

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В РАЗРЯЖЕННОЙ ПОЛОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВАКУУМНОГО КОТЛА

Е. Н. Слободина

*Омский государственный технический университет
Россия, Омск, slobodina_e@mail.ru*

Аннотация. В статье отображены результаты исследования влияния процесса кипения в разряженной полости на эффективность работы вакуумного котла. Изучение процесса кипения в разряженной полости позволит выделить недостатки и подобрать рациональные методы интенсификации теплообмена. Представлены расчетные зависимости для температуры насыщения, коэффициентов теплоотдачи при кипении в различном диапазоне давлений.

Ключевые слова: вакуумный котел, кипение, теплоотдача, давление, тепловые потери, коэффициент полезного действия.

INFLUENCE INTENSIVE HEAT TRANSFER DISCHARGED CAVITY ON THE EFFICIENCY OF VACUUM BOILER

E. N. Slobodina

*Omsk state technical university
Omsk, Russia, slobodina_e@mail.ru*

Abstract. The article presents results of studies of the effect of the boiling process in the discharged volume on the effectiveness of the vacuum boiler. Studying the process of low pressure boiling will identify shortcomings and to choose rational methods of heat transfer. According to the saturation temperature at boiling, heat transfer coefficients from the pressures are presented.

Keywords: vacuum boiler, boiling, heat transfer, pressure, heat loss, efficiency.

Рационализировать использование и достигнуть экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов возможно благодаря разработке и внедрению новых технологий и оборудования. В качестве такого оборудования для систем автономного теплоснабжения рассматривается вакуумный водогрейный котел, который не требует больших материальных затрат при эксплуатации, прост в конструкции и безопасен в использовании.

Рассмотрим подробнее процессы, характеризующие эффективную работу данного теплогенератора.

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. 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 [1].

Температура насыщения $T_s(p)$ 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 (H_2O) и этиленгликоль ($C_2H_6O_2$).

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

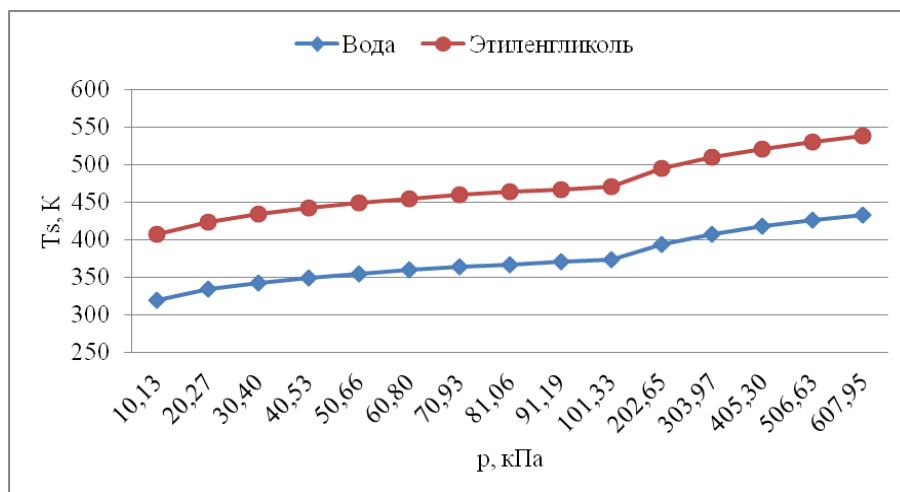


Рис. 1. Зависимость температуры насыщения различных теплоносителей от давления насыщенных паров

Давление ниже атмосферного влияет на интенсивность теплообмена со стенкой. Переход к конвективным явлениям в областях с пониженным давлением связан с дальнейшим ухудшением теплообмена вследствие уменьшения числа соударений молекул с поверхностью и между собой [2, 3].

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 [4, 5] критическая плотность теплового потока во избежание кризиса кипения не должна превышать 200 кВт/м^2 , а значения температурного напора не должны превышать 30 К , должны соблюдаться неравенства $q_{кр3} < q < q_{кр1}$, $\Delta T_{кр3} < \Delta T < \Delta T_{кр1}$. 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 [1, 5].

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 [5].

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 [6]:

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

или согласно авторам В. П. Исаченко, В. А. Осипову, А. С. Сукомел [5]:

$$\alpha = 3,0q^{0,7}p^{0,15},$$

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 [7]:

$$\alpha = 0,9 \cdot 4,34 \cdot q^{0,7} (p^{0,14} + 1,35 \cdot 10^{-2} \cdot p^2).$$

Результаты расчетов представлены в виде графической зависимости на (рис. 2).

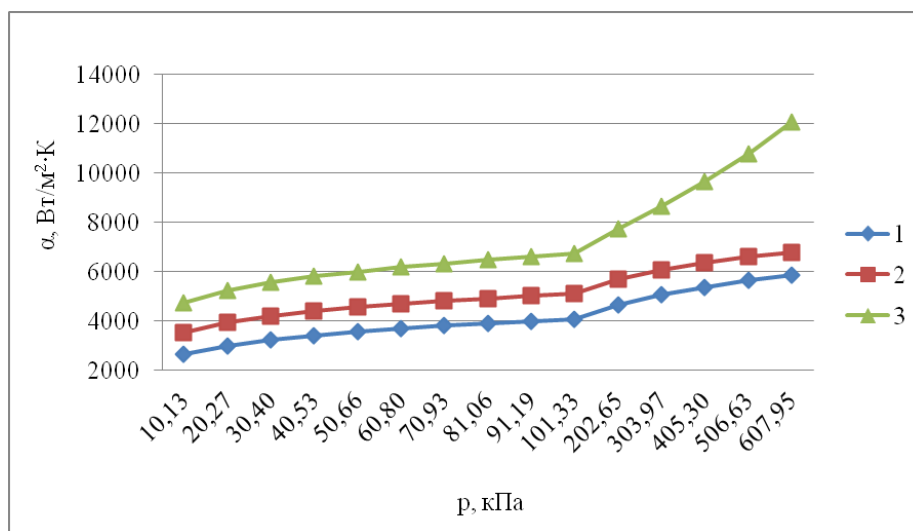


Рис. 2. Зависимости коэффициентов теплоотдачи при кипении жидкости от давления насыщенных паров: 1 – М.А. Михеев, И.М. Михеева; 2 – В. П. Исаченко, В. А. Осипов, А. С. Сукомел; 3 – Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков

Расчет коэффициента теплоотдачи по трем разным методикам [5 – 7] подтвердил влияние давления ниже атмосферного на интенсивность теплообмена в разряженной полости вакуумного котла, с понижением давления происходит снижение коэффициента теплоотдачи.

Уменьшение коэффициента теплоотдачи с понижением давления насыщенных паров в полости с разряжением оказывает влияние на температуру уходящих газов и, как следствие, на величину тепловых потерь с уходящими газами (q_2). Из всех тепловых потерь, входящих в расчетную формулу для определения КПД брутто вакуумного котла, величина q_2 – самая значительная, напрямую зависящая от коэффициента избытка воздуха, температуры уходящих газов $T_{ух}$ и забалластированности негорючими газами газообразного топлива.

Проведенные расчетные исследования показали, что с увеличением разряжения насыщенных паров температура уходящих газов увеличивается (рис. 3) и превышает установленный верхний допустимый предел 170 °С [8].

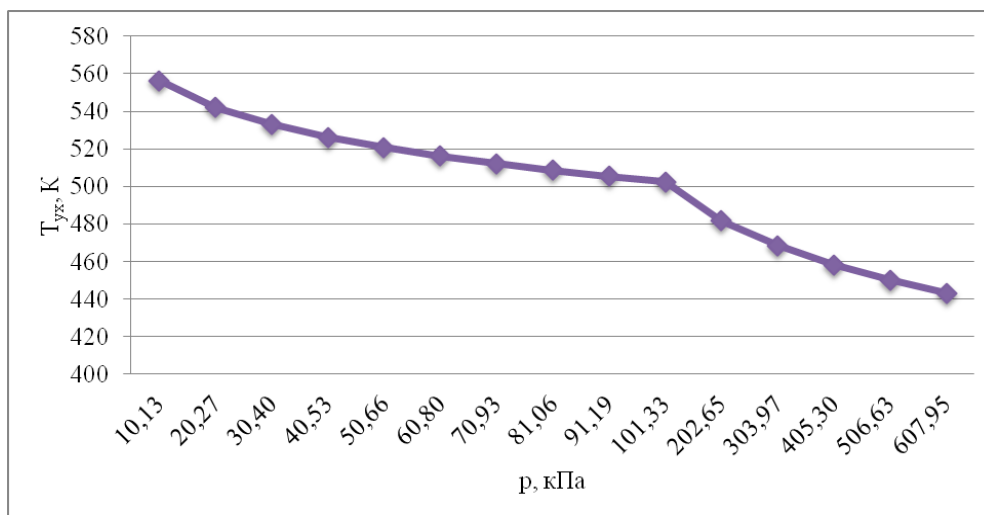


Рис. 3. Изменение температуры уходящих газов с понижением давления насыщенных паров

Температуру уходящих газов необходимо поддерживать строго в заданном интервале температур, так как при низкой температуре возможна конденсация водяных паров на поверхностях нагрева, что приводит к интенсивной кислотной коррозии [9]. Температура уходящих газов оказывает влияние на коэффициент полезного действия котла брутто. КПД котла брутто рассчитанный методом обратного баланса, с учетом суммы тепловых потерь при его работе [7].

С увеличением разрежения и ростом тепловых потерь q_2 происходит снижение КПД котла, это наглядно видно из графической зависимости, представленной на (рис. 4).

Полученные расчетные данные позволяют сделать вывод о необходимости применения методов интенсификации в полости с разрежением [10]. Снижение температуры уходящих газов в пределах 15 – 20 % приводит к уменьшению потери q_2 и к росту КПД котла на 1 %.

Использование интенсификации для процесса кипения в разреженной полости вакуумного котла позволит сократить тепловые потери q_2 и создать энергоэффективный образец вакуумного котла, не уступающий известным аналогам.

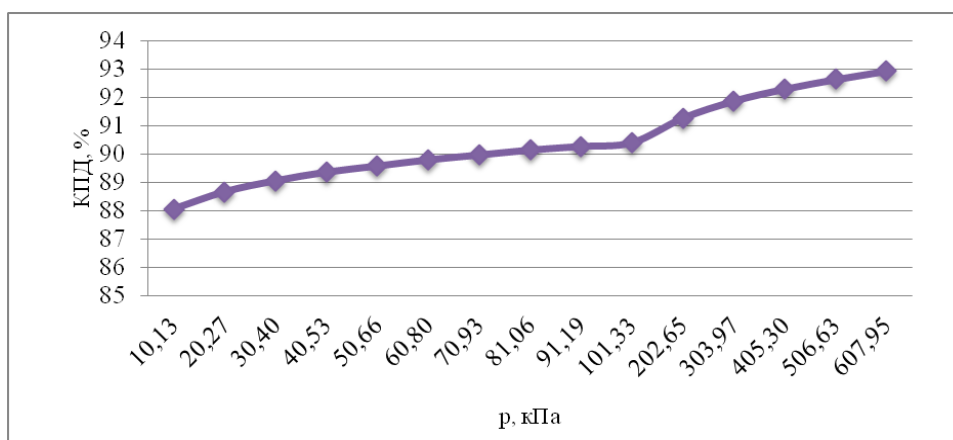


Рис.4. Изменение коэффициента полезного действия котла с понижением давления насыщенных паров

Исследованием методов интенсификации теплообмена в разреженной полости вакуумного котла с целью повышения эффективности его работы занимается кафедра «Теплоэнергетика» ОмГТУ.

Библиографический список

1. Влияние теплофизических свойств материала оребренной поверхности на выбор ее оптимальных геометрических характеристик / С. Д. Корнеев [и др.] // Известия МГИУ. 2006. № 1 (2). С. 56 – 61.
2. . Термодинамика и теплопередача : учеб. для вузов / А. В. Болгарский [и др.]. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1975. 495 с.
3. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. Изд. 5-е перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1979. 416 с.
4. Кутателадзе С. С. Теплопередачи при кипении и конденсации. М.: МАШГИЗ, 1952. 236 с.
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача : учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.
6. Михеев М. А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е изд. М.: Энергия, 1977. 344 с.
7. Липов Ю. М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. М., Ижевск : НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2003. 592 с.
8. Сидельковский Л. Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1988. 528 с.
9. Лариков Н. Н. Теплотехника : учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1985. 432 с.
10. Слободина Е. Н. Интенсификация процессов кипения и конденсации в рабочем объеме вакуумного котла // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 2. С. 134–136.