

УДК 536.24-621.1.013

ПЛЕНОЧНАЯ КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОВ АММИАКА С МАСЛОМ НА ТРУБАХ С КОЛЬЦЕВЫМИ КАНАВКАМИ

В.Г.Голубев, Б.А.Алиев
ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент
ТашГТУ им. А.Беруни, г.Ташкент

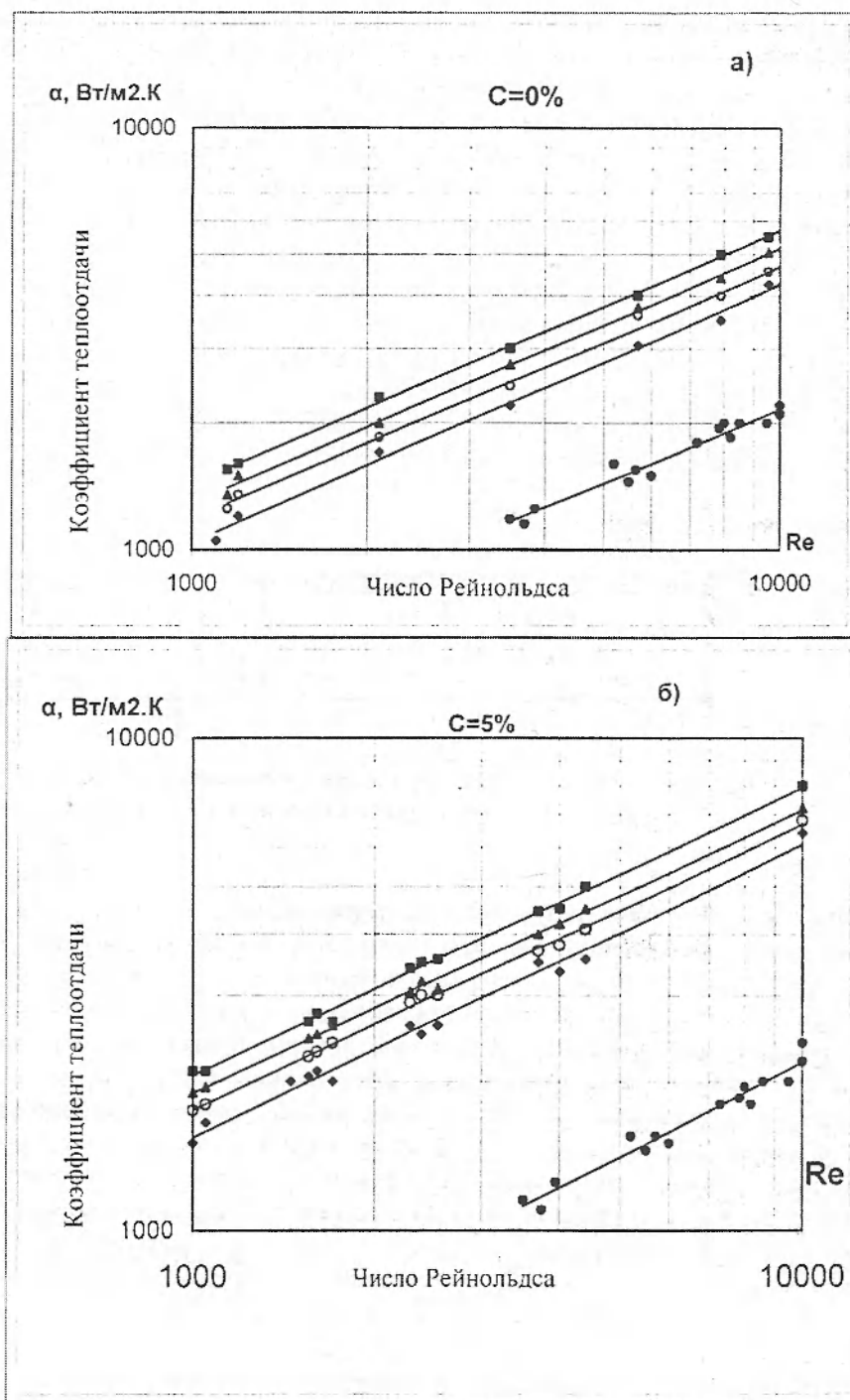
Процессы тепло- и массообмена при пленочной конденсации ввиду своей актуальности всегда привлекали внимание как теоретиков, так и практиков. Исследование этих процессов позволяет получать информацию об их особенностях и осуществлять оптимизацию. Особое место в процессах тепло и массообмена занимает пленочная конденсация паров аммиака с маслом на трубах с кольцевыми канавками.

В систему холодильной установки масло попадает при работе поршневых, ротационных или маслonaполненных винтовых компрессоров. Масло увлекается потоком сжимаемого пара хладагента, поступает в нагнетательную линию и далее в конденсатор.

Холодильный агент – аммиак ограниченно растворяется в маслах, используемых для смазки компрессоров аммиачных холодильных установок. Плотность жидкого аммиака около 650 кг/м^3 , что значительно ниже плотности смазочных масел (около 900 кг/м^3). Некоторое количество масла, увлекаемого паром аммиака и не уловленного в маслоотделителе (в среднем 0,05 % от массового расхода аммиака [1]), в парообразном либо жидкокапельном состоянии попадает в конденсатор и конденсируется, либо осаждается на его холодной теплообменной поверхности. Вследствие разности плотностей конденсата аммиака и жидкого масла, последнее стекает по теплообменной поверхности и скапливается в нижней части конденсатора либо ресивера. Систематические исследования влияния присутствия масла на теплообмен при конденсации аммиака до настоящего времени отсутствуют, а имеющиеся в литературе сведения по этому вопросу малочисленны и порой противоречивы.

Экспериментальные исследования проведены на 1 гладкой и 4-х трубах с дискретно расположенными кольцевыми канавками при изменении скорости и температуры паров аммиака с маслом [2,3].

На рисунке 1 приведены результаты экспериментальных исследований процесса пленочной конденсации паров аммиака с маслом.



• - гладкая труба; ♦ - $d/D=0,93$ $t/D=0,44$; ○ - $d/D=0,91$ $t/D=0,44$;
 ▲ - $d/D=0,94$ $t/D=0,25$; ■ - $d/D=0,88$ $t/D=0,25$

Рисунок 1 - Зависимость коэффициента теплоотдачи α от числа Re при пленочной конденсации паров аммиака с маслом

Как видно, с ростом скорости потока значение коэффициента α резко увеличивается. Так, например при концентрации масла $c=0\%$ (пары чистого аммиака), $d/D=0,91$ для $t/D=0,44$ и $Re=7900$ имеем $\alpha=4000$, а для $d/D=0,88$ и $t/D=0,25$ - $\alpha=4950$ Вт/м²·К, т.е. интенсивность выше на 23,8%.

При идентичных условиях, но при концентрации масла в смеси $c=5\%$ величина коэффициента теплоотдачи соответственно для $t/D=0,44$ - $\alpha=5400$ и для $t/D=0,25$ - $\alpha=6480$ Вт/м²·К, т.е. интенсификация теплообмена составляет 20%.

Сопоставление рисунков 1а и б при вышеуказанных параметрах показывает, что по сравнению с конденсацией чистых паров аммиака ($c=0\%$) при конденсации смеси с маслом ($c=5\%$) интенсивность теплоотдачи возросла приблизительно в 1,3-1,35 раза. Аналогичная картина сохраняется для всех концентраций двухкомпонентной смеси, d/D и Re .

Это является следствием того, что с уменьшением шага расположения кольцевых канавок t/D возрастает частота срыва капель образующегося конденсата [4]. Рост частоты срыва капель ведёт к постоянному обновлению теплообменной поверхности и интенсификации процесса конденсации паров аммиака с маслом, которые обусловлены спецификой теплообменной трубы в виде чередующихся плавно очерченных кольцевых канавок снаружи и диафрагм внутри. В продольном разрезе накатанная теплообменная труба представляет собой чередующиеся с определенным шагом t/D выпуклости и впадины (рисунок 2).

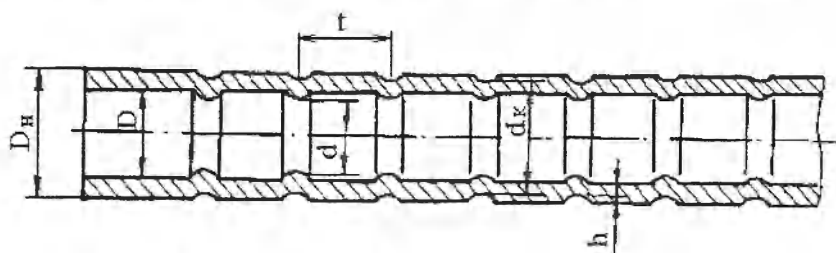


Рисунок 2 - Теплообменная труба с дискретно расположенными кольцевыми канавками

Причем, наилучшие результаты по интенсификации теплообмена при конденсации паров аммиака с маслом получены при $t/D=0,25$, т.е. когда ширина выпуклости и впадины одного порядка и соизмеримы. Чередование плавного сужения и расширения ведёт к турбулизации потока в пристенной области и всего потока со стороны холодного теплоносителя. Плавно очерченные выступы внутри и впадины снаружи труб приводят к ликвидации застойных зон, характерных для гладких труб. Это, как правило, ведет к снижению температуры стенки, на которой протекает процесс пленочной конденсации паров аммиака с маслом. Естественно, этот фактор наряду с выпуклостью поверхности создает благоприятные условия для процесса пленочной конденсации двухкомпонентной смеси. На выпуклой части трубы на фиксированных центрах конденсации начинают конденсироваться пары аммиака. Под воздействием различных температур и давлений, контакта с аммиаком и конструкционными материалами и в присутствии небольшого количества воздуха, имеющегося в установках, масла окисляются и становятся поверхностно-активными веществами. Для образующегося раствора аммиака с окисленным маслом даже при ограниченной их взаимной растворимости характерно снижение величины поверхностного натяжения, а это, в свою очередь, сказывается на режиме течения пленки конденсата. Кроме того, сама поверхность имеет плавно очерченные кольцевые канавки, т.е. макрошероховатость интенсифицирует процесс пленочной конденсации. Принцип интенсификации теплообмена при конденсации на поверхности из чередующихся выступов и впадин основан на градиенте давления образующегося в пленке конденсата. Конденсат будет стягиваться в кольцевую впадину и стекать, что, как правило, приводит к разрушению и перераспределению пленки конденсата по поверхности теплообмена. В итоге, на самой верхней точке выпуклой части и близлежащих поверхностях образуются «сухие пятна», а от канавки к верхней точке пленка конденсата утончается, интенсивность теплообмена возрастает вследствие снижения термического сопротивления, а во впадине толщина пленки несколько возрастает и, соответственно, α уменьшается. Если учесть, что доля поверхности выступа намного больше, чем у впадины, и сопротивление теплопередачи там существенно уменьшится. В итоге,

коэффициент теплоотдачи α для всей поверхности станет более высоким, несмотря на то, что во впадине α снижается из-за роста толщины плёнки конденсата.

Образующиеся мельчайшие капельки на выпуклой поверхности под действием сил поверхностного натяжения (действие сил поверхностного натяжения на участке малой кривизны существенно) и собственной тяжести начинают скатываться и по пути сливаются с другими капельками и образуют плёнки конденсата, которые стекают во впадину (кольцевые канавки). Ввиду большой крутизны перехода от выпуклой поверхности трубы к кольцевой канавке, а также при наложении вышеуказанных сил, стекание образующегося конденсата протекает интенсивно. В процессе конденсации динамическое воздействие двухкомпонентной смеси на плёнку практически отсутствует. Динамическая неустойчивость тонких плёнок конденсата приводит к её разрыву и свёртыванию в капли. Следует особо подчеркнуть, что скорость отвода образующегося конденсата опережает скорость образования конденсата. В результате поверхность теплообмена канавки вновь готова к конденсации.

И так начинается новый цикл процесса конденсации и отвода конденсата. Причиной эффективного обновления теплообменной поверхности является эффективная конструкция трубы, которая обеспечивает наилучший отвод конденсата, в отличие от гладкой и иных конструкций теплообменных труб. Характерно, что теплообменная труба с плавно очерченными турбулизаторами внутри и дискретно расположенными канавками снаружи интенсифицирует теплоотдачу как со стороны холодного теплоносителя, так и со стороны конденсируемого пара.

Кроме того, небольшое количество масла, осаждаясь на поверхности нагрева, служит дополнительными центрами конденсации. В сумме все вышеперечисленные факторы ведут к столь существенной интенсификации теплообмена.

Следовательно, при пленочной конденсации шаг расположения кольцевых канавок должен быть минимальным. Численное значение минимального шага расположения кольцевых канавок лимитируется гидравлическим сопротивлением в каналах и необходимой поверхностью выпуклой конденсатообразующей поверхности.

В заключение следует отметить, что оптимальным шагом расположения дискретно расположенных кольцевых канавок при конденсации паров аммиака с маслом при безразмерном диаметре $d/D=0,88$ является $t/D=0,25$.

Высокое значение коэффициента α в канале позволяет намного снизить температуру конденсатообразующей теплообменной поверхности накатанной трубы по сравнению с гладкой. Более низкая температура не позволяет «прикипеть» каплям масла на теплообменной поверхности. В сумме интенсификация теплоотдачи в канале и снаружи, ведёт к повышению интенсивности теплообмена и делает трубу с дискретно расположенными кольцевыми турбулизаторами более предпочтительной, вследствие технологичности её изготовления, высоких α , низких гидравлических сопротивлений и не изменения технологии сборки кожухотрубных аппаратов.

Литература

- 1 Данилова Г.Н., Богданов С.Н., Иванов О.П. и др. Теплообменные аппараты холодильных установок. – Л.: Машиностроение, 1986. – 303 с.
- 2 Закиров С.Г., Назиров Ш.Х., Алиев Б.А. Термодинамический анализ холодильной установки и составляющих её элементов // Проблемы информатики и энергетики, 2000 - №4. – С.28-35.
- 3 Муминов А.М., Каримов К.Ф., Азизов Д.Х., Карабаев А.С., Алиев Б.А. Повышение эксергетического к.п.д. водяных конденсаторов холодильных машин путём применения труб с кольцевыми турбулизаторами // Труды XIII школы-сем. мол. учёных и спец. «Физические основы экспериментального и математического моделирования процессов газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках». – Санкт-Петербург, 2001.-Т.2.-С.245-247.
- 4 Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. – М.: Энергоатомиздат, 1998, – 408 с.

Қорытынды

Сақиналы ойықты құбырдағы аммиактың майменен буын пленканың конденсациялану процесін зерттеу нәтижелері келтірілген. Жылуалмасу коэффициентінің ұлғаюы мен ойықтардың құбырда орналасуының тиімді адымын дәлелденілуі.

Summary

In this work produced a results of investigations of process film-type condensation steam of ammonia and oil on pipes with ring grooves. Also we got confirmation of growing heat emission's factor and optimal stride of groove's arrangement.