

УДК 665.63

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ФРАКЦИОННОЙ РАЗГОНКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЕЁ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

д-р техн. наук, проф. Г.Н. АБАЕВ
(Полоцкий государственный университет)

Представлено детерминированное математическое описание фракционной разгонки нефтепродуктов. Показано, что фракционная разгонка является индивидуальной характеристикой каждого продукта. Рассматривается возможность использования приборов минидистилляции для анализа фракционного состава тяжёлых нефтепродуктов и истинных температур кипения. Рассматриваются приборы минидистилляции для определения фракционного состава нефтепродуктов.

В современных процессах нефтепереработки и обращения с жидкими нефтепродуктами при оценке их свойств и качества важную роль играет фракционная разгонка нефтепродуктов и их смесей. Фракционная разгонка является естественным отражением сущности физико-химического состава нефтепродукта. Оценка качества нефтепродуктов по их фракционному составу отражена в ряде Стандартов в системе ГОСТ и ASTM (табл. 1).

Таблица 1

Стандарты для определения фракционного состава нефтепродуктов

№ п/п	Характеристика фракционного состава нефтепродукта	По ГОСТ	По ASTM
1	Фракционный состав светлых (выкипающих ниже 400 °С)	ГОСТ 2177-99	ASTM D 86
2	Фракционный состав тяжёлых (выкипающих выше 400 °С)	ГОСТ 11011-85	ASTM D 1160
3	Фракционный состав по ИТК	ГОСТ 11011-85	ASTM D 285
4	Фракционный состав по ИТК (выкипающие выше 400 °С)	ГОСТ 11011-85	ASTM D 2892

Определение фракционного состава лёгких нефтепродуктов (выкипающих до $T = 400$ °С) осуществляется при атмосферном давлении в перегонной колбе однократного испарения (ОИ). Для тяжёлых нефтепродуктов (выкипающих при температуре выше 400 °С) определение фракционного состава выполняется с использованием вакуума. Для определения детального фракционного состава по истинной температуре кипения (ИТК) помимо перегонной колбы используется ректификационная колонка. Все эти варианты (применение вакуума, применение ректификационной колонки) предусмотрены в ГОСТ-11011-85 и применяются в зависимости от задачи определения фракционного состава. Во всех случаях, кроме 1 (см. табл. 1), объём перегоняемого продукта значительно больше 100 мл. Соответственно, значительно больше и время выполняемого анализа, т.е. он не может быть оперативным.

Анализы фракционного состава согласно Стандартам (см. табл. 1) могут выполняться ручным или автоматическим способом с помощью специальных приборов. Естественно, что выполнение анализа с помощью специальных приборов имеет известные преимущества и, как правило, обеспечивает более высокую точность и воспроизводимость определения фракционного состава нефтепродукта.

На кафедре «Химическая техника» Полоцкого государственного университета с начала 1990-х годов разрабатывается научное направление, которое привело к созданию приборов минидистилляции нефтепродуктов для определения различных вариантов их фракционного состава, в том числе для тяжёлых (выкипающих при температуре выше 400 °С), и методу ИТК. Было выполнено четыре диссертационных исследования [1 – 4], в которых было разработано **математическое описание фракционной перегонки** в режиме ОИ:

$$\frac{dv}{d\tau} = k \frac{v(1-v)}{\tau}; \quad (1)$$

и его интегралы:

$$v = \frac{a\tau^k}{1+a\tau^k}, \quad (2)$$

$$\ln \frac{v}{1-v} = \ln a + k \ln \tau, \quad (3)$$

где v – доля отгона; k – коэффициент интенсивности разгонки; a – коэффициент симметричности разгонки; $\tau = \frac{T - T_{н.к}}{T - T_{к.к}}$ – безразмерная температура разгонки; $T_{н.к}$ – температура начала кипения; $T_{к.к}$ – температура конца кипения.

Температуру конца кипения $T_{к.к}$ находят при обработке данных фракционной разгонки по уравнению (3), по достижении наименьшего отклонения от линейной зависимости в координатах $\ln \frac{v}{1-v} - \ln \tau$.

Обработка экспериментальных данных фракционной разгонки по уравнению (3) в координатах: $\ln \frac{v}{1-v} - \ln \tau$ позволяет определить a и k для всей кривой фракционной перегонки.

В процессе исследований также были изучены следующие характеристики:

- *свойства математических описаний* постепенной перегонки, в частности аддитивность фракционных разгонок, из которых вытекает правило смешения нефтепродуктов для получения необходимого качества их смеси;

- *ошибки*, связанные с инерционностью датчиков температуры (стеклянных термометров);

- *взаимосвязь температур перегонки* в паровой и жидкой фазах.

Таким образом, для получения математического описания фракционной разгонки нефтепродукта необходимо проведение самой разгонки по методам ГОСТ 2177-99 (для лёгких) или ГОСТ 11011-85 (для выкипающих при T выше 400 °С), что естественно, так как фракционная разгонка является индивидуальной характеристикой каждого конкретного продукта. В этом её основное предназначение и особенность. Поэтому речь должна идти об изучении закономерностей, которые позволят упростить и облегчить процедуру определения индивидуальных характеристик каждого конкретного нефтепродукта.

Работы по изучению закономерностей и детерминированных математических описаний фракционных разгонок привели к созданию приборов трёх поколений для осуществления минидистилляции [5 – 7], обладающих рядом преимуществ по сравнению с приборами определения фракционного состава нефтепродуктов традиционными методами (табл. 2).

Таблица 2

Приборы для определения фракционного состава нефтепродуктов

№ п/п	Название прибора	Назначение прибора	Основные характеристики
1	АФСА	Фракционная разгонка светлых нефтепродуктов	Масса: 40...60 кг. Время анализа: 30...40 мин; предназначен для светлых нефтепродуктов; работает автоматически. Объём пробы: 100 мл. Существует ряд модификаций прибора, выпускаемых различными фирмами в России и других странах.
2	ASTM 86 5G	Фракционная разгонка светлых нефтепродуктов	Масса: 60...80 кг. Время анализа: 30...40 мин; предназначен для светлых нефтепродуктов; работает автоматически. Объём пробы: 100 мл. Существует ряд модификаций прибора, выпускаемых различными фирмами в мире. Данная модификация выпускается фирмой ISL (Франция)
3	Полоцк -1	Фракционная разгонка нефтепродуктов	Масса: 7 кг. Время анализа: до 10 мин. Объём пробы: 10 мл. Изготовлен заводом «Измеритель» в единственном экземпляре [5]
4	PMD	Фракционная разгонка нефтепродуктов	Масса: 14 кг. Время анализа: до 10 мин. Объём пробы: 10 мл. Выпускается фирмой ISL, начиная с 2002 года. Реализован в мире в значительном количестве [6]
5	ТЭП-Полоцк	Фракционная разгонка нефтепродуктов	Масса: 8 кг. Время анализа: до 10 мин. Выпущена опытно-промышленная партия приборов на заводе «Измеритель» [7]

Приборы по позициям 3, 4, 5 в таблице 2, по существу, являются частями компьютерных систем, что позволяет использовать их также для определения фракционного состава тяжёлых нефтепродуктов (выкипающих при T выше $400\text{ }^{\circ}\text{C}$), фракционного состава по ИТК исключительно за счёт смены компьютерной программы обработки данных фракционной разгонки на приборе минидистилляции и некоторого изменения в выполнении самой процедуры разгонки при анализе фракционного состава таких нефтепродуктов.

Естественно, что разработанное адекватное, детерминированное математическое описание фракционной перегонки и установленные закономерности имеют несомненные преимущества перед любым эмпирическим методом. Поэтому статья авторов [8], в которой для математического описания фракционной разгонки используется эмпирический метод Риизи [9] и даже не упоминаются все ранее проведенные работы по разработке математического описания фракционной разгонки и установлению ряда закономерностей, позволяющих создать приборы минидистилляции 3-х поколений и значительно облегчить процедуру определения фракционного состава даже в самых сложных и трудоёмких случаях, вызывает ряд вопросов.

Начало разработки **прибора РМД** – прибора 2-го поколения – положено сотрудниками кафедры «Химическая техника» Полоцкого государственного университета. Этому (второму) этапу НИОКР предшествовал первый, в результате которого были защищены 3 кандидатские диссертации [1 – 3], созданы **принцип и прибор минидистилляции первого поколения**, на который был получен патент [5], и создан **прибор Полоцк-1**.

В 2000 году Полоцкий государственный университет заключил контракт о сотрудничестве с фирмой «ИСЛ» (Франция). В результате НИОКР был создан и запатентован [6] **прибор минидистилляции 2-го поколения** (рис. 1), и как разработка кафедры в 2001 году был представлен на выставке в Полоцком государственном университете [10].

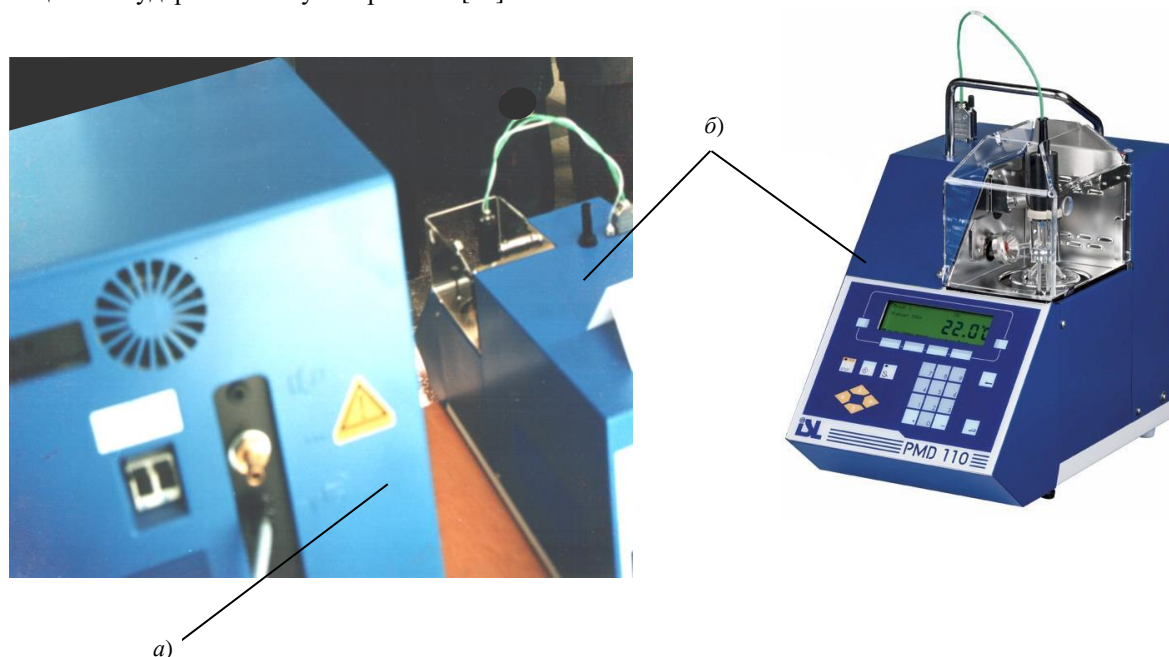


Рис. 1. Прибор минидистилляции:
 а – прибор AD 86 5G (см. табл. 2);
 б – прибор 2-го поколения РМД (значительно меньший по габаритам и массе)
 (первоначальное название РМД – «Полоцкая минидистилляция»)

Белорусские предприятия оснащены для фракционной перегонки нефтепродуктов по ГОСТ 2177 приборами АФСА (разработка ЗАО «БМЦ», Минск), прежде всего потому, что АФСА в 3 раза дешевле РМД. Однако при использовании приборов АФСА имеют место существенные недостатки:

- время анализа на АФСА в несколько раз больше по сравнению с РМД;
- масса АФСА в несколько раз меньше массы РМД;
- АФСА пригоден лишь для стационарной установки (масса прибора 40...60 кг). Этот прибор отвечает требованиям лишь для определения фракционного состава лёгких нефтепродуктов согласно ГОСТ 2177-99 и не предполагает развития для других, более сложных определений (ИТК, тяжёлые).

Таким образом, АФСА по существу повторяет прибор ASTM D865G предыдущего поколения.

Прибор РМД, наоборот, предполагает возможность развития с целью определения фракционного состава тяжёлых нефтепродуктов (ASTM D1160) и определения фракционного состава нефтепродуктов по методу ИТК (ASTM D 2892) только за счёт изменения программ для расшифровки фракционной разгонки и небольших изменений в процедуре перегонки при сохранении устройства самой техники и самого прибора. Соответственно, развитие РМД как компьютерной системы позволит изменить назначение прибора посредством смены алгоритмов и программ.

С учётом предыдущего опыта был создан и запатентован [7] в России и Беларуси **прибор минидистилляции 3-го поколения** (рис. 2), который исключил ряд недостатков приборов двух предыдущих поколений, а именно:

- применена более совершенная, менее инерционная система измерения температуры;
- разработана система определения молекулярной массы и плотности перегоняемого нефтепродукта;
- использована металлическая перегонная колба.



Рис. 2. Датчик компьютерной системы анализа фракционного состава нефтепродуктов 3-го поколения

В таблице 2 представлены основные характеристики приборов для фракционной перегонки нефтепродуктов, в том числе и для приборов минидистилляции.

К сожалению, ситуация с реализацией приборов минидистилляции 3-го поколения оказалась не совсем удачной.

По прибору минидистилляции 3-го поколения получены следующие результаты:

1) разработан и запатентован прибор. *Отличительными признаками* его были:

- менее инерционная система измерения температуры кипящей жидкости и измерение её плотности;
- применение металлической перегонной колбы;
- значительно меньшие масса и габаритные размеры прибора [7];

2) разработаны варианты и изготовлена опытно-промышленная партия варианта таких приборов (3 экз.) на заводе «Измеритель», проведена её метрологическая аттестация с положительными результатами в Институте Метрологии им. Д.И. Менделеева (г. Санкт-Петербург). В настоящее время решается вопрос реализации совместно с фирмой «Петротекс» (Москва) системы минидистилляции 3-го поколения. Фирма «Петротекс» занимается распространением приборов для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Цена прибора планируется не выше, чем цена АФСА.

Приборы на основе минидистилляции для определения ряда характеристик согласно ГОСТ и ASTM, по нашему мнению, найдут применение в Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Думиду Игнатиус Алонна Моделирование диагностики процессов ректификации нефти и нефтепродуктов на основе представлений об их фракционной разгонке: автореф. дис. ... канд. наук: 05.17.08 / Думиду Игнатиус Алонна. – Новополоцк: ПГУ, 1996.
2. Жаркова, О.А. Моделирование процессов компаундирования дизтоплив и бензинов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / О.А. Жаркова. – Новополоцк: ПГУ, 1996.

3. Спиридонов, А.В. Разработка компьютерной системы контроля качества светлых нефтепродуктов на основе моделирования и экспресс-анализа их фракционного состава: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08, 05.17.07 / А.В. Спиридонов. – Новополоцк: ПГУ, 1998.
4. Дубровский, А.В. Моделирование фракционного состава и плотности жидких углеводородов на основе их постепенной перегонки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / А.В. Дубровский. – Новополоцк: ПГУ, 2004.
5. Способ автоматического определения фракционного состава жидких нефтепродуктов, выкипающих до 400 °С, и устройство для его осуществления: пат. № 4979 Респ. Беларусь / Г.Н. Абаев [и др.]; заявитель Полоц. гос. ун-т; заявл. 27.07.1998; опубл. Афіцыйны бюл. – № 2. 2003.
6. United States. Process for determining the distillation characteristics of liquid petroleum products by express minidistillation and apparatus permitting implementation of this process: pat. 6.581/443.B2 / Г. Абаев [и др.]. – June, 24, 2003.
7. Определение фракционного состава жидких нефтепродуктов, выкипающих до 400 °С, с нахождением молекулярного веса фракций посредством экспресс-перегонки и устройство для этого определения: пат. 2273845 Рос. Федерации / Г.Н. Абаев [и др.]; заявл. в 2003 г.
8. Демченко, С.С. Модификация метода Риazi для прогнозирования кривых фракционной разгонки нефти и нефтяных фракций / С.С. Демченко, С.М. Ткачѳв // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 11. – С. 135 – 143.
9. Riazi, M.R. Characterization and properties of petroleum fractions / M.R. Riazi. – 1st. ed. P. cm-(ASTM manual series MNL. 50). – U.S.A., Baltimore, 2005.
10. Развитие науки на кафедре «Химическая техника» Полоцкого государственного университета / Г.Н. Абаев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2010. – № 2. – С. 171 – 177.

Поступила 28.01.2013

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF FRACTIONAL DISTILLATION OF OIL PRODUCTS AND MODERN METHODS OF ITS TESTING

G. ABAEV

Determinate mathematical description of fractional distillation of oil products is considered. It is shown that fractional distillation is an individual characteristic of each product. Possibility of the usage of the devices of mini-distillation for analysis of fractional composition of "heavy" oil products and true boiling points is shown. Devices of mini-distillation for determination of fractional composition of oil products are considered.