

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО ПОТЕНЦИАЛА НА СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

А.В. Иванов, кандидат технических наук;
Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;
М.А. Симонова, кандидат технических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Приведены результаты исследования скорости истечения углеводородов в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала. Показано, что в условиях воздействия переменного электрического поля происходит изменение динамической вязкости жидкости.

Ключевые слова: углеводородные жидкости, переменный частотно-модулированный потенциал, динамическая вязкость

STUDY OF THE EFFECTS OF VARIABLE FREQUENCY MODULATED POTENTIAL ON THE EXHAUST VELOCITY OF HYDROCARBON LIQUIDS

A.V. Ivanov; G.K. Ivakhnyuk; M.A. Simonova.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The results of research flow rate of hydrocarbons under conditions of variable frequency-modulated potential. A justification is given that under an alternating electric field changes the dynamic viscosity of the fluid.

Keywords: liquid hydrocarbon, a frequency-modulated alternating potential dynamic viscosity

Технические мероприятия по предотвращению взрывов и пожаров на объектах хранения и транспортировки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ) направлены на предотвращение образования горючей среды и источников зажигания. Данные решения отражены в ряде нормативных документов и используются при проектировании и производстве технологического оборудования химической и нефтехимической промышленности [1]. Вместе с тем, в условиях одновременного роста объемов производства и повышения требований к обеспечению промышленной безопасности, возникает необходимость модернизации действующего технологического оборудования.

Существуют различные технические и технологические решения, позволяющие снизить вероятность возникновения горючей среды и источников зажигания в действующих технологических аппаратах, однако их применение может быть ограничено значительными затратами на переоснащение и усложнением технологического процесса.

В работе М.А. Симоновой «Электрофизический способ снижения пожарной опасности хранения и транспортировки углеводородных топлив» [2] приведены решения, позволяющие снизить интенсивность образования горючей среды углеводородных жидкостей, а также возможность возникновения разрядов статического электричества при помощи воздействия переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) [3]. В ходе исследования показано, что в результате воздействия ПЧМП скорость испарения снижается на 20–30 % (рис. 1), а величина напряженности электрических полей – в 1,2–8 раз (рис. 2). Эффект объясняется явлением поляризации и перераспределением величин дипольного момента в условиях воздействия электрического поля [4].

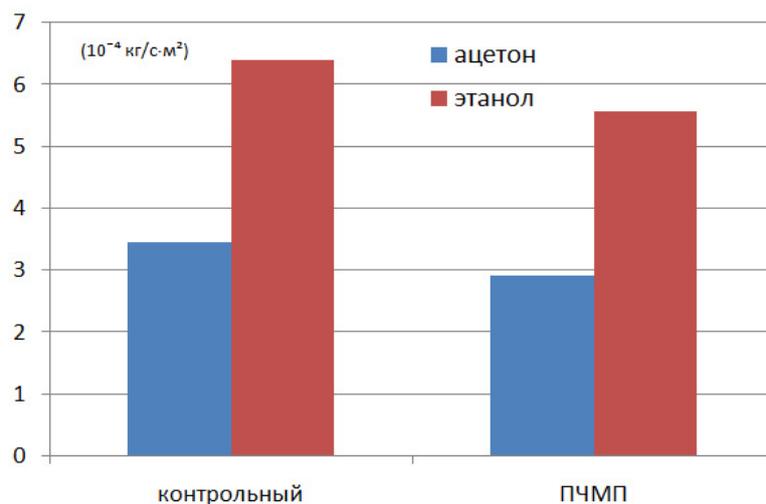


Рис. 1. Интенсивность испарения жидкостей при истечении жидкостей в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала

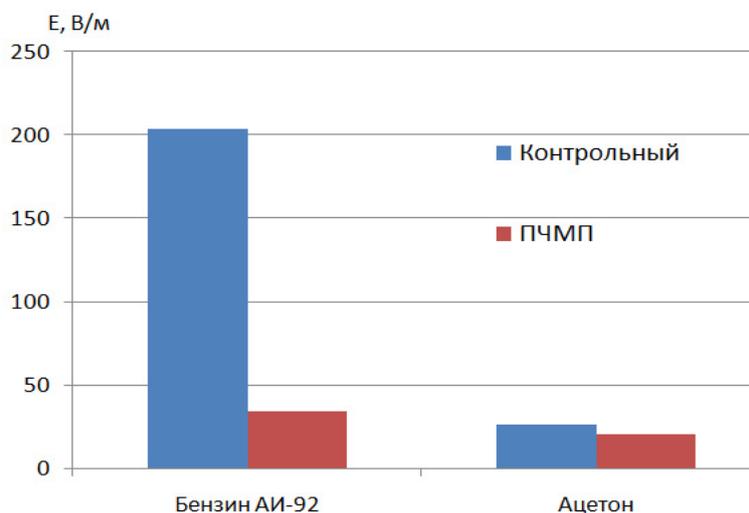


Рис. 2. Величина напряженности электрического поля при истечении жидкостей в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала

Задачей настоящего исследования было оценить влияние ПЧМП на скорость истечения жидкостей и обосновать возможность управления свойствами ЛВЖ и ГЖ при обеспечении взрывобезопасности на объектах хранения и транспорта углеводородов.

В ходе эксперимента проводилось измерение времени истечения керосина авиационного ТС-1 [5], уайт-спирита [6], бензина АИ-92 [7], дизельного топлива [8]. Жидкости в течение 30 мин подвергались воздействию ПЧМП, а затем проводился слив жидкости в сборную емкость через внутреннюю цилиндрическую насадку с фиксацией времени окончания эксперимента. Принципиальная схема установки представлена на рис. 3.

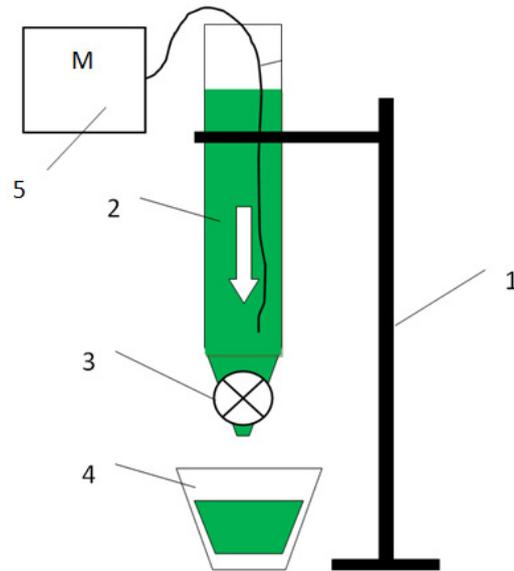


Рис. 3. Схема лабораторной установки по измерению времени истечения жидкости в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала:
 1 – штатив; 2 – емкость с жидкостью (0,5 л); 3 – запорный кран с цилиндрической насадкой;
 4 – сборная емкость; 5 – генератор переменного частотно-модулированного потенциала

В ходе экспериментов выявлено, что время истечения жидкостей возрастает в среднем на 8–12 % (рис. 4).

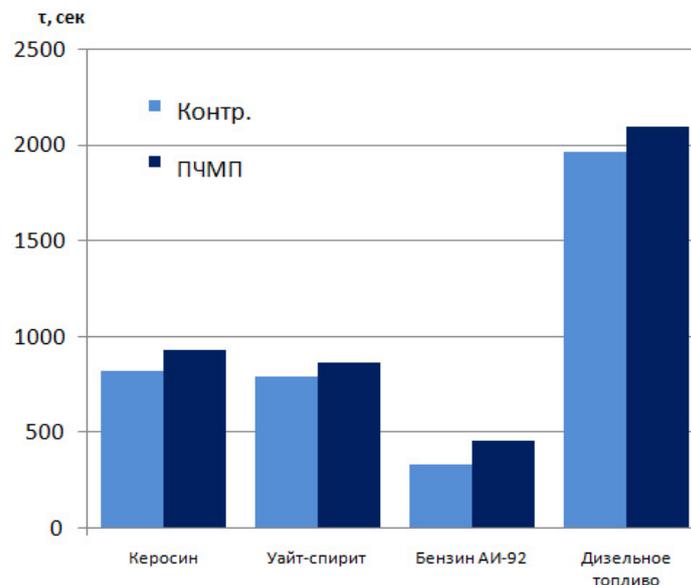


Рис. 4. Время истечения жидкостей в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала

Для описания процесса истечения жидкости при условии постоянного напора в трубке радиуса r и длиной l для определения объемной скорости течения ω можно использовать формулу Пуазейля [9]:

$$\omega = \frac{\pi r^4 P}{8 \ell \eta} = K \frac{P}{\eta} .$$

где ε – коэффициент динамической вязкости, P – разность давлений на концах трубки, K – постоянная для экспериментов величина.

Таким образом, наблюдаемый эффект увеличения времени истечения жидкостей можно объяснить изменением величины динамической вязкости.

Известно, что при воздействии электрических полей происходит поляризация жидкости, что связано с изменением молекулярной структуры вещества и ориентации молекул вдоль его силовых линий [10].

В работе «Динамическая вязкость жидкостей в электрических полях» [11] отмечено, что воздействие электрических полей приводит к увеличению коэффициента динамической вязкости органических жидкостей. Данный эффект зависит от величины дипольного момента молекул вещества и напряженности электрического поля.

Величину динамической вязкости при воздействии электрических полей можно представить в виде:

$$\eta = \frac{hN}{V_{\text{мол}}} \exp \left[\bar{z}_{\eta\varepsilon} \cdot \bar{\varepsilon}_N^{-n} - T\Delta S \right],$$

где $\bar{z}_{\eta\varepsilon} \cdot \bar{\varepsilon}_N^{-n}$ – величина, отражающая связь вязкости с энергией коллективного взаимодействия; ΔS – изменение энтропии в электрическом поле; $V_{\text{мол}}$ – молярная масса вещества; h – толщина капилляра.

На основании вышеизложенного можно сделать предположение, что в электрическом поле происходит формирование надмолекулярных структур в жидкости $\bar{z}_{\eta\varepsilon} > \bar{z}_1$, которые характеризуются средним числом молекул жидкости. Эти ассоциаты со средним числом молекул $\bar{z}_{\eta\varepsilon}$ можно рассматривать как кинетические единицы (макромолекулы) при вязком течении жидкости в условиях воздействия электрического поля. Таким образом, возрастание коэффициентов динамической вязкости в электрическом поле объясняется изменением надмолекулярной структуры жидкости [11].

Таким образом, в ходе исследования по оценке влияния переменного частотно-модулированного потенциала на скорость истечения углеводородных жидкостей выявлено, что в условиях воздействия переменного электрического поля возможно снижение скорости движения жидкости за счет изменения величины динамической вязкости, обусловленной процессами реструктуризации в надмолекулярной структуре жидкостей. Данный эффект может быть использован при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности процессов слива-налива и транспортировки углеводородных жидкостей.

Литература:

1. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // StandartGOST.ru: открытая база ГОСТов. URL: <http://www.standartgost.ru> (дата обращения: 02.03.2014).
2. Симонова М.А. Электрофизический способ снижения пожарной опасности хранения и транспортировки углеводородных топлив: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2011.
3. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация: МПК G05B24/02 H03B28/00; заявитель и патентообладатель Ивахнюк Г.К., Матюхин В.Н., Клачков В.А., Шевченко А.О.; опубл. 10.04.13. FREEPATENT: патентный поиск в РФ. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005>.

4. Lu Hsiu-Feng, Li F.-Y., Lin Chun-Chin, Nagaya K., Chao Ito, Lin S.H. The fragmentation of ethanol cation under an electric field: An ab initio / RRKM study. Chemical Physics Letters. Vol. 443. 2007.
5. ГОСТ 10227–86. Топлива для реактивных двигателей.
6. ГОСТ 3134–78. Уайт-спирит.
7. ГОСТ Р 51866 – 2002. Бензин автомобильный АИ–92 // StandartGOST.ru: открытая база ГОСТов. URL: <http://www.standartgost.ru> (дата обращения: 21.02.2014).
8. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009). Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия // StandartGOST.ru: открытая база ГОСТов. URL: <http://www.standartgost.ru> (дата обращения: 21.02.2014).
9. Путилова И.Н. Руководство к практическим занятиям по коллоидной химии. М.: Высшая школа, 1961.
10. Путинцев Н.М., Путинцев Д.Н. Классическая теория поляризации молекулярных систем. М. Физматлит. 2011.
11. Динамическая вязкость жидкостей в электрических полях / Б.В. Савиных [и др.] // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. № 10.