УДК № 621.181.123

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕСС КИПЕНИЯ

В РАЗРЯЖЕННОЙ ПОЛОСТИ ВАКУУМНОГО КОТЛА

*Е. Н. Слободина*

Омский Государственный Технический Университет, г. Омск, Россия

 В статье рассмотрены вопросы процесса теплообмена в разряженной полости вакуумного котла. Представлены основные расчетные зависимости кипения в различном диапазоне давлений. Исследования процессов в разряженной полости вакуумного котла позволят выявить возможные методы интенсификации теплообмена для создания высокоэффективного вакуумного котла.

Ключевые слова: вакуумный котел, кипение, теплоотдача, температура насыщения.

Вакуумный водогрейный котел – перспективная разновидность газотрубного котла, особенность работы которого заключается в том, что парообразования происходит в среде с пониженным давлением при температурах менее 100°С. От интенсивности теплообмена в разряженной полости зависит эффективность работы данного агрегата [1]. Исследования проводившиеся до настоящего времени не в полной мере раскрыли особенности процесса теплообмена в разряженной полости вакуумного котла. Особый интерес представляет процесс кипения при пониженном давлении в разряженном объеме вакуумного котла. Кипение – сложный процесс, условия протекания которого определяются различными теплофизическими факторами.

Интенсивность кипения зависит от давления и теплофизических свойств жидкости. Параметр, оказывающий наибольшее влияние на процесс кипения, является давление. С увеличением давления насыщения интенсивность теплообмена повышается, уменьшаются размеры пузырька в момент возникновения и отрыва, увеличиваются число центров и частота отрыва пузырей в этих центрах. С приближением термодинамического состояния к критическому, воздействие этих факторов возрастает и соответственно наблюдается рост влияния давления на теплоотдачу. Так же существенное влияние на теплообмен оказывают теплофизические свойства жидкости, которые напрямую зависят от давления и температуры. Со снижением давления из-за увеличения критического радиуса парового пузырька создаются значительные трудности в образовании паровой фазы на поверхности нагрева, что приводит к существенному изменению внутренних характеристик процесса кипения – скорости роста, отрывного диаметра, частоты отрыва паровых пузырьков. При этом растягивается переходный режим кипения, характеризующийся неустойчивостью, нестабильностью процесса парообразования и нестационарностью теплообмена [2].

Температура насыщения *TS(p)* является характерным параметром при тепловых расчетах модели газотрубного котла. С помощью корреляционной зависимости Антуана, применяемой для практических расчетов температуры насыщения в широком диапазоне давлений, рассчитана температура насыщения для теплоносителей вода (H2O) и этиленгликоль (С2H6O2).

Полученные результаты подтверждают взаимосвязь температуры насыщения и давления. С понижением давления температура насыщения уменьшается (рисунок 1).

Рисунок 1. Зависимость температуры насыщения различных теплоносителей от давления насыщенных паров.

Давление ниже атмосферного влияет на интенсивность теплообмена со стенкой. Переход к конвективным явлениям в областях с пониженным давлением связан с дальнейшим ухудшением теплообмена в следствии уменьшения числа соударений молекул с поверхностью и между собой [3, 4].

Изменения механизма и интенсивности теплообмена приводят к возникновению кризисов кипения. Определяющими факторами всех трех кризисов кипения являются: критическая плотность теплового потока, коэффициент теплоотдачи и температурный напор. В соответствии с литературными данными [5, 6] критическая плотность теплового потока во избежание кризиса кипения не должна превышать 200 кВт/м2, а значения температурного напора не должны превышать 30 К, должны соблюдаться неравенства qкр3 < q < qкр1, ∆Tкр3 < ∆T < ∆Tкр1. В этом случае кипение соответствует пузырьковому режиму.

При увеличении температурного напора, а так же давления на поверхности нагрева увеличивается число активных центров парообразования. В итоге все большее количество пузырьков непрерывно возникает, растет и отрывается от поверхности нагрева, увеличивается турбулизация и перемешивание пристенного пограничного слоя жидкости. В процессе своего роста на поверхности нагрева пузырьки так же интенсивно забирают теплоту из пограничного слоя, все это способствует улучшению теплоотдачи. При понижении давления наблюдается обратный эффект [2, 6].

С понижением давления снижается интенсивность процесса теплообмена, увеличивается критический радиус парового пузырька, создаются значительные трудности в образовании паровой фазы на поверхности нагрева и как следствие изменение внутренних характеристик процесса кипения – скорости роста, отрывного диаметра, частоты отрыва паровых пузырьков [6].

Существуют различные методики для расчета коэффициентов теплоотдачи (*α*) при кипении жидкости.

При расчете процесса кипения в большом объеме в диапазоне давлений от 1 до 200 бар возможно применение соотношения М.А. Михеева и И.М. Михеевой [7]:

$$α=\frac{3,4p^{0,18}}{1-0,0045p}q^{^{2}/\_{3}}$$

или согласно авторам В. П. Исаченко, В. А. Осипову, А. С. Сукомелу [6]:

*α =* 3,0*q*0,7*p*0,15,

где *p* – давление насыщенных паров, *q –* плотность теплового потока.

При расчете теплоотдачи в зоне развитого кипения и при более высоких тепловых потоках и давлении целесообразно применять расчетную зависимость Ю.М. Липова и Ю.М. Третьякова [8]:

*α =* 0,9∙4,34∙*q*0,7(*p*0,14+1,35∙10-2∙*p*2).

Результаты расчетов представлены в виде графической зависимости на рисунке 2.

Рисунок 2. Зависимости коэффициентов теплоотдачи при кипении жидкости от давления насыщенных паров: 1 – М.А. Михеев, И.М. Михеева; 2 – В. П. Исаченко, В. А. Осипов, А. С. Сукомел; 3 – Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков.

Расчет коэффициента теплоотдачи по трем разным методикам [6 – 8] подтвердил влияние давления ниже атмосферного на интенсивность теплообмена в разряженной полости вакуумного котла, с понижением давления происходит снижение коэффициента теплоотдачи.

Несмотря на зависимость коэффициент теплоотдачи от большого количества факторов: формы и размеров тела, режима движения, скорости и температуры жидкости, физических параметров жидкости [6], определяющими параметрами коэффициента теплоотдачи при кипении будут являться температура и давление насыщенных паров, температурный напор, которые определяют эффективную работу вакуумного котла.

Библиографический список

1. Слободина Е. Н., Интенсификация процессов кипения и конденсации в рабочем объеме вакуумного котла// Динамика систем, механизмов и машин.–2014.–№2.– с.134 – 136;
2. Корнеев С.Д. Влияние теплофизических свойств материала оребренной поверхности на выбор ее оптимальных геометрических характеристик/С.Д. Корнеев, Е.Л. Пименова, A.M. Костюков, В.М. Кирсанов, С.Я. Эфендиев. – Москва: Известия МГИУ. 2006.– № 1 (2);
3. Болгарский А. В. И др. Термодинамика и теплопередача. Учебн. Для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1975. 495 с. с ил.;
4. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Изд. 5-ое перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979, 416 с.;
5. Кутателадзе, С. С. Теплопередачи при кипении и конденсации / С. С. Кутателадзе. – М.: МАШГИЗ, 1952. – 236 с.;
6. Исаченко, В. П. Теплопередача: Учебник для вузов/ В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с. с ил.
7. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд. 2 –ое изд. – М.: Энергия, 1977. – 344 с. с ил.
8. Липов, Ю. М. Котельные установки и парогенераторы / Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков. – Москва - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 592 с.