

## ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ ИТК по данным фракционной разгонки с учетом динамических погрешностей системы измерения температуры

*Метод определения фракционного состава нефтей и нефтепродуктов по истинной температуре кипения — ИТК (ГОСТ 11011—88), отличающийся большой информативностью, к сожалению, трудоемок и поэтому реже используется в промышленной практике, чем менее информативная фракционная разгонка нефтепродуктов (ФРН) по ГОСТ 2177—82.*

**В** Полоцком государственном университете разработан компьютерный комплекс для прогнозирования качества светлых нефтепродуктов на основе моделирования их фракционной разгонки [1]. Этот комплекс включает экспресс-анализатор и персональный компьютер. Полный цикл его работы занимает менее 10 мин. За это время может быть проведен экспресс-анализ фракционного состава светлого нефтепродукта и на основе полученных данных рассчитаны его некоторые физико-химические характеристики, в том числе ИТК. Выпуск подобного комплекса организован на заводе «Измеритель» (г.Новополоцк, Республика Беларусь).

Среди различных методов расчета ИТК по данным ФРН наиболее точен метод Эдмистера [2—4]. Однако он, как и большая часть других методов, является графическим, т.е. неудобным для расчета на ЭВМ, что затрудняет его использование в условиях современных производств. Этот метод может быть использован и для машинных расчетов, но при условии описания кривых ФРН и ИТК уравнениями.

В трудах БашНИИ НП [5] представлены формулы для пересчета данных ФРН в ИТК для светлых нефтепродуктов. Однако, как отмечалось в работах [6—11], данные ФРН могут быть несколько искажены инерционностью термометров, что может повлиять на точность вы-

числений. В работе [12] приведена методика учета динамических погрешностей системы измерения температуры и на ее основе разработан метод взаимного пересчета кривых ФРН для паровой и жидкой фаз. Как отмечено в этой работе, при измерении температуры малоинерционной термопарой в кипящей жидкости инерционность несущественно влияет на точность измерения.

Для разработки методики построения кривых ИТК по кривым ФРН проведен графический анализ их взаимного расположения. На рис. 1 представлены кривые ФРН и ИТК для реактивного ТС-1 и дизельного топлива, построенные по замерам температур в паровой и жидкой (на дне куба-испарителя) фазах. Как видно, температуры конца кипения по ФРН для жидкой фазы и ИТК близки, т.е. состав «последней капли» по ИТК приблизительно

соответствует составу «последней капли» по ФРН для жидкой фазы.

В данной работе построение кривой ИТК основано на представлении о математической модели ФРН [4—11], которая имеет вид

$$v = at^k / (1 + at^k)$$

где  $v$  — объемная доля отгона;  $a$  — показатель симметричности кривой ФРН;  $\tau = (t - t_{нк}) / (t_{кк} - t)$  — безразмерный температурный параметр;  $t$  — текущая температура выкипания нефтепродукта;  $t_{нк}$ ,  $t_{кк}$  — температура соответственно начала и конца кипения

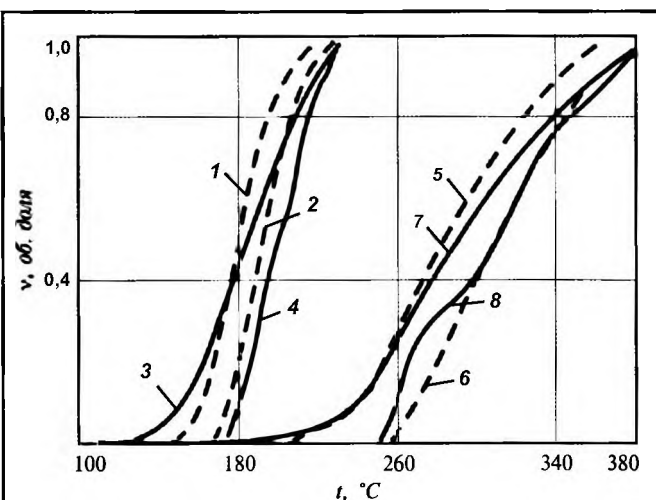


Рис. 1. Кривые ФРН (штриховые) и ИТК (сплошные):  
1—4 — для топлива ТС-1; 5—8 — для дизельного топлива;  
1,3,5,7 — для паровой фазы; 2,4,6,8 — для жидкой фазы.

нефтепродукта;  $k$  — показатель интенсивности ФРН.

Рассмотрим характер отклонения  $\Delta t$  кривых ИТК от конечной точки кипения при любой доле отгона. Во всех случаях в начале кипения (при  $v = 0$ )  $\Delta t$  имеет максимальное значение, а в конце кипения  $\Delta t \rightarrow 0$  (при  $v \rightarrow 1$ ). Естественно, что  $\Delta t$  при любом значении  $v$  является функцией площади  $F_{\text{ФРН}}$  под кривой ФРН. Рассмотрим эту зависимость при  $v = 0$ :

$$\Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}} = f(F_{\text{ФРН}})$$

где

$$F_{\text{ФРН}} = \int_{t_{\text{н.к}}^{\text{ФРН}}}^{t_{\text{к.к}}^{\text{ФРН}}} \frac{a\tau^k}{1+a\tau^k} dt \quad (1)$$

$$t = \frac{t_{\text{н.к}}^{\text{ФРН}} + \tau t_{\text{к.к}}^{\text{ФРН}}}{1 + \tau} \quad (2)$$

$$dt = \frac{t_{\text{к.к}}^{\text{ФРН}} - t_{\text{н.к}}^{\text{ФРН}}}{(1 + \tau)^2} d\tau \quad (3)$$

После преобразований уравнения (1) с учетом выражений (2) и (3) получим:

$$F_{\text{ФРН}} = (t_{\text{к.к}}^{\text{ФРН}} - t_{\text{н.к}}^{\text{ФРН}}) \int_{t_{\text{н.к}}^{\text{ФРН}}}^{t_{\text{к.к}}^{\text{ФРН}}} \frac{a\tau^k}{(1+a\tau^k)(1+\tau)^2} d\tau$$

На рис. 2 представлена зависимость  $\Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}} = t_{\text{н.к}}^{\text{ФРН}} - t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}}$  от  $F_{\text{ФРН}}$ . Представим ее в виде экспоненциальной функции

$$\Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}} = A(1 - e^{BF_{\text{ФРН}}}) \quad (4)$$

где  $A$  и  $B$  — коэффициенты, равные соответственно 190 и  $-0,012$ .

При любой доле отгона  $v$  существует зависимость

$$\Delta t_v^{\text{ИТК}} / \Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}} = f v / (1 - v)$$

Данная зависимость в логарифмических координатах (рис. 3) имеет вид прямой линии, описываемой уравнением

$$\ln \left[ -\ln \left( \frac{\Delta t_v^{\text{ИТК}}}{\Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}}} \right) \right] = \ln k_1 + n_1 \ln \left( \frac{v}{1-v} \right)$$

Следовательно,

$$\Delta t_v^{\text{ИТК}} = \Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}} e^{-k_1 \left( \frac{v}{1-v} \right)^{n_1}} \quad (5)$$

где  $\Delta t_v^{\text{ИТК}} = t_v^{\text{ФРН}} - t_v^{\text{ИТК}}$ ;

$K_1$  и  $n_1$  — коэффициенты.

Параметр  $n_1$  зависит от  $ak/\Delta t_{\text{ФРН}}$

(где  $\Delta t_{\text{ФРН}} = t_{\text{к.к}}^{\text{ФРН}} - t_{\text{н.к}}^{\text{ФРН}}$ ),

а  $K_1$  — от  $n_1$ :

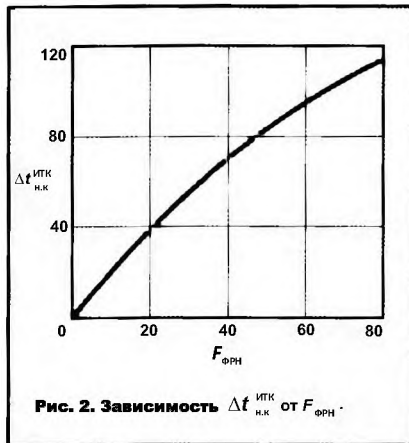


Рис. 2. Зависимость  $\Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}}$  от  $F_{\text{ФРН}}$ .

$$n_1 = A_{0n} + A_{1n} \frac{ak}{\Delta t_{\text{ФРН}}} + A_{2n} \left( \frac{ak}{\Delta t_{\text{ФРН}}} \right)^2 + A_{3n} \left( \frac{ak}{\Delta t_{\text{ФРН}}} \right)^3 \quad (6)$$

$$K_1 = A_{0k} + A_{1k} n_1 + A_{2k} n_1^2 + A_{3k} n_1^3 \quad (7)$$

Значения коэффициентов уравнений (6) и (7) приведены в табл. 1.

Таким образом, разработанный нами метод (№ 1) построения ИТК по данным ФРН состоит в следующем:

- \* находят  $\Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}}$  по уравнению (4);
- \* коэффициенты  $n_1$  и  $K_1$  определяют

из уравнений (6) и (7) на основе данных ФРН для жидкой фазы (в отсутствие таких данных необходимо данные для паровой фазы пересчитать в жидкую по методике [12]);

\* по  $n_1$  и  $K_1$  для любой доли  $v$  отгона, зная  $t$ , находят с помощью уравнения (5)  $\Delta t_v$ , т.е. строят кривую ИТК.

Кроме того, нами предложен метод (№ 2) построения кривой ИТК по данным ФРН, аналогичный методу Эдмистера и основанный на представлении нефтепродукта как смеси непрерывного состава, разбитого по интервалам выкипания  $t_{10}$ ,  $t_{50}$  и  $t_{90}$ . Для определения  $t_{10}^{\text{ИТК}}$ ,  $t_{50}^{\text{ИТК}}$  и  $t_{90}^{\text{ИТК}}$  по экспериментальным данным были построены графики их зависимостей от  $t_{10}^{\text{ФРН}}$ ,  $t_{50}^{\text{ФРН}}$  и  $t_{90}^{\text{ФРН}}$  (рис. 4 и 5).

В результате обработки этих зависимостей по методу наименьших квадратов получены следующие выражения:

$$t_{50}^{\text{ИТК}} = 4,298 + 0,924 t_{50}^{\text{ФРН}}$$

$$t_{50}^{\text{ИТК}} - t_{10}^{\text{ИТК}} = 3,261 (t_{50}^{\text{ФРН}} - t_{10}^{\text{ФРН}})^{0,792}$$

$$t_{90}^{\text{ИТК}} - t_{50}^{\text{ИТК}} = 2,746 (t_{90}^{\text{ФРН}} - t_{50}^{\text{ФРН}})^{0,815}$$

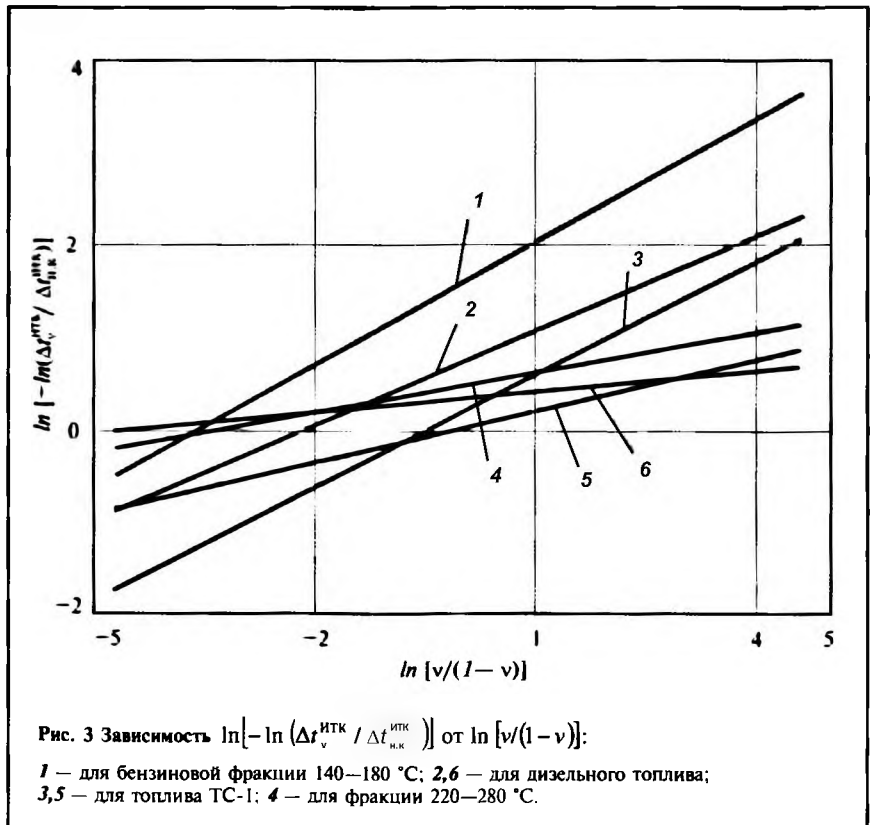


Рис. 3. Зависимость  $\ln \left[ -\ln \left( \frac{\Delta t_v^{\text{ИТК}}}{\Delta t_{\text{н.к}}^{\text{ИТК}}} \right) \right]$  от  $\ln \left[ \frac{v}{1-v} \right]$ :

1 — для бензиновой фракции 140–180 °С; 2, 6 — для дизельного топлива; 3, 5 — для топлива ТС-1; 4 — для фракции 220–280 °С.

Таблица 1

Коэффициенты			
$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
<i>В уравнении (6)</i>			
0,494	-7,8166	-176,85	-838,58
<i>В уравнении (7)</i>			
1,4638	-10,016	46,537	-41,788

Для построения кривой ИТК, так же как по методу № 1, представим выражение (5) в виде

$$\Delta t_v^{\text{ИТК}} = \Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} e^{-k_2 v / (1-v)^{n_2}} \quad (8)$$

где  $t_v^{\text{ИТК}} = \Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} - \Delta t_v^{\text{ИТК}}$ ;  $k_2$  и  $n_2$  — коэффициенты.

Для расчета  $\Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}}$ ,  $k_2$  и  $n_2$  разобьем интервал выкипания на три участка со значениями доли отгона  $v = 0,1; 0,5$  и  $0,9$ . Для этих точек на основе уравнения (8) получим систему уравнений:

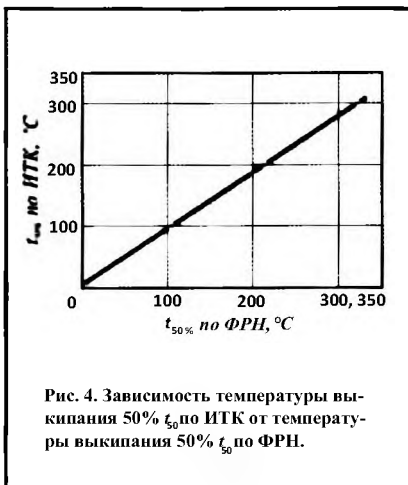


Рис. 4. Зависимость температуры выкипания 50%  $t_{50}$  по ИТК от температуры выкипания 50%  $t_{50}$  по ФРН.

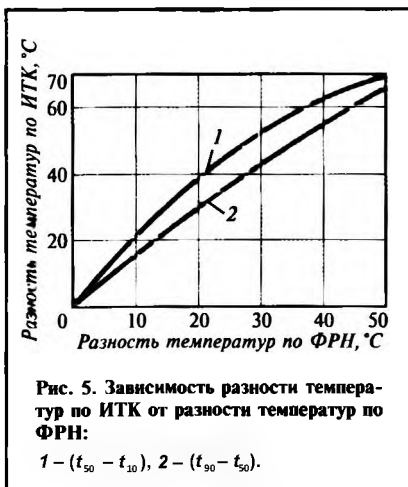


Рис. 5. Зависимость разности температур по ИТК от разности температур по ФРН:

1 —  $(t_{50} - t_{30})$ , 2 —  $(t_{90} - t_{50})$ .

Таблица 2

Нефтепродукт	Среднеквадратичное отклонение температуры выкипания при расчете ИТК по методу		
	БашНИИ НП	№ 1	№ 2
<b>Бензиновая фракция, °C</b>			
140–180	14,49	9,234	12,97
105–140	10,15	7,853	14,02
<b>Реактивное топливо ТС-1, образец</b>			
1	17,11	9,153	9,557
2	10,66	16,39	14,85
3	12,93	11,82	10,32
4	8,681	11,04	12,52
5	4,752	13,31	10,01
6	8,588	2,283	4,041
<b>Дизельное топливо, образец</b>			
1	26,97	15,78	16,61
2	19,94	18,66	10,09
3	11,93	17,46	18,11
4	20,09	11,72	3,913
<b>Фракция 220–280°C</b>			
	28,33	24,42	18,54

$$\begin{cases} \Delta t_{10}^{\text{ИТК}} = \Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} e^{-k_2 (1/9)^{n_2}} \\ \Delta t_{50}^{\text{ИТК}} = \Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} e^{-k_2} \\ \Delta t_{90}^{\text{ИТК}} = \Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} e^{-k_2 9^{n_2}} \end{cases} \quad (9)$$

где

$$\Delta t_{10}^{\text{ИТК}} = t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} - t_{30}^{\text{ИТК}}; \Delta t_{50}^{\text{ИТК}} = t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} - t_{50}^{\text{ИТК}};$$

$$\Delta t_{90}^{\text{ИТК}} = t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} - t_{90}^{\text{ИТК}}$$

После преобразований системы уравнений (9) получим выражения для вычисления параметров кривой ИТК:

$$\Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}} = \Delta t_{50}^{\text{ИТК}} / e^{-k_2}$$

где

$$k_2 = -\ln(\Delta t_{10}^{\text{ИТК}} / \Delta t_{50}^{\text{ИТК}}) / \left[ (1/9)^{n_2} - 1 \right]$$

$$n_2 = \frac{\ln \left[ -\ln(\Delta t_{90}^{\text{ИТК}} / \Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}}) \right] - \ln k_2}{\ln 9}$$

Параметры кривой ИТК  $\Delta t_{\text{н.к.}}^{\text{ИТК}}$ ,  $k_2$  и  $n_2$  определяют методом итераций.

Но основе этих исследований по приведенным выше методикам построены кривые ИТК и проведена их экспериментальная проверка. По результатам проверки определены среднеквадратичные отклонения температур выкипания нефтепродуктов (табл. 2). Как видно, благодаря учету динамических погрешностей измерения температуры среднеквадратичные от-

клонения несколько снизились. Такой результат можно признать вполне приемлемым, учитывая фактическую воспроизводимость выполнения кривых ФРН и ИТК согласно ГОСТу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсосбережение, энергосбережение и компьютеризация в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Труды МНПК РЭК Нефтехим. Новополюцк, ПГУ, 1998. — 252 с.
2. Александров И. А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. М., Химия, 1981. — 361 с.
3. Рабинович Г. Г., Рябых П. М., Хохлаков П. А. и др. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник. М., Химия, 1979. — 568 с.
4. Маноян А. К., Хачатурова Д. А., Лозин В. В. Лабораторная перегонка и ректификация нефтяных смесей. М., Химия, 1984. — 240 с.
5. Илембитова Р. Н. и др. — Труды БашНИИ НП, 1975, вып. 14, с. 122–123.
6. Димуду И. А., Жаркова О. Н., Абаев Г. Н. и др. — Известия вузов. Химия и химическая технология, 1995, т. 38, № 1–2, с. 136.
7. Абаев Г. Н., Жаркова О. Н., Димуду И. А. и др. — Химическая промышленность, 1995, № 1, с. 29.
8. Жаркова О. Н., Димуду И. А., Абаев Г. Н. и др. — ХТТМ, 1995, № 5, с. 38.
9. Димуду И. А., Жаркова О. Н., Абаев Г. Н. и др. — Вести ПГУ, 1995, т. 1, № 1, с. 82.
10. Dimidu I. A., Jarkova O. N., Abaev G. N. — Inzynieria Chemiczna i Procesowa, 1996, v. 17, N 4, p. 635.
11. Димуду И. А. Канд. Дис. Новополюцк, ПГУ, 1996.
12. Спиридинов А. В., Жаркова О. Н., Абаев Г. Н. и др. — ХТТМ, 1998, № 4, с. 41–43.

Полоцкий государственный университет