

УДК 62-169

А. Н. Блябляс, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
 М. А. Корепанов, доктор технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет
 имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ТРУБЕ

Описывается поведение паровоздушной смеси при глубоком ее охлаждении. С учетом конвективного теплообмена моделируется пленочная конденсация смеси на стенках трубы. Рассмотрено влияние режима течения газовой смеси на теплообмен и конденсацию.

Ключевые слова: конденсация, тепломассообмен, движение пленки, гидрогазодинамика, паровоздушная смесь, режим течения, модель течения.

Наиболее перспективными путями экономии ресурсов являются уменьшение массогабаритных характеристик теплообменников, в частности конденсаторов, и экономия топливно-энергетических ресурсов при использовании теплоты конденсации уходящих газов при их глубоком охлаждении [1].

Методология постановки и решения поставленных задач

Для моделирования процессов теплообмена, конденсации и массопереноса рассматривается массообменный аппарат, рабочий участок которого представляет собой вертикальную непроницаемую трубу. Паровоздушная смесь – однофазная двухкомпонентная среда – подается из распределяющего устройства в верхней части рабочего участка с определенной скоростью, давлением, температурой и расходом. Снаружи стенка трубы охлаждается интенсивно циркулирующей жидкостью. За счет передачи тепла от паровоздушной смеси в охлаждающую жидкость через тонкую стенку трубы доля пара, достигая давления насыщения, выпадает в осадок на внутреннюю стенку трубы, образуя тем самым тонкую пленку воды на поверхности.

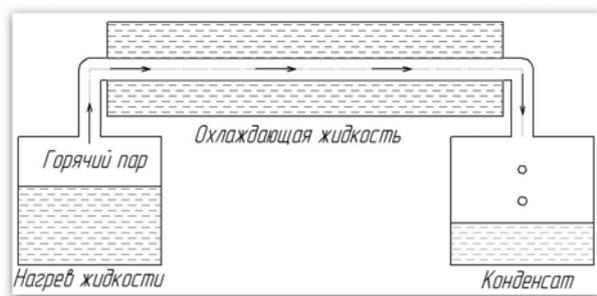


Рис. 1. Конденсация пара в жидкость

Поскольку в процессе конденсации не весь пар меняет агрегатное состояние, а лишь его часть, рассматриваемая среда является двухфазной, многокомпонентной.

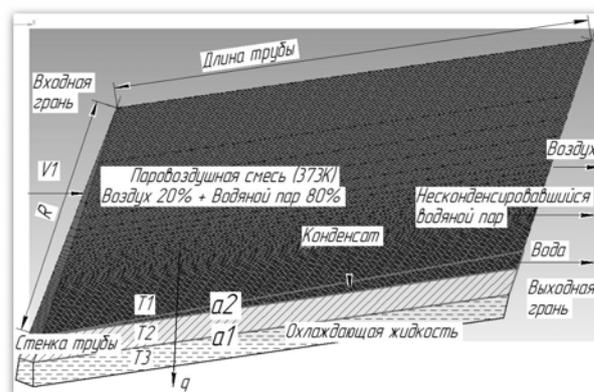


Рис. 2. Постановка двухмерной задачи

Моделирование условий теплообмена и конденсации

В данной постановке задачи течение паровоздушной смеси выполняется в диапазоне скоростей 2...30 м/с, решаются уравнения конвективного теплообмена и скорости фазового перехода. Температура газовой смеси на входе в трубу равна 373 К. Рабочее давление в системе узла конденсирования 1 МПа. Начальная температура стенки равна температуре охлаждающей жидкости, которая в настоящей постановке задачи составляет 274 К. Коэффициент теплоотдачи, определяемый интенсивностью циркуляции охлаждающей жидкости и наружной стенки трубы, выбирался по статистическим данным и составил 2500 Вт/м²·К. Коэффициент теплопроводности для трубы из нержавеющей стали составляет 17,5 Вт/м²·К. Поскольку жидкостная пленка является большим термическим сопротивлением, теплопроводностью воды пренебрегать не следует. Коэффициент теплопроводности воды 0,66 Вт/м·К.

Очевидно, что увеличение скорости потока горячей паровоздушной смеси на входе в трубу приводит к более глубокому прогреву стенок по длине трубы. Учитывая, что увеличение интенсивности теплоотдачи через развитую волновую пленку интенсивнее на 21 % по сравнению с ламинарным

безволновым течением [3], наиболее оптимальными с точки зрения теплообмена принимаются режимы со скоростью паровоздушной смеси от 4 до 14 м/с.

Динамика поверхностных волн

В динамике поверхностных волн можно выделить несколько характерных областей: на стенке образуется тонкая пленка жидкости, из случайного колебания возникают линейные волны с пространственным периодом, затем амплитуда волн растет [2].

Переход от ламинарного течения пленки к турбулентному определяется по величине числа Рейнольдса пленки.

1. Обычный режим вязкого течения жидкости с относительно постоянной толщиной пленки и числах Re , не превышающих 20...120.

2. Волновой режим течения при $Re > 20...120$, когда наряду с поступательным движением в жидкости возникает волновая компонента.

3. При $Re \approx 1600$ волновой режим течения переходит в турбулентный.

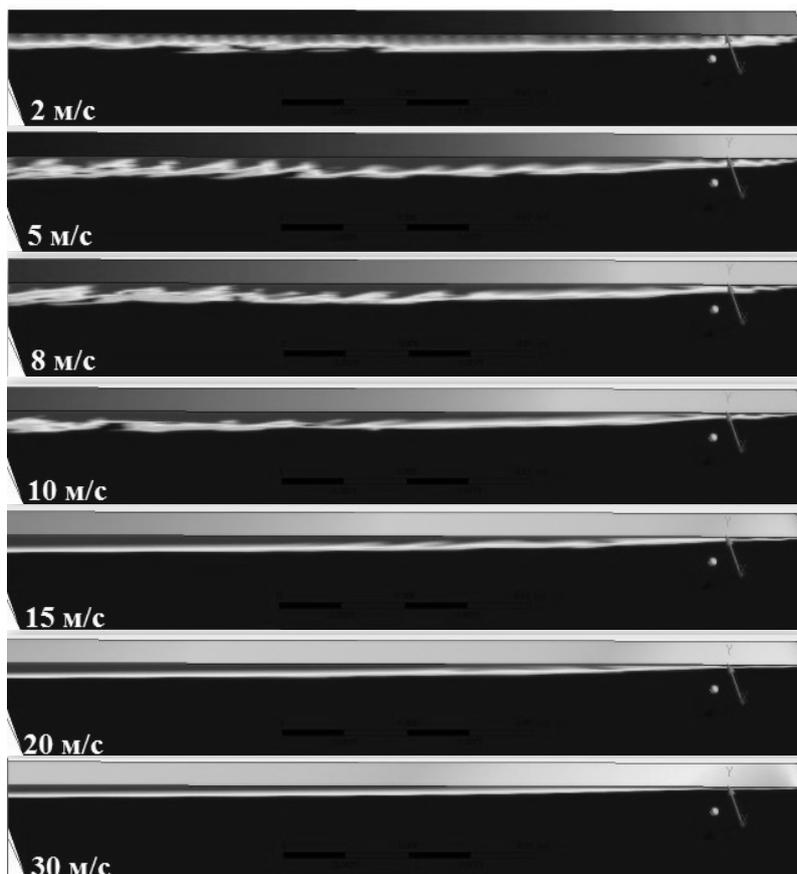


Рис. 3. Моделирование реального случая конденсации в диапазоне скоростей паровоздушной смеси 2...30 м/с

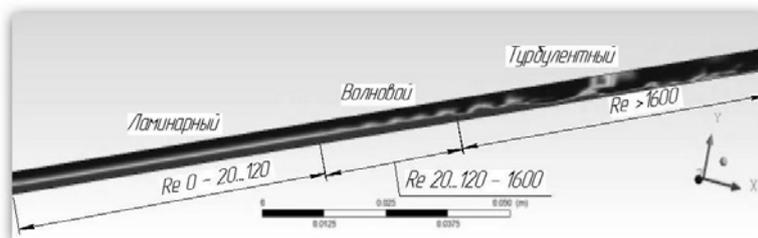


Рис. 4. Динамика поверхностных волн

Заключение

В работе исследовано влияние волновых режимов, интенсивности охлаждения стенки, скоростных и температурных характеристик на массообмен в тонкой пленке вязкой жидкости при двумерных волновых

режимах, возникающих при конденсации паровоздушной смеси.

Выводы и результаты работы

1. Определены границы существования каждого режима течения тонкой пленки конденсата, проведен

анализ соответствующих волновых структур на различных режимах течения.

2. Смоделирован режим течения ламинарного, волнового и турбулентного характера. Установлены критические точки существования каждого режима течения.

3. Решена задача определения зависимости толщины слоя вязкой жидкости на поверхности стенки трубы и скорости стекания жидкости от температуры, интенсивности охлаждения трубы, скорости паровоздушной смеси и сил гравитации.

Библиографические ссылки

1. Накоряков В. Е., Покусаев Б. Г., Шрейбер И. Р. Волновая динамика парожидкостных сред. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.

2. Алексеенко С. В., Накоряков В. Е., Покусаев Б. Г. Влияние волн на процессы переноса: Волновое течение пленок жидкости. – Новосибирск: Наука, 1992. – С. 191–207.

3. Катица П. Л., Катица С. П. Волновое течение тонких слоев вязкой жидкости: в 3 ч. – Ч. III. Опытное изучение волнового режима течения // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1949. – Т. 19. – Вып. 2. – С. 105–120.

A. N. Blyabiyas, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

M. A. Korepanov, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Modeling of Hydraulic Gas Dynamic Processes at Condensation of Steam-Air Mix in Pipes

The article describes the behavior of the steam-air mix at its deep cooling. Taking into account the convective heat exchange, film condensation of the mix on pipe walls is modeled. The influence of the mode of the gas mix flow on heat exchange and condensation is considered.

Key words: condensation, heat exchange, film movement, wave mode, hydraulic gas dynamics, steam-air mix, flow mode, mass exchange, flow model.

УДК 621.833.6

Л. П. Перминов, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ЗУБЬЕВ КОЛЕС НА НАГРУЗОЧНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ ТИПА $K-H-V$

Исследована жесткость зубьев колес планетарной передачи и ее влияние на нагрузочную способность механизма. Жесткость определялась методом конечно-элементного анализа, а распределение нагрузки в зацеплении – из уравнений совместности перемещений. Результаты исследования позволяют осуществить уточненный расчет передачи на прочность.

Ключевые слова: планетарная передача, деформативность и прочность зубьев, нагрузочная способность.

Планетарные передачи типа $K-H-V$ с малой разницей чисел зубьев колес позволяют получить большие передаточные отношения в одной ступени при малых габаритах и высоком КПД Δz [1, 2] (рис. 1). Обычно нагрузочная способность этих передач лимитируется изгибной прочностью зубьев сателлита.

Характерной особенностью таких передач является то, что в зацепление входит не одна или две пары зубьев, контактирующих по линии зацепления, а большее их количество. Без приложения нагрузки зацепление является одно- или двухпарным, а при приложении крутящего момента происходит деформация контактирующих зубьев, зазоры в близлежащих парах зубьев выбираются и они вступают в зацепление, принимая на себя часть общей нагрузки.

Приближенное определение нагрузочной способности передач типа $K-H-V$ рассмотрено в работе [6], в которой жесткость всех контактирующих пар зубьев принималась одинаковой.

Для более точного решения этой задачи податливость каждой пары зубьев зацепляющихся колес оп-

ределялась как сумма контактной податливости зацепления, изгибной податливости зубьев колеса и сателлита.

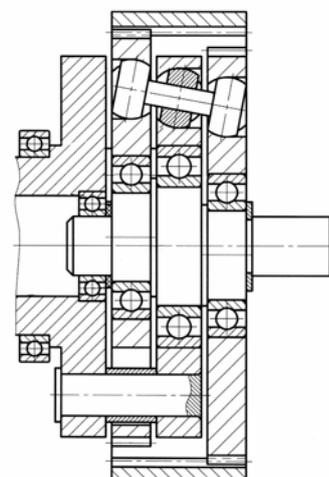


Рис. 1. Планетарная передача типа $K-H-V$ с роликовым механизмом снятия движения с сателлитов [5]