

# ASTM D8322: элементный анализ сырой нефти и мазута с помощью МП-АЭС

Простой, быстрый и безопасный анализ нефтехимических проб с помощью МП-АЭС Agilent 4210



## Авторы

Дженни Нельсон  
(Jenny Nelson),  
Нели Дрвodelич  
(Neli Drvodelic),  
Agilent Technologies, Inc.

## Введение

Следовые примеси элементов могут негативно влиять как на переработку нефти в различную продукцию, так и на качество и стоимость этой продукции (1). Самыми распространенными источниками проблем являются Fe, V и Ni, однако в нефти зачастую встречаются и другие элементы, такие как Zn, Si, Al, Ca, Na и K, пусть и в меньших концентрациях. Fe, Ni, V и другие следовые элементы (включая Si, Al, K и Zn) могут отравлять катализаторы нефтехимических процессов и приводить к увеличению выбросов в атмосферу во время сжигания топлива. Контроль количества Na и Ca в сырой нефти и мазуте позволяет убедиться в эффективности обессоливания сырой нефти перед дистилляцией.

Аналитическая методика ASTM D8322-20 описывает определение V, Ni, Ca, Na, Al, Si, Zn и S в мазуте и Fe, V, Ni, Ca, Na, K и S в сырой нефти с помощью МП-АЭС (2). Для определения всех этих элементов ранее требовались несколько методик ASTM и несколько разных методов анализа, таких как ИСП-ОЭС, пламенная ААС и рентгеновская спектрометрия (3). Методика D8322 ускоряет анализ за счет использования одного метода, а также увеличивает количество элементов и диапазон концентраций по сравнению с аналитическими методиками D5708 и D5863 (4, 5), что значительно повышает производительность анализа. В ней применяется простой подход «разбавить и ввести», в отличие от других аналитических методик — IP Энергетического института и ASTM, в которых применяются трудоемкие методы пробоподготовки, такие как сжигание и сплавление. Этот подход снижает расходы и увеличивает производительность, так как для него нужно меньше оборудования, меньше реагентов, и он в целом проще и быстрее. Он также сокращает количество потенциальных источников погрешности, связанных с подготовкой проб, что увеличивает точность полученных данных.

Приборы МП-АЭС компании Agilent используют в качестве источника атомизации азотную плазму, в отличие от аргона или ацетиленов, применяемых, соответственно, в ИСП-ОЭС и пламенной ААС. N<sub>2</sub> может быть получен прямо из воздуха с помощью генератора азота Agilent 4107, что значительно сокращает расходы на закупку газа и время, затрачиваемое на работу с баллонами. Лаборатории, для которых важна безопасность, зачастую отдают предпочтение МП-АЭС, а не пламенной ААС, так как приборы для МП-АЭС не требуют горючих газов и их можно эксплуатировать без постоянного присмотра, в том числе — оставлять работать на ночь. МП-АЭС с генератором N<sub>2</sub> можно эксплуатировать в полевых условиях и в отдаленных местах, в которых часто находятся объекты нефтедобывающей промышленности.

МП-АЭС Agilent 4210 полностью управляется пакетом ПО Agilent MP Expert, который включает в себя ряд пошаговых инструкций по выполнению типичных анализов с использованием специализированных готовых методик. Эти приборы быстро включаются, а их горелка кассетного типа гарантирует воспроизводимость аналитических характеристик, даже для разных операторов. Эти приборы также снабжаются диагностическим ПО, которое позволяет оператору быстро обнаружить все проблемы и увеличивает время безотказной работы прибора.

В данном исследовании мы представляем усредненные результаты, полученные тремя лабораториями компании Agilent при анализе проб сырой нефти и мазута по методике ASTM D8322-20.

## Экспериментальная часть

### Оборудование

Все измерения проводились с помощью трех приборов МП-АЭС Agilent 4210 в трех разных лабораториях. В зависимости от организации лаборатории N<sub>2</sub> подавался либо от генератора азота Agilent 4107, либо из баллона, либо из обоих источников. На каждый прибор МП-АЭС был установлен комплект для анализа органических соединений, включавший в себя внешний газорегулятор (EGCM), инертный распылитель OneNeb серии 2 и двухпроходную стеклянную вихревую распылительную камеру. Распылитель OneNeb обеспечивает повышенную эффективность распыления и узкий интервал размеров микроскопических капель. Такие параметры позволяют проводить анализ с меньшей скоростью потока, что снижает нагрузку от растворителя на плазму, при этом без ущерба высочайшей чувствительности. EGCM вводит в плазму воздух, что предотвращает отложение углерода в горелке. Пробы вводились в МП-АЭС с помощью автосамплера Agilent SPS 4. Рабочие параметры прибора приведены в табл. 1.

Таблица 1. Рабочие параметры МП-АЭС.

Параметр	Установленное значение
Время считывания сигнала (с)	3 (10 для серы)
Число повторов	3
Задержка при вводе пробы (с)	60
Время на стабилизацию (с)	30
Время промывки (с)	Приблизительно 60 с (в зависимости от лаборатории)
Частота вращения насоса (об/мин)	5
Трубка подачи пробы пробоотборного насоса	*Оранжевый/зеленый (с внутренним диаметром 0,38 мм)
Трубка подачи внутреннего стандарта пробоотборного насоса	*Оранжевый/зеленый (с внутренним диаметром 0,38 мм)
Трубка слива отходов насоса	*Голубой/голубой (с внутренним диаметром 1,65 мм)
Внутренний стандарт	Иттрий
Коррекция фона	Автоматическая
Подача воздуха	Да

\*Стойкие к органическим растворителям трубки из композита, фторированный эластомер-синтетический каучук.

### Методика ASTM D8322

Каждая лаборатория использовала предоставленную авторами работы методику для пакета Agilent MP Expert, реализующую стандарт ASTM D8322. Пакет ПО Agilent MP Expert позволяет создать апплет для МП-спектрометрии для методики ASTM D8322, как показано на рис. 1. Апплет MP Expert — это браузерный программный интерфейс, упрощающий пользователям всех уровней рутинную эксплуатацию МП-АЭС Agilent 4210 (6).



Рисунок 1. Апплеты, созданные в пакете ПО Agilent MP Expert.

Созданный апплет упрощает настройку методики, загружая ряд стандартных аналитических параметров, таких как список определяемых элементов и длин волн, метод коррекции фона и режим EGCM. Он также обеспечивает быстрый ввод рабочих параметров и их повторяемость для разных операторов. Значения скорости потока пробы через распылитель и параметров EGCM крайне важны для точности и низкого разброса результатов анализа мазута и сырой нефти. В данном случае для выделения линий излучения элементов из спектра органической матрицы применялась автоматическая коррекция фона. Параметры сбора данных для методики ASTM D8322 приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры сбора данных для методики МП-АЭС ASTM D8322.

Элемент	Длина волны (нм)	Скорость потока пробы через распылитель (л/мин)	Скорость потока воздуха через EGCM	Коррекция фона
Железо	259,940	0,5	Средний	Автоматическая
Ванадий	311,070	0,5	Высокий	Автоматическая
Никель	341,476	0,5	Высокий	Автоматическая
Кальций	396,847	0,5	Высокий	Автоматическая
Натрий	588,995	0,5	Высокий	Автоматическая
Алюминий	396,152	0,5	Высокий	Автоматическая
Кремний	288,158	0,5	Средний	Автоматическая
Цинк	213,857	0,5	Средний	Автоматическая
Калий	766,491	0,5	Высокий	Автоматическая
Сера	181,972	0,5	Низкий	Автоматическая
Иттрий*	371,029	0,5	Средний	Автоматическая

\* Внутренний стандарт

## Референсные материалы и пробы

Для проверки методики использовались четыре стандартных референсных образца (SRM) Национального института стандартизации и технологии (NIST, Gaithersburg, MD, США) и два референсных образца другого производителя — компании Analytical Services, Inc. (ASI, Houston, Texas, США). Стандарт NIST 1634c (следовые

элементы в сырой нефти) и референсный образец сырой нефти компании ASI использовались для валидации методики определения Ni, S, V, Ca, Na, K и Fe в сырой нефти. Стандарты NIST 2721 (легкая высокосернистая сырая нефть) и NIST 2722 (тяжелая низкосернистая сырая нефть) использовались для валидации методики определения S в сырой нефти. Стандарт NIST 1619b (сера в мазуте) и референсный образец мазута ASI использовались для валидации методики определения Ni, S, V, Ca, Na, Fe, Zn, Si и Al в мазуте.

Пробы сырой нефти и мазута были получены компанией ASI у различных крупных нефтедобывающих компаний, которые принимали участие в межлабораторном исследовании ASTM.

## Пробоподготовка и приготовление стандартов

Все калибровочные стандарты готовились из многоэлементного металлоорганического стандарта Agilent A21+K. Рабочие стандарты V, Ni, Ca, Na, Al, Si, Zn, S, Fe и K готовились с концентрацией 0,1; 1,0; 10,0; 25,0; 50,0 и 70 мг/кг. Рабочие стандарты серы готовились с концентрацией 40,0; 200,0; 500,0; 1000,0; и 2000,0 мг/кг из одноэлементного стандарта Agilent.

В качестве исходного и проверочного холостого калибровочного раствора (ICB и CCB) использовался холостой калибровочный стандарт. В качестве раствора для периодической проверки калибровки (CCV) использовался многоэлементный стандарт с концентрацией 10 мг/кг всех элементов, за исключением серы, содержание которой составляло 1000 мг/кг. Иттрий, который в концентрации 20 мг/кг использовался в качестве внутреннего стандарта, добавлялся в линию подачи пробы перед распылителем с помощью тройника со смесителем. Стандартные и холостые растворы, добавки, стандарты контроля качества и раствор внутреннего стандарта доводились до заданной вязкости минеральным маслом (или другим маслом с вязкостью 75 сСт) и разбавлялись о-ксилолом так, чтобы массовая доля нефти или мазута в готовом растворе составляла 10 %.

В данном исследовании анализировались пробы мазута и сырой нефти в широком диапазоне значений плотности и плотности по шкале API. Пробы готовились в соответствии с требованиями методики ASTM D8322. Все пробы разбавлялись о-ксилолом в 10–20 раз по массе. Более вязкие пробы, слаботекучие при комнатной температуре, нагревались в нагревательном блоке до 60 °C и встряхивались перед взвешиванием и разбавлением о-ксилолом. Компания ASI также приготовила все растворы, которые применялись для определения степени обнаружения, с концентрациями, приведенными в табл. 4.

## Результаты и их обсуждение

### Калибровка

На рис. 2 представлены типичные калибровочные кривые для Fe, Ni, Si и V, полученные при анализе стандартных растворов в оптимизированных условиях. Для всех элементов получены линейные калибровочные кривые.

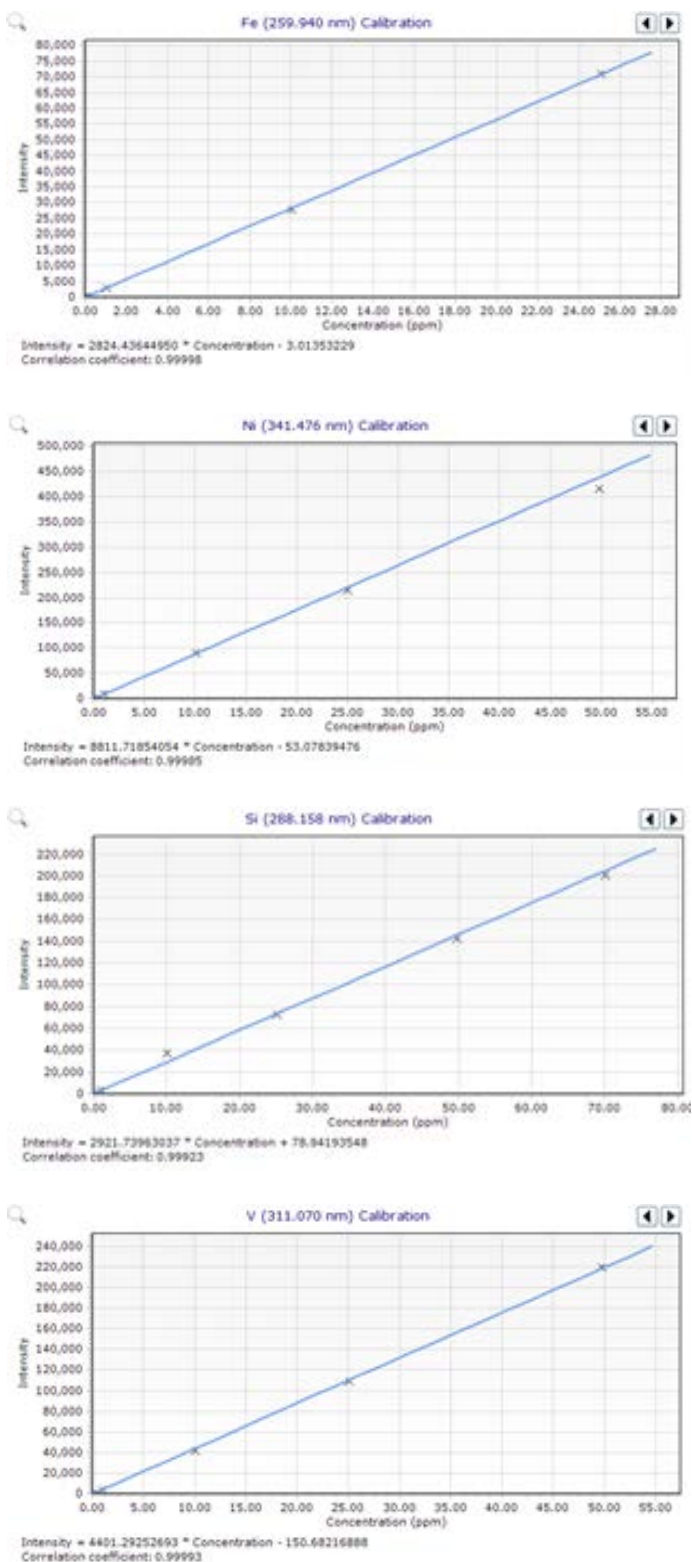


Рисунок 2. Калибровочные кривые для Fe, Ni, Si и V.

### Контроль и обеспечение качества

Для периодической проверки калибровки в ходе четырехдневного анализа проб сырой нефти и мазута через каждые 10 проб анализировались три стандарта CCV. В соответствии с руководством ASTM для лабораторий, участвующих в сравнительном исследовании, прибор МП-АЭС калибровался в начале каждого рабочего дня. График стабильности на рис. 3, построенный по результатам контроля качества, демонстрирует степень обнаружения всех элементов диапазоне  $\pm 20\%$ . Эти результаты демонстрируют высокую надежность, стабильность и точность МП-АЭС Agilent 4210 при непрерывной работе на протяжении четырех дней. ASTM D8322 не задает критериев пригодности для степени обнаружения элементов в пробах контроля качества, позволяя лабораториям устанавливать свои собственные пределы.

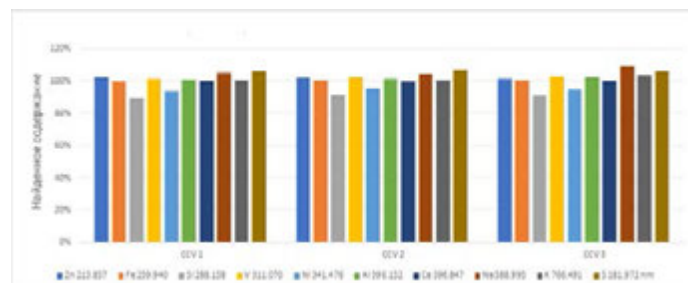


Рисунок 3. Степень обнаружения для трех образцов контроля качества, анализируемых через каждые 10 проб на протяжении примерно четырех часов.

### Степени обнаружения сертифицированных элементов в эталонных стандартах сырой нефти и мазута

Fe, V и Ni – это важные элементы в анализе сырой нефти, так как их концентрация, как правило, выше, чем остальных элементов, и они могут негативно влиять на каталитический крекинг, выход, а также качество и стоимость готовой продукции. Каждая лаборатория на протяжении четырех дней определяла содержание Ni, S, V, Ca, Na, K и Fe в эталонных образцах сырой нефти и Ni, S, V, Ca, Na, Fe, Zn, Si и Al в эталонном образце мазута. Результаты в табл. 3 демонстрируют хорошие степени обнаружения, отклоняющиеся не более чем на  $\pm 10\%$  от сертифицированных значений, для всех элементов, за исключением Ca в эталонном образце мазута. В ходе теста на воспроизводимость в соответствии с требованиями ASTM D8322 степень обнаружения Ca была в диапазоне  $\pm 20\%$ . Эти данные демонстрируют точность, воспроизводимость и надежность методики.

**Таблица 3.** Средние значения степеней обнаружения, полученные тремя лабораториями компании Agilent для множества элементов в стандартном эталонном образце NIST, а также в эталонных образцах сырой нефти и мазута. Все степени обнаружения соответствовали критериям теста на воспроизводимость, описанного в ASTM D8322.

Сырая нефть						
Элемент и длина волны (нм)	NIST 1634c			Эталонный образец сырой нефти другого производителя		
	Измеренное значение (мг/кг)	Сертифицированное значение (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного	Измеренное значение (мг/кг)	Сертифицированное значение (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного
Ni 341,476	17,25 ± 1,7	17,54	98	5,05 ± 0,5	5,00	101
S 181,972	20 159 ± 6250	20 000 <sup>IV</sup>	101	1038 ± 139	1000	104
V 311,837	28,57 ± 0,1	28,19	101	5,33 ± 0,5	5,00	107
Ca 396,152				48,9 ± 4,3	50,00	98
Na 588,995				49,6 ± 8,3	50,00	99
K 766,491				45,8 ± 1,0	50,00	92
Fe 259,940				23,62 ± 1,1	25,00	94
	NIST 2721 (легкая высокосернистая сырая нефть)			NIST 2722 (тяжелая низкосернистая сырая нефть)		
S 181,972	17 101 ± 556	15 832	108	2015 ± 276	2103,70	96
Мазут						
Элемент и длина волны (нм)	Эталонный образец мазута другого производителя			NIST 1619b		
	Измеренное значение (мг/кг)	Сертифицированное значение (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного	Измеренное значение (мг/кг)	Сертифицированное значение (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного
Ni 341,476	10,66 ± 1,1	10,00	107			
S 181,972	4940 ± 631,9	5000	99	7427 ± 1641	6960,0	107
V 311,837	10,31 ± 1,7	10,00	103			
Ca 396,152	23,51 ± 0,2	20,00	118			
Na 588,995	10,55 ± 1,1	10,00	106			
Fe 259,940	6,26 ± 0,2	6,00	104			
Zn 213,618	20,93 ± 2,1	20,00	105			
Si 288,158	20,02 ± 3,4	20,00	100			
Al 396,152	20,22 ± 0,1	20,00	101			
IV = значение только для сведения						

### Испытание на степень обнаружения

Средние значения степени обнаружения для множества элементов в четырех пробах сырой нефти и пяти пробах мазута, полученные тремя лабораториями, приведены в табл. 4. В ходе теста на воспроизводимость в соответствии с требованиями ASTM D8322 все степени обнаружения лежали в диапазоне  $\pm 20\%$ . Данные о степенях обнаружения демонстрируют точность методики при определении Fe, V, Ca, Na, K и S в сырой нефти, а также V, Ni, Ca, Na, Al, Si, Zn и S в мазуте методом МП-АЭС.

**Таблица 4.** Средние значения степени обнаружения для повторных определений элементов в пробах сырой нефти и мазута методом МП-АЭС в трех лабораториях на протяжении четырех дней,  $n = 6$ .

Сырая нефть									
Элемент и длина волны (нм)	Проба с добавкой-D			Проба с добавкой-K			Проба с добавкой-N		
	Измеренное значение (мг/кг)	Добавленное количество (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного	Измеренное значение (мг/кг)	Добавленное количество (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного	Измеренное значение (мг/кг)	Добавленное количество (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного
S 181,972	20 997 $\pm$ 1303	20 000	105	2236 $\pm$ 308,9	2610,0	86			
V 311,837				3,27 $\pm$ 0,2	3,67	89			
Ca 396,152							3,83 $\pm$ 2,0	3,50	110
Na 588,995							100,9 $\pm$ 13,8	100,0	101
K 766,491	11,73 $\pm$ 0,8	12,00	98	24,51 $\pm$ 4,2	25,00	98	64,71 $\pm$ 8,9	70,00	92
Fe 259,940							138,1 $\pm$ 8,6	150,0	92
Мазут									
Элемент и длина волны (нм)	Проба с добавкой-D			Проба с добавкой-N			Проба с добавкой-L		
	Измеренное значение (мг/кг)	Добавленное количество (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного	Измеренное значение (мг/кг)	Добавленное количество (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного	Измеренное значение (мг/кг)	Добавленное количество (мг/кг)	Найденное содержание, % от сертифицированного
Ni 341,476	0,48 $\pm$ 0,0	0,40	119	51,12 $\pm$ 1,6	50,00	102	70,65 $\pm$ 4,1	70,00	101
S 181,972							12 627 $\pm$ 1690	12 000	105
V 311,837	29,23 $\pm$ 4,1	30,00	97	247,13 $\pm$ 7,6	250,0	99	376,4 $\pm$ 3,8	400,0	94
Ca 396,152	66,45 $\pm$ 2,3	70,00	95				93,99 $\pm$ 8,1	100,0	94
Na 588,995				75,21 $\pm$ 1,7	70,82	106	45,56 $\pm$ 1,1	40,00	114
Zn 213,618	1,98 $\pm$ 0,2	2,00	99				102,2 $\pm$ 1,6	100,0	102
Si 288,158	49,04 $\pm$ 2,5	45,00	109	156,3 $\pm$ 19,7	158,9	98	243,9 $\pm$ 19,2	250,0	98
Al 396,152	3,71 $\pm$ 0,0	3,30	113	94,12 $\pm$ 2,8	90,00	105	148,5 $\pm$ 5,2	150,0	99

## Количественные результаты

Количественные результаты определения различных элементов в пробах сырой нефти и мазута методом МП-АЭС на протяжении четырех дней приведены в табл. 5 и 6 соответственно. Для расчета концентрации исходной пробы все полученные значения корректировались на коэффициент массового разбавления. Результаты показывают некоторые колебания в концентрации каждого из элементов для разных проб. Самая большая разница, от 1 до более чем 360 част/млн, как для сырой нефти, так и для мазута, наблюдалась для V.

**Таблица 5.** Средние количественные результаты определения шести элементов в образцах сырой нефти методом МП-АЭС в трех лабораториях на протяжении четырех дней. Все значения в мг/кг.

Сырая нефть	API	Fe	V	Ni	Ca	Na	S	K
Проба А	21	2,08	283,0	58,89	н/о	н/о	37 858	3,38
Проба В	40,2	0,95	1,59	0,81	н/о	0,65	1893	1,18
Проба С	50,4	0,98	0,71	н/о	н/о	1,07	1198	1,45
Проба D	41,6	31,77	0,92	0,54	2,81	17,21	1479	2,27
Проба E	44,6	4,00	2,09	0,82	1,33	2,40	2132	1,69
Проба F	27,8	26,67	102,3	21,81	12,43	90,79	22 277	6,20
Проба G	21	12,12	303,8	56,77	4,21	3,42	29 648	6,97
Проба H	40,2	67,41	34,48	10,35	103,5	6,46	1628	7,91
Проба I	50,4	6,83	7,59	99,84	64,77	11,82	991,7	21,73
Проба J	41,6	4,28	0,28	1,00	29,77	61,93	1310,6	34,25
Проба K	44,6	173,5	383,5	1,87	н/о	3,09	1686	3,65
Проба L	30	23,14	4,74	5,05	48,92	53,89	1038	45,81
Проба M	Неизвестно	26,55	20,89	17,73	8,85	29,45	24 145	5,98
Проба N	27,8	2,42	118,9	31,20	н/о	0,40	27 779	1,60

н/о = ниже подтвержденного предела определения.

**Таблица 6.** Средние количественные результаты определения девяти элементов в образцах мазута методом МП-АЭС в трех лабораториях на протяжении четырех дней. Все значения приведены в мг/кг.

Мазут	Fe	V	Ni	Ca	Na	Al	Si	Zn	S
Проба А	2,69	4,81	1,41	0,64	0,81	2,65	3,00	н/о	5574
Проба В	1,95	1,74	0,49	0,75	0,87	н/о	5,14	4,05	10 420
Проба С	3,63	17,87	5,41	0,86	1,23	9,02	5,97	0,11	7142
Проба D	2,11	н/о	н/о	н/о	4,17	н/о	н/о	0,18	3121
Проба E	2,95	н/о	0,27	1,46	11,71	1,37	2,35	н/о	3359
Проба F	6,84	11,28	11,73	23,54	10,55	14,69	15,70	20,93	4940
Проба G	1,52	364,9	104,9	95,04	98,39	120,0	211,6	106,9	2002
Проба H	2,33	н/о	2,78	50,59	74,56	50,81	153,3	72,68	1878
Проба I	2,20	н/о	1,11	3,32	5,84	47,55	99,45	10,57	1243
Проба J	1,63	6,03	0,97	12,28	6,90	2,89	6,58	1,08	2377
Проба K	7,25	159,5	44,03	1,68	7,61	9,92	19,87	н/о	33 222

н/о = ниже подтвержденного предела определения.

## Выводы

Публикация первой методики ASTM D8322-20 для МП-АЭС обеспечила нефтедобывающую и нефтеперерабатывающую промышленность ценным методом прямого анализа проб сложного состава. Стандарт ASTM D8322-20 описывает количественное определение V, Ni, Ca, Na, Al, Si, Zn и S в мазуте и Fe, V, Ni, Ca, Na, K и S в сырой нефти после разбавления о-ксилолом. Ранее для определения всех этих элементов требовались несколько методик ASTM и несколько методов анализа. ASTM D8322 ускоряет анализ благодаря использованию одного метода, упрощает пробоподготовку и обеспечивает повышенную производительность и точность результатов.

Данная работа демонстрирует высокую точность и хорошую степень обнаружения сертифицированных элементов в различных эталонных образцах сырой нефти и мазута, а также хорошие степени обнаружения в реальных пробах. Тест контроля качества на стабильность в течение четырех дней показал высокую надежность, стабильность и точность МП-АЭС Agilent 4210, а также его способность долгое время работать без повторной калибровки.

Благодаря простоте, точности и воспроизводимости, а также низким эксплуатационным расходам и безопасности приборов МП-АЭС эта методика отлично подходит для рутинного анализа в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности.

## Литература

1. S. Rand and A. Verstuylft, eds., Significance of Tests for Petroleum Products: 9th ed. J. Nelson, Chapter 23, Analytical Methods for Determination of Inorganic Species in Petroleum Products and Lubricants: A Focus on New Technologies and Techniques in the Petroleum Industry, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018, [https://www.astm.org/DIGITAL\\_LIBRARY/MNL/SOURCE\\_PAGES/MNL1-9TH.htm](https://www.astm.org/DIGITAL_LIBRARY/MNL/SOURCE_PAGES/MNL1-9TH.htm)
2. ASTM D8322-20, Standard Test Method for Determination of Elements in Residual Fuels and Crude Oils by Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, <https://www.astm.org/Standards/D8322.htm>
3. Measuring Elements in Residual Fuels and Crude Oil per Method ASTM D8322 Using an Agilent 4210 MP-AES, публикация Agilent, [5994-2460EN](https://www.agilent.com/chem/5994-2460EN)
4. ASTM D5708-15(2020)e1, Standard Test Methods for Determination of Nickel, Vanadium, and Iron in Crude Oils and Residual Fuels by Inductively Coupled Plasma (ICP) Atomic Emission Spectrometry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, <https://www.astm.org/Standards/D5708.htm>
5. ASTM D5863-00a(2016) Standard Test Methods for Determination of Nickel, Vanadium, Iron, and Sodium in Crude Oils and Residual Fuels by Flame Atomic Absorption Spectrometry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, <https://www.astm.org/Standards/D5863.htm>
6. Agilent MP Expert Software, публикация Agilent, [5990-8975EN](https://www.agilent.com/chem/5990-8975EN)

[www.agilent.com/chem](http://www.agilent.com/chem)

DE44284.6363425926

Информация в этом документе может быть изменена без предварительного уведомления.

© Agilent Technologies, Inc., 2021  
Напечатано в США 4 мая 2021 г.  
5994-3230RU