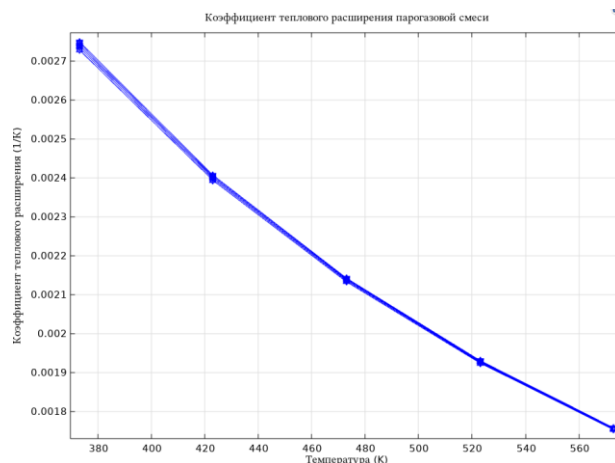


Рисунок 6. Коэффициент теплового расширения парогазовой смеси.

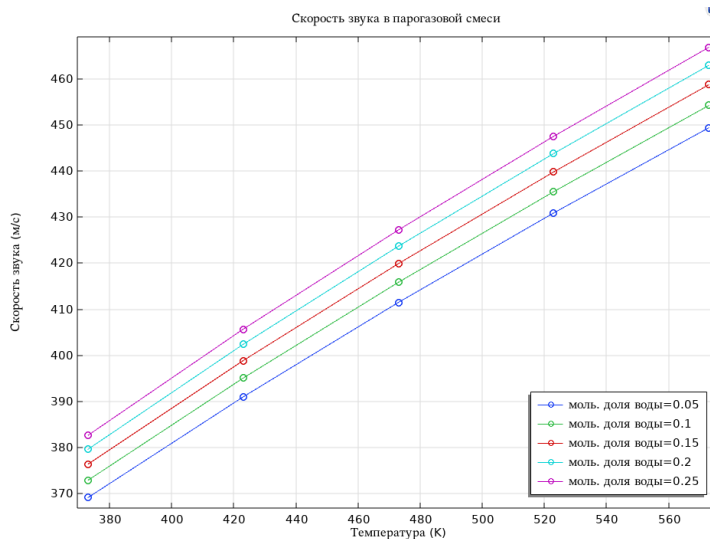


Рисунок 7. Скорость звука в парогазовой смеси.

Повышение температуры, снижая плотность и вязкость парогазовой смеси, уменьшает гидравлическое сопротивление и интенсифицирует конвективный перенос. Одновременно увеличение теплоёмкости и теплопроводности повышает её способность аккумулировать и передавать теплоту. В совокупности эти эффекты существенно определяют величину коэффициента теплоотдачи α и, следовательно, общую интенсивность теплообмена в конденсаторе.

Заключение

Результаты моделирования свидетельствуют, что повышение температуры приводит к уменьшению плотности и коэффициента теплового расширения парогазовой смеси при одновременном росте теплоёмкости, теплопроводности и скорости звука. Увеличение влажности сырья (молярной доли водяного пара) также существенно изменяет свойства: снижает плотность и динамическую вязкость, од-

нако повышает C_p и скорость распространения звуковых волн. Наблюдаемые тенденции обусловлены отличительными тепловыми и акустическими характеристиками водяного пара по сравнению с остальными компонентами смеси. Применение уравнения

состояния Peng–Robinson показало адекватность описания многокомпонентной смеси в диапазонах температур и давлений, типичных для пиролизных установок.

Список литературы:

1. D. Gielen, D. Saygin, A. Lopez-Pena, N. Wagner, G. Prakash, S. Teske, et al., Methodology Background Document: Development of a Decarbonisation Pathway for the Global Energy System to 2050. A Country-By-Country Analysis for the G20 Based on IRENA's REmap and Renewable Energy Benefits Programmes, Irena, 2020.
2. Маматкулова С. Моделирование кинетики процесса пиролиза биомассы на Comsol Multiphysics // Научно-технический журнал «Машиностроение». – 2024. – №. 4. – С. 99-106.
3. L. Zhang, C. C. Xu and P. Champagne, Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass, *Energy Convers. Manage.*, 2010, 51, 969–982.
4. Collard, F.-X., & Blin, J. (2014). A review on pyrolysis of biomass constituents: Mechanisms and composition of the products obtained from the conversion of cellulose, hemicelluloses and lignin. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 38, 594–608
5. A. C. M. Vilas-Boas et al. Valorisation of residual biomass by pyrolysis: influence of process conditions on products. *Sustainable Energy Fuels*, 2024, 8, 379-396.
6. Булыгин Ю.А. Термодинамика и теплопередача: учеб. Пособие / Ю.А. Булыгин, Д.Н. Галдин. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. 110 с.
7. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 97 с.
8. Маматкулова С. Моделирование тепло-и массообменного процесса пиролиза подсолнечной биомассы в трубчатом реакторе пиролизной установки //Techscience.uz- Актуальные вопросы технических наук. – 2025. – Т. 3. – №. 2. – С. 73-82.
9. Колобова А.В., Мальгинов А.В., Нечаев А.В. Динамические методы приготовления газовых смесей. "Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки", 2024.