

УДК 622.692

**ВЯЗКОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «АСМОЛ»**

**VISCOSITY-TEMPERATURE CHARACTERISTIC OF INSULATORS
“ASMOL”**

Гладких И. Ф., Филимонов В. А., Пестриков С. В.
ООО НИЦ «Поиск», г. Уфа, Российская Федерация

I. F. Gladkikh, V. A. Filimonov, S. V. Pestrikov
LLC SRC “Poisk”, Ufa, Russian Federation

e-mail: srcpoisk@ufanet.ru

Аннотация: Представлены результаты исследований вязкостно-температурных характеристик нефтеполимера асмол. Установлены обобщенные зависимости между температурой и вязкостью расплава асмол.

Показано, что зависимость вязкости расплава асмол от его температуры хорошо описывается уравнением Рамайя К. С. Установлена связь между константами уравнения Рамайя К. С. и связь констант с температурой размягчения асмол. Предложено применение полученных соотношений для инженерных расчетов вязкости асмол с различными температурами размягчения от температуры расплава, расчетов по определению коэффициентов уравнения Рамайя К. С. и температуры размягчения асмол по вязкости его расплава.

Представлены примеры использования полученных уравнений для расчета температуры размягчения асмол и вязкости при различных значениях температуры.

Abstract: The results of studies viscosity-temperature characteristics Asmol. Established the generalized relationship between the temperature and the viscosity of the melt Asmol.

The dependence of the viscosity of the melt Asmol on its temperature is well described by the equation Ramaiah K. The relation between the constants of the equation Ramaiah K. and constant communication with softening point of Asmol. Provides for the use of these relations for engineering calculations Asmol viscosity of the melt temperature; for calculations to determine the coefficients of the equation Ramaiah K. and softening point of Asmol its melt viscosity.

The examples of the use of these equations to calculate Asmol softening point and viscosity at different temperatures.

Ключевые слова: изоляционный материал, нефтеполимер асмол, вязкостно-температурные характеристики, температура размягчения, динамическая вязкость.

Keywords: insulation, asmol, viscosity-temperature characteristics, softening point, dynamic viscosity.

При переизоляции магистральных газопроводов в трассовых условиях используют несколько видов защитных покрытий. Это покрытия на основе полимерно-мастичных лент, жидких термореактивных материалов и мастичных композиций горячего нанесения [1,2]. Наряду с существующими битумно-полимерными изоляционными материалами, в настоящее время активно внедряются защитные покрытия на основе нефтеполимера асмол.

Несмотря на широкое применение новых изоляционных материалов на основе асмол для защиты от коррозии подземных газонефтепроводов вязкостно-температурная характеристика асмол, необходимая для выявления условий его производства и применения, изучена к настоящему времени недостаточно [3]. Хотя асмол в первом приближении можно считать аналогом битума, он, в отличие от битума, содержит маслорастворимые сульфокислоты и другие ингибиторы коррозии металлов, которые образуют химическую связь с металлом на поверхности стальных труб, что резко увеличивает его защитные свойства [4]. Наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ) в составе асмол может влиять на реологическое поведение расплава асмол, в частности, на степень аномалии течения и особенности вязкостно-температурных кривых.

Измерение вязкости проводили на вискозиметре Брукфильда в диапазоне температур 110-200 °С для трех образцов асмол с температурами размягчения по методу КиШ 85, 103 и 105 °С. Третий образец асмол отличается от первых двух другим набором технологических добавок. Полученные данные приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Зависимость вязкости расплава асмола от температуры (образец № 1, температура размягчения 85 °С)

| № п/п | Температура расплава, °С | Напряжение сдвига, дин/см ² | Скорость сдвига, дин/см ² ·с | Вязкость, сПз | Среднее значение, сПз | Отклонение от среднего значения | |
|-------|--------------------------|--|---|---------------|-----------------------|---------------------------------|-------|
| | | | | | | сПз | % |
| 1 | 110 | 421,4 | 0,56 | 75250 | 75417 | ±222 | ±0,30 |
| 2 | 110 | 848,4 | 1,12 | 75750 | | | |
| 3 | 110 | 1264,0 | 1,68 | 75250 | | | |
| 4 | 120 | 274,4 | 1,12 | 24500 | 24765 | ±112 | ±0,45 |
| 5 | 120 | 415,8 | 1,68 | 24750 | | | |
| 6 | 120 | 558,2 | 2,24 | 24875 | | | |
| 7 | 120 | 697,2 | 2,80 | 24900 | | | |
| 8 | 120 | 1042,0 | 4,20 | 24800 | | | |
| 9 | 140 | 180,6 | 4,20 | 4300 | 4232 | ±27 | ±0,65 |
| 10 | 140 | 236,6 | 5,60 | 4225 | | | |
| 11 | 140 | 255,6 | 8,40 | 4233 | | | |
| 12 | 140 | 471,8 | 11,2 | 4213 | | | |
| 13 | 140 | 586,6 | 14,0 | 4190 | | | |
| 14 | 160 | 154,0 | 14,0 | 1100 | 1095 | ±2,2 | ±0,20 |
| 15 | 160 | 183,4 | 16,8 | 1092 | | | |
| 16 | 160 | 214,2 | 19,6 | 1093 | | | |
| 17 | 160 | 245,0 | 22,4 | 1094 | | | |
| 18 | 160 | 306,6 | 28,0 | 1095 | | | |
| 19 | 180 | 144,2 | 39,2 | 367,9 | 366 | ±1,2 | ±0,31 |
| 20 | 180 | 163,8 | 44,8 | 365,6 | | | |
| 21 | 180 | 183,4 | 50,4 | 363,9 | | | |
| 22 | 180 | 204,4 | 56,0 | 365,0 | | | |

Таблица 2. Зависимость вязкости расплава асмола от температуры (образец № 2, температура размягчения 103 °С)

| № п/п | Температура расплава, °С | Напряжение сдвига, дин/см ² | Скорость сдвига, дин/см ² ·с | Вязкость, сПз |
|-------|--------------------------|--|---|---------------|
| 1 | 120 | 1000 | 0,56 | 196000 |
| 2 | 140 | 193,2 | 1,12 | 17250 |
| 3 | 160 | 158,2 | 5,6 | 2825 |
| 4 | 180 | 152,6 | 22,4 | 681,3 |
| 5 | 200 | 116,2 | 56,0 | 207,5 |

Таблица 3. Зависимость вязкости расплава асмолы от температуры (образец № 3, температура размягчения 105 °С)

| № п/п | Температура расплава, °С | Напряжение сдвига, дин/см ² | Скорость сдвига, дин/см ² ·с | Вязкость, сПз | Среднее значение, сПз | Отклонение от среднего значения | |
|-------|--------------------------|--|---|---------------|-----------------------|---------------------------------|------|
| | | | | | | сПз | % |
| 1 | 140 | 157,4 | 0,56 | 135000 | 135000 | - | - |
| 2 | 150 | 218,4 | 0,56 | 39000 | 34325 | ±2860 | ±8,3 |
| 3 | 150 | 408,8 | 1,12 | 36625 | | | |
| 4 | 150 | 579,6 | 1,68 | 34500 | | | |
| 5 | 150 | 694,4 | 2,24 | 31000 | | | |
| 6 | 150 | 854,0 | 2,80 | 30500 | | | |
| 7 | 160 | 249,2 | 2,24 | 11125 | 10075 | ±430 | ±4,3 |
| 8 | 160 | 282,8 | 2,8 | 10100 | | | |
| 9 | 160 | 415,8 | 4,2 | 9933 | | | |
| 10 | 160 | 543,2 | 5,6 | 9700 | | | |
| 11 | 160 | 799,4 | 8,4 | 9517 | | | |
| 12 | 170 | 218,4 | 56 | 3900 | 3780 | ±69 | ±1,8 |
| 13 | 170 | 322,0 | 8,4 | 3833 | | | |
| 14 | 170 | 422,2 | 11,2 | 3775 | | | |
| 15 | 170 | 519,4 | 14,0 | 3710 | | | |
| 16 | 170 | 618,2 | 16,8 | 3683 | | | |
| 17 | 180 | 219,8 | 14,0 | 1570 | 1541 | ±19 | ±1,2 |
| 18 | 180 | 261,8 | 16,8 | 1558 | | | |
| 19 | 180 | 302,4 | 19,6 | 1543 | | | |
| 20 | 180 | 341,6 | 22,4 | 1525 | | | |
| 21 | 180 | 422,8 | 28,0 | 1510 | | | |
| 22 | 200 | 149,8 | 39,2 | 382 | 379 | ±3 | ±0,7 |
| 23 | 200 | 170,8 | 44,8 | 381 | | | |
| 24 | 200 | 190,4 | 50,4 | 378 | | | |
| 25 | 200 | 210,0 | 56,0 | 375 | | | |

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что асмол с температурой размягчения 85°С является ньютоновской жидкостью и не обладает аномалией вязкости. Высокотемпературный асмол с температурой размягчения 105 °С, полученный с другим набором технологических добавок, характеризуется аномалией вязкости, так как его вязкость при температурах до 160 °С существенно зависит от напряжения и скорости сдвига. При более высоких температурах (170-200 °С) зависимость вязкости от напряжения и скорости сдвига выражена слабо. Графически полученные данные представлены на рисунке 1.

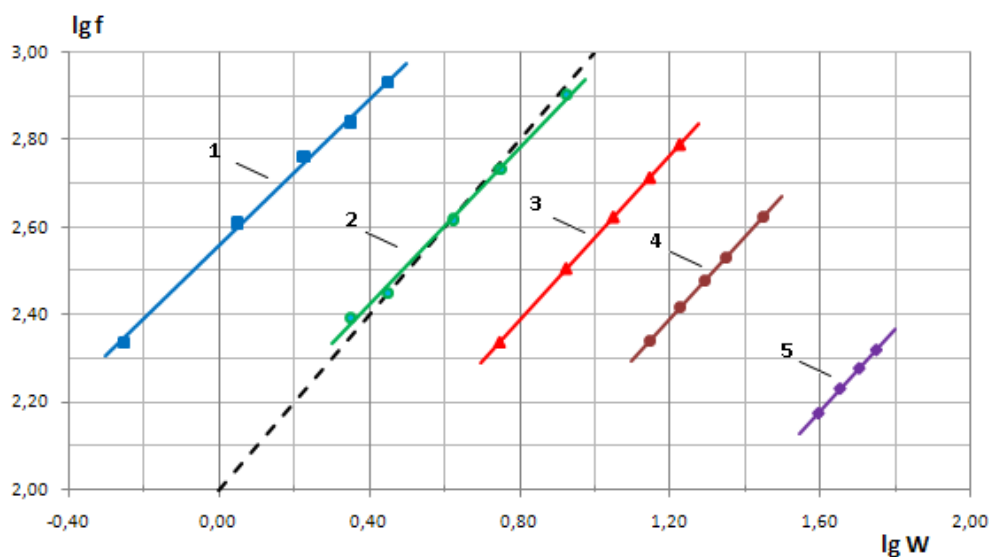


Рисунок 1. Зависимость логарифма напряжения сдвига f (дин/см²) от логарифма скорости сдвига W (дин/см²·с) при различных температурах для асфола с температурой размягчения 105 °С (в скобках – степень аномалии вязкости): 1 – 150 °С (0,85); 2 – 160 °С (0,88); 3 – 170 °С (0,95); 4 – 180 °С (0,94); 5 – 200 °С (0,95)

В координатах $\lg f$ от $\lg W$, где f и W – напряжение и скорость сдвига, показателем степени аномалии течения асфола является тангенс угла наклона прямой, который заметно меньше единицы только при температурах 150 и 160 °С. Таким образом, по реологическим свойствам асфол ведет себя практически также, как битум, то есть может иметь или не иметь определенную степень аномалии вязкости [5]. Поскольку степень аномалии течения асфола относительно не велика, полученные данные по вязкости асфола при заданной температуре усреднялись независимо от значений напряжения сдвига.

Зависимость логарифма вязкости трех образцов асфола от температуры приведена на рисунке 2.

Одной из задач при изучении вязкостно-температурных свойств является подбор уравнений, описывающих зависимость вязкости от температуры.

Температурная зависимость вязкости η теоретически должна выражаться уравнением Френкеля-Эйринга [6, 7]:

$$\eta = A \cdot e^{\Delta G/RT} \quad (1)$$

где A – предэкспоненциальный член;
 R – универсальная газовая постоянная;
 T – абсолютная температура, К;
 ΔG – свободная энергия активации вязкого течения;
 e – основание натуральных логарифмов.

Однако это уравнение применимо в достаточно широком температурном интервале только к простым неассоциированным жидкостям и к растворам неполярных полимеров. Для ассоциированных жидкостей и растворов полярных полимеров график зависимости $\lg \eta = f(1/T)$ криволинеен.

Так как подавляющее большинство продуктов переработки нефти являются ассоциированными жидкостями и их вязкость в сильной степени зависит от химического состава практическое значение уравнения (1) для вычисления вязкости нефтепродуктов ограничено. Для этой цели применяют почти исключительно эмпирические уравнения.

Анализ многочисленных теоретических и эмпирических уравнений зависимости вязкости от температуры [5-7] привел нас к выводу, что достаточно простым эмпирическим уравнением следует признать уравнение отечественного ученого К.С. Рамайя [7, с.132, 178], предложенное для вязких жидкостей еще в 1947 году:

$$\eta = e^{(A + \frac{B}{T})^2} \quad (2)$$

или в логарифмической форме:

$$\sqrt{\ln \eta} = A + \frac{B}{T} \quad (3)$$

где η - вязкость
 T – абсолютная температура, °К
 A, B – эмпирические константы.

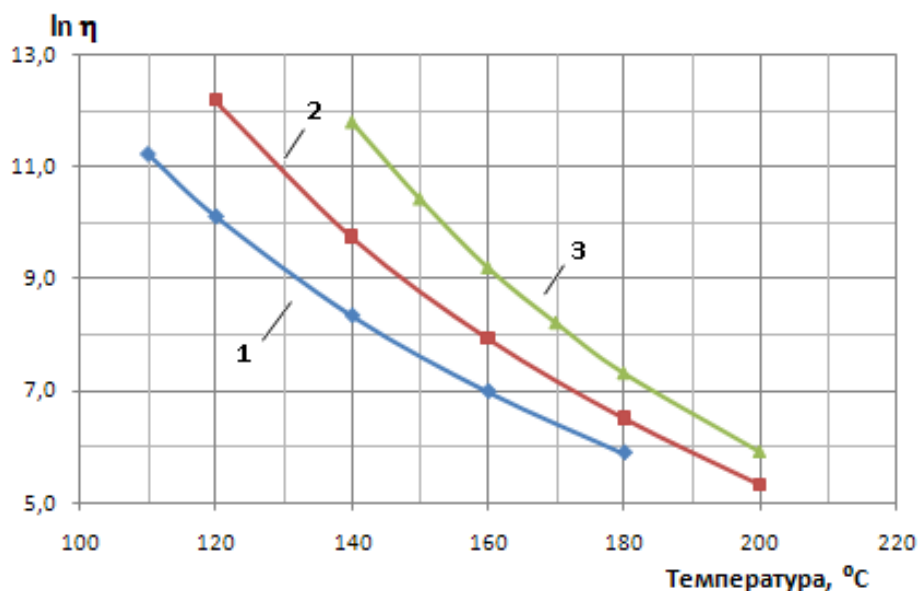


Рисунок 2. Зависимость натурального логарифма вязкости трех образцов асфальта от температуры. Температура размягчения образцов по методу КиШ: 1 – 85 °С; 2 – 103 °С; 3 – 105 °С.

В координатах $\sqrt{\ln \eta}$ и $\frac{1}{T}$ зависимость вязкости от температуры по К.С. Рамаия должна изображаться прямой линией.

На рисунке 3 приведена зависимость квадратного корня натурального логарифма динамической вязкости образцов асмола от обратного значения абсолютной температуры.

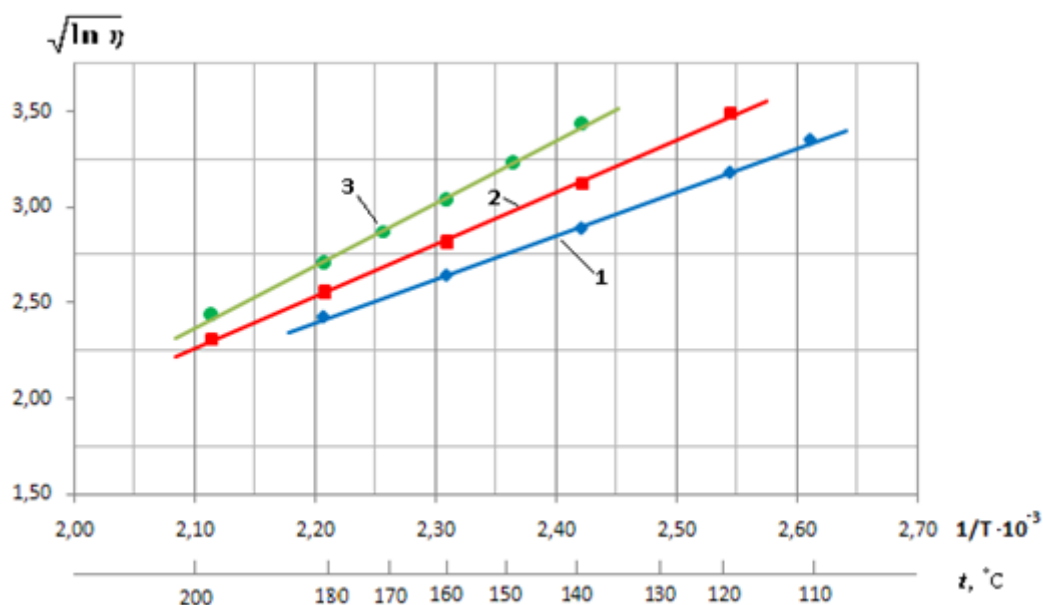


Рисунок 3. Зависимость квадратного корня натурального логарифма динамической вязкости трех образцов асмола от обратного значения абсолютной температуры. Температура размягчения образцов: 1 – 85 °С; 2 – 103 °С; 3 – 105 °С

Как следует из рисунка 3, эта зависимость действительно линейна и может быть описана следующими эмпирическими уравнениями:

$$\text{Образец №1} \quad \sqrt{\ln \eta} = -2,6149 + \frac{2280}{T} \quad (4)$$

$$\text{Образец №2} \quad \sqrt{\ln \eta} = -3,4775 + \frac{2732}{T} \quad (5)$$

$$\text{Образец №3} \quad \sqrt{\ln \eta} = -4,4768 + \frac{3260}{T} \quad (6)$$

Полученные уравнения позволяют вычислить вязкость асмола при любой заданной температуре расплава.

Дальнейший анализ полученных уравнений приводит к заключению, что прямые линии, представленные на рисунке 3, пересекаются в одной высокотемпературной точке, соответствующей координатам:

$$T = 527 \quad (\text{или } 254 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\sqrt{\ln \eta} = 1,7092 \quad (\text{или } 20 \text{ сПз})$$

Полученные значения координат соответствуют следующему уравнению:

$$1,7092 = A + \frac{B}{527}, \quad (7)$$

однозначно связывающему константы A и B уравнения К.С. Рамайя. На рисунке 4 представлено соответствие экспериментальных значений A и B с полученными значениями по уравнению (7).

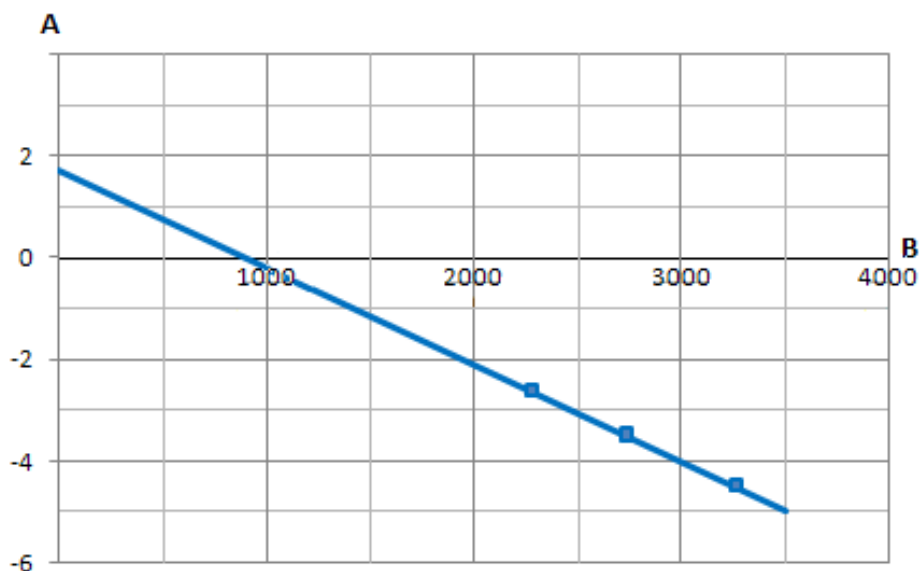


Рисунок 4. Соответствие между экспериментальными значениями коэффициентов A и B уравнения К.С. Рамайя для трех образцов асмола и значениями по уравнению, полученному из высокотемпературной точки (сплошная линия)

Это позволяет исключить одну из констант уравнения К.С. Рамайя, например, константу A и записать его в следующем виде:

$$\sqrt{\ln \eta} = (1,7092 - \frac{B}{527}) + \frac{B}{T} \quad (8)$$

Нами установлено, что константа B для двух образцов асмола с температурой размягчения t_p 85 и 103 °С может быть описана простой зависимостью:

$$B = 26,65 \cdot t_p \quad (9)$$

что позволяет получить обобщенную зависимость вязкости при разных температурах для образцов асмола с различной температурой размягчения, или определить его температуру размягчения по вязкости расплава при определенной температуре:

$$\sqrt{\ln \eta} = (1,7092 - \frac{26,65 \cdot t_p}{527}) + \frac{26,65 \cdot t_p}{T} \quad (10)$$

$$t_p = \frac{\sqrt{\ln \eta} - 1,7092}{26,65(\frac{1}{T} - \frac{1}{527})} \quad (11)$$

Другой, более общий подход, заключается в предположении, что при температуре размягчения t_p вязкость расплава асмола η_p является величиной постоянной. Действительно, для образцов асмола с t_p 85 и 103 °С, значения $\sqrt{\ln \eta_p}$, рассчитанные по уравнениям (3) и (4), составили, соответственно, 3,7491 и 3,7859 или в среднем:

$$\sqrt{\ln \eta_p} = 3,7675 \pm 0,0184$$

что соответствует вязкости расплава при температуре размягчения T_p

$$\eta_p = 1474700 \pm 203000 \text{ сПз или } 1475 \pm 203 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Это позволяет записать еще одно уравнение, связывающее коэффициенты A и B в уравнении (12):

$$3,7675 = A + \frac{B}{T_p} \quad (12)$$

Таким образом, определив только температуру размягчения асмола T_p и рассчитав коэффициенты A и B по уравнениям (7) и (12), можно определить вязкость асмола при любой температуре.

Решая уравнения (7) и (12) можно получить выражение:

$$T_p = \frac{B}{2,0583 + \frac{B}{527}} \quad (13)$$

позволяющее вычислить температуру размягчения асмола (в градусах Кельвина) из экспериментальных данных по вязкости.

Ниже приведены примеры использования полученных уравнений.

Пример № 1. Зная температуру размягчения образцов асмола рассчитать вязкость асмола при различных температурах по уравнению (10) и сравнить с экспериментальными значениями. Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчетов с использованием уравнения (10)

| Температура размягчения по КиШ, °С | Температура, °С | Вязкость η , сПз | | $ \Delta\eta $ | Ошибка, % | Отклонение ошибки, % |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|----------------|------------|----------------------|
| | | эксперимент | расчет | | | |
| 85 | 110 | 75417 | 63427 | 11990 | 15,9 | 8,8 |
| | 120 | 24765 | 23847 | 918 | 3,7 | 3,4 |
| | 140 | 4232 | 4381 | 148 | 3,5 | 3,6 |
| | 160 | 1095 | 1077 | 18 | 1,6 | 5,5 |
| | 180 | 366 | 335 | 30 | 8,3 | 1,2 |
| 103 | 120 | 196000 | 188419 | 7581 | 3,9 | 3,2 |
| | 140 | 17250 | 19994 | 2744 | 15,9 | 8,8 |
| | 160 | 2825 | 3182 | 357 | 12,6 | 5,5 |
| | 180 | 681 | 702 | 21 | 3,0 | 4,1 |
| | 200 | 206 | 202 | 6 | 2,7 | 4,4 |
| Среднее значение | | | | | 7,1 | 4,9 |

Из полученных данных следует, что расчеты по уравнению (10) вполне удовлетворительно согласуются с экспериментом. Ошибка в определении вязкости составляет в среднем $7,1 \pm 4,9$ %.

Пример № 2. Зная вязкость образцов асмола при различных температурах рассчитать температуру размягчения асмола по уравнению (11) и сравнить с экспериментальными значениями. Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты расчетов с использованием уравнения (11)

| № п/п | Температура, °С | Вязкость η , сПз, эксперимент | Температура размягчения $t_{\text{КиШ}}$, °С | | $ \Delta t $ | Ошибка, % | Отклонение ошибки, % |
|------------------|-----------------|------------------------------------|---|-------------|--------------|------------|----------------------|
| | | | расчет | эксперимент | | | |
| Образец № 1 | 110 | 75417 | 86,4 | 85 | 1,4 | 1,6 | 0,5 |
| | 120 | 24765 | 85,3 | | 0,3 | 0,4 | 0,7 |
| | 140 | 4232 | 84,6 | | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| | 160 | 1095 | 85,3 | | 0,3 | 0,3 | 0,8 |
| | 180 | 366 | 87,2 | | 2,2 | 2,6 | 1,5 |
| Образец № 2 | 120 | 196000 | 103,3 | 103 | 0,3 | 0,3 | 0,8 |
| | 140 | 17250 | 101,3 | | 1,7 | 1,6 | 0,5 |
| | 160 | 2825 | 101,1 | | 1,9 | 1,9 | 0,8 |
| | 180 | 681 | 102,3 | | 0,7 | 0,7 | 0,4 |
| | 200 | 206 | 101,7 | | 1,3 | 1,3 | 0,2 |
| Среднее значение | | | | | | 1,1 | 0,7 |

Как следует из расчетов, результаты, полученные по уравнению (11), хорошо согласуются с экспериментами. Ошибки в определении температуры размягчения асмолы составляет в среднем $1,1 \pm 0,7$ %.

Пример № 3. Используя уравнения (7) и (12), вычислить значения коэффициентов А и В по уравнению К.С. Рамайя.

Из уравнений (7) и (12) коэффициент рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{2,0583}{\left(\frac{1}{T_{\text{разм}}} - \frac{1}{527}\right)}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6. Результаты расчетов с использованием уравнений (7) и (12)

| Температура размягчения, °С | Значение коэффициента В | | ΔВ | Ошибка, % | Значение коэффициента А | | ΔА | Ошибка, % |
|-----------------------------|-------------------------|-------------|----|-----------|-------------------------|-------------|-------|-----------|
| | расчет | эксперимент | | | расчет | эксперимент | | |
| 85 | 2298 | 2280 | 18 | 0,8 | -2,6510 | -2,6149 | -0,04 | 1,4 |
| 103 | 2701 | 2732 | 31 | 1,1 | -3,4161 | -3,4775 | 0,06 | 1,8 |

Как следует из приведенных данных наблюдается хорошее соответствие между расчетными и экспериментальными значениями коэффициентов А и В. Ошибка в определении коэффициентов уравнения К.С. Рамайя не превышает 2 %.

Пример № 4. Используя расчетные значения коэффициентов А и В, полученные в предыдущем примере, вычислить вязкость асмолы при разных температурах по уравнению К.С. Рамайя (3) и сравнить с экспериментальными данными. Результаты расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты расчетов с использованием уравнения (3)

| Температура размягчения по КиШ, °С | Температура, °С | Вязкость η , сПз | | Δ η | Ошибка, % | Отклонение ошибки, % |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|----------|------------|----------------------|
| | | эксперимент | расчет | | | |
| 85 | 110 | 75417 | 74066 | 1351 | 1,8 | 5,1 |
| | 120 | 24765 | 27273 | 2508 | 10,1 | 3,2 |
| | 140 | 4232 | 4837 | 605 | 14,3 | 7,4 |
| | 160 | 1095 | 1156 | 62 | 5,6 | 1,3 |
| | 180 | 366 | 352 | 14 | 3,7 | 3,2 |
| 103 | 120 | 196000 | 154691 | 41309 | 21,1 | 14,2 |
| | 140 | 17250 | 17309 | 59 | 0,3 | 6,6 |
| | 160 | 2825 | 2872 | 47 | 1,7 | 5,2 |
| | 180 | 681 | 655 | 26 | 3,9 | 3,0 |
| | 200 | 206 | 193 | 14 | 6,9 | 0,0 |
| Среднее значение | | | | | 6,9 | 4,9 |

Из полученных данных следует, что совпадение расчетных и экспериментальных данных можно считать вполне удовлетворительными.

Сопоставляя примеры № 1 и № 4 можно сделать вывод, что расчеты вязкости асмола по уравнению (10) и уравнениям (3), (7), (12) приводят почти к одинаковым результатам и эти два подхода дополняют друг друга.

Пример № 5. Рассчитать температуру размягчения асмола по уравнению (13), используя расчетные значения коэффициента В, приведенные в таблице 6.

Результаты расчетов приведены в таблице 8.

Таблица 8. Результаты расчетов с использованием уравнений (7), (12), (13)

| № п/п | Значение коэффициента В _{расч.} | Температура размягчения по КиШ, °С | | ΔT _p | Ошибка, % |
|-------------|---|---------------------------------------|-------------|-----------------|--------------|
| | | расчет | эксперимент | | |
| Образец № 1 | 2298 | 85,0 | 85,0 | 0,00 | 0,0 |
| Образец № 2 | 2701 | 101,7 | 103,0 | 1,3 | 1,3 |

Полученные данные свидетельствуют об удовлетворительном соответствии расчетных и экспериментальных данных. Этот метод расчета дополняет расчет, приведенный в примере 2.

Выводы

Исследование вязкостно-температурных зависимостей для расплава асмола показало, что наиболее пригодным уравнением для их математического описания является уравнение отечественного ученого Рамайя К. С., которое применимо также для расплавленных битумов. На основании уравнения Рамайя К. С. и найденных эмпирических закономерностей по вязкости асмола при температуре размягчения и в, так называемой, «высокотемпературной точке» разработаны инженерные методы расчета вязкости расплава асмола по температуре его размягчения, что проиллюстрировано соответствующими примерами.

Литература

1. Гольдфарб А.Я. О классификации и структуре применения защитных покрытий для подземных газонефтепроводов. // Коррозия территории нефтегаз. № 2(10). 2008. С. 6-14.
2. Рябов В. М. Способы ремонта и переизоляции газопроводов. Технические и экономические аспекты выбора. // Территория нефтегаз. 2010. №12. С. 66-71.
3. Асмол и новые изоляционные материалы для подземных трубопроводов./Черкасов Н.М. [и др.]. М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2005. 205 с.
4. Черкасов Н.М. Новый подход к защите магистральных газопроводов от коррозии с использованием нанотехнологий.// Науч.-техн. сб. Транспорт и подземное хранение газа, 2010. № 3. С. 32-41.
5. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. М.: Химия, 1983. 192 с.
6. Рыбак Б.М. Анализ нефти и нефтепродуктов. М.: Гостоптехиздат, 1962. 888 с.
7. Фуке Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов. М.: Гостоптехиздат, 1951. 271 с.
8. Тагер А. А. Физикохимия полимеров. М.: Химия. 1978. 544 с.

References

1. Gol'dfarb A. Y. O klassifikacii i structure primeneniya zashitnyh pokrytiy dlya podzemnyh gazonefteprovodov. // Korroziya territorii neftegaz. 2008. № 2(10). S. 6-14. [in russian].
2. Ryabov V. M. Sposoby remonta i pereizolyacii gazoprovodov. Tehnicheskie i ekonomicheskie aspekty vybora. // Territoriya neftegaz. 2010. №12. S. 66-71. [in russian].
3. Cherkasov N. M., Gladkikh I. F., Gumerov K. M., Subaev I. U. Asmol i novye izolyacionnye materialy dlya podzemnyh truboprovodov. M.: ООО «Nedra-Biznes-centr». 2005. 205 s. [in russian].
4. Cherkasov N. M. Novyi podhod k zashite magistral'nyh gazoprovodov ot korrozii s ispol'zovaniem nanotekhnologii. // Nauch.-tehn. sbornik Transport i podzemnoe hranenie gaza. 2010. № 3. S. 32-41. [in russian]
5. Grudnikov I. B. Proizvodstvo neftyanyh bitumov. M.: Himiya. 1983. 192 s. [in russian]
6. Rybak B. M. Analiz nefti i nefteproduktov. M.: Gostoptehizdat. 1962. 888 s. [in russian]
7. Fuks G. I. Vyazkoc't' i plastichnost' nefteproduktov. M.: Gostoptehizdat. 1951. 271 s. [in russian]
8. Tager A. A. Fizikohimiya polimerov. M.: Himiya. 1978. 544 s. [in russian]

Сведения об авторах

Гладких И. Ф., д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность производства и промышленная экология» ФГБОУ ВПО УГАТУ, директор по технологии ООО НИЦ «Поиск», г. Уфа, Российская Федерация

I. F. Gladkikh, dr. ing. sci., prof. of chair “Production safety and industrial ecology” FSBEI NPE USATU, director of technology LLC CRC “Poisk”, Ufa, Russian Federation

Филимонов В. А., аспирант кафедры «Безопасность производства и промышленная экология» ФГБОУ ВПО УГАТУ, инженер-технолог ООО «НИЦ «Поиск», г. Уфа, Российская Федерация.

V. A. Filimonov, post-graduate student of chair “Security of production and industrial ecology” FSBEI NPE USATU, process engineer LLC CRC “Poisk”, Ufa, Russian Federation.

Пестриков С. В., д-р хим. наук, проф., научный консультант ООО «НИЦ «Поиск», г. Уфа, Российская Федерация.

S. V. Pestrikov, dr. chem. sci., prof., scientific consultant LLC SRC “Poisk”, Ufa, Russian Federation.

e-mail: srcpoisk@ufanet.ru