

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 541.183

АНАЛИЗАТОРЫ ИНТЕНСИВНЫХ ОСАДКОВ КАПЕЛЬ
ТОПЛИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И ВОДЫ

© 2019 г. А. В. Загнитько, И. Д. Мацуков, Д. Ю. Федин

Поступила в редакцию 13.12.2018 г.

После доработки 16.01.2019 г.

Принята к публикации 20.01.2019 г.

DOI: 10.1134/S0032816219040177

Разработан емкостный анализатор интенсивных осадков капель из турбулентных выбросов и облаков топливно-воздушных смесей. Принцип действия анализатора основан на измерении электрической емкости плоского конденсатора C , объем которого заполняется жидкостью по мере осаждения грубодисперсных капель и брызг диаметром $d > 3-5$ мкм [1, 2]. Изменение C от времени t пропорционально интенсивности осадков dV/dt и их количеству V .

На рис. 1 приведена фотография емкостного анализатора осадков капель. Анализатор содержит прямоугольный электрический конденсатор I , состоящий из двух плоских электродов 2 и 3 и закрепленный на дне прямоугольного, выполненного из поливинилхлорида сборника жидкого осадка 4 . Устанавливается прибор на газопроницаемой подставке на высоте до 1 м. Нижний электрод 3 выполнен из листовой нержавеющей стали, а верхний 2 – из нержавеющей сетки с размером квадратных ячеек меньше расстояния между электродами $D = 10-25$ мм. Конденсатор I подключен к электронному блоку измерения емкости частотным методом [2], преобразования аналогового сигнала в цифровой и передачи его с помощью микропроцессора и интерфейса RS-485 на удаленный компьютер.

Емкостный анализатор калибровался при фиксированном расстоянии D для различных топливных жидкостей. Наблюдаемая слабая зависимость от типа этих жидкостей, по-видимому, обусловлена тем, что керосин, бензин, маловязкий флотский мазут и дизельное летнее и зимнее топливо характеризуются близкими значениями диэлектрической проницаемости, $\epsilon \approx 2$, и удельного сопротивления, $\sigma \approx 10^{11}-10^{12}$ Ом · см, в отсутствие антистатических добавок [3].

Использование емкостного анализатора для анализа осадков капель воды с интенсивностью более 1 мм/с оказалось невозможным. Удельное сопротивление воды $\leq 10^4$ Ом · см, что существенно меньше σ топливных жидкостей. На поверх-

ности заряженной воды при столь интенсивных осадках наблюдалась рябь с образованием многочисленных каверн и их стохастическим схлопыванием с выбросом вторичных капель. В результате однозначной связи между значениями C и V не наблюдалось.

Анализатор имеет следующие основные характеристики. Диапазон измерения количества осадков варьируется от 0.1 до 30 мм (0.1–30 л/м²). Время отклика τ определяется временем релаксации жидкого осадка на поверхности электродов. Экспериментально показано, что $\tau < 0.1$ с при $dV/dt < 1$ мм/с для воды и при $dV/dt = 15-20$ мм/с для топливных жидкостей с вязкостью менее 30 мПа · с [3]. Анализатор устойчив к воздействию магнитного поля с напряженностью до 200 А/м и промышленной частотой 50–60 Гц. Его конструкция и блок измерения выдерживают напор воздуха до 200 м/с.

Разработана сеть емкостных анализаторов осадков с передачей данных каждые 10 мс в компьютер, удаленный на 600–1200 м от облака и подключенный к серверу оптоволоконной линии длиной до 10 км с сетевым интерфейсом 100 Мбит



Рис. 1. Фотография емкостного анализатора осадков. 1 – электрический конденсатор, 2 и 3 – его плоские электроды, 4 – сборник жидкого фильтрата.

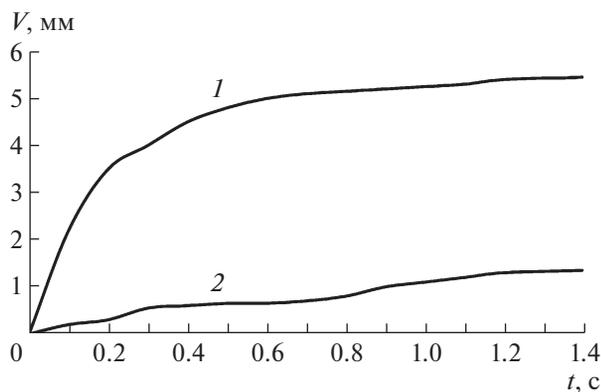


Рис. 2. Измеренные количества V осадков капель керосина в зависимости от времени развития t горизонтального выброса: 1 – при удалении анализатора от емкости с керосином на 10 м, 2 – на 15 м.

Ethernet. Программное обеспечение сохраняет данные в компьютере сервера в реальном масштабе времени.

Сеть анализаторов осадков использовалась при моделировании масштабных аварий систем хранения топливных жидкостей. Двухфазные турбулентные выбросы длиной до 100 м и объемом более 10^4 м³ с массовой концентрацией капель $M \leq 10000$ г/м³ и $d \leq 10000$ мкм создавались импульсным диспергированием нескольких сотен тонн жидкостей из емкостей хранения на земле в атмосферу при $T = 15\text{--}45^\circ\text{C}$ и ветре 2–8 м/с.

На рис. 2 приведены измеренные количества осадка капель авиационного керосина ТС-1 с $d \approx 10\text{--}10000$ мкм и переменной концентрацией $M \approx 50\text{--}5000$ г/м³ в зависимости от времени развития горизонтального выброса высотой менее 15 м и объемом до $5 \cdot 10^5$ м³. Два анализатора были установлены на расстоянии $L = 10$ и 15 м от емкости с керосином (кривые 1 и 2 соответственно). Их сигналы были синхронизированы с началом импульсного распыления керосина. Из анализа данных рис. 2 следует, что в течение первых 0.5–0.6 с при $L = 10$ м выпало более 85% массы осад-

ков с максимальной интенсивностью до 20 мм/с, а при $L = 15$ м – около 55–60% массы с максимумом интенсивности ≈ 2 мм/с. При $t > 1.2$ с величины V и $dV/dt \rightarrow 0$. Отметим, что при штормовых ливнях в атмосфере максимальные величины $dV/dt < 0.01$ мм/с, а при испытаниях газотурбинных авиационных двигателей $dV/dt < 0.1$ мм/с.

Известно [3], что химический состав керосина зависит от способа получения и типа нефти, поэтому данные о скорости испарения и давлении его насыщенных паров могут отличаться. Для определения ошибки измерений из-за испарения ТС-1 измерялось уменьшение емкости C в зависимости от t при постоянной температуре в атмосфере. Показано, что скорость уноса ТС-1 с поверхности конденсатора составляла менее 1 г/(м² · с) и ошибка определения V не превышала 0.1% при $T \leq 38\text{--}40^\circ\text{C}$ и ветре до 8 м/с.

Емкостные анализаторы были также использованы для измерения скорости высокотемпературного динамического испарения сжиженного природного газа с $\epsilon \approx 1.7$ и площадью плоской поверхности более 2000 см² из ванны с экранно-вакуумной изоляцией в атмосферу при $T = 15\text{--}25^\circ\text{C}$ и ветре до 10 м/с.

Сеть емкостных анализаторов интенсивных осадков капель из облаков и двухфазных выбросов воды и топливных жидкостей с их визуализацией на местности может быть использована для мониторинга атмосферы и экологической обстановки объектов нефтегазовой индустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райст П. Аэрозоли, введение в теорию. М.: Мир, 1987.
2. Форейт Й. Емкостные датчики неэлектрических величин. М.: Энергия, 1966.
3. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Л.: Химия, 1977.

Адрес для справок: Россия, 123182, Москва, площадь И.В. Курчатова, 1, НИЦ “Курчатовский институт”, Курчатовский комплекс промышленной безопасности. E-mail: zagnitko_av@nrcki.ru