

6. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М., 1975.  
7. Шелудко А. Коллоидная химия. М., 1960.  
8. Глухов А.Ф., Путин Г.Ф. О возникновении конвекции в ячейке Хеле-Шоу // Конвективные течения: Сб. науч. тр. Пермского пед. ин-та. Вып. 1. Пермь, 1979. С. 19–24.  
9. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М., 1972.

Поступила 21.09.2000

### Summary

Two sorts of flows of a fluids caused by action of forces of a thermoelectric field surveyed. The first sort of flow is shaped near to boundary a hard wall – fluid as a result of interaction longitudinal (along a wall) thermoelectric field and transversal electric field of a double layer. Other current is shaped in the plane channel as a result of interaction of an external electric field and volumetric charge originating in a fluid as a result of Joule heating and thermoelectric effect. The profiles of speeds are calculated and the estimates of their values are made.

Ал.М. Болога

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОКАПЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЗАРЯЖЕННОЙ КАПЛИ

*Институт энергетики Академии наук Молдовы,  
ул. Академией 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

Электрогидродинамический (ЭГД) распад заряженных капель является реальным механизмом интенсификации процессов переноса в газокапельных потоках. Эффективная реализация данного метода выдвигает обоснованную необходимость проведения исследований влияния физических параметров взаимодействующих фаз на условия ЭГД распада и поведение заряженных капель при внешних воздействиях.

Анализ условий ЭГД неустойчивости заряженных капель [1-3] показывает, что критерий Рэлея обратно пропорционален коэффициенту поверхностного натяжения. Вязкость является одним из определяющих факторов механизма ЭГД распада заряженной капли [1], хотя критерий Рэлея напрямую от нее не зависит. Роль вязкости в развитии неустойчивости характеризуется параметром  $\mu^{**} \equiv \nu_l (\rho_l / r \sigma_l)^{1/2}$ ,  $r$  – радиус капли,  $\rho_l$  и  $\nu_l$  – плотность и кинематическая вязкость жидкости. Влияние вязкости мало при  $\mu^{**} \ll 1$  [2].

Критическое условие реализации неустойчивости для идеально электропроводной и объемно заряженной капли диэлектрической жидкости одно и то же. Однако в последнем случае ( $\mu^{**} \gg 1$ ) при достаточно большом удлинении материнская капля может разделиться пополам [2, 4], образуя дочерние капли, каждая из которых устойчива по отношению к собственному заряду. Выполнение условия  $\mu^{**} \gg 1$  возможно и в случае маловязких жидкостей для очень мелких капель (для воды  $r \leq 0,02$  мкм) [2].

Механизм реализации ЭГД неустойчивости сателлитов также зависит от физических свойств жидкости. В зависимости от электропроводности, вязкости и коэффициента поверхностного натяжения эммитируемые капли через некоторое время после отрыва от материнской капли распадаются, выбрасывая облачка на два порядка более мелких капелек [5], делятся пополам [6] или остаются устойчивыми [7]. Если  $\mu^{**} \ll 1$ , сателлит распадается по тому же закону, что и материнская капля.

При  $\mu^{**} \geq 1$  больше вероятен механизм распада на две части сравнимых размеров. Однако, несмотря на имеющиеся данные, еще далеко не полностью ясны закономерности ЭГД распада заряженных капель.

Если считать, что при формировании аэрозольного потока температура жидкости ниже температуры газа, то начиная с момента контакта фаз, холодная капля интенсивно прогревается, пока не установится стационарный тепловой режим. В это время поступающая энергия расходуется в основном на прогрев и в меньшей степени на испарение. Однако в пределе максимальная температура капли существенно меньше температуры газа, поскольку увеличивающийся отток пара тормозит подвод тепла [8].

Динамика начального прогрева для крупных и мелких капель различна. Внутри крупных капель крутятся интенсивные вихревые потоки, которые быстро выравнивают температуру по всему объему. В случае мелких капель можно предположить, что по сравнению с другими характерными временами тепло распространяется почти мгновенно, равномерно прогревая каплю, и лишь потом начинается ее заметное испарение.

Обобщение зависимостей физических характеристик воды и воздуха от изменения температуры и давления представлено в табл. 1 [9–12]. При расчетах использованы аналитические уравнения и аппроксимационные зависимости [13]. В табл. 2 представлены данные по расчету параметров заряженной капли в зависимости от изменения температуры жидкости.

Таблица 1. Влияние температуры и давления на физические характеристики воды и воздуха

Параметр	Давление (увеличение, $0,1 \leq P \leq 1$ МПа)		Температура (увеличение, $0 < T < 100$ °С)	
	вода	воздух	вода	воздух
Плотность	Практически не меняется	Увеличивается	Увеличивается (максимум при 4°С), затем уменьшается	Увеличивается
Коэффициент поверхностного натяжения	Не зависит	-	Уменьшается	-
Динамическая вязкость	Не зависит	Практически не меняется	Уменьшается	Увеличивается
Диэлектрическая проницаемость	Не зависит	Практически не меняется	Уменьшается	Практически не меняется
Удельная электропроводность	Не зависит	-	Увеличивается	-

Таблица 2. Влияние температуры воды на параметры заряженной капли

Параметр	Характер изменения	Относительное изменение
Радиус капли	Незначительное увеличение	Менее 1,5%
Площадь капли	Незначительное увеличение	Менее 3%
Объем капли	Незначительное увеличение	Немногим более 4%
Отношение площади к объему	Незначительное уменьшение	Менее 1,5%
Поверхностная плотность заряда	Незначительное уменьшение	Менее 3%
Энергия поверхностного натяжения	Уменьшение	Немногим менее 20%
Энергия электрического поля капли	Незначительное уменьшение	Менее 1,5%
Время релаксации зарядов	Уменьшение	Практически на порядок

Влияние электрического поля на физические параметры воды не носит выраженного характера (изменение составляет не более 0,01% [14, 15]). Но если рассматриваются процессы, протекающие в эмиссионном выступе ЭГД неустойчивой капли, то ввиду нелинейной зависимости электропроводности воды от напряженности электрического поля может наблюдаться локальный рост электропроводности и увеличение давления под воздействием тока, текущего в жидкости к данному элементу поверхности [16]. В итоге в области малого возмущения поверхности может появиться источник дополнительного давления.

На рис. 1 приведены зависимости относительных величин числа Вебера  $We^* = (\rho_l^*)^{-1/3} (\sigma_l^*)^{-1}$ , Лапласа  $Lp^* = (\rho_l^*)^{2/3} \sigma_l^* (\mu_l^*)^{-2}$  и Рейнольдса  $Re^* = (\rho_l^*)^{2/3} (\mu_l^*)^{-1}$ , которые характеризуют устойчивость капель к аэродинамическим воздействиям,  $\sigma_l^*$  и  $\mu_l^*$  – коэффициент поверхностного натяжения и динамическая вязкость жидкости,  $\rho_l^* = \frac{\rho_{lT2}}{\rho_{lT1}}$ ,  $\mu_l^* = \frac{\mu_{lT2}}{\mu_{lT1}}$ ,  $\sigma_l^* = \frac{\sigma_{lT2}}{\sigma_{lT1}}$ . Точка температурной привязки  $T_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 1-99^\circ\text{C}$ .

С увеличением температуры жидкости наблюдается рост критериальных величин, что говорит о возможности интенсификации генерирования мелкодисперсного аэрозоля при взаимодействии жидкостной и газовой компонент двухфазной системы.

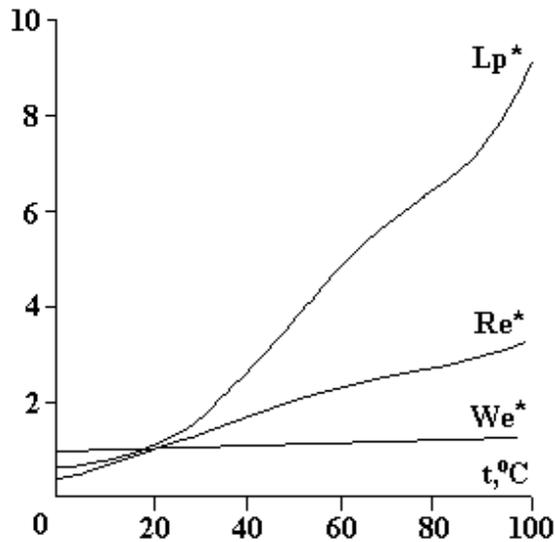


Рис. 1. Зависимость относительных величин чисел Вебера, Лапласа и Рейнольдса от температуры жидкости.

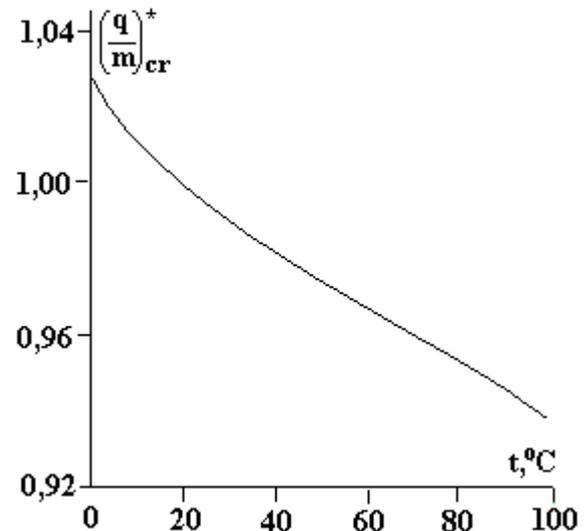


Рис. 2. Зависимость относительной величины критического удельного заряда капли от температуры жидкости.

На рис. 2 приведена зависимость относительной величины критического удельного заряда капли  $\left(\frac{q}{m}\right)_{cr}^* = \frac{\rho_{lT1}}{\rho_{lT2}} \sqrt{\frac{\sigma_{lT2}}{\sigma_{lT1}}}$  от температуры. С ростом температуры воды критическое соотношение заряда к массе капли уменьшается.

Увеличение температуры жидкости также означает более быстрый переток зарядов в капле, что может способствовать „облегчению“ процесса деформационного изменения ее поверхности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаряни А.Э., Григорьев А.И. Устойчивость заряженной капли в стохастическом электрическом поле // Журнал технической физики. 1992. Т. 62. Вып. 3. С. 40–48.
2. Григорьев А. И., Ширяева С. О., Капиллярные неустойчивости заряженной поверхности капель и электродиспергирование жидкостей // Механика жидкости и газа. 1994. № 3.
3. Болога Ал. М. Влияние температуры на электрогидродинамическую устойчивость заряженной капли // Электронная обработка материалов. 1999. № 3. С. 43–49.
4. Ширяева С.О, Капиллярные колебания заряженной вязкой сфероидальной капли // Журнал технической физики. 1998. Т. 68. Вып. 4. С. 20–27.
5. Ryce S. A., Patriarche D. A. Energy considerations in the electrostatic dispersion of liquids // Canad. J. Phys. 1965. V. 43. N 12. P. 2192–2199.
6. Vonnegut B., Neubauer R. L. Production of monodisperse liquid particles by electrical atomization // J. Coll. Sci. 1952. V. 7. N 6. P. 616–622.
7. Sample S. B., Raghupathy B. Production of liquid aerosols by harmonic electrical spraying // J. Coll. and Interface Sci. 1971. V. 41. N 2. P. 185–193.

8. *Вольнский М.С.* Необыкновенная жизнь обыкновенной капли. М., 1986.
9. Физический энциклопедический словарь. М., 1960.
10. *Ривкин С.Л., Александров А.А.* Теплофизические свойства воды и водяного пара. М., 1980.
11. *Штильрайн Э.Э., Кессельман П.М.* Основы теории теплофизических свойств веществ. М., 1977.
12. Физические величины: Справочник / *А.П.Бабичев, Н.А.Бабушкина, А.М.Братковский* и др. / Под ред. *И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова* М., 1991.
13. *Болога Ан.М., Болога Ал.М.* О влиянии физических параметров жидкости и газа на процесс формирования капельного аэрозоля в электростатическом распылителе // *Buletinul Academiei de Stiinte a Republicii Moldova. Fizica si Tehnica.* 1996. N 3. P. 87–92.
14. *Водопьянова Н.Н., Фукс Л.Г., Чижик Ю.И.* Измерение теплофизических характеристик жидкости в электрическом поле // Вопросы теплообмена и определения теплофизических характеристик / Под ред. проф. д.т.н. Г.И. Фукса, доц. к.т.н. А.С.Ляликова, Томск, 1971. С. 82–84.
15. *Расторгуев Ю.Л., Ганиев Ю.А.* Теплопроводность жидкостей в постоянном электрическом поле // *Электронная обработка материалов.* 1967. № 1.
16. *Григорьев А.И.* Неустойчивость поверхности жидкости во внешнем электрическом поле и механизм возникновения огней св. Эльма // *ЖТФ.* 1986. Т.56, Вып. 3. С. 538–541.

*Поступила 17.08.2000*

### Summary

The investigations of the influence of the effect of electrohydrodynamic disintegration of charged drops on the transfer processes in the charged gas-drops systems are carried out. The influence of liquid temperature on the parameters which characterize the aerodynamic and electrohydrodynamic stability of a charged drop is determined. It is shown that the increasing of liquid temperature changes these parameters, what can be used for intensification of the transfer processes.

---

В.Г. Жекул, С.Г. Поклонов, Л.П. Трофимова, И.С. Швец

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
пр. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 540018, Украина*

### Введение

Технологический узел электрогидроимпульсных погружных устройств типа “Скиф”, используемых для обработки нефтяных скважин с целью повышения их дебита, представляет собой пару [1] с потенциальным острым электродом диаметром 4 мм и плоским противозлектродом. В период ремонта скважина заполняется до устья жидкостью глушения, в качестве которой, как правило, используется минерализованная пластовая вода. Поэтому она же является рабочей жидкостью для осуществления высоковольтного электрического разряда. Известно [2], что такие важные с точки зрения формирования электрического разряда параметры используемых для глушения скважин пластовых вод, как концентрация минеральных солей, плотность и удельная электропроводность изменяются в достаточно широких пределах. Кроме того, неблагоприятными факторами для формирования разряда являются повышенные температура  $T$  и гидростатическое давление  $P_{\text{гс}}$ , определяемые в итоге глубиной залегания продуктивного пласта и, следовательно, глубиной погружения устройства в скважину.

---

© Жекул В.Г., Поклонов С.Г., Трофимова Л.П., Швец И.С., *Электронная обработка материалов*, 2001, № 1, С. 37–43.