

Зависимость относительной температуры по длине надслоевого пространства

При отсутствии псевдоожигения и наличии всплесков (виброкипящий слой) температура потока падает по экспоненте (кривая 3). При интенсивном псевдоожигении температура надслоевого пространства находится из выражения (6) – кривая 4. Точками даны экспериментальные значения  $v(x)$ , полученные на модельной установке. Из рисунка видно, что экспериментальные данные хорошо согласуются с кривой, построенной по уравнению (6).

УДК 66.021:536.24

Ю.В. Путилин, О.Б. Пушкарева  
(Yu.V. Putilin, O.B. Pushkareva)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Ekaterinburg)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ (IMPROVEMENT OF THE HEAT PUMPS BASIC EQUIPMENT)

*В статье описана целесообразность применения в качестве испарителей и конденсаторов пароконденсационных тепловых насосов горизонтально-трубных пленочных аппаратов.*

*Preference of using of the horizontal-tubes film apparatus as the evaporators and condensers of steam-compressor heat pumps is described.*

В настоящее время в мире интенсивно развиваются энергосберегающие технологии, основанные на применении в системах теплоснабжения и в производственных процессах (в том числе для сушки лесоматериалов) тепловых

насосов (ТН), использующих низкопотенциальное тепло естественного или техногенного происхождения. Наиболее широко ТН используются для отопления, что особенно актуально для лесной промышленности, большинство предприятий которой не имеют централизованного теплоснабжения. В наиболее распространенных парокompрессионных тепловых насосах это низкопотенциальное тепло, источником которого служит в основном проточная вода, расходуется на кипение в испарителе промежуточного хладагента (как правило, фреона). Пары последнего сжимаются в компрессоре до давления, обеспечивающего их конденсацию при 75–80 °С в конденсаторе, охлаждаемом обратной водой системы отопления (50–55 °С), которая при этом нагревается до требуемой температуры.

В зависимости от температуры теплоисточника тепловая энергия, произведенная ТН, может в 3–7 раз превышать затраты электрической энергии на привод компрессора. Естественно, что ТН, особенно в развитых странах, интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на сжигании органического топлива. В настоящее время в мире работает более 100 млн ТН различной мощности – от нескольких киловатт до сотен мегаватт.

Россия же существенно отстает в практической реализации теплонасосного теплоснабжения, что во многих случаях обусловлено сравнительно высокой стоимостью ТН. В настоящей статье рассмотрены некоторые пути улучшения стоимостных показателей ТН за счет использования более совершенных конструктивно-технологических схем основного оборудования.

Стоимость тепловых насосов в большой степени определяется ценой теплообменной поверхности испарителей и конденсаторов, требуемая площадь которой весьма значительна из-за низкого уровня теплопередачи в этих аппаратах, использующих недостаточно эффективные схемы проведения процессов теплопереноса. Так, в отечественных и зарубежных ТН кипение хладагента проводится на поверхности затопленных трубных пучков испарителя в большом объеме, а конденсация его паров происходит на наружной поверхности горизонтальных или вертикальных длиннотрубных пучков конденсатора.

Весьма перспективным направлением по существенному повышению эффективности теплообменного оборудования ТН, снижению его массогабаритных и ценовых характеристик может быть применение технологии горизонтально-трубных пленочных аппаратов (ГТПА). Характерной особенностью их является гравитационное течение пленки нагреваемой или испаряемой жидкости по наружной поверхности горизонтальных теплообменных труб.

Физической основой происходящей в ГТПА интенсификации теплоотдачи к жидкости (не менее чем в 2 раза) является перенос процесса из области стабилизированного теплообмена в начальный участок формирования пограничного слоя, что обеспечивается малой протяженностью по-

верхности (половина периметра горизонтальной трубы) в направлении движения рабочих сред. Эта модель реализуется также и при поперечном обтекании горизонтальных труб сплошным потоком жидкости, хотя интенсивность процесса теплообмена несколько ниже, чем при пленочном течении среды.

Фактором интенсификации теплоотдачи со стороны конденсации пара (в 2–2,5 раза) в ГТПА является сокращение общего термического сопротивления ламинарной пленки конденсата из-за уменьшения ее средней толщины по сравнению с таковой на длинных вертикальных трубах или на горизонтальных пучках труб (когда толщина пленки возрастает от верхнего ряда труб к нижнему).

На основании приведенных данных для фреоновых конденсаторов ТН рекомендуется конструктивная схема, представленная на рис. 1. Конденсация пара хладагента происходит внутри пучка горизонтальных труб, а в межтрубном пространстве аппарата в зависимости от конкретных условий эксплуатации реализуется поперечное обтекание трубного пучка пленкой (рис. 1, а), либо сплошным потоком (рис. 1, б) рабочей жидкости (нагреваемой воды системы отопления).

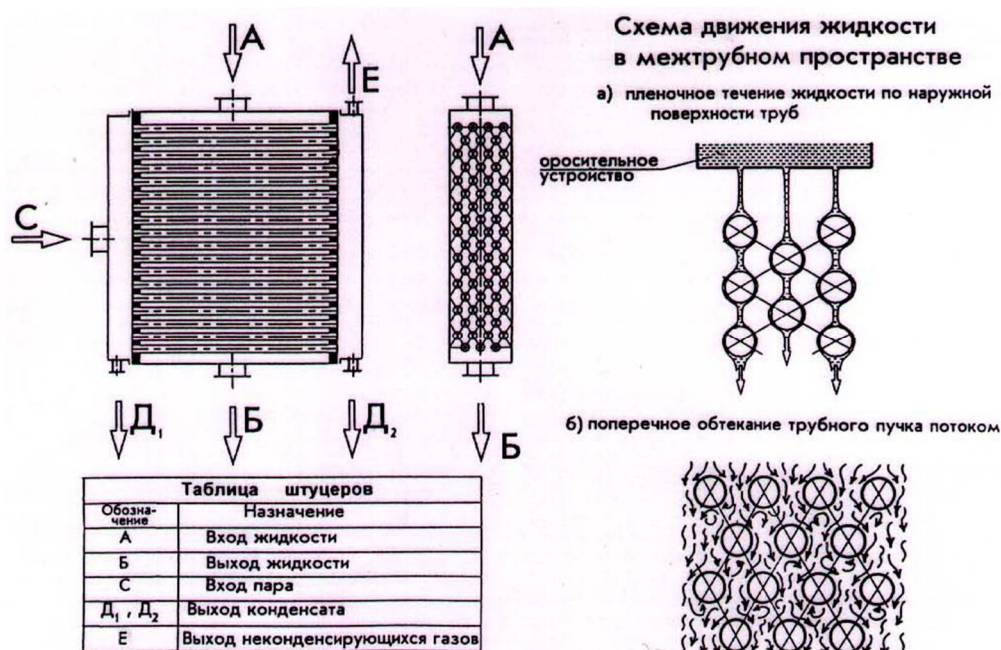


Рис. 1. Конструктивная схема конденсатора

Использование горизонтально-трубных пленочных аппаратов особенно актуально для испарителей ТН, поскольку они обеспечивают высокую интенсивность теплообмена даже при характерных для условий работы этого оборудования малых температурных напорах, то есть в режиме испарения с поверхности стекающей пленки хладагента без развития в ней пузырькового кипения. Величина коэффициента теплоотдачи при этом в 2–4 раза выше чем

при кипении в большом объеме. Существенным положительным фактором является значительное (примерно в три раза) сокращение объема хладагента, находящегося в ТН, по сравнению с аппаратами с затопленными трубными пучками (последние заправляются хладагентом на 2/3 объема межтрубного пространства). В настоящее время из-за высокой стоимости фреона этот фактор становится определяющим в обосновании использования в ТН испарителей пленочного типа.

Один из возможных вариантов конструктивной схемы испарителя с гравитационным течением испаряющейся пленки хладагента по наружной поверхности горизонтальных теплообменных труб представлен на рис. 2.

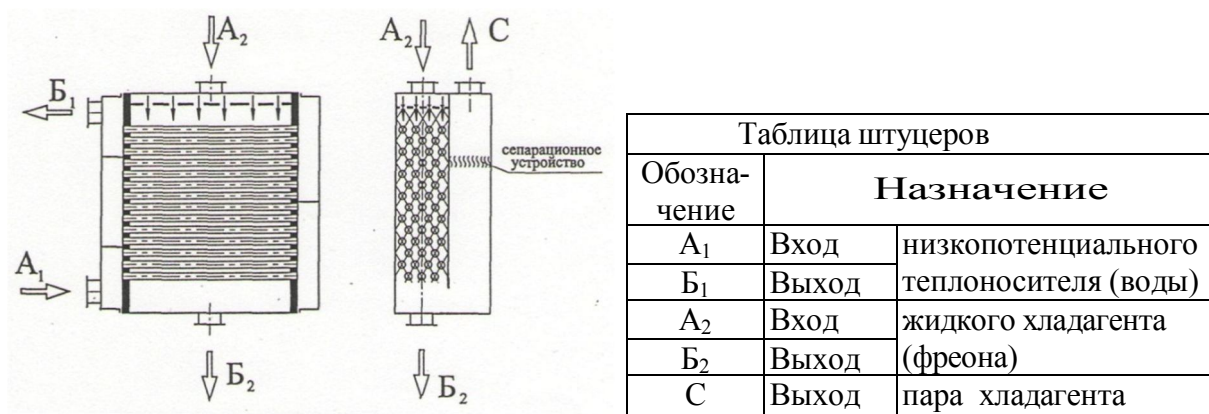


Рис. 2. Конструктивная схема испарителя пленочного типа

От приведенной на рис. 1 конструкции данный аппарат отличается наличием в межтрубном пространстве сепарационного отсека с установленным в нем жалюзийным каплеуловителем. Низкотемпературный теплоноситель, как правило, вода, движется внутри теплообменных труб.

Таким образом, представленный анализ показал целесообразность применения ГТПА в качестве испарителей и конденсаторов парокомпрессионных тепловых насосов, так как при этом может быть достигнуто существенное (в 2–3 раза) улучшение теплотехнических, массогабаритных и стоимостных характеристик данного теплообменного оборудования, обеспечена большая компактность агрегатов и простота их компоновки.