

УДК 536.242.08

ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА КИПЕНИЯ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ**МАМЕДОВА С.Г.***Азербайджанский Архитектурно – Строительный Университет*

В работе исследованы физические явления, происходящие при кипении толуола в трубе. Установлено, что изменения температуры стенки и коэффициента теплоотдачи на отдельных участках трубы происходят по разным закономерностям в зависимости от гидродинамического теплового режима процесса.

Кипение жидкости имеет место в многочисленных выпарных аппаратах, работающих в энергетической, химической, нефтяной и других отраслях промышленности.

Несмотря на огромный опытный материал по физическим явлениям, а также по теплообмену, кипение жидкости изучено недостаточно. Множество экспериментальных данных по теплоотдаче имеется для воды [1-2].

Экспериментальные данные по теплообмену при кипении углеводородов, в частности, ароматических углеводородов, незначительны, и полученные результаты не могут быть применены для всех углеводородов при различных режимных параметрах [3].

Тем не менее, ароматические углеводороды (толуол и бензол) широко применяются в различных областях народного хозяйства. С этой целью проведено исследование теплообмена процесса кипения толуола при вынужденном движении в вертикальной трубе.

Исследование теплоотдачи проводилось на экспериментальной установке, работающей по принципу разомкнутого циркуляционного контура. Все узлы установки, контактирующие с исследуемым теплоносителем, изготовлены из нержавеющей стали 1X18H10T. Электронагрев экспериментального участка и предварительного нагревателя осуществляется с помощью автотрансформаторов и понижающих трансформаторов.

Экспериментальный участок представляет собой трубку из нержавеющей стали 1X18H10T с общей длиной $l=1000$ мм, обогреваемой длиной $l_{обог}=800$ мм, диаметрами $d_{вн}/d_{нар} = 4/6$ мм, длиной участка гидродинамической стабилизации 200 мм. Рабочий участок установлен вертикально. По длине трубы расположены одиннадцать хромель-алюмелевых термопар, показания которых регистрировались потенциометром. Расстояние между термопарами составляет 70 мм.

Термопары, измеряющие температуру жидкости на входе и выходе в экспериментальный участок, установлены в гильзах его входной и выходной камер. Для создания давления и циркуляции жидкости в контуре использован четырехплунжерный насос. С целью предотвращения пульсаций давления, создаваемых насосом, в систему последовательно включены три успокоительных бака высокого давления. Давление и расход жидкости регулировались вентилями с тонкой регулировкой. Расход жидкости измерялся объемным методом.

Опыты проводились с толуолом при давлении, близком к критическому давлению. Во время опыта постоянными оставались массовая скорость, температура и давление жидкости на входе в экспериментальную трубу. При условии постоянства указанных параметров на экспериментальную трубу подавалась электрическая нагрузка, которая поднималась до наступления кипения жидкости. Расположенные вблизи вы-

ходного сечения участка термодпары подключены к потенциометру КСП – 44 для контроля и записи температур, а также для защиты экспериментального участка от перегрева. При переходе от одного опыта к другому тепловой поток увеличивался постепенно. Перед началом обработки экспериментальных данных прежде всего проверялся тепловой баланс. Значения теплового потока, подсчитанные по электрической мощности и по теплу, различались не более чем на 5%. Это позволяет сделать вывод о достоверности проводимых измерений и обработки опытных данных.

На рис 1. показано распределение температуры стенки t_{cm} и жидкости $t_{жс}$ по длине трубы в опытах с недогретым толуолом ($t_{ex}=230^{\circ}C$). На графике участок АБ соответствует длине канала, в котором осуществляется конвективный теплообмен в однофазной среде. В точке Б температура стенки достигает температуры насыщения толуола и начинается поверхностное кипение. При вынужденном движении на участке между сечениями Б и В (область неразвитого поверхностного кипения) процесс парообразования оказывает слабое влияние на коэффициент теплоотдачи. Это является следствием высокой интенсивности теплообмена в однофазной среде. На участке ВВ число действующих центров мало, поэтому дополнительное парообразование пристенной области паровыми пузырями слабо сказывается на интенсивности теплообмена [4].

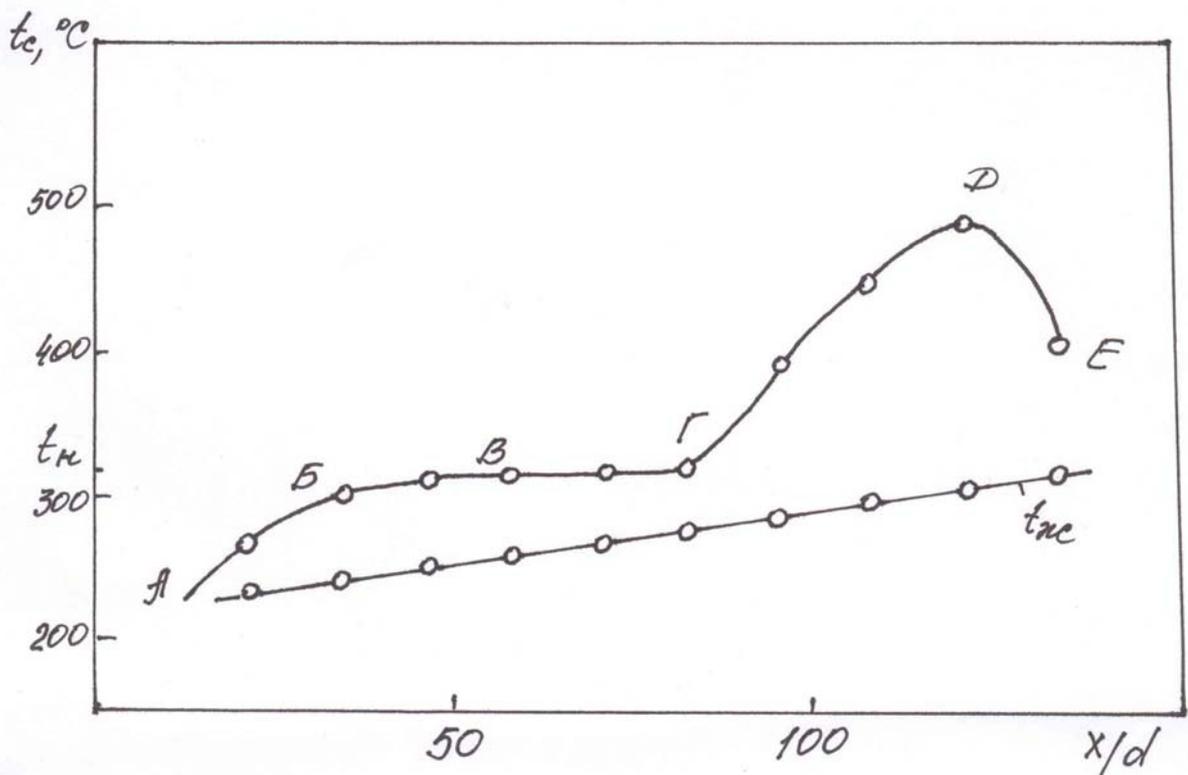


Рис. 1. Зависимость температуры стенки и жидкости по длине трубы при $P = 4,0 МПа$; $\rho_{и} = 230,6 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$; $t_{ex} = 230^{\circ}C$.

Между сечениями графика В и Г происходит интенсивное поверхностное кипение, уменьшается разность температур между стенкой и жидкостью, коэффициент теплоотдачи, соответствующий значению α при кипении насыщенной жидкости (рис 2.), резко увеличивается.

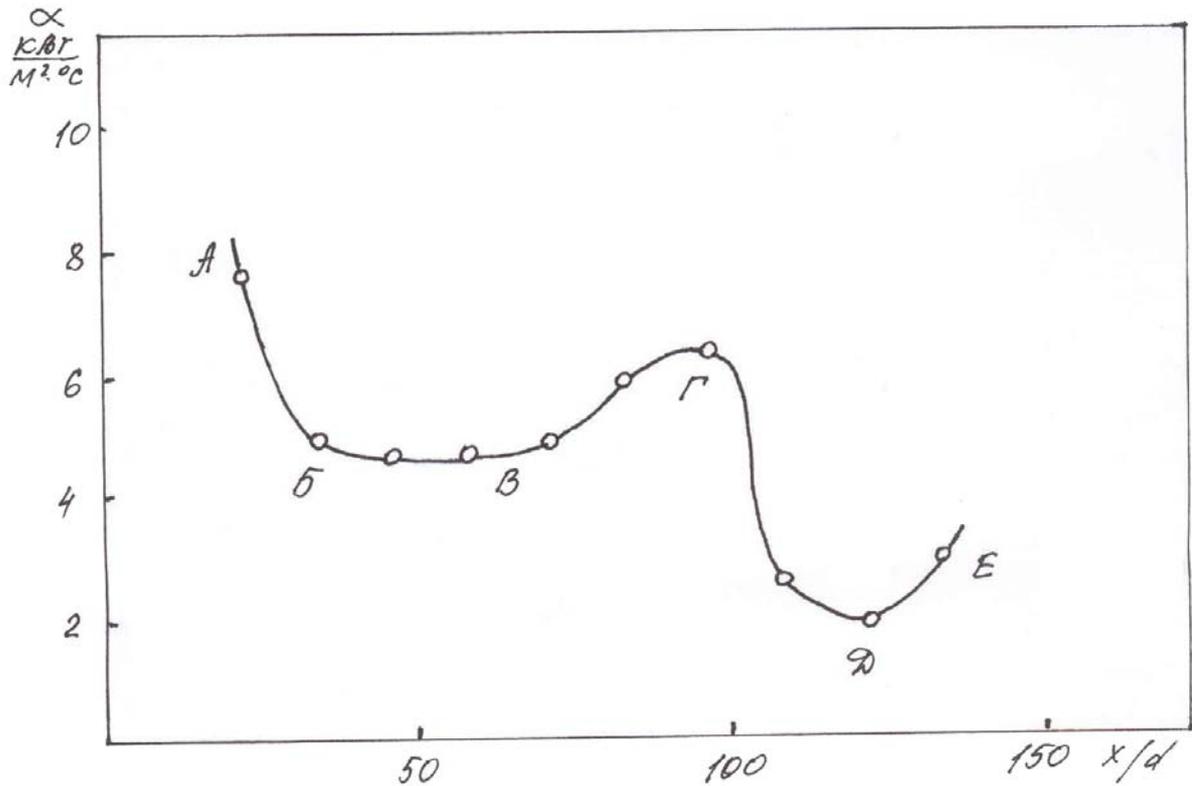


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи по длине трубы при $P = 4,0 \text{ МПа}$; $\rho_{\text{ж}} = 230,6 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{с}$; $t_{\text{ж}} = 230^\circ \text{C}$.

В точке Г возникает кризис теплообмена. При этом резкое ухудшение теплоотдачи обычно устанавливается не сразу на всей площади теплоотдающей поверхности, а на каком-либо небольшом ее элементе, где создается наиболее благоприятная обстановка для образования паровой пленки. Когда тепловой поток задается независимо от условий теплообмена, возникающих в каком-либо месте, паровая пленка очень быстро распространяется по всей поверхности, вызывая покраснение.

Участок АВ этой кривой соответствует конвективному теплообмену в однофазной среде в условиях естественной конвекции. Участок ВГ характеризует область пузырькового кипения, при которой на теплоотдающей поверхности наблюдается весьма большое число действующих центров парообразования. В однофазной среде отдельные центры между областями естественной конвекции и пузырькового кипения имеют переходную зону, в которой генерируют паровую фазу. С увеличением плотности теплового потока число действующих центров парообразования быстро растет, и это способствует интенсификации процесса теплообмена.

Однако непрерывный рост числа центров парообразования приводит, в конце концов, к потере гидродинамической устойчивости двухфазного пристенного слоя. При некотором критическом значении плотности теплового потока толщина жидких пленок между пузырями становится настолько малой (паровые пузыри практически касаются друг друга), что затрудняется доступ жидкости из основного объема к теплоотдающей поверхности. При этом образующийся пар вытесняет жидкость из пристенного слоя, у поверхности образуется сплошная паровая пленка и устанавливается так называемое

пленочное кипение. Вследствие малой теплопроводности пара термическое сопротивление паровой пленки очень велико. Поэтому переход от пузырькового кипения к пленочному сопровождается резким снижением коэффициента теплоотдачи (на рис. 2 участок ГД) и соответственно скачкообразным повышением температуры теплоотдающей поверхности. Если в момент кризиса не снизить плотность теплового потока, то это может привести к разрушению теплоотдающей поверхности вследствие чрезмерного повышения ее температуры.

Анализ показывает, что при кипении толуола в трубках на отдельных участках теплообмен происходит по-разному. Поэтому при расчете теплоотдачи необходимо выделить участки трубы, в которых имеют место конвективный теплообмен однофазного потока, режим пузырькового кипения, режим, сопровождаемый кризисом теплообмена, и это требует дальнейшего исследования.

-
1. *Дорожук В.Е.* Кризисы теплообмена при кипении воды в трубках. М.;1983б 119 с.
 2. *Кутателадзе С.С.* Теплопередача при конденсации и кипении. М.; -Л.,1952,232 с.
 3. *Юсуфова В.Д.* Теплообмен при кипении и конденсации органических теплоносителей внутри труб. Б.; 1987, 317 с.
 4. *Кутепов А.М., Стерман В.С., Кюшин Н.Г.* Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. Издательство «Высшая школа», М.: 1986, с 447.

BORUDA MAYENİN MƏCBURİ HƏRƏKƏTİNDƏ QAYNAMA PROSESİNƏ FİZİKİ BAXIŞ

MƏMMƏDOVA S.H.

İşdə toluolun boruda qaynaması zamanı fiziki xüsusiyyətlər tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, divarın temperaturu və istilikvermə əmsalı borunun ayrı-ayrı hissələrində prosesin hidrodinamik istilik rejimindən asılı olaraq, müxtəlif qanunauyğunluqlarla dəyişir.

PHYSICAL ASPECTS OF PROCESS OF BOILING AT FORCED FLOW OF FLUID IN A TUBE

MAMEDOVA S.G.

In operation the physical phenomena happening at boiling of toluene in a tube are investigated. It is established, that the temperature variation of a wall and heat-transfer coefficient on separate leases of a tube takes place on miscellaneous regularities depending on a hydrodynamic calorific process conditions.