

УДК 621.1.013: 665.644.2

**ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВНОГО СЫРЬЯ****ТАГИ-ЗАДЕ Ф.Н., АСКЕРОВА Э.Н., АГАМАЛИЕВ З.З.***Институт нефтехимических процессов НАН Азербайджана*

Представлена программа определения фазового состояния многокомпонентного углеводородного сырья каталитического крекинга на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications в операционной среде WINDOWS. Программа записана в виде макросов в «электронной таблице» Excel и позволяет определить фазовое состояние смеси заданного состава при указанном давлении и температуре, а также температуры начала и конца кипения смеси при известном давлении. Программа может найти применение для расчетов технологических процессов переработки нефти.

Для правильной эксплуатации реактора каталитического крекинга большое значение имеет знание агрегатного состояния сырья непосредственно перед его смешением с регенерированным катализатором [1].

Фазовый состав сырья непосредственно связан с такими технологическими параметрами, как поступление тепла в реактор крекинга и время контакта сырья с катализатором.

В установках каталитического крекинга с микросферическим катализатором сырье до ввода в узел смешения с регенерированным катализатором нагревается и частично или полностью переводится в парообразное состояние. При однократном испарении сложной углеводородной смеси доля отгона сырья (отношение мольного или весового количества пара к общему количеству молей или весу сырья, соответственно) зависит от температуры, давления и фракционного состава исходной смеси, а также от доли водяного пара (соотношения между мольными или весовыми расходами водяного пара и сырья), если он подается вместе с сырьем.

При расчетах следует предварительно выяснить агрегатное состояние сырья. Если окажется, что сырье находится в двухфазном состоянии, то затем определяется доля отгона, вес и состав паров сырья.

Возможны следующие состояния сырья каталитического крекинга перед его контактом с горячим регенерированным катализатором:

1. Жидкое при температуре  $t_{ж}$  более низкой, чем температура начала однократного испарения смеси – недогретая жидкость;
2. Жидкое при температуре  $t_{н}$  начала однократного испарения (кипения) смеси – насыщенная жидкость;
3. Паро-жидкостное при температуре  $t$  промежуточной между температурами  $t_{н}$  однократного испарения и  $t_{к}$  конца однократного испарения (кипения, насыщения или точки росы исходной смеси) – парожидкостная смесь;
4. Парообразное (насыщенные пары) при температуре  $t_{к}$  конца однократного испарения смеси – насыщенный пар;
5. Парообразное (перегретое) при температуре  $t_{п}$ , более высокой, чем  $t_{н}$  – перегретый пар.

Очевидно, что  $t_{ж} < t_{н} < t < t_{к} < t_{п}$ .

Со всеми приведенными случаями приходится иметь дело при проектировании новых установок каталитического крекинга и при проведении проверочных расчетов на действующих установках.

Агрегатное состояние смеси углеводородов или углеводородных фракций при температуре  $t$  и давлении  $\pi$ , далеких от критических, может быть определено по формулам, полученным на основе законов Рауля и Дальтона [2-3].

$$P_1\alpha'_1 + P_2\alpha'_2 + \dots + P_i\alpha'_i + \dots + P_n\alpha'_n = \sum P_i\alpha'_i = \pi \quad (1)$$

$$\alpha'_1/P_1 + \alpha'_2/P_2 + \dots + \alpha'_i/P_i + \dots + \alpha'_n/P_n = \sum \alpha'_i/P_i = 1/\pi \quad (2)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$  – давление насыщенных паров углеводородных компонентов или узких фракций, входящих в состав смеси, при заданной температуре  $t$  смеси, кПа;

$\pi$  – общее абсолютное давление в системе, кПа;

$\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_i, \dots, \alpha'_n$  – мольные (объемные) концентрации углеводородных компонентов или узких фракций, входящих в состав смеси;

$n$  – количество углеводородных компонентов сырья или узких фракций.

Подставив в левую часть уравнения (1) значения известных величин  $P_i$  и  $\alpha'_i$ , соответствующие заданной температуре и составу рассматриваемой смеси, и вычислив сумму парных произведений  $P_i\alpha'_i$ , сравниваем значение вычисленной суммы с величиной общего давления  $\pi$ .

В результате сопоставления может обнаружиться один из трех случаев:

1. Если  $\sum P_i\alpha'_i < \pi$ , то при заданных условиях (температуре  $t$  и давлении  $\pi$ ) смесь фракций представляет собой некипящую жидкость.
2. Если  $\sum P_i\alpha'_i = \pi$ , то жидкая смесь находится при температуре  $t_n$  начала кипения.
3. Если  $\sum P_i\alpha'_i > \pi$ , то смесь фракций находится или в двухфазном парожидкостном, или в парофазном состоянии, и для выяснения действительного фазового состояния следует дополнительно вычислить  $\sum \alpha'_i/P_i$ :
  - а) Если  $\sum \alpha'_i/P_i = 1/\pi$ , то смесь находится в парофазном насыщенном состоянии при температуре  $t_k$ ;
  - б) Если  $\sum \alpha'_i/P_i > 1/\pi$  и  $\sum P_i\alpha'_i > \pi$ , то смесь находится в парожидкостном состоянии;
  - в) Если  $\sum \alpha'_i/P_i < 1/\pi$ , то смесь находится в парообразном перегретом состоянии.

В данной статье приводится описание разработанной авторами программы определения фазового состояния сырья крекинга на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications (VBA) в операционной среде WINDOWS.[4-7] Программа записана в виде специального приложения - макросов в «электронной таблице» Excel, которая, в свою очередь, является составной частью распространенной прикладной программы Microsoft Office .

Авторами ранее была разработана аналогичная программа для определения количества тепла, уносимого дымовыми газами из регенератора промышленной установки каталитического крекинга [8].

Программа определения фазового состояния компонентов сырья состоит из следующих подпрограмм:

- ввода исходных данных из рабочего листа таблицы Excel в программу на языке VBA;
- вычисления необходимых параметров и определения фазового состояния;
- вывода информации о фазовом состоянии в тот же рабочий лист таблицы Excel.

Подпрограмма ввода данных задает исходную информацию для расчета и содержит следующие показатели:

- температура сырья  $t$ ;
- абсолютное давление сырья  $p$ .

Кроме того, в таблицу вводятся следующие параметры для каждой узкой фракции (или индивидуального компонента) исходной смеси:

- количество фракций  $n$ ;
- нижняя температура кипения  $t_{1i}$ ;
- верхняя температура кипения  $t_{2i}$ ;
- мольная (объемная) концентрация  $\alpha'_i$ .

Подпрограмма вычисления рассчитывает следующие параметры для отдельных фракций сырья и суммирует их:

- среднюю температуру кипения  $t_{срi}$ ;
- давление насыщенных паров  $P_i$ ;
- произведение мольной доли фракции на давление ее насыщенных паров  $P_i \alpha'_i$ ;
- частное от деления мольной доли фракции на давление ее насыщенных паров  $\alpha'_i / P_i$ .

Кроме того, в текущий рабочий лист выводится информация о фазовом состоянии сырья при заданной температуре и давлении.

Давление насыщенных паров фракций сырья (или отдельных углеводородов) определялось по формуле Ашворта [9], диапазон использования которой ограничен давлением 400 кПа (примерно 4 ата):

$$\lg(P - 3158) = 7,6715 - 2,68 \left[ \frac{f(T)}{f(T_{срi})} \right] \quad (3)$$

где  $P$  – давление насыщенных паров смеси компонентов сырья, кПа;

$T$  – температура кипения смеси компонентов сырья при заданном давлении,  $^{\circ}\text{K}$ ;

$T_{срi}$  – средняя температура кипения индивидуального компонента (узкой фракции) сырья при атмосферном давлении,  $^{\circ}\text{K}$

$f(T)$  – функция, зависящая от температуры  $T$  кипения смеси компонентов сырья:

$$f(T) = \frac{1250}{\sqrt{T^2 + 108000} - 307,6} - 1 \quad (4)$$

$f(T_{срi})$  – функция, зависящая от средней температуры кипения  $T_{срi}$  индивидуального компонента сырья при атмосферном давлении,  $^{\circ}\text{K}$ .

Имеет вид, аналогичный (4), но вместо  $T$  подставляется температура  $T_{срi}$ .

Блок-схема алгоритма программы определения фазового состояния сырья крекинга, в котором реализованы вышеизложенные условия, приведена на Рис.1.

На Рис.2. приводится листинг (текст) подпрограммы определения фазового состояния сырья и вывода сообщения об этом на алгоритмическом языке VBA 6.0, согласно блок-схеме алгоритма (отсутствует только процедура вычислений).

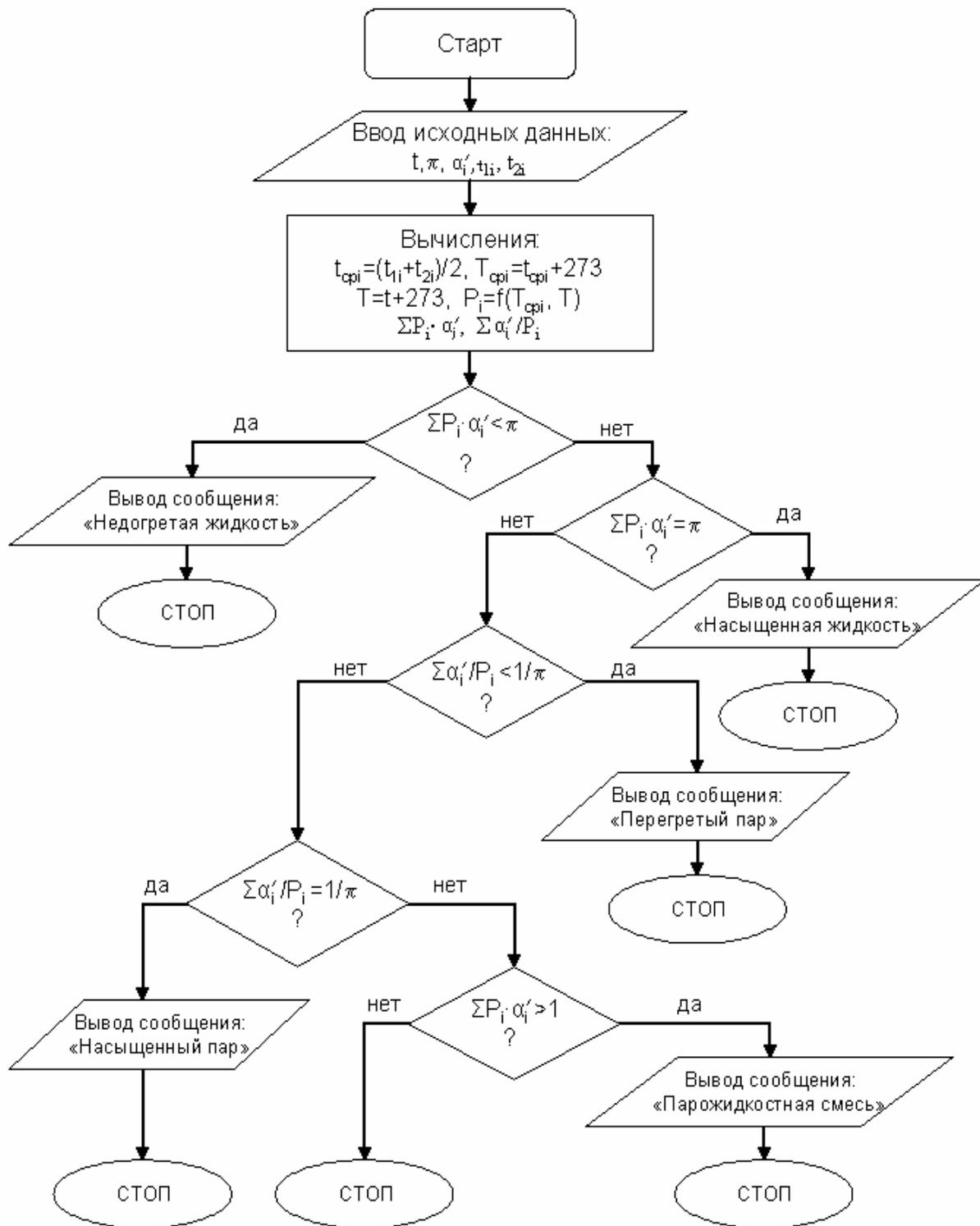


Рис.1. Блок-схема алгоритма программы определения фазового состояния сыря крекинга.

Sub myPhaseMsg()	' Подпрограмма определения фазового состояния ' сырья крекинга и вывода сообщения
If mySumP1A1 < P Then	'Проверка условия: сумма произведений давления ' насыщенного пара компонента смеси на мольную ' долю этого же компонента меньше ли внешнего ' давления?
myMsg1 = "недогретая жидкость"	'Если да, то вывод сообщения: "недогретая жидкость"
End If	'Если нет, то переход к проверке следующего условия
If mySumP1A1 = P Then	'Проверка условия: сумма произведений давления ' насыщенного пара компонента смеси на мольную долю
MyMsg1 = "насыщенная жидкость"	' этого же компонента равно ли внешнему давлению? 'Если да, то вывод сообщения: "насыщенная жидкость"
End If	'Если нет, то переход к проверке следующего условия
If mySumP1A1 > P Then	'Проверка условия: сумма произведений давления насыщенного пара компонента смеси на мольную долю
If mySumA1P1 < 1 / P Then	'этого же компонента больше ли внешнего давления? 'Проверка дополнительного условия: сумма частного от
MyMsg1 = "перегретый пар"	' деления мольной доли компонента смеси на величину
End If	' его давления насыщенного пара меньше ли обратной ' величины внешнего давления? 'Если да, то вывод сообщения: "перегретый пар"
If mySumA1P1 = 1 / P Then	'Если нет, то переход к проверке следующего ' дополнительного условия
MyMsg1 = "насыщенный пар"	'Проверка дополнительного условия: сумма частного от
End If	' деления мольной доли компонента смеси на величину
If mySumA1P1 > 1 / P Then	' его давления насыщенного пара равно ли обратной ' величине внешнего давления? 'Если да, то вывод сообщения: "насыщенный пар"
	'Если нет, то переход к проверке следующего ' дополнительного условия
	'Проверка дополнительного условия: сумма частного

```

' от деления мольной доли компонента смеси на
' величину его давления насыщенного пара больше
ли
' обратной величины внешнего давления?
MyMsg1 = "парожидкостная
смесь"
End If
'Если да, то вывод сообщения:"парожидкостная
смесь"
'Если нет, то выход из проверки дополнительного
'условия

End If
'Если нет, то выход из проверки условия

ActiveSheet.Cells(4,16).Value=myMs
g1
'Вывод сообщения о фазовом состоянии в ячейку
P4
'рабочего листа Excel

End Sub
' Завершение работы подпрограммы

```

Рис.2. Листинг подпрограммы определения фазового состояния сырья и вывода сообщения на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications 6.0.

Состав сырья крекинга – солярового дистиллята приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Температура начала кипения, °С	Температура конца кипения, °С	Мольная концентрация фракции, %	Средний молекулярный вес фракции, г	Давление насыщенных паров фракций, кПа
279	355	20,6969	216	645,2
355	387	17,8304	248	282,3
387	433	17,8400	286	145,4
433	492	24,7355	332	54,5
492	546	18,8972	414	17,6

В таблице 2 приведен результат работы программы – определение фазового состояния солярового дистиллята в зависимости от температуры смеси при неизменном давлении.

Таблица 2

Фазовое состояние	Недогретая жидкость	Насыщенная жидкость	Парожидкостная смесь	Насыщенный пар	Перегретый пар
Давление, КПа	Температура, °С				
50	менее 340,58	340,58	от 340,59 до 423,14	423,15	более 423,15
75	менее 362,39	362,39	от 362,40 до 443,66	443,67	более 443,67
100	менее 378,72	378,72	от 378,73 до 458,53	458,54	более 458,54
125	менее 391,94	391,94	от 391,95 до 470,38	470,39	более 470,39
150	менее 403,15	403,15	от 403,16 до 480,32	480,33	более 480,33

175	менее 412,93	412,93	от 412,94 до 488,93	488,94	более 488,94
200	менее 421,63	421,63	от 421,64 до 496,56	496,57	более 496,57
225	менее 429,51	429,51	от 429,52 до 503,43	503,44	более 503,44
250	менее 436,72	436,72	от 436,73 до 509,70	509,71	более 509,71
275	менее 443,37	443,37	от 443,38 до 515,48	515,49	более 515,49
300	менее 449,56	449,56	от 449,57 до 520,85	520,86	более 520,86
325	менее 455,36	455,36	от 455,37 до 525,85	525,86	более 525,86
350	менее 460,82	460,82	от 460,83 до 530,57	530,58	более 530,58
375	менее 465,98	465,98	от 465,99 до 535,02	535,03	более 535,03
400	менее 470,87	470,87	от 470,88 до 539,24	539,25	более 539,25

Для заданного давления смеси программа определяет температуры начала и конца кипения смеси методом последовательных приближений, пример такого расчета приведен на рис.3. Если же заданы температуры, то определяются давления, соответствующие температурам начала и конца кипения смеси (Рис.4).

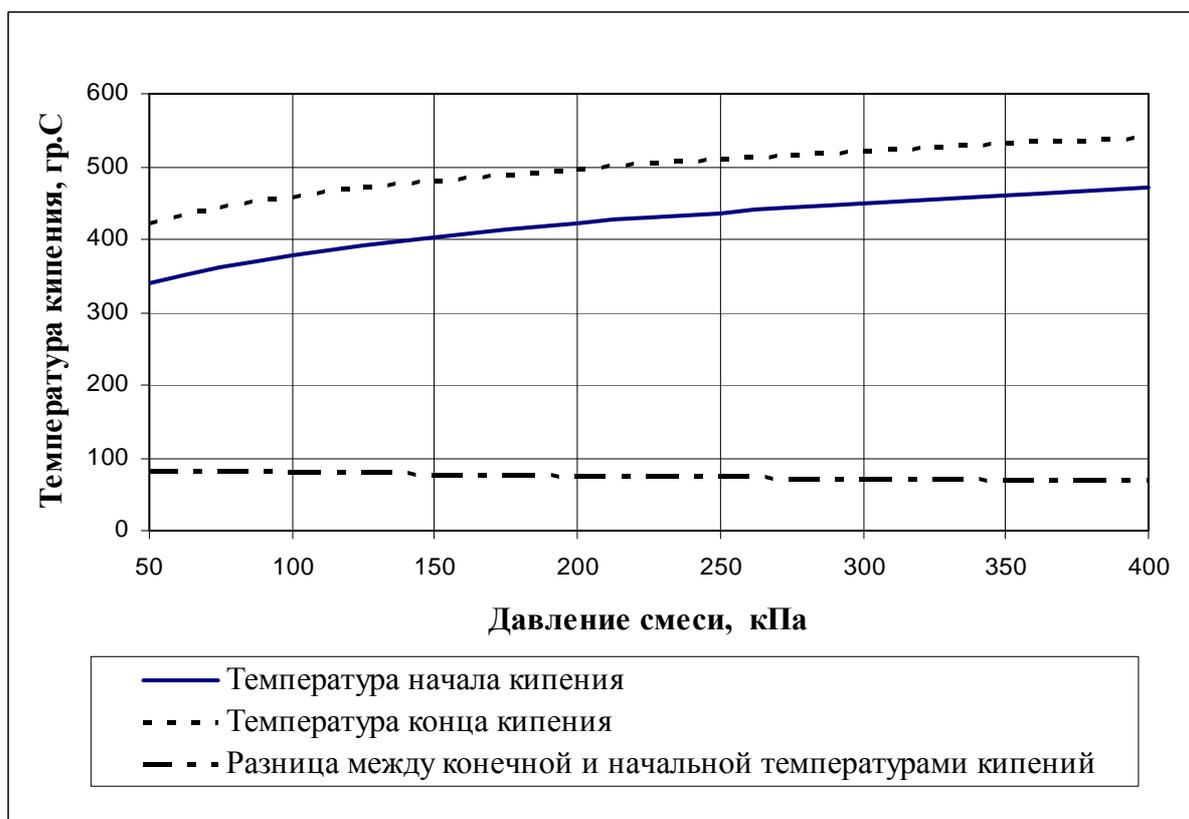


Рис.3. Зависимость температур кипения солярового дистиллята от давления.

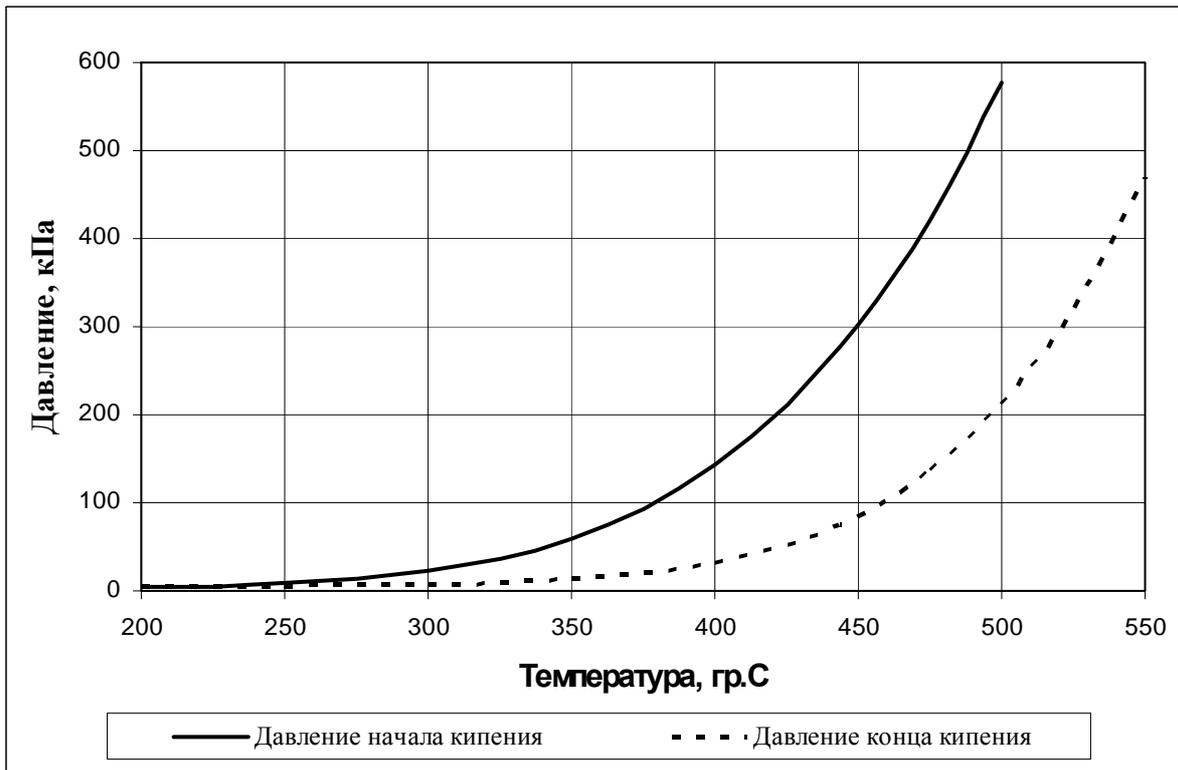


Рис. 4. Зависимость давления смеси солярового дистиллята от температуры

1. *Б.И.Бондаренко*, Установки каталитического крекинга, М., ГНТИ Н и ГТЛ, 1958, 304 с.
2. *С.В.Адельсон*, Процессы и аппараты нефтепереработки и нефтехимии, М., ГНТИ Нефтяной и горно-топливной литературы, 1963, 310 с.
3. *А.А.Кузнецов, С.М.Кагерманов, Е.Н.Судаков*, Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности, Л., Изд. "Химия", 1974, 344 с.
4. Microsoft Visual Basic 6.0 Programmer's Guide, USA, Microsoft Press, 1998, 992с.
5. M.Halvorson, M. Young, Running Microsoft office 97, USA, Microsoft Press, 1997, 1056 с.
6. Эд Ботт, Windows 95, М., «Бином», 416 с.
7. *Б. Андердал*. Самоучитель Windows 98, СПб. «Питер», 1998, 368 с.
8. *Ф.Н.Таги-Заде, Э.Н.Аскерова*, Программы расчета химико-технологических процессов на алгоритмическом языке Visual BASIC в операционной среде WINDOWS. Расчет количества тепла, уносимого дымовыми газами из регенератора каталитического крекинга, Технические и физические проблемы энергетики, I-ая Международная конференция, Баку 23-25 апреля 2002 г., с.515.
9. *Рабинович Г.Г., Рябых П.М., Хохряков П.А.* и др., Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник, М., Химия, 1979, с.115.

## TEKNOLOJİ PROSESLƏRİN HESABLANMA PROQRAMI. YANACAQ XAMMALININ FAZA HALININ TƏYİNİ

**TAGI-ZADƏ F.N., ƏSGƏROVA E.N., AĞAMALIYEV Z.Z.**

Operasion Windows mühitində alqoritmik Visual BASIC for Applications dilində katalitik krekinqin çoxkomponentli karbohidrogenli xammalının faza halını təyini etmək üçün proqram verilmişdir. Proqram makros şəklində Excel elektron cədvəlində yazılmış və verilən təzyiqlər və temperaturda xammalın verilən tərkibinin faza halını, eləcə də məlum

təzyiqdə qarışıqın qaynama başlanğıcı və sonunu təyin etməyə imkan verir. Program neft emalı texnoloji proseslərinin hesabı üçün tətbiq oluna bilər.

**THE CALCULATION PROGRAMS OF THE TECHNOLOGY PROCESSES.  
THE DEFINITION ON PHASE CONDITION OF FUEL CRUDE**

**TAGI-ZADE F.N., ASKEROVA E.N., AGAMALIYEV Z.Z.**

The program for definition of phase condition of multicomponent hydrocarbon catalytic cracking crude on the Visual BASIC algorithmic language in Windows operating system is given. The program is written as the macros in Excel spreadsheet and permits to define the phase conditions of given composition at given pressure and temperature and to define the beginning and end temperature of boiling mixture at fixed pressure. The program is applied to calculation of technology processes of oil refinery.