

УДК 66.048

## МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА РИАЗИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРИВЫХ РАЗГОНКИ НЕФТИ И НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ

*С.С. ДЕМЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. С.М. ТКАЧЕВ*

*Проведен анализ современных методов прогнозирования кривых разгонки нефти и её фракций. Предложен вариант модификации метода Риази. Предлагаемый вариант модификации обеспечивает повышение точности прогнозирования как температур начала и конца кипения, так и промежуточных точек во всем диапазоне температур выкипания. Разработаны алгоритмы и программа расчета. Выполнен сравнительный анализ результатов прогнозирования кривых разгонки различных нефтей и нефтяных фракций, полученных с помощью рассмотренных методик, в том числе используемых в общепризнанных зарубежных программных продуктах.*

Одной из основных характеристик нефти и её фракций наряду с плотностью, содержанием серы, давлением насыщенных паров является фракционный состав. На основании данных о фракционном составе определяется направление переработки нефти, разрабатываются математические модели для проектирования новых установок, производится анализ работы действующих установок АТ, АВТ, фракционирования, блоков разделения продуктов установок гидроочистки, риформинга, изомеризации и др.

В зависимости от направления использования данных по фракционному составу они могут быть получены по различным методикам.

Так, для разработки математической модели при проектировании новых установок или анализа работы действующих необходимо располагать данными по истинной температуре кипения (ИТК), определёнными в соответствии со стандартом ASTM-D 2892 для атмосферной перегонки и стандартом ASTM-D 5236 для вакуумной перегонки.

К сожалению, анализы ИТК дистилляции нефти являются дорогостоящими и продолжительными по времени. Один анализ определения ИТК нефти может длиться 24 часа, поэтому он не может быть использован в качестве инструмента ежедневного мониторинга работы установок.

В связи с этим для проведения аналитического контроля по фракционному составу сырья, получаемых продуктов и полупродуктов на действующих установках НПЗ используют более «простые» методики: ASTM-D 86 – для светлых нефтепродуктов; ASTM-D 1160 – для темных. Данные о конце и начале кипения, полученные по этим методикам, нельзя в полной мере считать достоверными, так как они сильно зависят от скорости нагрева пробы и охлаждения паров. Кроме того, иногда требуется проведение интерполяции или экстраполяции уже имеющихся данных лабораторного анализа.

Также актуальной задачей является предсказание фракционного состава компаундированных топлив до проведения процесса компаундирования, то есть на основании данных о фракционном составе компонентов предсказать фракционный состав полученного продукта.

Все эти задачи можно решить при помощи прогнозирования поведения кривых разгонки нефти и её фракций.

**Анализ существующих методов прогнозирования фракционной разгонки.** Согласно проведенному авторами литературному обзору на данный момент наиболее прогрессивными методами прогнозирования поведения кривой разгонки нефти и её фракций являются следующие:

- кубический сплайн;
- канонический полином;
- метод М. Риази.

Суть метода построения кривой разгонки нефти и её фракции *методом кубического сплайна* заключается в следующем. Интервал интерполяции разбивается на небольшие отрезки, на каждом из которых функция задается полиномом третьей степени. Коэффициенты полинома подбираются таким образом, чтобы выполнялись определенные условия (какие именно, зависит от способа интерполяции). Общие для всех типов сплайнов третьего порядка требования – непрерывность функции и, разумеется, прохождение через предписанные ей точки. Основными достоинствами сплайн-интерполяции являются её устойчивость и малая трудоемкость [1]. Системы линейных уравнений, которые требуется решать для построения сплайнов, хорошо обусловлены, что позволяет получать коэффициенты полиномов с высокой точностью. В результате даже при очень больших количествах интервалов вычислительная схема не теряет устойчивость.

На рисунке 1 представлены результаты прогнозирования поведения кривой разгонки фракции 240...340 °С методом кубических сплайнов (табл. 1, набор данных Б).

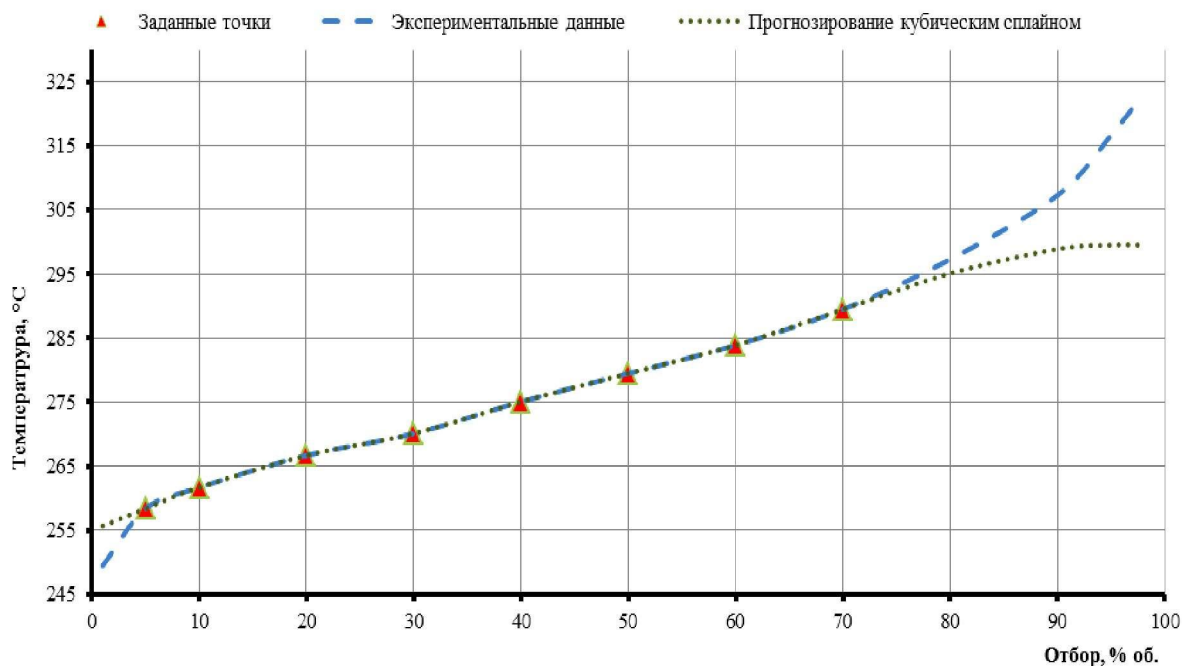


Рис. 1. Прогнозирование поведения кривой разгонки методом кубического сплайна

Как видно, данный метод позволяет с высокой степенью точности производить интерполяцию имеющихся данных, в то же время возможности экстраполяции сильно зависят от равномерности распределения экспериментальных точек.

Так, добавление к набору данных точки 90 % дистилляции значительно улучшает качество прогнозирования поведения кривой разгонки в области конца кипения (рис. 2).

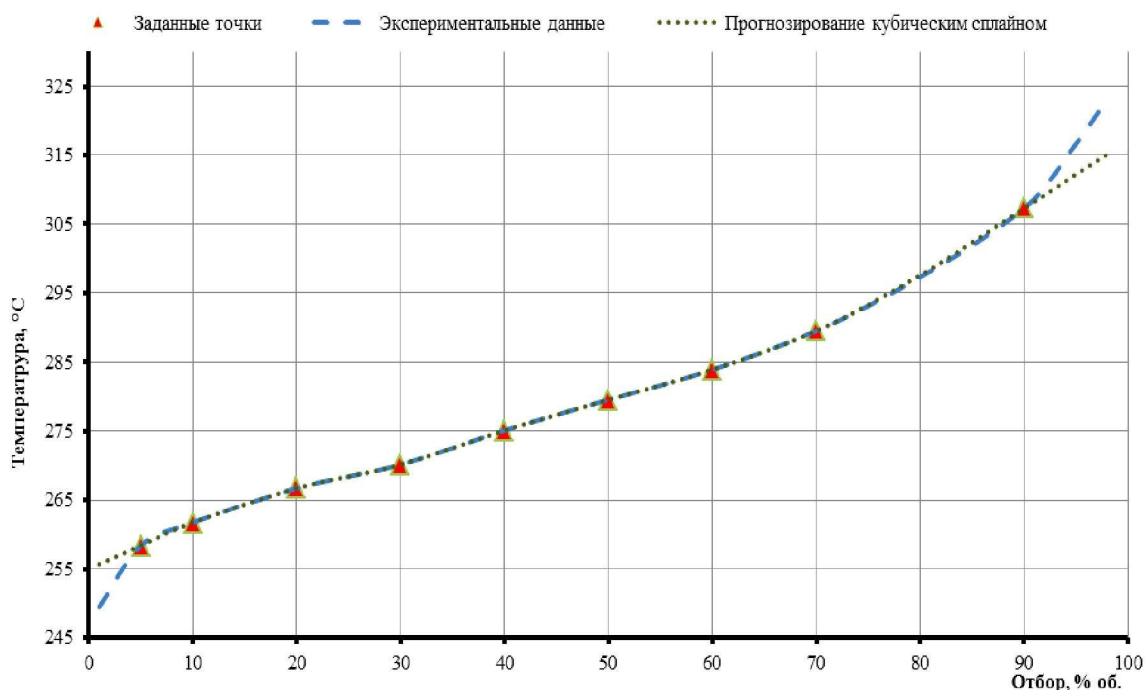


Рис. 2. Прогнозирование поведения кривой разгонки методом кубического сплайна с добавлением точки 90 % дистилляции

Данный подход используется в моделирующей программе Pro/II фирмы Invensys. Однако для прогнозирования начала и конца кипения ее разработчики используют фирменные алгоритмы фильтрации данных, отличающиеся от метода кубических сплайнов, которые в значительной степени позволяют им уйти от недостатков метода (табл. 1 набор данных Б, В), но полностью избавиться от зависимости в равномерном распределении экспериментальных данных все равно не удастся (табл. 1, набор данных Г).

Построение кривой разгонки методом *канонического полинома* заключается в следующем.

Через экспериментальные точки проводится полином вида:

$$f(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + \dots + a_n \cdot x^n.$$

Коэффициенты в данном полиноме находятся путем решения системы линейных уравнений. Максимальная степень полинома зависит от количества экспериментальных точек. Количество же точек, участвующих в определении коэффициентов полинома, при заданной степени полинома, должно отвечать минимальному отклонению полученных точек от экспериментальных и может быть определено методом наименьших квадратов [1]. Достоинства и недостатки данного метода аналогичны прогнозированию кубическим сплайном.

Для прогнозирования поведения кривой разгонки нефти и её фракций Риази предложил использовать зависимость следующего вида [2]:

$$\frac{T - T_0}{T_0} = \left( \frac{A}{B} \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - x} \right) \right), \quad (1)$$

где  $T$  – температура кипения на кривой дистилляции, соответствующая объёмному или массовому выходу  $x$ , К;  $T_0$  – температура начала кипения нефти или её фракции, К;  $A$  и  $B$  – коэффициенты в уравнении.

В случае отсутствия данных по температуре начала кипения подбор параметров  $A$ ,  $B$  и определение  $T_0$  осуществляется *итерационным методом* в следующей последовательности:

1) задаемся значением  $T_0$ , в результате чего уравнение Риази сводится к уравнению вида:

$$Y = C1 + C2 \cdot X, \quad (2)$$

$$Y = \ln \left( \frac{T - T_0}{T_0} \right), \quad (3)$$

$$X = \ln \ln \left( \frac{1}{1 - x} \right); \quad (4)$$

2) на основании экспериментальных данных и принятого значения температуры начала кипения методом линейной регрессии определяют значение коэффициентов  $C1$  и  $C2$ ;

3) из коэффициентов  $C1$  и  $C2$  рассчитываются коэффициенты  $A$  и  $B$  по формулам:

$$B = 1/C2, \quad (5)$$

$$A = B \cdot \exp(C1 \cdot B); \quad (6)$$

4) по найденным коэффициентам  $A$ ,  $B$  и принятой температуре начала кипения  $T_0$ , используя уравнение Риази, рассчитывают температуры кипения для экспериментальных значений  $x$ ;

5) находят отклонение рассчитанных значений от экспериментальных, если полученное значение отклонений больше принятой точности или полученной на предыдущем шаге итерации, принимают новое значение начальной температуры кипения и расчет повторяют.

Достоинство данного подхода заключается в том, что предложенная зависимость наиболее соответствует виду кривых, получаемых при экспериментальной разгонке нефти и её фракций [2].

На рисунке 3 представлены результаты прогнозирования поведения кривой разгонки фракции 240...340 °С методом Риази (табл. 1, набор данных Б).

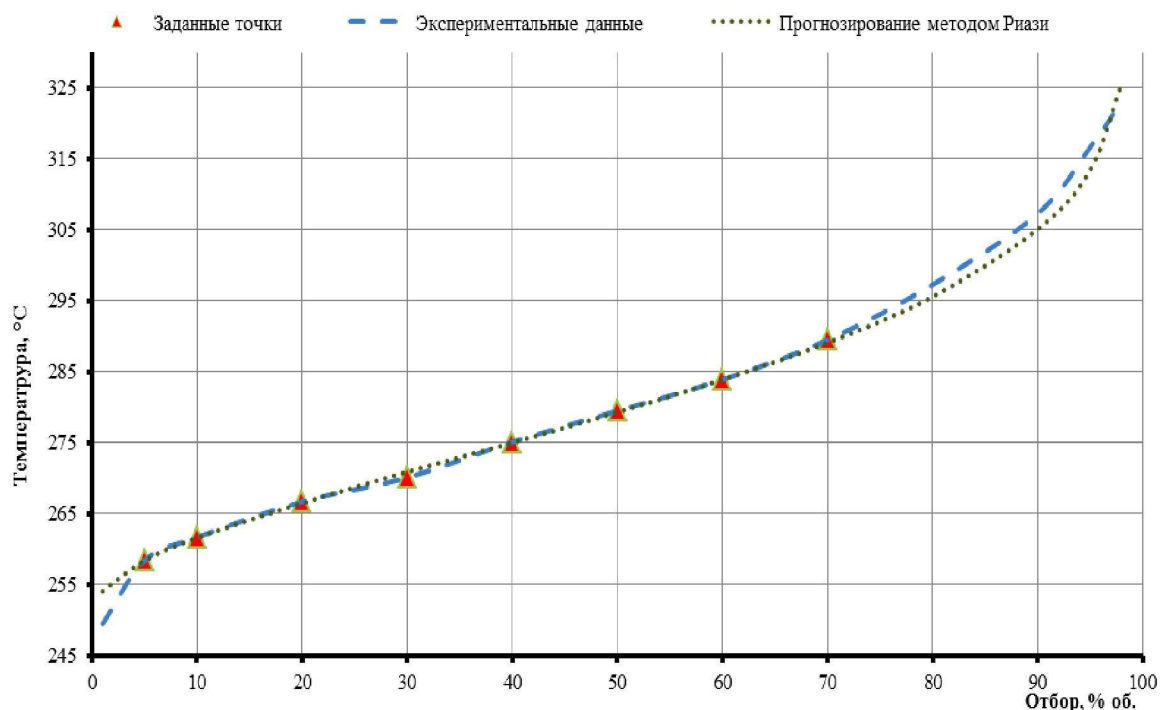


Рис. 3. Прогнозирование поведения кривой разгонки методом Риази

Как видно, данная зависимость позволяет достаточно точно прогнозировать поведение кривой разгонки в независимости от равномерности распределения экспериментальных точек. Недостатком же метода является то, что полученная кривая непосредственно не проходит через имеющиеся экспериментальные точки, а лишь приближается к ним (см. табл. 1). Таким образом, это накладывает определенные ограничения на точность получаемых результатов.

Также следует отметить, что согласно методу, описанному Риази, при определении температуры начала кипения используются все экспериментальные данные, в том числе и о конце кипения.

По нашему мнению, данный подход не совсем оправдан и логичнее при определении температуры начала кипения было бы использовать ближайшие точки, а не все данные.

**Модификация метода прогнозирования фракционной разгонки.** На основании проведенного анализа, учета достоинств и недостатков существующих методов прогнозирования кривой разгонки нефти и её фракций, предлагаем модифицировать метод прогнозирования кривой разгонки, основанный на подходах М. Риази.

Суть предлагаемых изменений заключается в следующем:

- определение температуры начала кипения ведется не на основании всего набора экспериментальных данных, а на основании ближайших точек к началу кипения, что позволит увеличить точность прогнозирования поведения кривой разгонки в области начала кипения нефтяной фракции;

- коэффициенты  $A$  и  $B$  в уравнении (1) рассчитываются для каждой пары экспериментальных точек, что позволит увеличить точность интерполирования, и, кроме того, полученная кривая разгонки будет проходить через все заданные экспериментальные точки.

Например, мы имеем данные по температурам кипения для 10, 30, 50, 70 и 90 % выкипания нефтяной фракции. Таким образом, для определения температуры начала кипения используются точки 10, 30 и 50 %. Далее, на основании определенной температуры начала кипения рассчитываются коэффициенты  $A$  и  $B$  для каждой из пар экспериментальных точек: 10 и 30 %, 30 и 50 %, 50 и 70 %, 70 и 90 %.

Так как коэффициенты  $A$  и  $B$  подбираются для каждой пары точек и остальные экспериментальные точки не участвуют в их определении, то для каждой пары мы получаем свою собственную кривую, которая наиболее точно характеризует поведение общей кривой разгонки в данном интервале и непосредственно проходит через узловые точки.

Таблица 1

Прогнозирование поведения кривой разгонки дизельной фракции 240...340 °С, подвергнутой дистилляции по ASTM-D 86

Экспериментальные данные		Набор данных А (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 %)						Набор данных Б (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 %)					
Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Риази		Nafta		Pro/II		Риази		Nafta		Pro/II	
		Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.
1	249,5	255,1	5,6	254,5	5,0	251,8	2,3	254,1	4,6	253,9	4,4	251,8	2,3
5	258,4	258,5	0,1	258,4	0,0	258,4	0,0	258,4	0,0	258,4	0,0	258,4	0,0
10	261,7	261,5	0,2	261,7	0,0	261,7	0,0	261,6	0,1	261,7	0,0	261,7	0,0
20	266,7	266,4	0,3	266,7	0,0	266,7	0,0	266,5	0,2	266,7	0,0	266,7	0,0
30	270,1	270,7	0,6	270,1	0,0	270,1	0,0	270,9	0,8	270,1	0,0	270,1	0,0
40	275,1	275	0,1	275,1	0,0	275,1	0,0	275	0,1	275,1	0,0	275,1	0,0
50	279,5	279,4	0,1	279,5	0,0	279,5	0,0	279,3	0,2	279,5	0,0	279,5	0,0
60	283,9	284,2	0,3	283,9	0,0	283,9	0,0	283,9	0,0	283,9	0,0	283,9	0,0
70	289,5	289,8	0,3	289,5	0,0	289,5	0,0	289,1	0,4	289,5	0,0	289,5	0,0
80	297,3	296,8	0,5	297,3	0,0	297,3	0,0	295,6	1,7	296,5	0,8	293,4	3,9
90	307,3	307,3	0,0	307,3	0,0	307,3	0,0	305,1	2,2	307	0,3	304,7	2,6
95	316,7	316,5	0,2	316,7	0,0	316,7	0,0	313,5	3,2	316,2	0,5	317,3	0,6
98	323,1	331	7,9	327,9	4,8	329,7	6,6	325,8	2,7	327,1	4,0	325,7	2,6
Среднее отклонение:			1,25		0,75		0,68		1,25		0,77		0,92
Экспериментальные данные		Набор данных В (10, 30, 50 %)						Набор данных Г (30, 50, 70 %)					
Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Риази		Nafta		Pro/II		Риази		Nafta		Pro/II	
		Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.	Т, °С	отклон.
1	249,5	259,1	9,6	257,3	7,8	248,9	0,6	241,1	8,4	246,9	2,6	235,9	13,6
5	258,4	259,6	1,2	259,4	1,0	255,5	2,9	253,3	5,1	253,6	4,8	246,1	12,3
10	261,7	261,7	0,0	261,7	0,0	261,7	0,0	258,1	3,6	258,3	3,4	256,8	4,9
20	266,7	265,8	0,9	265,9	0,8	267,8	1,1	264,7	2,0	264,8	1,9	266,8	0,1
30	270,1	270,0	0,1	270,1	0,0	270,1	0,0	270,0	0,1	270,1	0,0	270,1	0,0
40	275,1	274,5	0,6	274,5	0,6	273,9	1,2	274,8	0,3	274,9	0,2	273,9	1,2
50	279,5	279,5	0,0	279,5	0,0	279,5	0,0	279,5	0,0	279,5	0,0	279,5	0,0
60	283,9	285,4	1,5	285,2	1,3	285,0	1,1	284,3	0,4	284,3	0,4	285,3	1,4
70	289,5	292,5	3,0	292,1	2,6	288,9	0,6	289,5	0,0	289,5	0,0	289,5	0,0
80	297,3	302,1	4,8	301,3	4,0	291,8	5,5	295,7	1,6	295,7	1,6	291,2	6,1
90	307,3	317,5	10,2	316,0	8,7	302,1	5,2	304,4	2,9	304,5	2,8	303,7	3,6
95	316,7	332,1	15,4	329,8	13,1	312,7	4,0	311,7	5,0	311,2	5,5	314,9	1,8
98	323,1	359,8	36,7	347,0	23,9	320,4	2,7	325,3	2,2	320,1	3,0	322,9	0,2
Среднее отклонение:			6,46		4,91		1,92		2,43		2,02		3,48

На рисунке 4 представлены результаты прогнозирования поведения кривой разгонки фракции 240...340 °С модифицированным методом Риизи (табл. 1 набор данных Б).

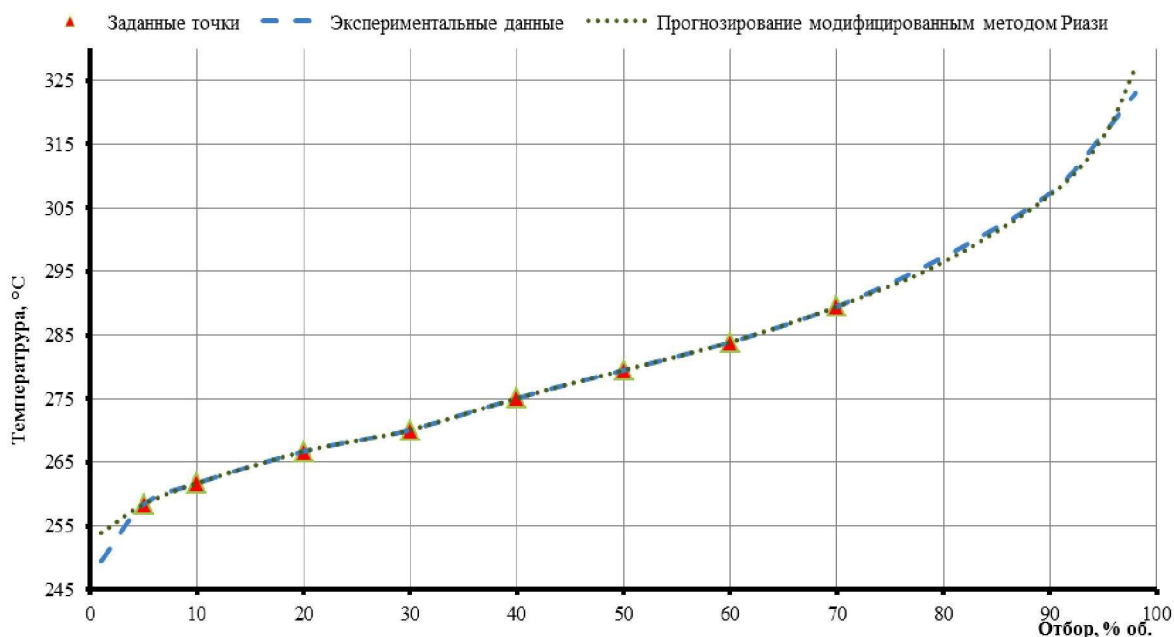


Рис. 4. Прогнозирование поведения кривой разгонки модифицированным методом Риизи

Из рисунка 4 видно, что предлагаемые авторами изменения позволяют увеличить точность получаемых расчетных данных по сравнению с оригинальным методом как между экспериментальными точками, так и за их пределами.

Принимая во внимание то, что для проведения расчетов по предлагаемой методике требуется выполнение большого количества вычислительных операций, она была включена в программу «Nafta», разрабатываемую авторами. Данная программа позволяет производить различные варианты расчётов фазового равновесия пар – жидкость на основании уравнений состояния Пенга – Робинсона и Соава – Редлиха – Квонга, теплофизических свойств, таких как энтальпия пара и жидкости, изохорная и изобарная теплоёмкость, плотность пара и жидкости, имеет базу данных по теплофизическим свойствам для более чем 1600 индивидуальных компонентов, позволяет задавать нефти и их фракции как псевдокомпонентами, так и с помощью разгонок, полученных различными методами.

В таблице 1 представлены результаты прогнозирования кривой разгонки дизельной фракции 240...340 °С по ASTM-D 86 оригинальным методом Риизи, методом авторов (программа «Nafta») и программой PRO/II v.8.3.3.

Для прогнозирования поведения кривой разгонки были использованы различные количества экспериментальных точек (наборы данных, используемые точки указаны в скобках рядом с названием набора).

Из представленных в таблице 1 данных видно:

- предлагаемый авторами метод прогнозирования поведения кривой разгонки нефти и её фракций позволяет получать расчетные данные с более высокой точностью, чем оригинальный метод Риизи;
- полученная кривая разгонки проходит через все заданные экспериментальные точки, что увеличивает точность проведения интерполяции;
- использование ближайших точек для определения начальной температуры кипения, а не всего набора данных позволило увеличить точность прогнозирования поведения кривой разгонки в области начала кипения по сравнению с оригинальной методикой;
- точность полученных данных соизмерима с точностью фирменных алгоритмов, применяемых в программе PRO/II v.8.3.3.

Для оценки стабильности получаемых результатов по предлагаемой методике были произведены расчеты по прогнозированию кривой разгонки различных нефтей и фракций, получаемых из них.

В таблице 2 представлены результаты расчета прогнозирования поведения кривых разгонок для двух проб нефтей и фракций, полученных из них. Первая проба нефти имеет плотность 825 кг/м<sup>3</sup> при 20 °С, вторая 890 кг/м<sup>3</sup> при 20 °С.

Таблица 2

Прогнозирование поведения кривых разгонок нефтей и их фракций

Нефть проба 1 (ASTM D5307)								Фракция 100...150 °С нефть проба 1 (ASTM D86)							
Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 70, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 60, 80 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 80, 90, 95 %)		Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 70, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 60, 80 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 80, 90, 95 %)	
Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.
5	68,8	69,0	0,2	65,0	3,8	68,8	0,0	5	114,8	114,3	0,5	114,3	0,5	114,8	0,0
10	91,0	91,0	0,0	87,1	3,9	91,0	0,0	10	116,1	116,1	0,0	116,1	0,0	116,1	0,0
20	124,7	125,0	0,3	124,7	0,0	125,0	0,3	20	119,0	118,9	0,1	119,0	0,0	119,0	0,0
30	155,7	155,7	0,0	158,3	2,6	158,5	2,8	30	121,2	121,2	0,0	121,3	0,1	121,3	0,1
40	191,8	192,2	0,4	191,8	0,0	192,7	0,9	40	123,6	123,6	0,0	123,6	0,0	123,6	0,0
50	231,6	231,6	0,0	229,5	2,1	229,0	2,6	50	126,2	126,2	0,0	126,1	0,1	126,1	0,1
60	271,6	271,7	0,1	271,6	0,0	269,3	2,3	60	129,0	128,9	0,1	129,0	0,0	128,7	0,3
70	318,7	318,7	0,0	318,3	0,4	316,8	1,9	70	132,0	132,0	0,0	131,9	0,1	131,7	0,3
80	377,7	372,2	5,5	377,7	0,0	377,7	0,0	80	135,5	135,4	0,1	135,5	0,0	135,5	0,0
90	452,1	452,1	0,0	468,2	16,1	452,1	0,0	90	140,3	140,3	0,0	140,8	0,5	140,3	0,0
95	506,1	522,7	16,6	549,5	43,4	506,1	0,0	95	144,0	144,5	0,5	145,3	1,3	144,0	0,0
Среднее отклонение:			<b>2,10</b>		<b>6,57</b>		<b>0,98</b>	Среднее отклонение:			<b>0,12</b>		<b>0,24</b>		<b>0,07</b>
Фракция 250...300 °С нефть проба 1 (ASTM D86)								Фракция 402...461 °С нефть проба 1 (ASTM D1160)							
Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 70, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 60, 80 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 80, 90, 95 %)		Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 70, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 60, 80 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 80, 90, 95 %)	
Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.
5	270,2	270,0	0,2	269,3	0,9	270,2	0,0	5	375,0	391,5	16,5	387,1	12,1	375,0	0,0
10	270,6	270,6	0,0	270,0	0,6	270,6	0,0	10	394,7	394,7	0,0	391,0	3,7	394,7	0,0
20	271,3	271,9	0,6	271,3	0,0	271,3	0,0	20	397,9	399,3	1,4	397,9	0,0	397,9	0,0
30	273,3	273,3	0,0	272,6	0,7	272,3	1,0	30	403,7	403,7	0,0	404,9	1,2	408,3	4,6
40	274,0	274,4	0,4	274,0	0,0	273,5	0,5	40	412,4	410,9	1,5	412,4	0,0	417,2	4,8
50	275,7	275,7	0,0	275,7	0,0	275,0	0,7	50	419,6	419,6	0,0	419,7	0,1	425,6	6,0
60	277,7	277,7	0,0	277,7	0,0	276,9	0,8	60	428,0	429,5	1,5	428,0	0,0	434,0	6,0
70	280,2	280,2	0,0	280,0	0,2	279,4	0,8	70	442,2	442,2	0,0	438,8	3,4	442,8	0,6
80	283,1	283,0	0,1	283,1	0,0	283,1	0,0	80	453,0	450,8	2,2	453,0	0,0	453,0	0,0
90	287,4	287,4	0,0	288,0	0,6	287,4	0,0	90	463,3	463,3	0,0	475,5	12,2	463,3	0,0
95	291,2	291,5	0,3	292,8	1,6	291,2	0,0	95	474,6	474,0	0,6	496,5	21,9	474,6	0,0
Среднее отклонение:			<b>0,15</b>		<b>0,42</b>		<b>0,35</b>	Среднее отклонение:			<b>2,15</b>		<b>4,96</b>		<b>2,00</b>

Фракция 20...100 °С нефть проба 2 (ASTM D86)								Фракция 150...200 °С нефть проба 2 (ASTM D86)							
Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 70 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 90, 95 %)		Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 70 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 90, 95 %)	
Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.
5	64,1	63,7	0,4	63,4	0,7	64,1	0,0	5	160,5	160,3	0,2	160,3	0,2	160,5	0,0
10	66,2	66,2	0,0	65,6	0,6	66,2	0,0	10	161,8	161,8	0,0	161,8	0,0	161,8	0,0
20	69,4	69,6	0,2	69,4	0,0	69,4	0,0	20	164,3	164,3	0,0	164,3	0,0	164,3	0,0
30	72,6	72,6	0,0	72,6	0,0	72,4	0,2	30	166,7	166,7	0,0	166,6	0,1	164,5	2,2
40	75,9	75,9	0,0	75,9	0,0	75,2	0,7	40	169,0	167,0	2,0	169,0	0,0	168,8	0,2
50	79,4	79,4	0,0	79,2	0,2	78,2	1,2	50	171,4	171,4	0,0	171,5	0,1	171,2	0,2
60	83,0	82,6	0,4	82,8	0,2	81,5	1,5	60	174,4	174,1	0,3	174,3	0,1	173,9	0,5
70	86,9	86,1	0,8	86,9	0,0	85,2	1,7	70	177,5	177,2	0,3	177,5	0,0	177,0	0,5
90	97,0	97,0	0,0	99,7	2,7	97,0	0,0	90	187,3	187,3	0,0	188,0	0,7	187,3	0,0
95	100,9	102,5	1,6	106,5	5,6	100,9	0,0	95	191,5	192,7	1,2	193,7	2,2	191,5	0,0
Среднее отклонение:			<b>0,34</b>		<b>1,00</b>		<b>0,53</b>	Среднее отклонение:			<b>0,40</b>		<b>0,34</b>		<b>0,36</b>
Фракция 300...343 °С нефть проба 2 (ASTM D86)								Фракция 461...510 °С нефть проба 2 (ASTM D1160)							
Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 70 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 90, 95 %)		Экспериментальные данные		Набор данных А (10, 30, 50, 90 %)		Набор данных Б (20, 40, 70 %)		Набор данных В (5, 10, 20, 90, 95 %)	
Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Отбор % об.	Температура выкипания, °С	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.	Т, °С	откл.
5	314,6	314,9	0,3	314,3	0,3	314,6	0,0	5	440,4	439,7	0,7	464,9	24,5	440,4	0,0
10	315,5	315,5	0,0	315,0	0,5	315,5	0,0	10	446,8	446,8	0,0	465,6	18,8	446,8	0,0
20	316,2	316,5	0,3	316,2	0,0	316,2	0,0	20	467,3	458,9	8,4	467,3	0,0	467,3	0,0
30	317,5	317,5	0,0	317,4	0,1	317,3	0,2	30	470,1	470,1	0,0	469,3	0,8	471,5	1,4
40	318,7	318,7	0,0	318,7	0,0	318,5	0,2	40	471,9	471,3	0,6	471,9	0,0	475,1	3,2
50	320,2	320,2	0,0	320,1	0,1	319,9	0,3	50	472,3	472,3	0,0	475,0	2,7	478,4	6,1
60	321,7	321,7	0,0	321,8	0,1	321,4	0,3	60	477,8	476,5	1,3	479,0	1,2	481,6	3,8
70	323,8	323,6	0,2	323,8	0,0	323,4	0,4	70	484,5	481,1	3,4	484,5	0,0	485,0	0,5
90	330,2	330,2	0,0	330,8	0,6	330,2	0,0	90	493,9	493,9	0,0	506,8	12,9	493,9	0,0
95	333,2	334,0	0,8	334,8	1,6	333,2	0,0	95	494,1	499,9	5,8	521,8	27,7	494,1	0,0
Среднее отклонение:			<b>0,16</b>		<b>0,33</b>		<b>0,14</b>	Среднее отклонение:			<b>2,02</b>		<b>8,86</b>		<b>1,50</b>

**Закключение.** На основании представленных в таблице 2 данных можно утверждать следующее:

- предлагаемый авторами метод прогнозирования позволяет производить расчет кривых разгонки нефти и её фракций, полученных по различным методикам;
- метод дает хорошие результаты как для тяжелых, так и для легких нефтей;
- точность данных, полученных для узких фракций, выше, чем для широких;
- для повышения точности расчетов желательно иметь данные о поведении кривой разгонки в области начала и конца кипения;
- метод позволяет достаточно точно прогнозировать поведение кривой разгонки нефти в независимости от равномерности распределения экспериментальных данных.

Предлагаемый метод может быть полезен:

- для прогнозирования поведения кривой разгонки нефти и её фракций при разработке математической модели новых установок или анализа работы действующих;
- при необходимости проведения интерполяции или экстраполяции уже имеющихся лабораторных данных;
- при предсказании фракционного состава компаундированных топлив, то есть на основании данных о фракционном составе входящих в них компонентов.

Получаемые по предлагаемому методу результаты хорошо соотносятся с экспериментальными данными и не уступают в точности методам, которые используются в общепризнанных зарубежных программных продуктах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, Б.А. Теплофизические свойства нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций / Б.А. Григорьев, Г.Ф. Богатов, А.А. Герасимов; под ред. Б.А. Григорьева. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 372 с.
2. Riazi, M.R. Characterization and properties of petroleum fractions / M.R. Riazi. – 1 st ed. P. cm. – (ASTM manual series: MNL50).

*Поступила 21.06.2012*

#### **MODIFICATION OF THE RIAZI'S METHOD FOR PREDICTION OF DISTILLATION CURVES FOR OIL AND PETROLEUM FRACTIONS**

***S. DEMCHENKO, S. TKACHEV***

*The analysis of modern methods for prediction of distillation curves for oil and petroleum fractions is carried out. Modification variant of Riazi's method is offered. The offered modification variant provides increase of accuracy of prediction of the initial boiling point and the final boiling point and also intermediate points in the whole boiling range. Algorithms and calculation program are developed. The comparative analysis of results of prediction of distillation curves for various crude oils and petroleum fractions, received with using of discussed methods, including techniques, used in avowed foreign software products, is made.*