

## Исследование вязкости и состава гидрофторэфира различной степени загрязнения

Т.И. Молчанов<sup>1</sup>, Н.В. Кукшинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

Определены зависимости коэффициента кинематической вязкости от температуры для чистого и загрязненного различными примесями гидрофторэфира HFE-7100. Проведена оценка степени влияния примесей на изменение кинематической вязкости теплоносителя. Методом матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации определены компоненты, входящие в загрязненный HFE-7100.

**Ключевые слова:** диэлектрические жидкости, гидрофторэфир, кинематическая вязкость, масс-спектрометрия.

### Введение

Диэлектрические жидкости с низкой температурой кипения рассматриваются как теплоносители для различных технических систем [1–3]. Одним из наиболее перспективных и исследуемых теплоносителей является гидрофторэфир HFE-7100 [4–10]. Температура кипения данной жидкости составляет 61 °С, что позволяет использовать фазовый переход для отвода теплоты от различных компонентов технических систем при сохранении рабочего диапазона температур компонентов.

В настоящее время количество работ, посвященных определению теплофизических свойств гидрофторэфиров, невелико [11, 12], в связи с этим определение свойств становится актуальной задачей. При эксплуатации гидрофторэфиров вследствие того, что в химическом соединении присутствует фтор, со временем в растворах начинается процесс образования солей-фторидов, при этом чем больше различных примесей в гидрофторэфире, тем интенсивнее происходит образование фторидов [13].

При эксплуатации систем, использующих в качестве теплоносителя HFE-7100, при контакте с жидкостью может происходить процесс вымывания связующих веществ из элементов системы, что влияет на изменение свойств самого теплоносителя и работу системы в целом. В процессе эксплуатации теплоноситель напрямую контактирует с различными компонентами оборудования, включая металлы, пластики, полимеры, изоляционные материалы, сэвилены, флюсы и прочие антипирены.

Изменение свойств зачастую связано с изменением состава веществ, которое происходит вследствие попадания в него примесей. Изучение примесей в жидких веществах в основном проводится с помощью методов спектрометрии, таких как ИК-спектрометрия, рамановская спектрометрия и масс-спектрометрия. Исследование состава жидкостей на основе гидрофторэфира в чистом виде для составления альбома спектров проводится методом масс-спектрометрии [14].

Данные о теплофизических свойствах теплоносителей, используемых в системах охлаждения, необходимы для определения характеристик кипения [15]. Одним из ключевых свойств является вязкость вещества. Исследований, посвященных экспериментальному нахождению зависимости кинематической вязкости от температуры для гидрофторэфиров, существует крайне мало.

Цель данной работы – определение коэффициента кинематической вязкости чистого и загрязненного примесями гидрофторэфира HFE-7100 в зависимости от температуры капиллярным методом [16]. Для изучения состава примесей используется масс-спектрометрия методом матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации (МАЛДИ), позволяющая исследовать летучие жидкости и полимерные примеси [17, 18].

### Постановка эксперимента по исследованию кинематической вязкости

Для определения вязкости жидкости используется капиллярный метод, заключающийся в оценке времени истечения жидкости через капилляр характерного размера при определенной температуре. Необходимое оборудование – капиллярный вискозиметр для определения вязкости