

УДК 519.8:66

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФРАКЦИОННОЙ РАЗГОНКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ*

**П.А. СПИРИДОНОВА, канд. техн. наук, доц. Д.О. ГЛУХОВ,
д-р техн. наук, проф. Г.Н. АБАЕВ
(Полоцкий государственный университет)**

Рассматриваются методы определения характеристик модели фракционного состава нефтепродуктов. Продолжающиеся по созданию новых приборов минидистилляции работы требуют уточнения применяемых алгоритмов, что обосновывает актуальность данного исследования. Предложен новый метод, в котором конец кипения не закрепляется по результатам перегонки, а остаётся свободным и подбирается по достижении коэффициента корреляции R_{xy} -максимума для данных фракционной разгонки в линейных координатах. На конкретных примерах для ряда продуктов показано, что нахождение температуры конца кипения по достижении этим коэффициентом максимума позволяет определить показатель симметричности, наиболее отвечающий физическому смыслу фракционной разгонки нефтепродукта.

Нефть и нефтепродукты содержат углеводороды, различающиеся молекулярной массой, структурой и, соответственно, температурами кипения. Каждая дистиллятная фракция характеризуется рядом свойств, в том числе фракционным составом. Фракционный состав жидких нефтепродуктов определяют методом постепенной перегонки, что соответствует их природе и составу. Для разделения испаряющихся продуктов на отдельные компоненты необходима ректификация, т.е. дополнение простой перегонной колбы ректификационной колонкой, предусматривающей частичный возврат конденсата (флегмы). Такая перегонка называется перегонкой по ИТК (ИТК – истинные температуры кипения).

Нефть содержит компоненты, выкипающие при атмосферном давлении и температурах 600...650 °С.

Известно, что при температуре ~ 400 °С происходит крекинг отдельных компонентов, поэтому перегонку мазута и тяжелых нефтепродуктов проводят под вакуумом так, чтобы температура сырья в колбе не превышала 400 °С; объёмы перегоняемого продукта необходимо брать большими. Всё это усложняет установку постепенной перегонки нефти.

Реализованы три варианта постепенной перегонки:

- простая постепенная перегонка легких нефтяных фракций, выкипающих при атмосферном давлении при температуре ниже 400 °С;
- перегонка для получения ИТК;
- перегонка тяжелых нефтяных фракций, выкипающих при атмосферном давлении при температуре выше 400 °С.

Каждый метод определения фракционного состава нефтепродуктов имеет свое аппаратное оформление, которое нашло отражение в соответствующих стандартах (табл. 1).

Таблица 1

Стандарты, отражающие методы определения фракционного состава нефти и нефтепродуктов

Характеристика фракционного состава нефтепродукта	ГОСТ	ASTM
Фракционный состав светлых нефтепродуктов (выкипающие при атмосферном давлении при температуре ниже 400 °С)	ГОСТ 2177-99	ASTM-D86
Фракционный состав тяжелых нефтепродуктов (выкипающие при атмосферном давлении при температуре выше 400 °С)	ГОСТ 11011-85	ASTM-D1160
Фракционный состав по ИТК	ГОСТ 11011-85	ASTM-D 2892
Фракционный состав по ИТК (нефтепродукты, выкипающие при атмосферном давлении и температуре выше 400 °С)	ГОСТ 11011-85	ASTM-D 2892

Однократное испарение как метод определения фракционного состава характеризуется следующей математической моделью [1–10]:

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

*Представленное исследование является развитием ранее проводимых работ под руководством профессора Г.Н. Абаева, посвящённых моделированию фракционного состава нефтепродуктов, изложенных в диссертациях Димуду Игнатиуса, О.Н. Жарковой, А.В. Спиридонова, А.В. Дубровского, в которых рассматриваются различные вопросы моделирования постепенной перегонки нефтепродуктов и создание приборов минидистилляции для этих целей.

В интегральной форме:

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

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

где v – доля отгона нефтепродукта; a – коэффициент симметричности кривой фракционной разгонки относительно $\frac{d}{d\tau} \left(\frac{dv}{d\tau} \right) = 0$; $\tau = \frac{T - T_{н.к.}}{T_{к.к.} - T}$ – безразмерная температура разгонки (T – температура, соответствующая данной доли отгона; $T_{н.к.}$, $T_{к.к.}$ – температура начала и конца кипения (°C); k – коэффициент интенсивности кривой фракционной разгонки.

При проведении анализа фракционного состава нефтепродуктов, осуществляемого по методу Энглера, возникает проблема определения характеристик перегонки. В частности, сложно установить истинную температуру конца кипения нефтепродукта, так как в лабораторных условиях опыт проводится не до конца. Доля отгона составляет ~ 0,98. Температура конца кипения (по результатам лабораторного анализа) используется для получения других характеристик нефтепродукта, а соответственно, результаты их определения также не будут в полной мере истинными. Экспериментальные данные используются для установления температуры конца кипения, которую находят при обработке данных фракционной разгонки по уравнению (3), из условия достижения 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 разгонки.

В таблицах 2–4 представлены экспериментальные данные для тяжёлых нефтепродуктов, полученные в лаборатории (путём постепенной перегонки).

Таблица 2

Экспериментальные данные для нефти

№ опыта	1	2	3	4	5	6
$T_{н.к.}$	81,3	88,3	87,7	88,3	77,7	76,3
$T_{к.к.}$	570	567	570	568,7	565	560
a	0,809	0,833	0,819	0,809	0,784	0,8
k	1,09	1,115	1,104	1,106	1,123	1,17

Таблица 3

Экспериментальные данные для дизельного топлива

v	T (эксп. 1)	T (эксп. 2)	T (эксп. 3)	T (эксп. 4)	T (эксп. 5)	T (эксп. 6)	T (эксп. 7)	T (эксп. 8)
0	170	250	178	243	246	180	180	245
10	200	262	224	288	291	207	210	294
15	210	265	233	298	–	–	–	–
20	216	268	240	305	307	218	220	312
25	220	270	244	310	–	–	–	–
30	223	273	249	315	316	227	229	321
35	228	275	253	318	–	–	–	–
40	233	279	256	322	323	238	239	330
45	237	281	260	325	–	–	–	–
50	240	285	264	328	329	248	249	336
55	243	288	268	331	–	–	–	–
60	247	291	272	335	335	259	259	344
65	251	296	276	339	–	–	–	–
70	255	298	281	342	342	271	270	351
75	259	302	286	346	–	–	–	–
80	264	305	292	350	351	284	284	359
85	268	307	300	355	–	–	–	–
90	273	314	309	361	361	302	301	371
95	280	321	323	371	371	322	318	381

Таблица 4

Экспериментальные данные для мазута

№ опыта	1	2	3	4	5	6
$T_{н.к}$	231,3	233	232	231,7	233,7	244,3
$T_{к.к}$	574,3	572	569,7	572,3	568	585
a	0,417	0,425	0,398	0,411	0,404	0,426
k	1,419	1,431	1,384	1,388	1,415	1,545

На основе экспериментальных данных была разработана **программа для определения истинного конца кипения фракции**. Входными данными для программы являются температура начала кипения и температуры, соответствующие долям отгона от 10 до 95 % (с произвольным шагом).

Истинную температуру конца кипения нефтепродукта программа определяет по максимуму коэффициента корреляции линейной регрессии (R_{xy}).

В таблицах 5, 6, 7 представлены результаты вычислений программы, а также уравнения, из которых были получены коэффициенты k , a .

Таблица 5

Экспериментальные данные разгонки нефти

№ п/п	$T_{н.к}$	R_{xy}	$T_{к.к}$	Полученное уравнение	$\ln a$	a	k
1	81,3	0,997	581,9	$y = 0,594 + 0,841x$	0,594	1,811107	0,841
2	88,3	0,997	580	$y = 0,543 + 0,821x$	0,543	1,721066	0,821
3	87,7	0,998	583,2	$y = 0,566 + 0,827x$	0,566	1,761105	0,827
4	88,3	0,997	582,2	$y = 0,563 + 0,813x$	0,563	1,75583	0,813
5	77,7	0,997	579,3	$y = 0,585 + 0,81x$	0,585	1,794882	0,81
6	76,3	0,998	576,1	$y = 0,528 + 0,775x$	0,528	1,695445	0,775

Таблица 6

Экспериментальные данные разгонки дизельного топлива

№ п/п	$T_{н.к}$	R_{xy}	$T_{к.к}$	Полученное уравнение	$\ln a$	a	k
1	170	0,997	308,8	$y = 0,025 + 0,46x$	0,025	1,025312	0,46
2	250	0,994	353,1	$y = -0,671 + 0,515x$	-0,671	0,511233	0,515
3	178	0,999	499,9	$y = -1,003 + 0,277x$	-1,003	0,366816	0,277
4	243	0,999	424,6	$y = -0,123 + 0,339x$	-0,123	0,884275	0,339
5	246	0,998	391,7	$y = 0,281 + 0,498x$	0,281	1,324415	0,498
6	180	0,999	366,3	$y = -0,562 + 0,577x$	-0,562	0,570101	0,577
7	180	0,999	367,4	$y = -0,545 + 0,532x$	-0,545	0,579875	0,532
8	245	0,999	367,4	$y = 0,304 + 0,493x$	0,304	1,355226	0,493

Таблица 7

Экспериментальные данные разгонки мазута

№ п/п	$T_{н.к}$	σ^2	$T_{к.к}$	Полученное уравнение	$\ln a$	a	k
1	231,3	0,998	586,2	$y = 0,842 + 0,621x$	0,842	2,320802	0,621
2	233	0,998	585,3	$y = 0,819 + 0,618x$	0,819	2,268038	0,618
3	232	0,997	580	$y = 0,913 + 0,643x$	0,913	2,491551	0,643
4	231,7	0,998	583,4	$y = 0,883 + 0,638x$	0,883	2,417922	0,638
5	233,7	0,998	580,4	$y = 0,857 + 0,618x$	0,857	2,355872	0,618
6	244,3	0,998	600,4	$y = 0,727 + 0,566x$	0,727	2,068709	0,566

Как видно из таблиц, с помощью новой программы были получены температуры конца кипения, превышающие прежние данные в среднем на 12...15 °С. Для коэффициента симметричности кривой

фракционной разгонки прослеживается увеличение значения от дизтоплива к нефти и мазуту, что больше отвечает физическому смыслу коэффициента a .

Для наглядного примера зависимость $\ln \frac{v}{1-v} - \ln \tau$ (для дизельного топлива) проиллюстрирована рисунками 1 и 2.

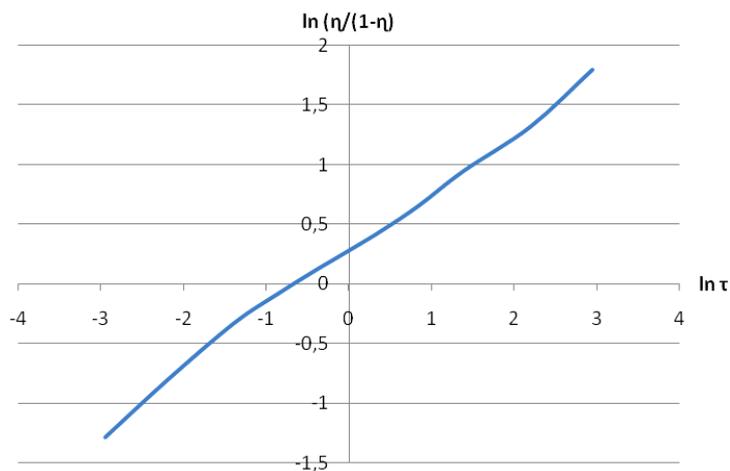


Рис. 1. Ручная обработка экспериментальных данных (эксп. 5 табл. 3)

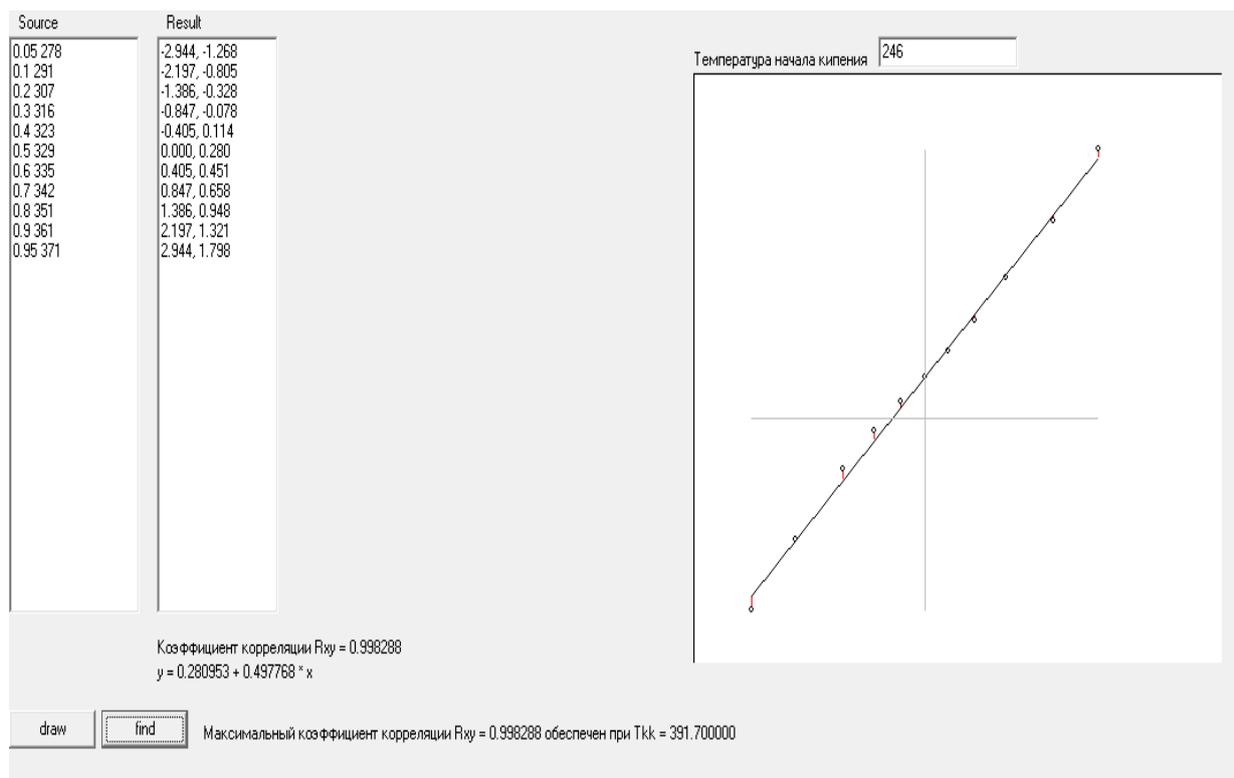


Рис. 2. Программная обработка экспериментальных данных (эксп. 5 табл. 3)

Как видно из графиков, при использовании программного метода все точки эксперимента наиболее близко расположены к прямой, то есть коэффициенты фракционной разгонки были определены наиболее точно.

Заключение. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что использование предложенного алгоритма и разработанной библиотеки функций значительно облегчает процесс обработки экспериментальных данных, позволяет с высокой точностью определять параметры фракционной

разгонки нефтепродуктов (начало кипения, конец кипения, коэффициенты a , k) и экстраполировать полученные параметры на процесс, выходящий за пределы эксперимента, чтобы оценить такой важный параметр, как температура конца кипения нефтепродукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Компьютеризация в химической технологии / Г.Н. Абаев [и др.] // Химическая промышленность. – 1995. – № 1. – С. 29–34.
2. Свойства фракционных разгонок нефтепродуктов и их смесей / И.А. Димуду [и др.] // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 1995. – № 1, 2, Т. 38. – С. 136–142.
3. Аддитивность и взаимосвязь характеристик фракционных разгонок нефтепродуктов / О.Н. Жаркова [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 1995. – № 5. – С. 38–42.
4. Определение плотности жидких нефтепродуктов при их постепенной перегонке с использованием компьютерной системы «Полоцк» / И.А. Димуду [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – № 2. – С. 17–18.
5. Моделирование постепенной перегонки немонокотонно выкипающих продуктов / Г.Н. Абаев [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 5. – С. 13–14.
6. Особенности определения начала и конца кипения в процессе минидистилляции нефтепродуктов / Г.Н. Абаев [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2003. – № 9. – С. 22–23.
7. Сравнение автоматических приборов для определения фракционного состава нефтепродуктов / Г.Н. Абаев [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2009. – № 10. – С. 37–39.
8. Димуду, И.А. Моделирование диагностики процессов ректификации нефти и нефтепродуктов на основе представлений об их фракционной разгонки: дис. ... канд. техн. наук / И.А. Димуду. – Новополоцк, 1996.
9. Жаркова, О.Н. Моделирование процессов компаундирования дизельных топлив и бензинов: дис. ... канд. техн. наук / О.Н. Жаркова. – Новополоцк, 1996.

Поступила 30.01.2014

A NEW METHOD FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF MATHEMATICAL MODEL OF OIL FRACTIONAL DISTILLATION

P. SPIRIDONOVA, D. GLUKHOV, G. ABAEV

The methods for determining the characteristics of the model of fractional composition of petroleum products are discussed. Work on the creation of new instruments continues and requires clarification of the algorithms. There is the new method, in which the end point of boiling not fixed by the results of distillation. It remains free and correlation coefficient R_{xy} is selected to achieve the maximum for the fractional distillation of data in linear coordinates. With specific examples for a number of products we shown that when T of final boiling point achieves maximum of this coefficient, it gives results to determine the symmetry of the figure, which meets the physical meaning of the fractional distillation of petroleum.