УДК 543

СРАВНЕНИЕ И ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА МЕДИ В НЕФТЯНОЙ ПРОДУКЦИИ

♦♦♦♦♦

COMPARISON AND OPTIMAL CHOICE OF COPPER ANALYSIS METHODS IN PETROLEUM PRODUCTS

Гузик Татьяна Владимировна
кандидат химических наук,
доцент кафедры химии,
Кубанский государственный технологический университет
tanyag2005@mail.ru

Угрюмов Илья Сергеевич
ассистент кафедры автоматизации производственных процессов,
Кубанский государственный технологический университет
strelkaugr@mail.ru

Угрюмова Варвара Сергеевна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
ilaugrumov006gmail.com@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена сравнительному анализу методов определения меди в нефтяной продукции. Рассмотрены традиционные стандартизированные методики и современные инструментальные подходы, включая атомно-абсорбционный анализ, масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой и комбинированные методы пробоподготовки. Установлено, что наибольшую эффективность демонстрируют комбинированные методики, обеспечивающие высокую точность и сокращение времени анализа. Предложенные выводы могут быть использованы при выборе оптимальных способов контроля качества нефтепродуктов в лабораторной и промышленной практике.

Ключевые слова: медь, методы анализа, нефтяная продукция, масс-спектрометрия, точность.

Guzik Tatyana Vladimirovna
Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor
of the Department of Chemistry,
Kuban State Technological University
tanyag2005@mail.ru

Ugryumov Ilya Sergeevich
Assistant of the Department of Automation of Production Processes,
Kuban State Technological University
strelkaugr@mail.ru

Ugryumova Varvara Sergeevna
Student,
Kuban State Technological University
ilaugrumov006gmail.com@bk.ru

Annotation. The article is devoted to a comparative analysis of methods for determining copper in petroleum products. Traditional standardized techniques and modern instrumental approaches are considered, including atomic absorption analysis, inductively coupled plasma mass spectrometry, and combined sample preparation methods. It has been established that combined techniques that provide high accuracy and reduce analysis time demonstrate the greatest effectiveness. The proposed conclusions can be used in the selection of optimal methods of quality control of petroleum products in laboratory and industrial practice.

Keywords: copper, analysis methods, petroleum products, mass spectrometry, precision.

Введение

Содержание меди в нефти и нефтепродуктах существенно влияет на их качество, срок хранения и эксплуатационные свойства. Медь ускоряет процессы окисления, способствует образованию осадков и может вызывать коррозию оборудования, поэтому её контроль имеет важное практическое значение.

Традиционные методы анализа, описанные в стандартах ГОСТ и ASTM, основаны на спектрометрических измерениях, например, атомно-абсорбционном анализе – определении концентрации элемента по интенсивности поглощаемого света. Однако такие методы требуют сложной подготовки проб и не всегда обеспечивают достаточную чувствительность.

Современные подходы используют масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой, где образец исследуется по массе ионов, что позволяет определять медь с высокой точностью и при очень малых концентрациях.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ существующих методов определения меди в нефтяной продукции и выбор наиболее эффективных для применения в лабораторной и производственной практике.

Литературный обзор

Сравнительный анализ существующих подходов к контролю содержания металлов в нефтяной продукции показывает ограниченность традиционных методов, ориентированных преимущественно на определение органических компонентов. Хроматографические и спектроскопические методы, широко применяемые для анализа углеводородов, часто оказываются недостаточно эффективными при исследовании неорганических примесей после термической или химической деградации нефтепродуктов. В связи с этим всё большее внимание привлекают методики, основанные на анализе устойчивых металлических примесей, таких как ванадий, никель, хром и медь.

Одним из наиболее перспективных направлений признан анализ металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП, ICP-MS), обеспечивающий высокую чувствительность и возможность определения множества элементов одновременно. Отмечено, что парные соотношения концентраций металлов-индикаторов (например, ванадия и никеля) сохраняются при различных стадиях переработки нефти, что позволяет использовать их для идентификации происхождения сырья и оценки стабильности нефтепродуктов [5].

При определении меди в нефтяной продукции применяются различные подходы, различающиеся по чувствительности, трудоёмкости и точности. Традиционные стандартизированные методы (ГОСТ, ASTM, UOP) основаны на пробоподготовке образцов путём озоления, кислотного разложения или разбавления органическими растворителями с последующим анализом методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) [1, 2]. Несмотря на простоту и надёжность, эти методики требуют значительного времени на подготовку проб и характеризуются относительно высокими пределами обнаружения (до десятков мкг/г), что ограничивает их применение при анализе следовых количеств меди [1, 3].

Современные комбинированные методы обеспечивают более высокую точность и воспроизводимость. Так, использование вращающихся спиральных колонок (ВСК) для пробоподготовки позволяет эффективно концентрировать микроэлементы из нефти в небольшой объём кислотного раствора, после чего анализ проводится методом МС-ИСП. Такой подход сокращает время анализа до 30 минут, снижает пределы обнаружения до нанограмм на килограмм и позволяет определять широкий спектр элементов, включая медь, в концентрациях порядка 1,3 ± 0,3 мкг/г (на примере Тенгизской нефти) [1, 6].

Альтернативный перспективный метод основан на сочетании ультразвуковой экстракции и плазменно-электролитического демаскирования – обработки анодными микроразрядами, переводящей металлы в ионную форму, пригодную для фотометрического анализа. Данный способ позволяет минимизировать потери определяемого элемента и повысить точность, что подтверждено методом «введено-найдено» [3].

Для практической оценки содержания меди в отечественном сырье исследования нефтей Оренбургской области методом ААС показали средние значения около 2 г/т, что указывает на необходимость применения высокочувствительных методов при контроле нефтепродуктов [4].

В целом анализ литературных данных показывает, что традиционные методы обеспечивают надёжность при контроле высоких концентраций меди, но не удовлетворяют современным требованиям по чувствительности и оперативности. Комбинированные методики, сочетающие эффективную пробоподготовку и масс-спектрометрический анализ, представляют собой оптимальное решение для определения следовых количеств меди в нефтяных средах.

Анализ

Для выбора оптимального подхода к определению меди в нефтяной продукции рассмотрим основные характеристики наиболее распространённых и современных методов (табл. 1).

Как видно из таблицы, традиционные методы, основанные на озолении и атомно-абсорбционном анализе, надёжны и технологически отработаны, но их чувствительность ограничена, а процесс пробоподготовки требует значительных затрат времени. Это делает их малопригодными для анализа следовых количеств меди, особенно при контроле высокоочищенных нефтепродуктов.

Таблица 1 – Сравнение методов определения меди в нефтяной продукции

Метод	Принцип	Предел обнаружения	Время анализа	Особенности	Применимость
ААС (атомно-абсорбционный анализ)	Поглощение света атомами меди	0,01–0,1 мг/л	1–2 ч	Простота, но долгая пробоподготовка	Стандартные лаборатории
МС-ИСП (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой)	Ионизация и анализ по массе ионов	≤ 0,0001 мг/л	20–40 мин	Высокая точность, дорогое оборудование	Научные центры
ВСК–МС-ИСП (комбинированный метод)	Концентрирование и последующий МС-ИСП анализ	нг/кг	≈30 мин	Минимальные потери, высокая точность	Аналитические лаборатории
Ультразв. экстракция + плазм-эл. демаск.	Перевод меди в ионную форму с фотометрией	0,001–0,005 мг/л	40–60 мин	Хорошая воспроизводимость, требуется настройка	Прикладные лаборатории
ГОСТ / ASTM (озоление, кислотное разложение)	Разложение пробы, измерение по стандарту	0,1–1 мг/л	до 3 ч	Простые, но малочувствительные	Производственные лаборатории

Метод МС-ИСП демонстрирует значительно более низкие пределы обнаружения (до нг/кг), что позволяет проводить точный количественный анализ даже при крайне низких концентрациях. Однако высокая стоимость оборудования и необходимость квалифицированного персонала ограничивают его применение на большинстве предприятий.

Комбинированный подход (ВСК–МС-ИСП) и методы с ультразвуковой экстракцией позволяют достичь оптимального соотношения между точностью, скоростью и затратами. Они обеспечивают минимальные потери элемента, высокую воспроизводимость и сравнительно короткое время анализа, что делает их перспективными для внедрения в отечественные лаборатории.

Выводы и заключение

Проведённый анализ показал, что традиционные методы определения меди в нефтяной продукции, основанные на стандартах ГОСТ и ASTM, обеспечивают приемлемую точность при высоких концентрациях, но не позволяют эффективно контролировать следовые количества металла. Их основными недостатками являются длительная пробоподготовка, ограниченная чувствительность и риск потерь элемента.

Современные инструментальные методы, такие как атомно-абсорбционный анализ и особенно масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, обеспечивают значительно более низкие пределы обнаружения и высокую точность, однако требуют дорогостоящего оборудования и квалифицированного персонала.

Наиболее перспективными для отечественной лабораторной практики представляются комбинированные методики – в частности, подходы на основе вращающихся спиральных колонок (ВСК–МС-ИСП) и ультразвуковой экстракции с плазменно-электролитическим демаскированием. Они обеспечивают оптимальное сочетание чувствительности, быстроты и надёжности анализа.

Рекомендуется внедрять такие методы в аналитические лаборатории предприятий нефтеперерабатывающей отрасли Российской Федерации в качестве дополнения к существующим стандартным методикам, особенно при контроле высокоочищенных и лёгких фракций нефтепродуктов.

Литература

1. Пробоподготовка при определении металлов в нефти и нефтепродуктах методом МС-ИСП / А.В. Соин [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2010. – Т. 65. – № 6. – С. 585–590. EDN MSQOSV
2. Моисеева Е.Г. Качественное обнаружение ионов металлов в твердой фракции нефти (мазуте и солидоле) / Е.Г. Моисеева, Т.В. Петухова // Современные проблемы медицины и естественных наук: Сборник статей Всероссийской научной конференции, Йошкар-Ола, 23–27 апреля 2018 года. – Вып. 7. – Йошкар-Ола : Марийский государственный университет, 2018. – С. 379–381. EDN XMSVNJ
3. Патент № 2003072 C1 Российская Федерация, МПК G01N 1/28, G01N 31/00. Способ определения содержания переходных металлов в нефти и нефтепродуктах: № 04851818: заявл. 16.07.1990: опубл. 15.11.1993 / А.М. Сизиков, В.И. Вершинин, Т.А. Калинина, А.А. Душин; заявитель Омский государственный университет. EDN ZJSTZH
4. Пономарева Г.А. Металлы в нефти месторождений Оренбургской области // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 2(54). – С. 56–62. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-56-62 EDN JHKKJJ
5. Ивахнюк С.Г. Новые подходы к решению задач идентификации при исследовании нефти и нефтепродуктов / С.Г. Ивахнюк, И.В. Клаптюк, Ю.Д. Моторыгин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2024. – № 3. – С. 1–13. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-3-1-13 EDN JXVQWL
6. Поликарпов М.В. Методы определения содержания ионов меди / М.В. Поликарпов, В.И. Дергунов, Т.В. Гузик // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 4. – С. 112–113. EDN HITVXY

References

1. Sample preparation for determination of metals in oil and petroleum products by MS-ICP / A.V. Soin [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. – 2010. – Vol. 65. – № 6. – Pp. 585-590. – EDN MSQOSV.
2. Moiseeva E.G. Qualitative Detection of Metal Ions in the Solid Fraction of Oil (Fuel Oil and Grease) / E.G. Moiseeva, T.V. Petukhova // Modern Problems of Medicine and Natural Sciences: Collection of Articles from the All-Russian Scientific Conference, Yoshkar-Ola, April 23–27, 2018. Vol. 7. – Yoshkar-Ola : Mari State University, 2018. – P. 379–381. EDN XMSVNJ
3. Patent № 2003072 C1, Russian Federation, IPC G01N 1/28, G01N 31/00. Method for Determining the Content of Transition Metals in Oil and Petroleum Products: № 04851818: filed on July 16, 1990: published on November 15, 1993 / A.M. Sizikov, V.I. Vershinin, T.A. Kalinina, A.A. Dushin; applicant: Omsk State University. EDN ZJSTZH.
4. Ponomareva G.A. Metals in the Oil of the Orenburg Region Deposits // Izvestiya of the Ural State Mining University. – 2019. – № 2(54). – P. 56–62. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-56-62 EDN JHKKJJ
5. Ivakhnyuk S.G. New Approaches to Solving Identification Problems in the Study of Oil and Petroleum Products / S.G. Ivakhnyuk, I.V. Klaptuk, Yu.D. Motorygin // Scientific and Analytical Journal «Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia». – 2024. – № 3. – P. 1–13. DOI: 10.61260/2218-130X-2024-3-1-13 EDN JXVQWL
6. Polikarpov M.V. Methods of Determining the Content of Copper Ions / M.V. Polikarpov, V.I. Dergunov, T.V. Guzik // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (Politekhnicheskiy Vestnik). – 2024. – № 4. – P. 112–113. EDN HITVXY