

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

*Институт прикладной физики АНМ,

ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, mbologa@phys.asm.md

**Государственный аграрный университет Молдовы,

ул. Мирчеица, 44, г. Кишинев, MD-2049, Республика Молдова

Процессы конденсации в присутствии неконденсирующихся газов часто встречаются в энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в холодильной и криогенной технике, в системах кондиционирования воздуха. Рост энергетических мощностей сопряжен с увеличением массы и габаритов теплообменников, на производство которых расходуется большое количество легированных и цветных металлов. Отсюда следует, что уменьшение массы и габаритов теплообменных аппаратов остается весьма актуальной задачей. Наиболее перспективный путь решения этой проблемы – интенсификация теплообменных процессов. К настоящему времени исследованы и предложены разнообразные методы интенсификации конденсации, в частности использование ребер в качестве турбулизаторов пленки конденсата, несмачиваемые покрытия, жидкие стимуляторы для создания капельной конденсации, закрутка потока, вращение поверхности теплообмена. Весьма перспективным методом интенсификации конденсации является использование электрических полей. Конденсация в вертикальных трубах теоретически и экспериментально изучалась в работах Chato [1]. Chen и др. [2] анализировали пленочную конденсацию в вертикальной трубе и получили расчетную зависимость для среднего числа Нуссельта. В работах Webb [3], Cavallini и др. [4], Muir [5], Yang и Webb [6] рассматривалась интенсификация конденсации хладагентов – R-134a и R-22 с помощью микрооребрения (при изменении высоты ребер от 0,1 до 0,25 мм).

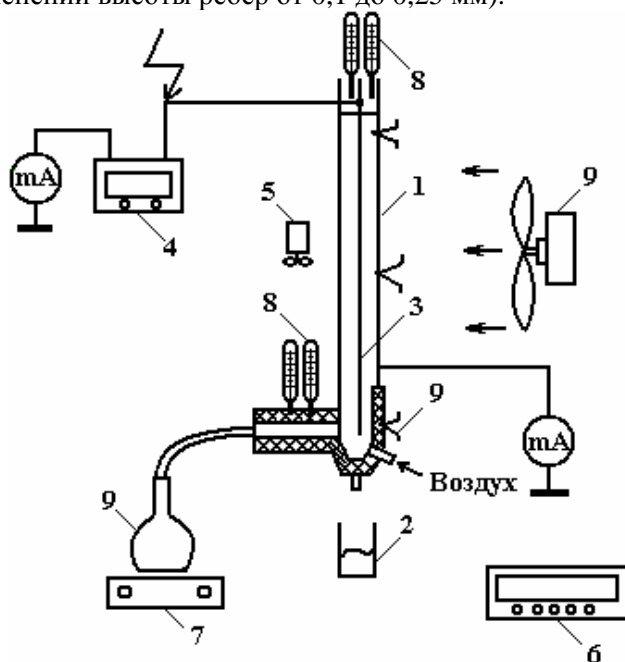


Рис. 1. Схема участка конденсации паровоздушной смеси. 1- труба-конденсатор пара; 2 – сборник конденсата; 3 – высоковольтный электрод; 4 – высоковольтный источник; 5 – анемометр; 6 – блок измерения температур; 7 – парогенератор; 8 – термометры; 9 – вентилятор

Gerstman и Choi [7] показали возможность интенсификации конденсации на вертикальной пластине путем воздействия на толщину пленки электрическим полем. Velkoff и Miller [8] исследовали конденсацию паров R-113 на вертикальной медной пластине при различных напряженностях поля и

геометриях электродов. Экспериментальными исследованиями, проведенными Seth и Lee [9], показана возможность интенсификации конденсации пара из парогазовой среды в электрическом поле. В дальнейшем результаты детальных исследований по конденсации паров диэлектрических жидкостей из парогазовой смеси получены и другими авторами [10–14]. Однако данных о влиянии электрического поля на конденсацию проводящих жидкостей, включая воду, практически нет. Актуальность подобных исследований продиктована необходимостью раскрытия специфики взаимодействия двухфазных проводящих систем с электрическими полями и с возможностью использовать сконденсированную жидкость в электрогидродинамических (ЭГД) генераторах [15].

В первой части предпринятых исследований [16] была показана возможность использования атмосферной влаги в ЭГД-генераторе и изучена конденсация парогазовой смеси в отсутствие электрического поля. Цель настоящей работы – экспериментальное изучение влияния электрического поля на конденсацию водяного пара из парогазовой смеси.

Исследование процесса конденсации проводилось на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Рабочая жидкость нагревалась до кипения в емкости 9. Образовавшийся пар поступал в нижнюю часть вертикальной трубы длиной 80 см и диаметром 28 мм, где смешивался с воздухом и конденсировался на внутренней поверхности трубы. Образовавшийся конденсат стекал вниз и попадал в мерный сосуд. Снаружи труба обдувалась потоком воздуха, скорость которого могла регулироваться. Внутри трубы соосно установлен медный, в лаковой изоляции, проволоочный электрод диаметром 3 мм с насечками. На внутренний электрод подавалось постоянное напряжение от высоковольтного источника типа АИИ-70, а труба, служащая вторым электродом, заземлялась через миллиамперметр. Расход пара измерялся по массе испарившейся воды и продолжительности проведения эксперимента, температура поверхности трубы – с помощью термопар, установленных в начале, середине и конце трубы. Влажность и температура пара на выходе из трубы определялись с помощью психрометра, расход воздуха, подаваемого в конденсатор, измерялся с ротаметром.

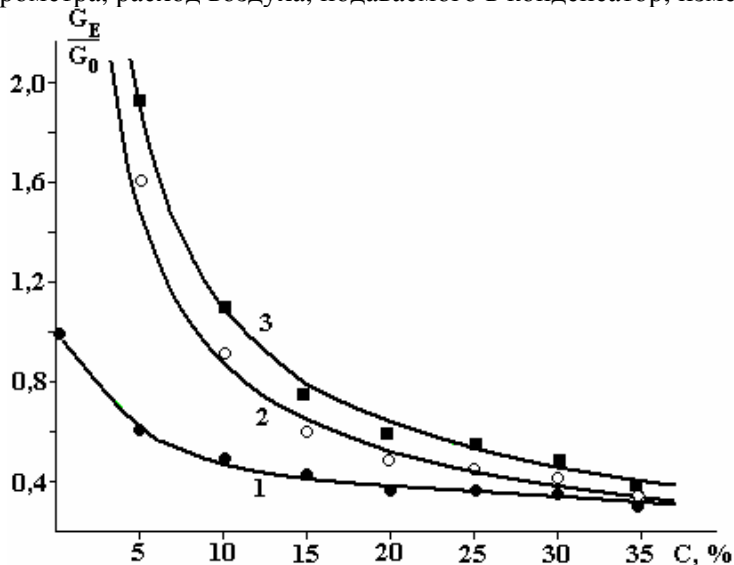


Рис. 2. Зависимость относительного количества конденсата от концентрации воздуха при различных силах тока, мА: 1 – 0; 2 – 1; 3 – 2 $V_{\text{возд}} = 3,5 \text{ м/с}$

Скорость воздуха, обдувающего внешнюю поверхность трубы, измерялась с помощью анемометра. Эксперименты проводились при изменении параметров процесса в следующих диапазонах: концентрация неконденсирующихся газов 0–35%, скорость обдува 0–3,5 м/с, напряжение до 15 кВ. Выбор диапазона изменения скорости обдува поверхности трубы предопределен типичным диапазоном скоростей ветра в условиях Молдовы. Величина максимального напряжения ограничивалась пробоем межэлектродного промежутка.

На рис. 2 представлены зависимости относительного количества получаемого конденсата от концентрации воздуха при различных силах тока коронного разряда. Максимальная степень интенсификации составляет 1,9. Полученные результаты свидетельствуют о монотонном снижении степени интенсификации с ростом концентрации газа как при наличии электрического поля, так и в его отсутствие. Характер кривых можно объяснить тем, что диффузионное термическое сопротивление играет главную роль даже при очень малых концентрациях неконденсирующегося газа.

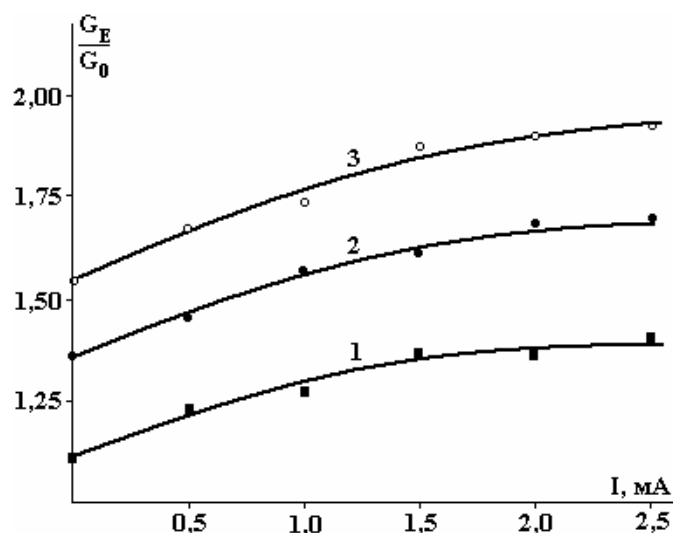


Рис. 3. Зависимость относительного количества конденсата от силы тока при различных скоростях обдува, $c = 5\%$: 1 – 1,3 м/с; 2 – 2,0 м/с; 3 – 3,5 м/с

Зависимости относительного количества конденсата от силы тока при различных скоростях воздуха, обдувающего трубу, представлены на рис. 3. С увеличением силы тока, вплоть до пробоя межэлектродного промежутка, наблюдалось увеличение количества получаемого конденсата. Коронный разряд, возникающий при определенной разности потенциалов, вызывает интенсивное диспергирование пленки конденсата и ее утончение. Кроме того, происходит интенсивное перемешивание парогазовой смеси, что способствует уменьшению диффузионного сопротивления. Повышение скорости обдува трубы вызывает турбулизацию обтекающего потока воздуха, что также способствует интенсификации процесса.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность существенной интенсификации процесса конденсации в электрическом поле за счет турбулизации пленки конденсата и уменьшения диффузионного сопротивления переносу пара. При концентрации неконденсирующегося газа 5% получено почти двукратное увеличение количества конденсата. Результаты могут быть использованы при проектировании ЭГД-генераторов и создании компактных конденсаторов пара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chato J. C. Laminar Condensation inside Horizontal and Inclined Tubes, Ph.D. dissertation, Department of Mechanical Engineering, MIT, Cambridge, MA. 1960.
2. Chen S. L., Gerner F. M., Tien C. L. General Film Condensation Correlations, Exp. Heat Transfer, 1, 1987. P. 93–107.
3. Webb R.L. Principles of Enhanced Heat Transfer, Wiley-Interscience, New York. 1994.
4. Cavallini A., Censi G., Del Co D., Doretti L., Longo G. A., Rossetto L. In-Tube Condensation of Halogenated Refrigerants, ASHRAE Trans., 2002, 108(1). P. 146–161.
5. Muir E.B. (1989). Commercial Refrigerants and CFCs, in CFCs: Today's Options—Tomorrow's Solutions, Proc. ASHRAE's 1989 CFC Technology Conference. P. 81–86.
6. Yang C.Y., Webb R.L. A Predictive Model for Condensation in Small Hydraulic Diameter Tubes Having Axial Micro-fins, J. Heat Transfer, 1997. 119. P. 776–782.
7. Gerstman J., Choi H.Y. Electrohydrodynamics effects in condensation, Report 62–3, Department of Mechanical Engineering, Tufts University, 1962.
8. Velkoff H.R., Miller J.H. Condensation of vapor on a vertical plate with a transverse electrostatic field, Journal of Heat Transfer ASME, 1965. P. 197–201.
9. Seth A.K., Lee L. The effect of an electric field in the presence of noncondensable gas on film condensation heat transfer. J. Heat Transfer Trans ASME 1970; 9(1). P. 616–62.
10. Савин И.К., Болога М.К., Дидковский А.Б. Влияние электрического поля на теплоотдачу при пленочной конденсации пара в присутствии неконденсирующегося газа // Электронная обработка материалов. 1981. № 2. С. 41–44.
11. Савин И.К., Дидковский А.Б., Болога М.К. Интенсификация теплообмена при пленочной конденсации пара из парогазовой смеси под воздействием электрического поля // Электронная обработка материалов. 1983. № 2. С. 59–63.

12. Савин И.К., Дидковский А.Б., Болога М.К. Особенности теплообмена при конденсации пара из парогазовой смеси в диапазоне малых температурных перепадов в условиях ЭГД воздействия // Электронная обработка материалов. 1983. № 5. С. 52–56.
13. Experimental study of electrohydrodynamically augmented condensation heat transfer Wawzyniak M., Motte E. Seyed-Yagoobi J. Industry Applications Society Annual Meeting, 1994., Conference Record of the 1994 IEEE, 2-6 Oct 1994. Vol.3. P.1653–1660.
14. Sadek H., Robinson A.J., Cotton J.S., Ching C.Y., Shoukri M. Electrohydrodynamic enhancement of in-tube convective condensation heat transfer. International Journal of Heat and Mass Transfer, v.49, Issues 9-10, May 2006. P. 1647–1657.
15. Cojuhari I., Bologa M. Instalatie eoliana electrodinamica. Brevet de inventie/ Md–2199, (13) B1, 2003.
16. Гросу Ф.П., Болога М.К., Поликарпов А.А., Моторин О.В. О моделировании процессов влагооборота и распределения электрических зарядов в атмосфере // Электронная обработка материалов. 2007. № 3. С. 29–35.

Поступила 18.12.08

Summary

Condensation of vapor–gas mixture under the influence of direct electric field was investigated experimentally. At noncondensable gas concentration of 5% approximately two–fold increase in the amount of condensate was achieved. The enhancement is accounted for both the condensate film turbulization and decreasing of diffusion resistance formed by noncondensable gas. The obtained results can be used in the designing of electrohydrodynamic generators and compact vapor condensers.
