



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

**З ДИСЦИПЛІНИ**

**«Обладнання для синтезу і переробки полімерних  
матеріалів»**

для студентів напрямку 7.05050315 «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв»

Київ 2017

Методичні вказівки до проведення практичних робіт з дисципліни “Обладнання для синтезу і переробки полімерних матеріалів” для студентів напрямку 7.05050315 Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв: [Електронний ресурс]: / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. Б.Я.Целень. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 65 с.

*Гриф надано Вченою радою  
інженерно-хімічного факультету НТУУ „КПІ”  
(Протокол № 8 від 23 жовтня 2017 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Відповідальний редактор: Степанюк Андрій Романович, доцент, к.т.н.

Рецензент: Івіцький Ігор Ігорович, старший викладач, к.т.н.

Целень Богдан Ярославович, к.т.н., ст. викл. кафедри МАХНВ

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

### ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

з дисципліни

“Обладнання для синтезу і переробки полімерних матеріалів”

для студентів напрямку 7.05050315 Інжиніринг, обладнання та технології  
хімічних та нафтопереробних виробництв

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. АПРОКСИМАЦІЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРІВ .....                                                                           | 4  |
| 2. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ В'ЯЗКОСТІ ПОЛІМЕРІВ ВІД ШВИДКОСТІ ЗСУВУ І ТЕМПЕРАТУРИ ШЛЯХОМ ОБРОБКИ КРИВИХ ТЕЧІЙ .....               | 11 |
| 3. СКЛАДАННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ РЕАКТОРА ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ЕТИЛЕНУ ПРИ НИЗЬКОМУ ТИСКУ .....                                           | 15 |
| 4. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПОПЕРЕЧНОМУ ПЕРЕРІЗІ ПОЛІМЕРНОГО ВИРОБУ ПРИ ЙОГО ОХОЛОДЖЕННІ ШЛЯХОМ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ..... | 19 |
| 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ТЕЧІЇ РОЗПЛАВУ ПОЛІМЕРУ В КАНАЛАХ КРУГЛОГО І КІЛЬЦЕВОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНІВ .....                     | 26 |
| ДОДАТОК А. Теплофізичні властивості полімерних матеріалів .....                                                                      | 30 |
| ДОДАТОК А. Криві течії полімерних матеріалів .....                                                                                   | 54 |
| ДОДАТОК А. Програма для визначення температурного поля в поперечному перерізі полімерного виробу при його охолодженні .....          | 61 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                                                                               | 65 |

# 1 АПРОКСИМАЦІЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРІВ

**Завдання.** Одержати рівняння для визначення коефіцієнтів теплопровідності, температуропровідності, густини, теплоємності і ентальпії для полімерного матеріалу.

| Номер варіанта | Полімерний матеріал                                                                                      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | Полівінілхлорид непластифікований марки ПВХ-С70 (густина $1561 \text{ кг/м}^3$ ), с. 69-70.              |
| 2              | Полівінілхлорид пластифікований марки ПВХ-Л5 (густина $1214 \text{ кг/м}^3$ ), с. 71.                    |
| 3              | Полістирол блочний марки Т ГОСТ 9440-60 (густина $1049 \text{ кг/м}^3$ ), с. 75-76.                      |
| 4              | Поліетилентерефталат (густина $1315 \text{ кг/м}^3$ ), с. 78-79.                                         |
| 5              | Поліетилен високої щільності П4020-Э (густина $940 \text{ кг/м}^3$ ), с.79-80.                           |
| 6              | Поліетилен високої щільності П4015 (густина $985 \text{ кг/м}^3$ ), с.80-81.                             |
| 7              | Поліетилен низької щільності П2003-К (густина $855 \text{ кг/м}^3$ ), с.84.                              |
| 8              | Співполімер поліетилену низької щільності П2003-К з бутилкаучуком (густина $874 \text{ кг/м}^3$ ), с.85. |
| 9              | Поліетилен низької щільності марки П2020-Т (густина $920 \text{ кг/м}^3$ ), с. 86-88.                    |
| 10             | Полікапроамід (густина $1152 \text{ кг/м}^3$ ), с. 89-90.                                                |
| 11             | Полігексаметиленадипамід (найлон-6,6) (густина $986 \text{ кг/м}^3$ ), с. 91-92.                         |
| 12             | Полівінілхлоридний пластикат на основі ПВХ-С5 (густина $1403 \text{ кг/м}^3$ ), с. 72.                   |
| 13             | Полівінілхлорид ПВХ-Л5 (густина $1400 \text{ кг/м}^3$ ), с. 72-73.                                       |
| 14             | Полівінілхлорид ПВХ-Л5 (густина $1330 \text{ кг/м}^3$ ), с. 73-74.                                       |
| 15             | Поліпропілен (густина $862 \text{ кг/м}^3$ ), с. 74-75.                                                  |
| 16             | Поліпропілен (густина $868 \text{ кг/м}^3$ ), с. 75.                                                     |
| 17             | Поліетилен високої щільності П4015 (густина $967,9 \text{ кг/м}^3$ ), с. 82.                             |
| 18             | Поліетилен високої щільності П4015 (густина $954,9 \text{ кг/м}^3$ ), с. 83.                             |
| 19             | Поліетилен низької щільності П2015-КУ (густина $872 \text{ кг/м}^3$ ), с. 85-86.                         |
| 20             | Поліетилен низької щільності марки П2020-Т (густина $927 \text{ кг/м}^3$ ), с. 88-89.                    |
| 21             | Полікапроамід (густина $1120 \text{ кг/м}^3$ ), с. 90-91.                                                |
| 22             | Склопластик (густина $1227 \text{ кг/м}^3$ ), с. 118.                                                    |
| 23             | Склопластик (густина $1317 \text{ кг/м}^3$ ), с. 119.                                                    |
| 24             | Склопластик (густина $1310 \text{ кг/м}^3$ ), с. 119-120.                                                |

Теплофізичні властивості полімерних матеріалів взяті з [1] і наведені в додатку А.

**Розв'язання.** Шляхом апроксимації одержимо рівняння для визначення коефіцієнтів теплопровідності, температуропровідності, густини, теплоємності і ентальпії залежно від температури для акрилобутадієнстирольного пластику (АБС) ТУГ 128-68-СНК теплофізичні властивості якого наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – теплофізичні властивості акрилобутадієнстирольного пластику ТУГ 128-68-СНК

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $c_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,121                                        | 0,089                              | 1067                         | 1,24                                       | 23                        |
| 25                  | 0,122                                        | 0,088                              | 1067                         | 1,28                                       | 28                        |
| 30                  | 0,124                                        | 0,088                              | 1066                         | 1,31                                       | 36                        |
| 35                  | 0,126                                        | 0,087                              | 1066                         | 1,35                                       | 42                        |
| 40                  | 0,128                                        | 0,087                              | 1065                         | 1,38                                       | 49                        |
| 45                  | 0,129                                        | 0,086                              | 1065                         | 1,41                                       | 57                        |
| 50                  | 0,131                                        | 0,086                              | 1064                         | 1,44                                       | 63                        |
| 55                  | 0,132                                        | 0,085                              | 1064                         | 1,47                                       | 70                        |
| 60                  | 0,134                                        | 0,085                              | 1064                         | 1,49                                       | 79                        |
| 65                  | 0,136                                        | 0,084                              | 1063                         | 1,52                                       | 85                        |
| 70                  | 0,138                                        | 0,084                              | 1063                         | 1,56                                       | 92                        |
| 75                  | 0,139                                        | 0,083                              | 1063                         | 1,6                                        | 102                       |
| 80                  | 0,141                                        | 0,083                              | 1063                         | 1,62                                       | 110                       |
| 85                  | 0,142                                        | 0,082                              | 1063                         | 1,65                                       | 117                       |
| 90                  | 0,144                                        | 0,081                              | 1062                         | 1,68                                       | 126                       |
| 95                  | 0,146                                        | 0,08                               | 1062                         | 1,72                                       | 135                       |
| 100                 | 0,148                                        | 0,08                               | 1062                         | 1,74                                       | 143                       |
| 105                 | 0,149                                        | 0,079                              | 1062                         | 1,77                                       | 150                       |
| 110                 | 0,151                                        | 0,078                              | 1061                         | 1,8                                        | 160                       |
| 115                 | 0,151                                        | 0,078                              | 1061                         | 1,82                                       | 170                       |
| 120                 | 0,152                                        | 0,077                              | 1060                         | 1,84                                       | 179                       |
| 125                 | 0,152                                        | 0,076                              | 1060                         | 1,85                                       | 188                       |
| 130                 | 0,152                                        | 0,076                              | 1060                         | 1,87                                       | 197                       |
| 135                 | 0,152                                        | 0,075                              | 1060                         | 1,89                                       | 205                       |
| 140                 | 0,152                                        | 0,075                              | 1059                         | 1,91                                       | 217                       |
| 145                 | 0,152                                        | 0,074                              | 1059                         | 1,92                                       | 223                       |
| 150                 | 0,151                                        | 0,074                              | 1058                         | 1,93                                       | 233                       |
| 155                 | 0,15                                         | 0,073                              | 1054                         | 1,95                                       | 244                       |
| 160                 | 0,149                                        | 0,073                              | 1043                         | 1,96                                       | 255                       |
| 165                 | 0,147                                        | 0,072                              | 1030                         | 1,97                                       | 263                       |

|     |       |       |      |      |     |
|-----|-------|-------|------|------|-----|
| 170 | 0,144 | 0,072 | 1016 | 1,98 | 272 |
| 175 | 0,141 | 0,071 | 1000 | 2    | 287 |
| 180 | 0,138 | 0,07  | 978  | 2,07 | 298 |
| 185 | 0,133 | 0,053 | 940  | 2,6  | 305 |
| 187 | 0,126 | 0,05  | 933  | 2,66 | 313 |
| 190 | 0,131 | 0,063 | 905  | 2,4  | 321 |
| 195 | 0,133 | 0,072 | 880  | 2,09 | 329 |
| 200 | 0,136 | 0,077 | 856  | 2,03 | 340 |
| 205 | 0,137 | 0,08  | 835  | 2,03 | 350 |
| 210 | 0,138 | 0,08  | 825  | 2,13 | 363 |
| 215 | 0,14  | 0,079 | 815  | 2,2  | 376 |

Скористаємось програмою Microsoft Excel для побудови графічних залежностей теплофізичних величин від температури. Для побудови графіків вибираємо тип діаграми «точкова з маркерами». Щоб отримати апроксимуюче рівняння, будуємо лінію тренду. При цьому вибираємо такий тип лінії тренду, який забезпечить збіжність ( $R^2$ ) не нижче 99%. У випадку неможливості отримання достатнього значення збіжності графічну залежність розділяють на окремі ділянки (на вкладці «Конструктор» натиснути кнопку «Вибір даних» після чого розподілити дані на потрібну кількість рядів) і для кожної з них будують окрему лінію тренду отримуючи при цьому апроксимуюче рівняння при задовільній збіжності.

Отримані графічні залежності наведені на рис. 1.1 – 1.5.

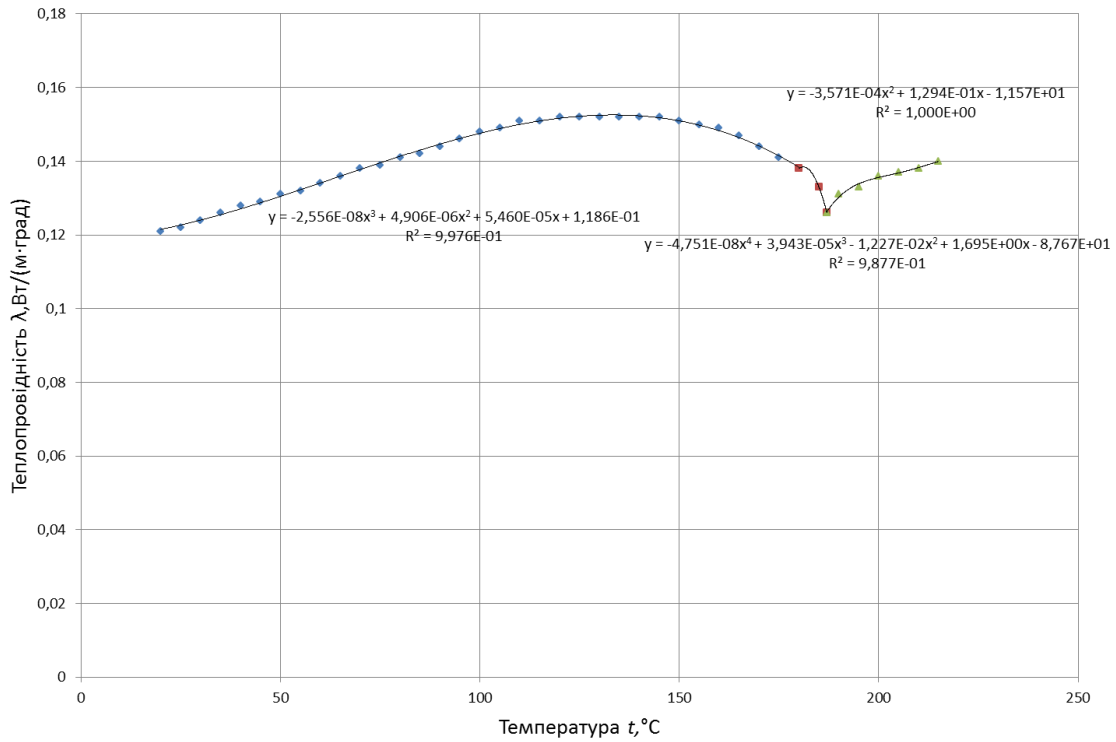


Рис. 1.1 – Залежність теплопровідності акрилобутадієнстирольного пластику ТУГ 128-68-СНК від температури.

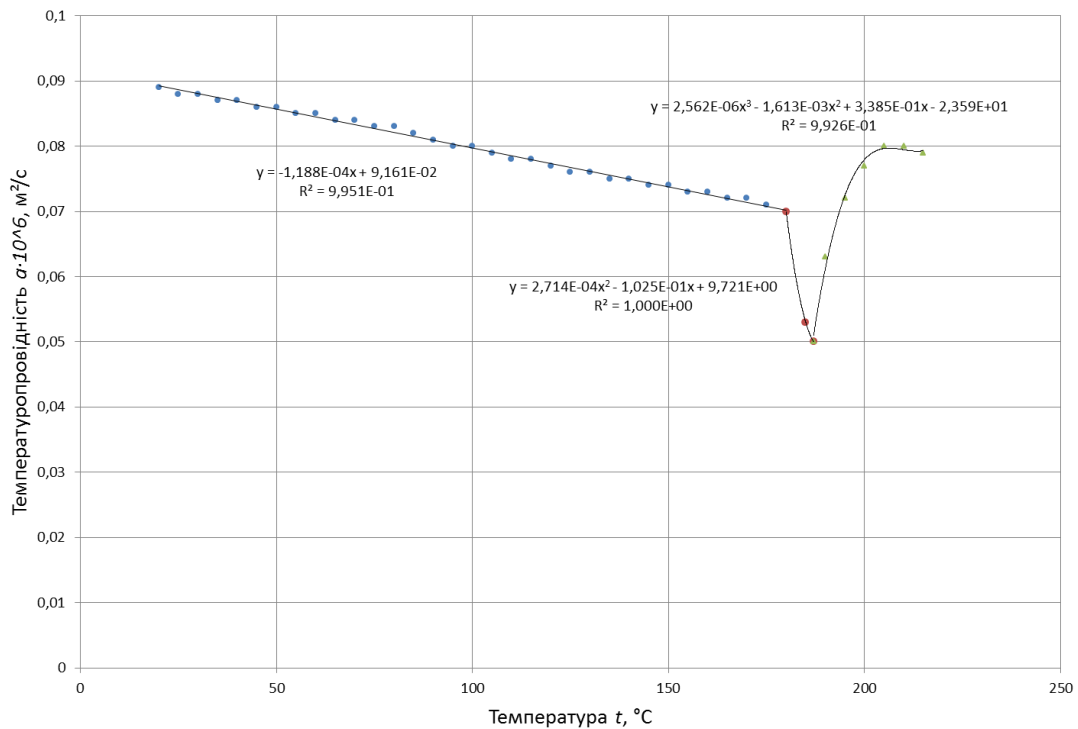


Рис. 1.2 – Залежність температуропровідності акрилобутадієнстирольного пластику ТУГ 128-68-СНК від температури.

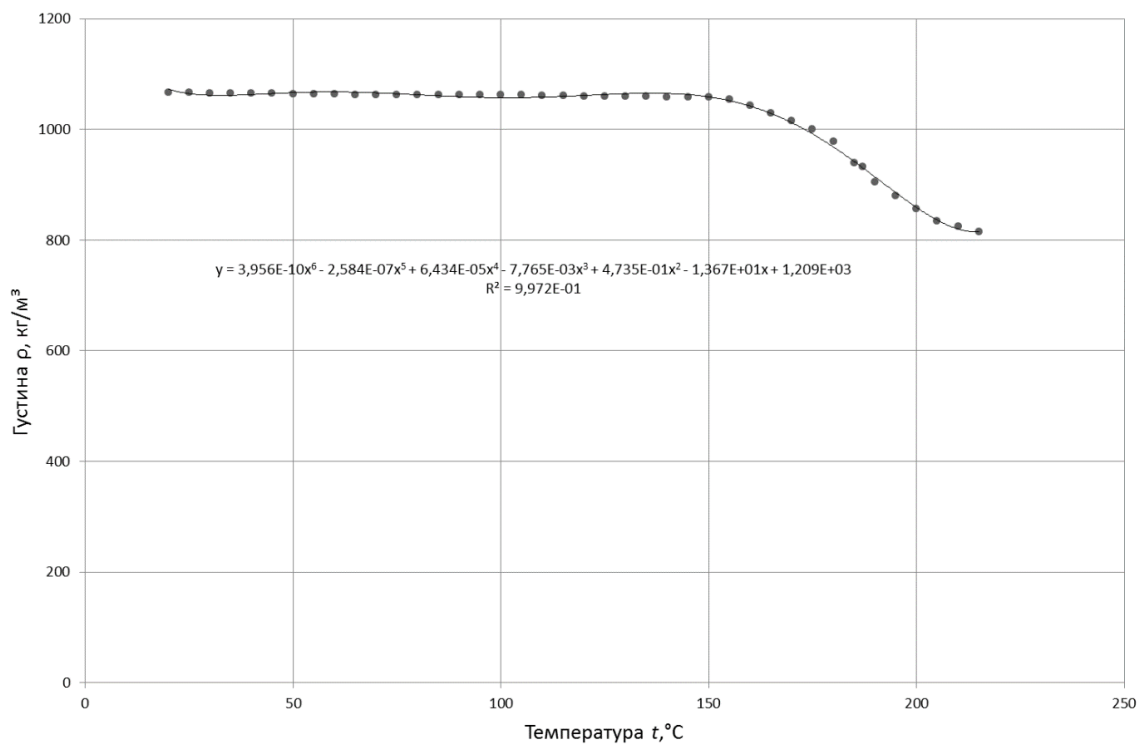


Рис. 1.3 – Залежність густини акрилобутадієнстирольного пластику ТУГ 128-68-СНК від температури.

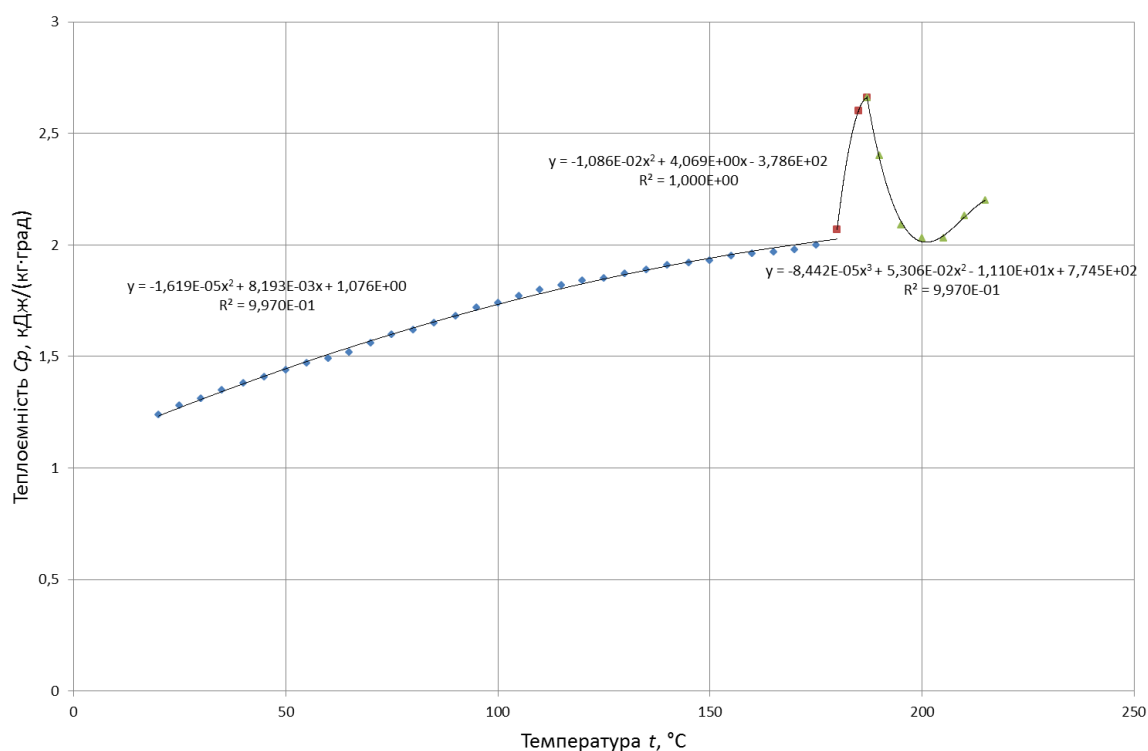


Рис. 1.4 – Залежність теплоємності акрилобутадієнстирольного пластику ТУГ 128-68-СНК від температури.



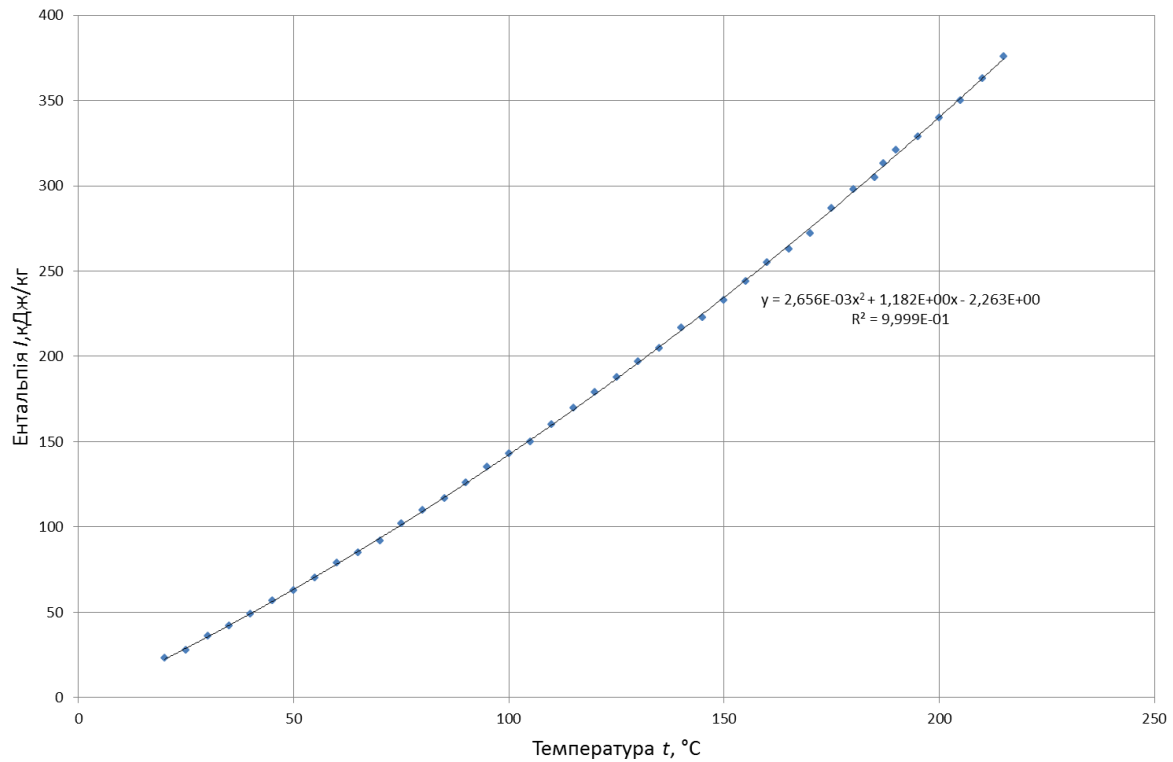


Рис. 1.5 – Залежність ентальпії акрилобутадієнстирольного пластику ТУГ 128-68-СНК від температури.

Запишемо отримані рівняння, що апроксимують теплофізичні властивості акрилобутадієнстирольного пластику ТУГ 128-68-СНК від температури.

Теплопровідність:

$$0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 180^{\circ}\text{C}:$$

$$\lambda(t) = -2,556 \cdot 10^{-8} t^3 + 4,906 \cdot 10^{-6} t^2 + 5,460 \cdot 10^{-5} t + 0,1186 \quad (R^2 = 0,9976);$$

$$180^{\circ}\text{C} < t \leq 187^{\circ}\text{C}:$$

$$\lambda(t) = -3,571 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,1294 t - 11,57 \quad (R^2 = 1);$$

$$187^{\circ}\text{C} < t \leq 215^{\circ}\text{C}:$$

$$\lambda(t) = -4,751 \cdot 10^{-8} t^4 + 3,943 \cdot 10^{-5} t^3 - 0,01227 t^2 + 1,695 t - 87,67 \quad (R^2 = 0,9877).$$

Температуропровідність:

$$0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 180^{\circ}\text{C}:$$

$$a(t) = -1,188 \cdot 10^{-4} t + 0,09161 \quad (R^2 = 0,9951);$$

$$180^{\circ}\text{C} < t \leq 187^{\circ}\text{C}:$$

$$a(t) = 2,714 \cdot 10^{-4} t^2 - 0,1025t + 9,721 \quad (R^2 = 1);$$

$$187^\circ\text{C} < t \leq 215^\circ\text{C}:$$

$$a(t) = 2,562 \cdot 10^{-6} t^3 - 1,613 \cdot 10^{-3} t^2 + 0,3385t - 23,59 \quad (R^2 = 0,9926).$$

Густина:

$$0^\circ\text{C} \leq t \leq 215^\circ\text{C}:$$

$$\rho(t) = 3,956 \cdot 10^{-10} t^6 - 2,584 \cdot 10^{-7} t^5 + 6,434 \cdot 10^{-5} t^4 - 7,765 \cdot 10^{-3} t^3 + 0,4735 t^2 - 13,67t + 1209 \quad (R^2 = 0,9972).$$

Теплоємність:

$$0^\circ\text{C} \leq t \leq 180^\circ\text{C}:$$

$$c_p(t) = -1,619 \cdot 10^{-5} t^2 + 8,193 \cdot 10^{-3} t + 1,076 \quad (R^2 = 0,9970);$$

$$180^\circ\text{C} \leq t \leq 187^\circ\text{C}:$$

$$c_p(t) = -0,01086 t^2 + 4,069t - 378,6 \quad (R^2 = 1);$$

$$187^\circ\text{C} \leq t \leq 215^\circ\text{C}:$$

$$c_p(t) = -8,442 \cdot 10^{-5} t^3 + 0,05306 t^2 - 11,10t + 774,5 \quad (R^2 = 0,9970).$$

Ентальпія:

$$0^\circ\text{C} \leq t \leq 215^\circ\text{C}:$$

$$I(t) = 2,656 \cdot 10^{-3} t^2 + 1,182t - 2,263 \quad (R^2 = 0,9999).$$

При використанні отриманих рівнянь похибка між дійсними і отриманими значеннями теплофізичних величин не перевищуватиме 1,23% (найнижче значення збіжності  $R^2 = 0,9877 = 98,77\%$ ).

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ В'ЯЗКОСТІ ПОЛІМЕРІВ ВІД ШВИДКОСТІ ЗСУВУ І ТЕМПЕРАТУРИ ШЛЯХОМ ОБРОБКИ КРИВИХ ТЕЧІЇ

**Завдання.** Одержати рівняння для визначення в'язкості і напруження зсуву розплаву полімерного матеріалу залежно від швидкості зсуву і температури шляхом апроксимації кривих течії.

| Номер<br>варіанта | Полімерний матеріал                                           |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1                 | Люцит 129 (Du Pont de Nemours)                                |
| 2                 | Тенайт-бутират 205-H2 (East Chem. Prod.); криві 210°C і 230°C |
| 3                 | Пласкон-найлон 8201 (Chem. a. Dye Co.); криві 260°C і 288°C   |
| 4                 | Алатон 17 (De Pont de Nemours); криві 190°C і 241°C           |
| 5                 | Люстрекс LSA 843-411 (Monsanto Chemical); криві 163°C і 177°C |
| 6                 | Опалон 1038 (Monsanto Chemical)                               |
| 7                 | Люцит 130 (Du Pont de Nemours); криві 200°C і 250°C           |
| 8                 | Тенайт-пропіонат 307-H5 (East Chem. Prod.)                    |
| 9                 | Затейл 42 NC10 (Du Pont de Nemours)                           |
| 10                | Марлекс 50, тип 50 (Philips Chemical); криві 230°C і 260°C    |
| 11                | Співполімер RMD 4511 (Union Carbide Co.)                      |
| 12                | Опалон 1706 (Monsanto Chemical)                               |
| 13                | Тенайт-бутират 205-H2 (East Chem. Prod.); криві 190°C і 210°C |
| 14                | Пласкон-найлон 8201 (Chem. a. Dye Co.); криві 232°C і 260°C   |
| 15                | Алатон 17 (De Pont de Nemours); криві 150°C і 190°C           |
| 16                | Люстрекс LSA 843-411 (Monsanto Chemical); криві 149°C і 163°C |
| 17                | Люцит 130 (Du Pont de Nemours); криві 150°C і 200°C           |
| 18                | Марлекс 50, тип 50 (Philips Chemical); криві 190°C і 230°C    |
| 19                | Тенайт-бутират 205-H2 (East Chem. Prod.); криві 190°C і 230°C |
| 20                | Пласкон-найлон 8201 (Chem. a. Dye Co.); криві 232°C і 288°C   |
| 21                | Алатон 17 (De Pont de Nemours); криві 150°C і 241°C           |
| 22                | Люстрекс LSA 843-411 (Monsanto Chemical); криві 149°C і 177°C |
| 23                | Марлекс 50, тип 50 (Philips Chemical); криві 150°C і 260°C    |
| 24                | Марлекс 50, тип 50 (Philips Chemical); криві 150°C і 190°C    |

Криві течії полімерних матеріалів взяті з [2] і наведені в додатку Б.

**Розв'язання.** Одержимо рівняння для визначення в'язкості і напруження зсуву для ацетату целюлози шляхом обробки кривих течії, отриманих при температурах 190°C і 210°C (рис. 2.1) [3].

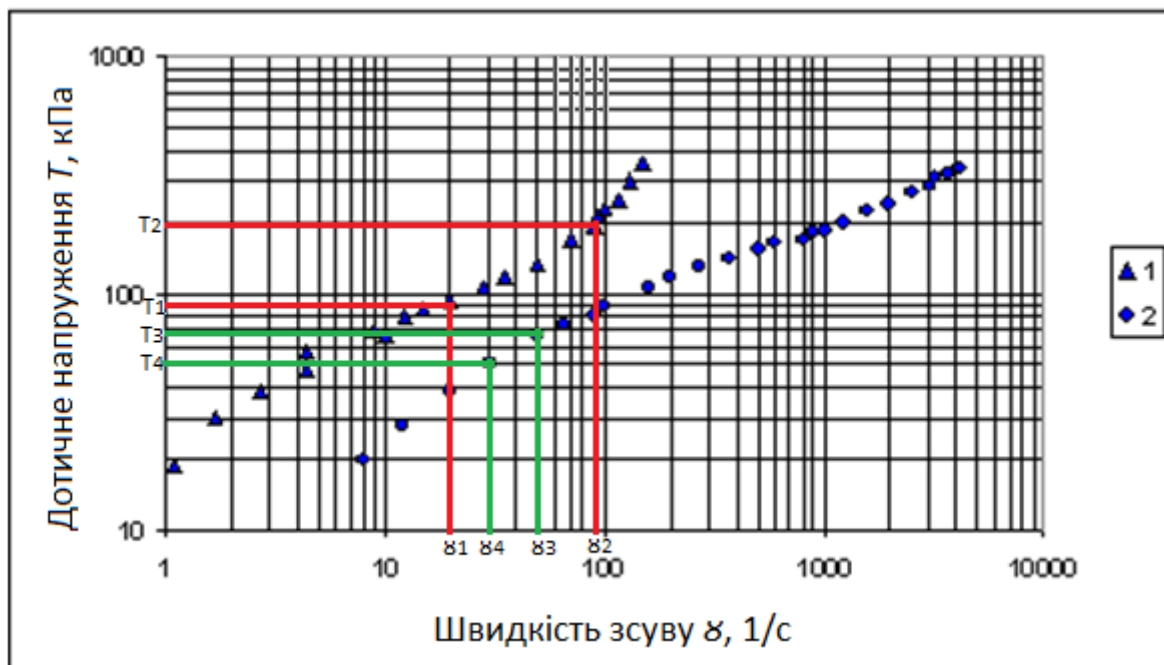


Рисунок 2.1 – Крива течії ацетату целюлози при температурі: 1 – 190°C і 2 – 210°C

Порядок обробки здійснюють наступним чином.

1. Приймаємо, що  $T_0 = 190^\circ\text{C}$ , а  $T_1 = 210^\circ\text{C}$  (необхідно, щоб виконувалась умова  $T_1 > T_0$ ).

2. Задаючись довільними значенням швидкості деформації  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  знаходимо відповідні їм значення напружень  $\tau_1$  і  $\tau_2$  використовуючи для цього криву  $T_0 = 190^\circ\text{C}$ . Таким чином, при швидкості зсуву  $\gamma_1 = 20 \text{ c}^{-1}$  напруження зсуву  $\tau_1 = 90 \text{ кПа}$ , а при  $\gamma_2 = 90 \text{ c}^{-1}$   $\tau_2 = 200 \text{ кПа}$ .

3. Знаходимо значення показника неньютонівської поведінки розплаву полімеру  $n$ :

$$n = \lg(\tau_1/\tau_2) / \lg(\gamma_1/\gamma_2) = \lg(90/200) / \lg(20/90) = 0,5309.$$

4. Знаходимо значення коефіцієнту консистентності розплаву полімеру  $K_0$  також використовуючи криву  $T_0 = 190^\circ\text{C}$ :

$$K_0 = \tau_1 / (\gamma_1)^n = 90 / 20^{0,5309} = 18,345.$$

В розглянутому випадку криві  $T_0$  і  $T_1$  приблизно паралельні. Якщо криві течії значно відхиляються від паралельного розташування то коефіцієнт консистентності розплаву полімеру слід знаходити як середнє арифметичне значення коефіцієнтів консистентності, розрахованих окремо для кривих  $T_0$  і  $T_1$  так як невиконання цієї умови призведе до значної похибки.

5. Щоб знайти температурний коефіцієнт  $\beta$  вибирають значення швидкості зсуву  $\gamma_3$  та відповідне їй значення напруження  $\tau_3$  використовуючи криву  $T_1 = 210^\circ\text{C}$ . Таким чином, при швидкості зсуву  $\gamma_3 = 50 \text{ c}^{-1}$  напруження зсуву  $\tau_3 = 70 \text{ кПа}$ .

6. Знаходимо значення температурного коефіцієнту  $\beta$ :

$$\beta = -\ln[\tau_3 / (K_0 \cdot \gamma_3^n)] / (T_1 - T_0) = -\ln[70 / (18,345 \cdot 50^{0,5309})] / (210 - 190) = 0,03689.$$

Слід зауважити, що знак коефіцієнта  $\beta$  залежить від вибору кривої течії. Щоб не помилитись, варто запам'ятати, що при збільшенні температури в'язкість зменшується.

7. Після знаходження  $K_0$ ,  $n$  і  $\beta$  записують апроксимуючі рівняння у наступному вигляді:

$$\tau(\gamma; T) = K_0 \cdot \gamma^n \cdot e^{-\beta(T-T_0)} \quad \text{та} \quad \mu(\gamma; T) = K_0 \cdot \gamma^{n-1} \cdot e^{-\beta(T-T_0)}$$

Для цього підставляємо в наведені вище рівняння знайдені коефіцієнти  $K_0$ ,  $n$  і  $\beta$  після чого отримуємо рівняння для визначення в'язкості і напруження зсуву для ацетату целюлози в діапазоні температур  $190^\circ\text{C} \div 210^\circ\text{C}$ :

$$\tau(\gamma; T) = 18,345 \cdot \gamma^{0,5309} \cdot e^{-0,03689(T-190)}$$

$$\mu(\gamma; T) = 18,345 \cdot \gamma^{-0,4691} \cdot e^{-0,03689(T-190)}$$

8. Далі необхідно здійснити перевірку отриманих рівнянь (перевіряємо рівняння  $\tau = f(\gamma; T)$  так як для нього є графічна залежність). Для цього потрібно задатись довільним значенням  $\gamma_4$  на кривій течії  $T_1 = 210^\circ\text{C}$ , обчислити за одержаним рівнянням напруження зсуву  $\tau_4^{\text{теор}}$  і перевірити його з отриманим з

графічної залежності  $\tau_4$ . Таким чином, при швидкості зсуву  $\gamma_4 = 30 \text{ с}^{-1}$  знайдене з використанням кривої  $T_1 = 210^\circ\text{C}$  напруження зсуву  $\tau_4 = 50 \text{ кПа}$ .

Підставимо значення швидкості зсуву  $\gamma_4 = 30 \text{ с}^{-1}$  при температурі  $T = 210^\circ\text{C}$  в отримане апроксимуюче рівняння:

$$\tau_4^{\text{теор}} = \tau_{30;210} = 18,345 \cdot 30^{0,5309} \cdot e^{-0,03689 \cdot 210 - 190} = 53,37 \text{ кПа}.$$

9. Знайдемо похибку  $\delta$  між одержаними величинами напружень зсуву  $\tau_4$  і  $\tau_4^{\text{теор}}$ :

$$\delta = (|\tau_4 - \tau_4^{\text{теор}}| / \tau_4) \cdot 100\% = (|50 - 53,37| / 50) \cdot 100\% = 6,74\%.$$

Так як величина похибки не перевищує 15% вважаємо, що отримані апроксимуючі рівняння придатні для інженерних розрахунків.

Якщо величина похибки перевищує 15% то таке рівняння не придатне для використання. Щоб при виконанні практичної роботи уникнути цього явища слід умовно поділити криві течії на проміжки, які можна вважати прямими та паралельними і знайти апроксимуючі рівняння для кожного з цих проміжків.

Слід зауважити, що отримані рівняння придатні для використання в діапазоні швидкостей зсуву  $1 \div 100 \text{ с}^{-1}$  (на графіку – ділянка на якій криві течії умовно прямолінійні). При швидкості зсуву понад  $100 \text{ с}^{-1}$  спостерігається суттєве відхилення кривої  $T_1 = 190^\circ\text{C}$  від прямолінійності, тому для цього діапазону слід знайти окремі апроксимуючі рівняння.

### 3 СКЛАДАННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ РЕАКТОРА ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ЕТИЛЕНУ ПРИ НИЗЬКОМУ ТИСКУ

**Завдання.** Скласти матеріальний баланс реактора полімеризації етилену при низькому тиску використовуючи наступні вихідні дані:

- 1) продуктивність по поліетилену  $G_{\Pi}^{\Gamma} = 20000 + 450 \cdot N$  т/рік, де  $N$  – номер варіанту.
- 2) кількість годин роботи реактора на протязі року  $\tau_{\text{эф}} = 7200$ ;
- 3) сумарні втрати етилену і поліетилену в процесі полімеризації  $\Pi_1 = 1,5$  % мас.;
- 4) втрати етилену на утворення низькомолекулярного поліетилену  $\Pi_2 = 2$  % мас.;
- 5) склад свіжого етилену, % мас.:  $x_{C_2H_4} = 0,2$ ;  $x_{C_2H_6} = 99,5$ ;  $x_{C_2H_2} = 0,3$ ;
- 6) вміст етилену в циркулюючому етилені  $y = 0,98$ ;
- 7) витрата каталізаторів: триетилалюмінію (TEA)  $a_{\text{TEA}} = 0,4$ ; тетрахлоридтитанату ( $TiCl_4$ )  $a_{TiCl_4} = 0,6$ ;
- 8) в реактор надходить розчин каталізатора в бензині з концентрацією  $C = 1$  %;
- 9) концентрація поліетилену в каталізаторній пульпі  $C_{\Pi} = 130$  кг/м<sup>3</sup> бензину;
- 10) бензин – розчинник; відносна густина бензину  $d_4^{20} = 0,7$ ;
- 11) тиск в реакторі  $P_p = 0,35$  МПа.

Полімеризацію етилену здійснюють в розчині бензину. Частина етилену, що не вступила в реакцію, рециркулює з метою відведення теплоти. В зв'язку з цим інертні домішки, що поступають з етиленом, вилучаються з віддувним циркулюючим газом.

#### **Розв'язання.**

Складемо матеріальний баланс при продуктивності реактора  $G_{\Pi}^{\Gamma} = 24000$  т/рік [4].

1. Визначаємо витрату поліетилену:

$$G'_{\Pi} = \frac{G_{\Pi}^{\Gamma} \cdot 1000}{\tau_{\text{эф}}} = \frac{24000 \cdot 1000}{7200} = 3333,3 \text{ кг/год.}$$

2. Визначаємо витрату поліетилену з врахуванням втрат:

$$G_{\Pi} = G'_{\Pi} + \frac{G'_{\Pi} \cdot \Pi_1}{100} = 3333,3 + \frac{3333,3 \cdot 1,5}{100} = 3383,3 \text{ кг/год.}$$

3. Визначаємо втрати поліетилену:

$$G_{\Pi} - G'_{\Pi} = 3383,3 - 3333,3 = 50 \text{ кг/год.}$$

4. Визначаємо кількість низькомолекулярного поліетилену:

$$G_{\text{НП}} = \frac{G'_{\Pi} \cdot \Pi_2}{100} = \frac{3333,3 \cdot 2}{100} = 66,7 \text{ кг/год.}$$

5. Визначаємо витрату 100%-го етилену на реакцію:

$$A_E = G_{\Pi} + G_{\text{НП}} = 3383,3 + 66,7 = 3450 \text{ кг/год.}$$

6. Визначаємо кількість віддувного газу.

Кількість віддувного газу знаходимо з газового балансу. Оскільки тиск в системі низький то кількістю розчиненого циркулюючого етилену нехтуємо:

$$V = \frac{A_E \cdot (1 - x)}{x - y}$$

Розмірність  $A$  и  $V$  може бути в кг/год., кмоль/год. або м<sup>3</sup>/год., відповідно, для розрахунку слід використовувати  $x$  і  $y$ , виражені в масових або мольних долях.

$$V = \frac{3450 \cdot (1 - 0,995)}{0,995 - 0,98} = 1150 \text{ кг/год.}$$

7. Визначаємо кількість віддуваного 100%-го етилену:

$$V_{C_2H_4} = V \cdot y = 1150 \cdot 0,98 = 1127 \text{ кг/год.}$$

8. Визначаємо кількість віддуваних домішок:

$$V_{\text{ПР}} = V - V_{C_2H_4} = 1150 - 1127 = 23 \text{ кг/год.}$$

9. Визначаємо кількість поступаючого свіжого етилену:

$$G_{C_2H_4}^{\text{CB}} = \frac{A_E + V_{C_2H_4}}{x} = \frac{3450 + 1127}{0,995} = 4600 \text{ кг/год.}$$

10. Визначаємо кількість поступаючого 100%-го етилену:

$$G_{C_2H_4} = G_{C_2H_4}^{\text{CB}} \cdot x = 4600 \cdot 0,995 = 4577 \text{ кг/год.}$$



11. Визначаємо кількість поступаючих домішок:

$$V_{\text{пр}} = G_{C_2H_4}^{\text{CB}} \cdot (1 - x) = 4600 \cdot (1 - 0,995) = 23 \text{ кг/год.}$$

тобто кількість домішок, які поступають з етиленом, дорівнює кількості віддуваних домішок.

12. Визначаємо об'ємну витрату бензину (розчинника):

$$V_{\text{Б}} = \frac{G_{\text{П}}}{C_{\text{П}}} = \frac{3383,3}{130} = 26,025 \text{ м}^3/\text{год.}$$

13. Визначаємо масову витрату бензину:

$$G_{\text{Б}} = V_{\text{Б}} \cdot d_4^{20} = 26,025 \cdot 700 = 18217,8 \text{ кг/год.}$$

14. Визначаємо витрату  $TiCl_4$ :

$$G'_{TiCl_4} = \frac{G_{\text{П}} \cdot a_{TiCl_4}}{100} = \frac{3383,3 \cdot 0,6}{100} = 20,3 \text{ кг/год.}$$

15. Визначаємо витрату ТЕА:

$$G'_{\text{ТЕА}} = \frac{G_{\text{П}} \cdot a_{\text{ТЕА}}}{100} = \frac{3383,3 \cdot 0,4}{100} = 13,5 \text{ кг/год.}$$

16. Визначаємо кількість розчину  $TiCl_4$ :

$$G_{\text{р-ну } TiCl_4} = \frac{G'_{TiCl_4} \cdot 100}{C} = \frac{20,3 \cdot 100}{1,0} = 2030 \text{ кг/год.}$$

17. Визначаємо кількість розчину ТЕА:

$$G_{\text{р-ну ТЕА}} = \frac{G'_{\text{ТЕА}} \cdot 100}{C} = \frac{13,5 \cdot 100}{1,0} = 1353 \text{ кг/год.}$$

18. Визначаємо кількість бензину на приготування розчинів каталізаторів:

$$\text{а) } G_{\text{Б в р-ні } TiCl_4} = G_{\text{р-ну } TiCl_4} - G'_{TiCl_4} = 2030 - 20,3 = 2009,7 \text{ кг/год.}$$

$$\text{б) } G_{\text{Б в р-ні ТЕА}} = G_{\text{р-ну ТЕА}} - G'_{\text{ТЕА}} = 1353 - 13,5 = 1339,5 \text{ кг/год.}$$

19. Визначаємо, скільки всього бензину в каталізаторному розчині:

$$G_{\text{Б}} = G_{\text{Б в р-ні } TiCl_4} + G_{\text{Б в р-ні ТЕА}} = 2009,7 + 1339,5 = 3349,2 \text{ кг/год.}$$

20. Складаємо матеріальний баланс процесу отримання ПЕВГ (табл. 1).

Таблиця 3.1 – Матеріальний баланс процесу отримання ПЕВГ

| Приход                                        | кг/год         | Витрата                                        | кг/год         |
|-----------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------|----------------|
| <b>1. Етилен свіжий, в т.ч.:</b>              | 4600,0         | <b>1. Суспензія поліетилену, в т.ч.:</b>       | 25000,8        |
| а) етилен 100%-й                              | 4577,0         | а) поліетилен                                  | 3333,3         |
| б) інертні домішки                            | 23,0           | б) низькомолекулярний поліетилен               | 66,7           |
| <b>2. Розчин <math>TiCl_4</math>. в т.ч.:</b> | 2030,0         | в) бензин                                      | 21567,0        |
| а) $TiCl_4$                                   | 20,3           | г) каталізаторний комплекс<br>( $TiCl_4$ +TEA) | 33,8           |
| б) бензин                                     | 2009,7         |                                                |                |
| <b>3. Розчин ТЕА, в т.ч.:</b>                 | 1353,0         | <b>2. Здувка, в т.ч.:</b>                      | 1150,0         |
| а) ТЕА                                        | 13,5           | а) етилен                                      | 127,0          |
| б) бензин                                     | 1339,5         | б) домішки                                     | 23,0           |
| <b>4. Бензин (розчинник)</b>                  | 18217,8        | <b>3. Втрати</b>                               | 50,0           |
| <b>Всього</b>                                 | <b>26200,8</b> | <b>Всього</b>                                  | <b>26200,8</b> |

## **4 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПОПЕРЕЧНОМУ ПЕРЕРІЗІ ПОЛІМЕРНОГО ВИРОБУ ПРИ ЙОГО ОХОЛОДЖЕННІ ШЛЯХОМ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**Завдання.** Проаналізувати зміну температури в поперечному перетині полімерного виробу при його охолодженні (двовимірна задача). Визначити температуру в заданих точках поперечного перетину виробу, середню температуру виробу в даному перетині і побудувати графічне зображення розподілу температури.

Вихідні дані:

- форма поперечного перетину виробу – квадрат зі стороною  $x = y = 4$  см;
- кількість ділянок розбиття перетину виробу по вертикалі і горизонталі – 4;
- температура охолоджуючої рідини –  $T = 20^\circ\text{C}$ ;
- температура полімеру на виході з екструдера –  $T_p^0 = 100^\circ\text{C}$ ;
- тривалість охолодження виробу  $\Delta\tau = 400$  с;
- теплопровідність матеріалу –  $\gamma = 0,121 + 0,001 \cdot N$  Вт/(м·К), де  $N$  – номер варіанту;
- густина матеріалу  $\rho = 1067 - 10 \cdot N$  кг/м<sup>3</sup>;
- теплоємність матеріалу  $c_p = 1240 - 7 \cdot N$  Дж/(кг·К).

### **Методика розв'язання.**

Математична модель процесу охолодження полімерного виробу в поперечному перерізі (двовимірна задача) містить рівняння нестационарної теплопровідності при відсутності внутрішніх джерел енергії:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}$$

Для розв'язання цього рівняння використаємо метод сіток.

Апроксимуючи похідні в рівнянні отримуємо наступні вирази:

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta x^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{T_{j+1} - 2T_j + T_{j-1}}{\Delta y^2}$$

Дискретний аналог отриманого рівняння зображено на рис. 4.1 і описується формулою (4.1):

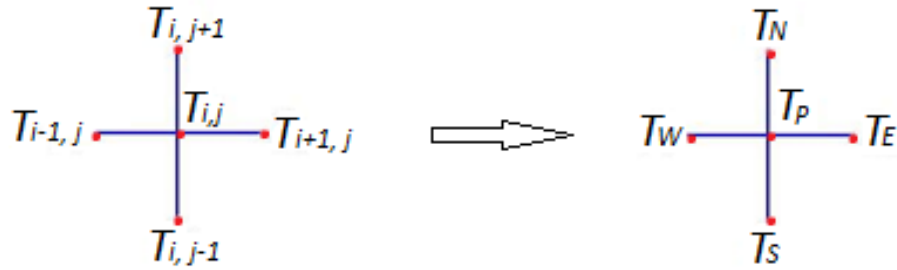


Рис. 4.1 – Графічне зображення дискретного аналогу рівняння нестационарної теплопровідності.

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S + b \quad (4.1)$$

Коефіцієнти, що входять в дану формулу визначаються наступним чином:

$$a_E = \lambda \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad a_W = \lambda \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad a_N = \lambda \frac{\Delta x}{\Delta y}; \quad a_S = \lambda \frac{\Delta x}{\Delta y};$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0;$$

$$b = a_P^0 \cdot T_P^0;$$

$$a_P^0 = \frac{\rho \cdot c_P \cdot \Delta x \cdot \Delta y}{\Delta \tau}.$$

*Примітка:* коефіцієнт  $a_P^0$  характеризує нестационарність процесу теплопровідності, а коефіцієнт  $b$  – стан об'єкта в початковий момент часу.

**Розв'язання.**

Задаємо умови для розв'язання рівняння нестационарної теплопровідності.

Геометричні умови. Розділивши поперечний перетин виробу на чотири ділянки по горизонталі і вертикалі отримаємо крок між вузловими температурними точками:  $\Delta x = 0,01$  м,  $\Delta y = 0,01$  м.

Граничні умови. Температура на поверхні виробу під час його охолодження визначається температурою охолоджуючої води (теплопровідність якої значно вища, ніж теплопровідність полімеру)  $T = 20^\circ\text{C}$ .

Початкові умови. Початкова температура полімеру перед ванною охолодження виробу визначається температурою полімеру на виході з екструдера  $T_p^0 = 100^\circ\text{C}$ . Час охолодження, після якого потрібно визначити температуру у вузлових точках поперечного перерізу виробу згідно умови задачі становить  $\Delta\tau = 400$  с.

Знаходимо коефіцієнти, що входять у рівняння (4.1):

$$a_E = 0,121 \frac{0,01}{0,01} = 0,121 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad a_W = 0,121 \frac{0,01}{0,01} = 0,121 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$$a_N = 0,121 \frac{0,01}{0,01} = 0,121 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad a_S = 0,121 \frac{0,01}{0,01} = 0,121 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$$a_p^0 = \frac{1067 \cdot 1240 \cdot 0,01 \cdot 0,01}{400} = 0,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$$a_p = 0,121 + 0,121 + 0,121 + 0,121 + 0,33 = 0,814 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

$$b = 0,33 \cdot 100 = 33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}.$$

Так як в нашому випадку відстань між вузловими точками однакова то коефіцієнти  $a_E, a_W, a_N, a_S$  рівні між собою надалі позначатимемо їх через єдиний коефіцієнт  $a$ .

Використовуючи рівняння (4.1) і знайдені коефіцієнти запишемо його відносно кожної вузлової точки  $T_1 \dots T_9$  згідно розрахункової схеми, зображеної на рис. 4.2 користуючись схемою дискретного аналогу рівняння нестационарної теплопровідності (рис. 4.1).

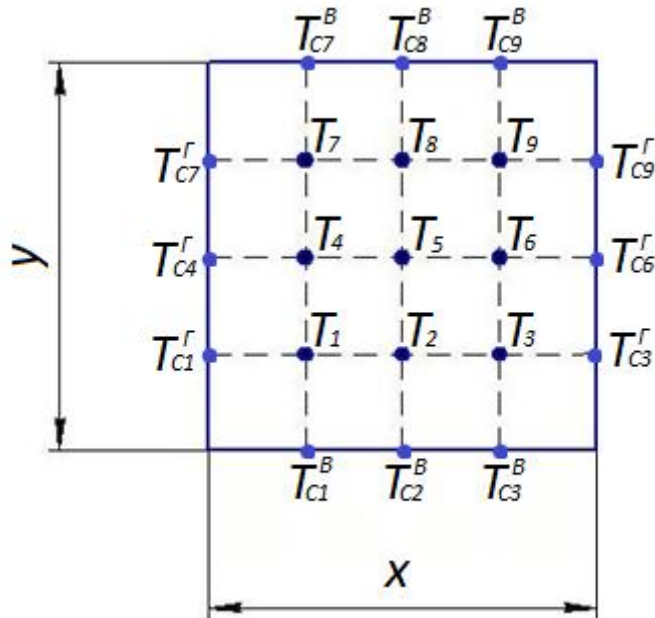


Рис. 4.2 – Розрахункова схема розв’язання задачі.

Для вузлової точки  $T_1$ :

$$a_p T_1 = a T_2 + a T_4 + a T_{C1}^B + a T_{C1}^\Gamma + b$$

$$0,814 T_1 = 0,121 T_2 + 0,121 T_4 + 0,121 \cdot 20 + 0,121 \cdot 20 + 33$$

$$0,814 T_1 - 0,121 T_2 - 0,121 T_4 = 37,84$$

Для вузлових точок  $T_2 \dots T_9$  рівняння записують аналогічним чином.

Отримавши дев’ять рівнянь (для кожної вузлової точки) записують матрицю коефіцієнтів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Матриця значень коефіцієнтів, отриманих з рівнянь для вузлових точок  $T_1 \dots T_9$ .

| Коефіцієнти при температурах $T_1 \dots T_9$ |        |        |        |        |        |        |        |       | Права частина рівняння |
|----------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------------------------|
| $T_1$                                        | $T_2$  | $T_3$  | $T_4$  | $T_5$  | $T_6$  | $T_7$  | $T_8$  | $T_9$ |                        |
| 0,814                                        | -0,121 | 0      | -0,121 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 37,84                  |
| -0,121                                       | 0,814  | -0,121 | 0      | -0,121 | 0      | 0      | 0      | 0     | 35,42                  |
| 0                                            | -0,121 | 0,814  | 0      | 0      | -0,121 | 0      | 0      | 0     | 37,84                  |
| -0,121                                       | 0      | 0      | 0,814  | -0,121 | 0      | -0,121 | 0      | 0     | 35,42                  |
| 0                                            | -0,121 | 0      | -0,121 | 0,814  | -0,121 | 0      | -0,121 | 0     | 33                     |

|   |   |        |        |        |        |        |        |        |       |
|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 0 | 0 | -0,121 | 0      | -0,121 | 0,814  | 0      | 0      | -0,121 | 35,42 |
| 0 | 0 | 0      | -0,121 | 0      | 0      | 0,814  | -0,121 | 0      | 37,84 |
| 0 | 0 | 0      | 0      | -0,121 | 0      | -0,121 | 0,814  | -0,121 | 35,42 |
| 0 | 0 | 0      | 0      | 0      | -0,121 | 0      | -0,121 | 0,814  | 37,84 |

Наведена вище матриця коефіцієнтів є вхідними даними для програми розв'язання отриманих рівнянь з метою знаходження значень температури у вузлових точках  $T_1 \dots T_9$  (Додаток В).

Після виконання програми отримаємо наступні значення температури у вузлових точках  $T_1 \dots T_9$ :

$$T_1 = 69,36809^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 76,96539^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 69,36809^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 76,9654^\circ\text{C}$$

$$T_5 = 86,30375^\circ\text{C}$$

$$T_6 = 76,96539^\circ\text{C}$$

$$T_7 = 69,36809^\circ\text{C}$$

$$T_8 = 76,96539^\circ\text{C}$$

$$T_9 = 69,36809^\circ\text{C}$$

Щоб визначити середню температуру виробу в заданому поперечному перетині запишемо матрицю розподілу значень температури у вузлових точках і на поверхні цього перетину (див. схему на рис. 4.2):

$$T = \begin{matrix} 20 & 20 & 20 & 20 & 20 \\ 20 & 69,4 & 76,9 & 69,4 & 20 \\ 20 & 76,9 & 86,3 & 76,9 & 20 \\ 20 & 69,4 & 76,9 & 69,4 & 20 \\ 20 & 20 & 20 & 20 & 20 \end{matrix}$$

Визначаємо середню температуру виробу в заданому поперечному перетині:

$$T_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^{25} T_i}{25} = \frac{16 \cdot 20 + 4 \cdot 69,4 + 4 \cdot 76,9 + 86,3}{25} = 39,7^\circ\text{C}$$

Графічне зображення розподілу температури в поперечному перетині виробу побудуємо використовуючи програму Microsoft Excel. Для цього

вибираємо тип діаграми «об'ємна поверхнева діаграма» і вводимо отриману вище матрицю розподілу значень температури та задаємо розміри сторін поперечного перетину виробу. Отриманий результат наведений на рис. 4.3.

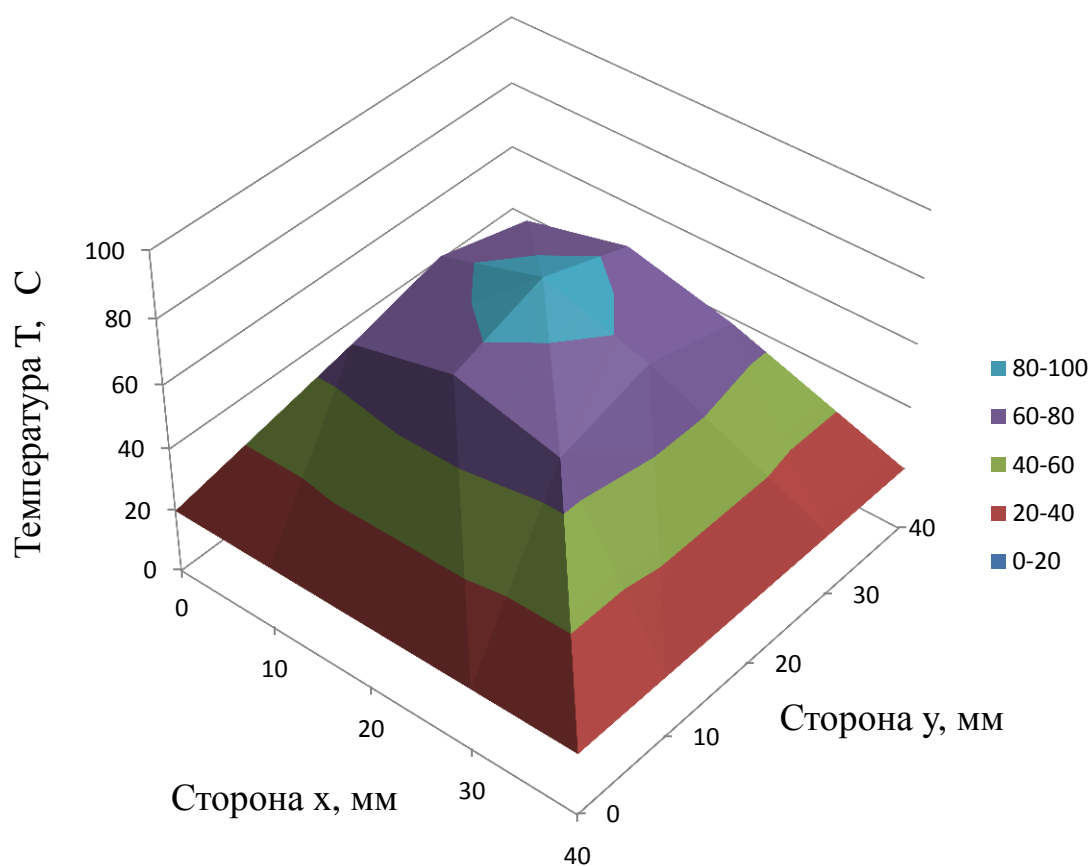


Рис. 4.3 – Розподіл температури в поперечному перетині виробу (об'ємна поверхнева діаграма).

Також можна вибрати тип діаграми «контурна діаграма». Отриманий результат наведений на рис. 4.4.



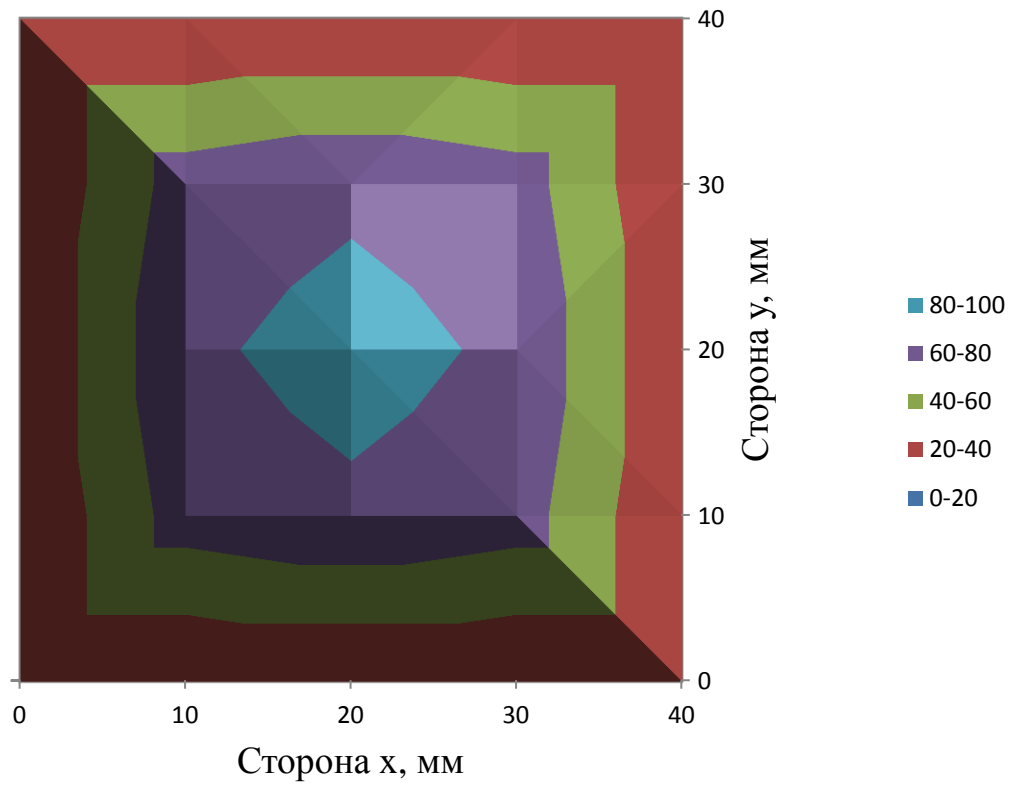


Рис. 4.4 – Розподіл температури в поперечному перетині виробу (контурна діаграма).

## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ТЕЧІЇ РОЗПЛАВУ ПОЛІМЕРУ В КАНАЛАХ КРУГЛОГО І КІЛЬЦЕВОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНІВ

**Завдання.** Розрахувати поля швидкостей для розплаву АВС пластику, що рухається:

- в трубі з зовнішнім діаметром  $D_1$ ;
- між двома трубами, зовнішній діаметр яких  $D_1$  і  $D_2$ .

На основі отриманих результатів побудувати відповідні графічні залежності.

**Вихідні дані.** Зовнішні діаметри труб:  $D_1=32+2\cdot N$  мм,  $D_2=64+2\cdot N$  мм, де  $N$  – номер варіанту. Товщина стінок труб – 2 мм. В'язкість розплаву полімеру – 17015 Па·с. Перепад тиску по довжині каналу – 500 Па/м.

### Розв'язання.

Зобразимо розрахункову схему поперечного перерізу каналів, через які рухається полімер, з зазначенням відповідних геометричних розмірів (рис. 5.1).

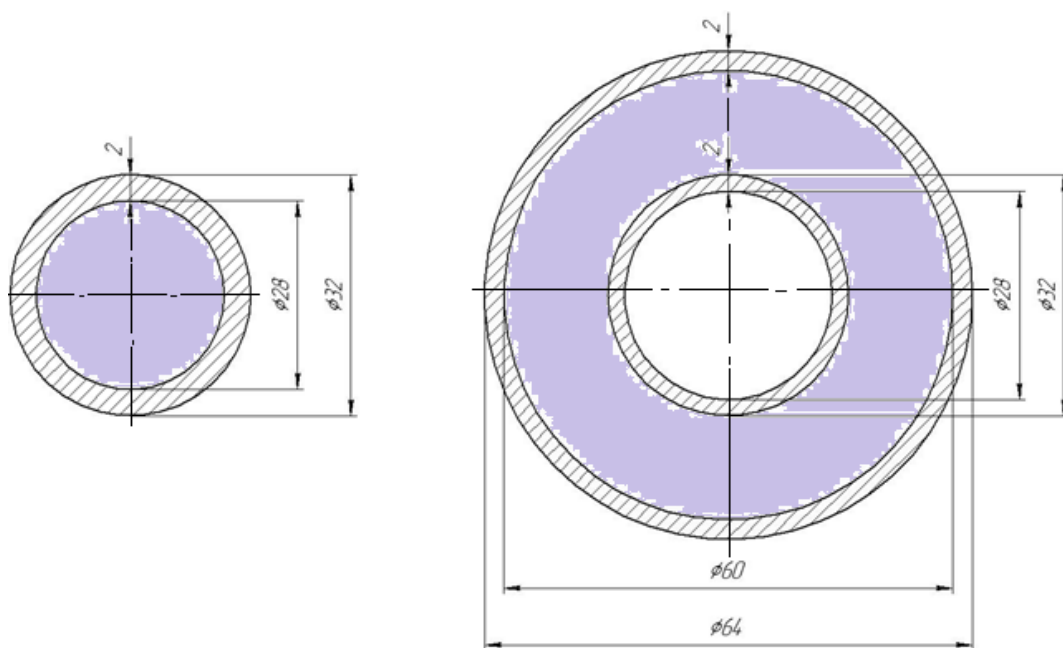


Рис. 5.1 – Розрахункова схема поперечного перерізу каналів, через які рухається полімер.

Для круглого поперечного перетину труби зміну швидкості руху полімеру поперек каналу розрахуємо за формулою:

$$W_z = \frac{\Delta p}{4\mu} \cdot (r^2 - R^2),$$

де:  $\Delta p$  – перепад тиску по довжині каналу, Па/м;

$\mu$  – в'язкість розплаву, Па·с;

$r$  – значення радіусу внутрішнього каналу труби в розрахунковій точці, м;

$R$  – максимальний радіус внутрішнього каналу труби, м.

Для кільцевого поперечного перетину труби зміну швидкості руху полімеру поперек каналу розрахуємо за формулою:

$$W_z = -\frac{1}{4\mu} \Delta p \cdot r^2 + c_1 \cdot \ln r + c_2,$$

де:  $c_1, c_2$  – константи, отримані після інтегрування.

$$c_1 = \frac{\Delta p}{4\mu} \frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

$$c_2 = \frac{\Delta p}{4\mu} R_1^2 - \ln R_1 \frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

де:  $R_1$  – мінімальний радіус внутрішнього каналу міжтрубного простору, м;

$R_2$  – максимальний радіус внутрішнього каналу міжтрубного простору, м.

Згідно розрахункової схеми на рис. 5.1 знайдемо значення радіусів  $R, R_1$  і  $R_2$ :  $R=0,014$  м,  $R_1=0,016$  м,  $R_2=0,03$  м. Радіус внутрішнього каналу труби  $r$  в розрахунковій точці змінюватимемо з кроком 0,002 м.

Для розрахунків і побудови графічних залежностей використаємо програму Microsoft Excel.

Отримані результати зміни швидкості руху полімеру поперек каналу круглого поперечного перетину наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Зміна швидкості руху полімеру поперек каналу круглого поперечного перетину

| <b>r, м</b> | <b>R, м</b> | <b><math>\mu</math>, Па·с</b> | <b><math>\Delta p</math>, Па/м</b> | <b><math>W_z</math>, м/с</b> |
|-------------|-------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 0           | 0,014       | 17015                         | 500                                | 1,43991E-06                  |
| 0,002       | 0,014       | 17015                         | 500                                | 1,41052E-06                  |
| 0,004       | 0,014       | 17015                         | 500                                | 1,32236E-06                  |
| 0,006       | 0,014       | 17015                         | 500                                | 1,17543E-06                  |
| 0,008       | 0,014       | 17015                         | 500                                | 9,69733E-07                  |
| 0,01        | 0,014       | 17015                         | 500                                | 7,0526E-07                   |
| 0,012       | 0,014       | 17015                         | 500                                | 3,82016E-07                  |
| 0,014       | 0,014       | 17015                         | 500                                | 0                            |

Графічна залежність зміни швидкості руху полімеру поперек каналу круглого поперечного перетину побудована за результатами з табл. 5.1 і наведена на рис. 5.2.

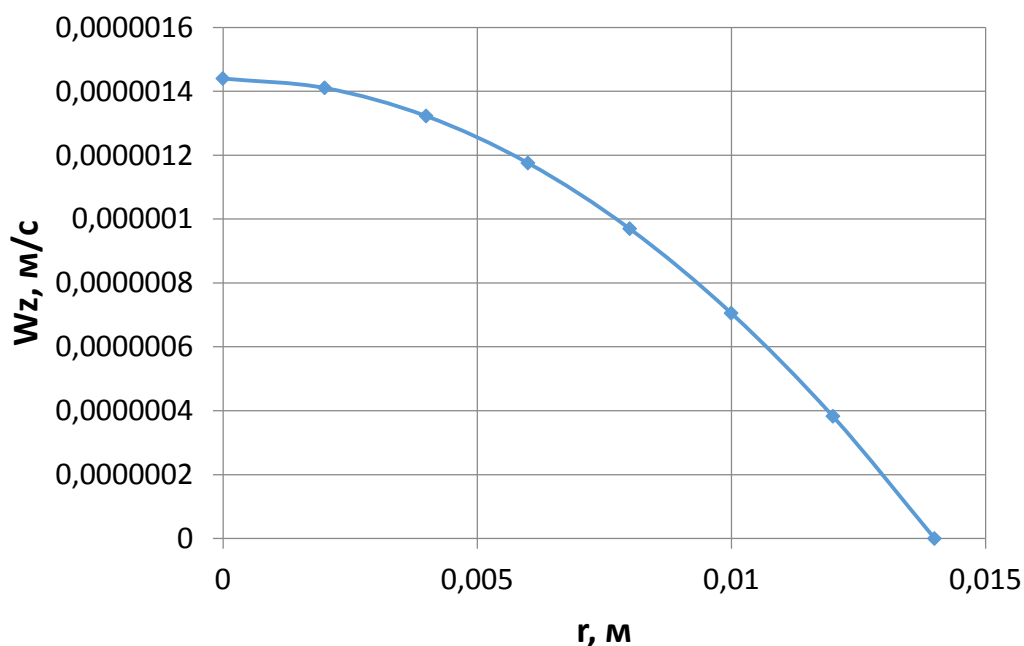


Рис. 5.2 – Зміна швидкості руху полімеру поперек каналу круглого поперечного перетину.

Отримані результати зміни швидкості руху полімеру поперек каналу кільцевого поперечного перетину наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Зміна швидкості руху полімеру поперек каналу кільцевого поперечного перетину

| <b>r, м</b> | <b>R1, м</b> | <b>R2, м</b> | <b><math>\mu</math>, Па·с</b> | <b><math>\Delta p</math>, Па/м</b> | <b>c1</b>   | <b>c2</b>   | <b>Wz, м/с</b> |
|-------------|--------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|----------------|
| 0,016       | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 0              |
| 0,018       | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 3,87E-07       |
| 0,02        | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 6,22E-07       |
| 0,022       | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 7,22E-07       |
| 0,024       | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 7,01E-07       |
| 0,026       | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 5,69E-07       |
| 0,028       | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 3,33E-07       |
| 0,03        | 0,016        | 0,03         | 17015                         | 500                                | 7,52634E-06 | 3,30033E-05 | 0              |

Графічна залежність зміни швидкості руху полімеру поперек каналу кільцевого поперечного перетину побудована за результатами з табл. 5.2 і наведена на рис. 5.3.

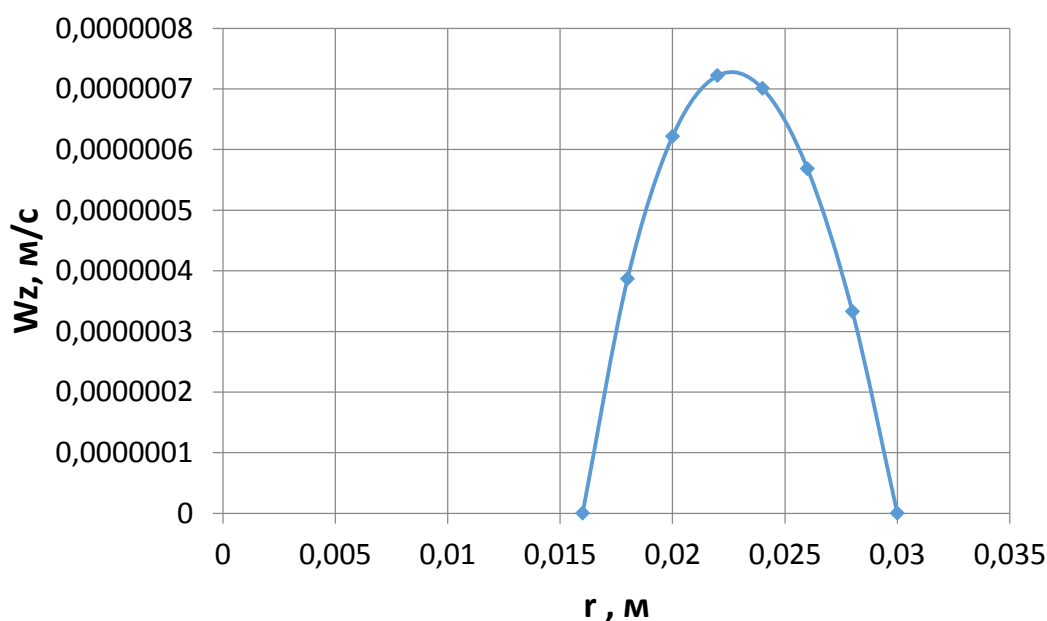


Рис. 5.3 – Зміна швидкості руху полімеру поперек каналу кільцевого поперечного перетину.

## ДОДАТОК А

Теплофізичні властивості полімерних матеріалів

Теплофізичні властивості полімерних матеріалів викладені за авторами [1].

### Варіант 1.

Полівінілхлорид непластифікований марки ПВХ-С70 (густина 1561 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,207                                        | 0,097                              | 1561                         | 1,49                                       | 28,0                      |
| 25                  | 0,206                                        | 0,095                              | 1560                         | 1,51                                       | 37,4                      |
| 30                  | 0,206                                        | 0,094                              | 1559                         | 1,54                                       | 46,8                      |
| 35                  | 0,206                                        | 0,092                              | 1558                         | 1,56                                       | 56,2                      |
| 40                  | 0,205                                        | 0,091                              | 1557                         | 1,58                                       | 65,6                      |
| 45                  | 0,205                                        | 0,089                              | 1556                         | 1,61                                       | 75,0                      |
| 50                  | 0,205                                        | 0,088                              | 1555                         | 1,63                                       | 84,4                      |
| 55                  | 0,204                                        | 0,086                              | 1554                         | 1,65                                       | 93,8                      |
| 60                  | 0,204                                        | 0,084                              | 1553                         | 1,68                                       | 103,2                     |
| 65                  | 0,204                                        | 0,083                              | 1552                         | 1,70                                       | 112,6                     |
| 70                  | 0,204                                        | 0,081                              | 1551                         | 1,73                                       | 122,0                     |
| 75                  | 0,203                                        | 0,080                              | 1550                         | 1,75                                       | 131,4                     |
| 80                  | 0,203                                        | 0,078                              | 1549                         | 1,78                                       | 140,8                     |
| 85                  | 0,203                                        | 0,077                              | 1548                         | 1,80                                       | 150,2                     |
| 90                  | 0,202                                        | 0,075                              | 1547                         | 1,83                                       | 159,6                     |
| 95                  | 0,202                                        | 0,074                              | 1546                         | 1,85                                       | 169,0                     |
| 100                 | 0,201                                        | 0,072                              | 1545                         | 1,87                                       | 178,4                     |
| 105                 | 0,201                                        | 0,070                              | 1544                         | 1,90                                       | 187,8                     |
| 110                 | 0,200                                        | 0,069                              | 1543                         | 1,92                                       | 187,2                     |
| 115                 | 0,199                                        | 0,067                              | 1542                         | 1,94                                       | 206,6                     |
| 120                 | 0,198                                        | 0,066                              | 1541                         | 1,97                                       | 216,0                     |
| 125                 | 0,197                                        | 0,064                              | 1540                         | 1,99                                       | 225,4                     |
| 130                 | 0,196                                        | 0,063                              | 1539                         | 2,02                                       | 234,8                     |
| 135                 | 0,194                                        | 0,061                              | 1538                         | 2,04                                       | 244,2                     |
| 140                 | 0,193                                        | 0,059                              | 1537                         | 2,07                                       | 253,6                     |
| 145                 | 0,191                                        | 0,058                              | 1536                         | 2,09                                       | 263,0                     |
| 150                 | 0,190                                        | 0,056                              | 1535                         | 2,12                                       | 272,4                     |
| 155                 | 0,187                                        | 0,055                              | 1534                         | 2,14                                       | 281,8                     |
| 160                 | 0,183                                        | 0,053                              | 1533                         | 2,16                                       | 291,2                     |
| 161,5               | 0,181                                        | 0,053                              | 1533                         | 2,17                                       | 293,0                     |
| 163                 | 0,177                                        | 0,050                              | 1532                         | 2,17                                       | 296,0                     |
| 164,5               | 0,171                                        | 0,040                              | 1532                         | 2,18                                       | 298,5                     |
| 166                 | 0,160                                        | 0,025                              | 1532                         | 2,18                                       | 300,6                     |

|       |       |       |      |      |       |
|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 167,5 | 0,156 | 0,020 | 1531 | 2,19 | 303,0 |
| 169   | 0,157 | 0,021 | 1531 | 2,20 | 306,4 |
| 170,5 | 0,158 | 0,023 | 1531 | 2,21 | 310,0 |
| 172   | 0,159 | 0,030 | 1531 | 2,22 | 313,2 |
| 173,5 | 0,161 | 0,035 | 1530 | 2,22 | 317,1 |
| 175   | 0,163 | 0,040 | 1530 | 2,23 | 320   |
| 176,5 | 0,167 | 0,044 | 1529 | 2,24 | 323,1 |
| 178   | 0,170 | 0,047 | 1529 | 2,25 | 326,4 |
| 179,5 | 0,172 | 0,050 | 1529 | 2,25 | 330,0 |
| 181   | 0,173 | 0,049 | 1529 | 2,26 | 333,2 |
| 185   | 0,175 | 0,048 | 1528 | 2,28 | 340,0 |
| 190   | 0,176 | 0,046 | 1527 | 2,30 | 349,4 |
| 195   | 0,177 | 0,044 | 1526 | 2,33 | 358,8 |
| 200   | 0,178 | 0,043 | 1526 | 2,35 | 368,2 |

### Варіант 2.

Полівінілхлорид пластифікований марки ПВХ-Л5 (густина 1214 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,174                                        | 0,085                              | 1214                         | 1,64                                       | 34                        |
| 25                  | 0,174                                        | 0,086                              | 1208                         | 1,65                                       | 43                        |
| 30                  | 0,174                                        | 0,086                              | 1202                         | 1,66                                       | 51                        |
| 35                  | 0,174                                        | 0,087                              | 1196                         | 1,67                                       | 60                        |
| 40                  | 0,174                                        | 0,088                              | 1190                         | 1,67                                       | 69                        |
| 45                  | 0,174                                        | 0,088                              | 1185                         | 1,68                                       | 77                        |
| 50                  | 0,174                                        | 0,089                              | 1180                         | 1,69                                       | 86                        |
| 55                  | 0,174                                        | 0,090                              | 1173                         | 1,70                                       | 95                        |
| 60                  | 0,175                                        | 0,090                              | 1168                         | 1,71                                       | 103                       |
| 65                  | 0,177                                        | 0,091                              | 1162                         | 1,72                                       | 112                       |
| 70                  | 0,179                                        | 0,092                              | 1156                         | 1,72                                       | 121                       |
| 75                  | 0,181                                        | 0,092                              | 1150                         | 1,73                                       | 130                       |
| 80                  | 0,182                                        | 0,093                              | 1145                         | 1,74                                       | 138,5                     |
| 85                  | 0,184                                        | 0,094                              | 1139                         | 1,75                                       | 147,5                     |
| 90                  | 0,186                                        | 0,094                              | 1134                         | 1,76                                       | 156                       |
| 95                  | 0,187                                        | 0,095                              | 1128                         | 1,77                                       | 165                       |
| 100                 | 0,187                                        | 0,095                              | 1122                         | 1,78                                       | 173                       |
| 105                 | 0,185                                        | 0,095                              | 1117                         | 1,78                                       | 182,5                     |
| 110                 | 0,182                                        | 0,094                              | 1110                         | 1,79                                       | 190                       |
| 111,5               | 0,180                                        | 0,092                              | 1108                         | 1,79                                       | 192,5                     |
| 113                 | 0,179                                        | 0,090                              | 1106                         | 1,80                                       | 196                       |
| 114,5               | 0,177                                        | 0,087                              | 1105                         | 1,80                                       | 200                       |



|       |       |       |      |      |       |
|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 116   | 0,176 | 0,085 | 1103 | 1,80 | 201   |
| 117,5 | 0,175 | 0,085 | 1102 | 1,81 | 203,5 |
| 119   | 0,174 | 0,085 | 1101 | 1,81 | 206   |
| 120,5 | 0,174 | 0,085 | 1100 | 1,81 | 208   |
| 125   | 0,170 | 0,085 | 1094 | 1,82 | 217   |
| 130   | 0,166 | 0,086 | 1088 | 1,83 | 225   |
| 135   | 0,162 | 0,086 | 1082 | 1,84 | 234   |
| 140   | 0,158 | 0,086 | 1076 | 1,84 | 243   |

### Варіант 3.

Полістирол блочний марки Т ГОСТ 9440-60 (густина 1049 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,143                                        | 0,133                              | 1049                         | 1,16                                       | 18                        |
| 25                  | 0,143                                        | 0,120                              | 1049                         | 1,17                                       | 25                        |
| 30                  | 0,143                                        | 0,119                              | 1048                         | 1,18                                       | 30                        |
| 35                  | 0,144                                        | 0,117                              | 1048                         | 1,20                                       | 36                        |
| 40                  | 0,145                                        | 0,116                              | 1048                         | 1,21                                       | 42                        |
| 45                  | 0,146                                        | 0,115                              | 1047                         | 1,22                                       | 48                        |
| 50                  | 0,147                                        | 0,114                              | 1045                         | 1,23                                       | 54                        |
| 55                  | 0,149                                        | 0,113                              | 1045                         | 1,25                                       | 60                        |
| 60                  | 0,152                                        | 0,112                              | 1040                         | 1,28                                       | 67                        |
| 65                  | 0,155                                        | 0,111                              | 1035                         | 1,33                                       | 74                        |
| 70                  | 0,159                                        | 0,110                              | 1027                         | 1,38                                       | 80                        |
| 75                  | 0,164                                        | 0,110                              | 1015                         | 1,46                                       | 88                        |
| 80                  | 0,170                                        | 0,109                              | 1005                         | 1,53                                       | 95                        |
| 85                  | 0,175                                        | 0,109                              | 985                          | 1,63                                       | 104                       |
| 90                  | 0,179                                        | 0,109                              | 960                          | 1,75                                       | 112                       |
| 95                  | 0,182                                        | 0,108                              | 940                          | 1,82                                       | 120                       |
| 100                 | 0,182                                        | 0,109                              | 915                          | 1,84                                       | 128                       |
| 101,5               | 0,186                                        | 0,112                              | 914                          | 1,82                                       | 135                       |
| 104,5               | 0,187                                        | 0,113                              | 910                          | 1,73                                       | 137                       |
| 106                 | 0,187                                        | 0,114                              | 911                          | 1,71                                       | 139                       |
| 110                 | 0,188                                        | 0,114                              | 908                          | 1,75                                       | 146                       |
| 115                 | 0,190                                        | 0,113                              | 905                          | 1,81                                       | 156                       |
| 120                 | 0,191                                        | 0,113                              | 902                          | 1,86                                       | 165                       |
| 125                 | 0,191                                        | 0,113                              | 899                          | 1,92                                       | 175                       |
| 130                 | 0,192                                        | 0,112                              | 897                          | 1,97                                       | 185                       |
| 135                 | 0,193                                        | 0,110                              | 893                          | 2,0                                        | 195                       |
| 140                 | 0,193                                        | 0,108                              | 890                          | 2,0                                        | 205                       |
| 145                 | 0,193                                        | 0,106                              | 887                          | 2,1                                        | 215                       |

|     |       |       |     |     |     |
|-----|-------|-------|-----|-----|-----|
| 150 | 0,193 | 0,104 | 884 | 2,1 | 224 |
| 155 | 0,192 | 0,104 | 880 | 2,1 | 234 |
| 160 | 0,192 | 0,103 | 877 | 2,1 | 244 |
| 165 | 0,191 | 0,103 | 874 | 2,1 | 254 |
| 170 | 0,190 | 0,103 | 871 | 2,1 | 264 |
| 175 | 0,190 | 0,103 | 868 | 2,1 | 274 |
| 180 | 0,189 | 0,103 | 865 | 2,1 | 284 |
| 185 | 0,189 | 0,103 | 861 | 2,1 | 294 |
| 190 | 0,186 | 0,104 | 859 | 2,1 | 304 |
| 195 | 0,185 | 0,104 | 856 | 2,1 | 314 |
| 200 | 0,185 | 0,105 | 853 | 2,1 | 324 |

#### Варіант 4.

Поліетилентерефталат (густина 1315 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,205                                        | 0,156                              | 1315                         | 0,99                                       | 19,4                      |
| 30                  | 0,208                                        | 0,156                              | 1313                         | 1,01                                       | 29,4                      |
| 40                  | 0,211                                        | 0,155                              | 1310                         | 1,04                                       | 39,6                      |
| 60                  | 0,215                                        | 0,155                              | 1309                         | 1,06                                       | 50,1                      |
| 60                  | 0,218                                        | 0,154                              | 1308                         | 1,08                                       | 60,7                      |
| 70                  | 0,221                                        | 0,154                              | 1305                         | 1,10                                       | 71,6                      |
| 80                  | 0,225                                        | 0,153                              | 1304                         | 1,12                                       | 82,7                      |
| 90                  | 0,228                                        | 0,152                              | 1303                         | 1,15                                       | 94,0                      |
| 100                 | 0,231                                        | 0,152                              | 1301                         | 1,17                                       | 105,6                     |
| 110                 | 0,235                                        | 0,151                              | 1300                         | 1,19                                       | 117,4                     |
| 120                 | 0,238                                        | 0,150                              | 1298                         | 1,22                                       | 123,5                     |
| 130                 | 0,241                                        | 0,149                              | 1295                         | 1,25                                       | 135,8                     |
| 140                 | 0,245                                        | 0,149                              | 1290                         | 1,27                                       | 148,3                     |
| 150                 | 0,248                                        | 0,148                              | 1286                         | 1,30                                       | 161,2                     |
| 160                 | 0,252                                        | 0,147                              | 1283                         | 1,33                                       | 174,3                     |
| 170                 | 0,255                                        | 0,145                              | 1280                         | 1,37                                       | 187,9                     |
| 180                 | 0,258                                        | 0,143                              | 1275                         | 1,41                                       | 201,8                     |
| 190                 | 0,262                                        | 0,140                              | 1271                         | 1,47                                       | 216,1                     |
| 200                 | 0,265                                        | 0,137                              | 1265                         | 1,52                                       | 231,0                     |
| 210                 | 0,268                                        | 0,132                              | 1255                         | 1,62                                       | 246,7                     |
| 220                 | 0,272                                        | 0,124                              | 1243                         | 1,76                                       | 263,6                     |
| 230                 | 0,275                                        | 0,115                              | 1228                         | 1,95                                       | 282,0                     |
| 240                 | 0,278                                        | 0,102                              | 1210                         | 2,26                                       | 302,8                     |
| 250                 | 0,282                                        | 0,075                              | 1175                         | 3,19                                       | 328,8                     |
| 260                 | 0,303                                        | 0,057                              | 1117                         | 4,50                                       | 382,7                     |
| 270                 | 0,359                                        | 0,122                              | 1095                         | 3,04                                       | 457,5                     |

|     |       |       |      |      |       |
|-----|-------|-------|------|------|-------|
| 280 | 0,450 | 0,136 | 1090 | 3,68 | 506,2 |
|-----|-------|-------|------|------|-------|

### Варіант 5.

Поліетилен високої щільності П4020-Э (густина 940 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 15                  | 0,502                                        | 0,196                              | 940                          | 2,30                                       | 32,3                      |
| 20                  | 0,500                                        | 0,190                              | 938                          | 2,40                                       | 44,0                      |
| 25                  | 0,497                                        | 0,189                              | 937                          | 2,50                                       | 56,3                      |
| 30                  | 0,494                                        | 0,179                              | 936                          | 2,60                                       | 69,0                      |
| 35                  | 0,491                                        | 0,173                              | 934                          | 2,80                                       | 82,5                      |
| 40                  | 0,487                                        | 0,167                              | 933                          | 2,90                                       | 96,8                      |
| 45                  | 0,484                                        | 0,162                              | 932                          | 3,00                                       | 111,5                     |
| 50                  | 0,480                                        | 0,156                              | 930                          | 3,10                                       | 126,8                     |
| 55                  | 0,475                                        | 0,150                              | 929                          | 3,20                                       | 142,5                     |
| 60                  | 0,468                                        | 0,145                              | 927                          | 3,30                                       | 158,7                     |
| 65                  | 0,462                                        | 0,140                              | 925                          | 3,50                                       | 175,7                     |
| 70                  | 0,452                                        | 0,134                              | 923                          | 3,60                                       | 193,5                     |
| 75                  | 0,446                                        | 0,128                              | 922                          | 3,90                                       | 212,3                     |
| 80                  | 0,439                                        | 0,123                              | 920                          | 4,02                                       | 232,1                     |
| 85                  | 0,430                                        | 0,118                              | 917                          | 4,03                                       | 252,2                     |
| 90                  | 0,422                                        | 0,113                              | 915                          | 4,10                                       | 272,5                     |
| 95                  | 0,412                                        | 0,107                              | 913                          | 4,20                                       | 293,2                     |
| 100                 | 0,402                                        | 0,102                              | 910                          | 4,30                                       | 314,5                     |
| 105                 | 0,392                                        | 0,095                              | 908                          | 4,50                                       | 336,5                     |
| 110                 | 0,382                                        | 0,086                              | 905                          | 4,90                                       | 359,9                     |
| 115                 | 0,369                                        | 0,077                              | 900                          | 5,90                                       | 384,5                     |
| 120                 | 0,353                                        | 0,063                              | 892                          | 9,00                                       | 421,7                     |
| 122                 | 0,344                                        | 0,058                              | 887                          | 10,40                                      | 470,2                     |
| 125                 | 0,335                                        | 0,045                              | 870                          | 13,50                                      | 529,9                     |
| 127                 | 0,328                                        | 0,032                              | 850                          | 24,50                                      | 539,5                     |
| 130                 | 0,290–0,314                                  | 0,05–0,10                          | 883                          | 39/2,8                                     | 698,2                     |
| 135                 | 0,312                                        | 0,105                              | 827                          | 2,90                                       | 712,4                     |
| 140                 | 0,309                                        | 0,104                              | 822                          | 3,00                                       | 727,1                     |
| 145                 | 0,304                                        | 0,104                              | 820                          | 3,07                                       | 742,2                     |
| 150                 | 0,300                                        | 0,103                              | 819                          | 3,12                                       | 757,6                     |
| 155                 | 0,295                                        | 0,103                              | 817                          | 3,20                                       | 773,4                     |
| 160                 | 0,290                                        | 0,102                              | 815                          | 3,30                                       | 789,9                     |

**Варіант 6.**Поліетилен високої щільності П4015 (густина 985 кг/м<sup>3</sup>, тиск 10 МПа).

| <i>T</i> , °C | <i>a</i> ·10 <sup>4</sup> м <sup>2</sup> /с | <i>ρ</i> , кг/м <sup>3</sup> | <i>C<sub>p</sub></i> , кДж/(кг·К) | <i>I</i> , кДж/кг |
|---------------|---------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 20            | 2,520                                       | 985                          | 1,82                              | 37,7              |
| 25            | 2,410                                       | 984,8                        | 1,84                              | 46,1              |
| 30            | 1,973                                       | 984,6                        | 1,85                              | 54,5              |
| 35            | 1,925                                       | 984,1                        | 1,87                              | 62,8              |
| 40            | 1,898                                       | 983,8                        | 1,88                              | 71,2              |
| 45            | 1,853                                       | 983                          | 1,89                              | 81,7              |
| 50            | 1,800                                       | 982,3                        | 1,92                              | 92,2              |
| 55            | 0,760                                       | 981,5                        | 1,93                              | 100,5             |
| 60            | 1,720                                       | 980,5                        | 1,96                              | 108,9             |
| 65            | 1,675                                       | 979,4                        | 1,99                              | 121,5             |
| 70            | 1,617                                       | 978                          | 2,03                              | 129,9             |
| 75            | 1,570                                       | 976,4                        | 2,08                              | 142,4             |
| 80            | 1,503                                       | 974,5                        | 2,13                              | 155,0             |
| 85            | 1,456                                       | 972                          | 2,20                              | 163,4             |
| 90            | 1,400                                       | 969,3                        | 2,28                              | 173,9             |
| 95            | 1,357                                       | 965,5                        | 2,39                              | 186,4             |
| 100           | 1,290                                       | 961                          | 2,49                              | 196,9             |
| 105           | 1,223                                       | 954,5                        | 2,62                              | 209,5             |
| 110           | 1,152                                       | 948                          | 2,79                              | 222,0             |
| 115           | 1,085                                       | 940,5                        | 3,00                              | 236,7             |
| 120           | 0,983                                       | 930,5                        | 2,27                              | 251,4             |
| 121,5         | 0,936                                       | 927                          | 3,39                              | 257,7             |
| 123           | 0,910                                       | 922,5                        | 3,52                              | 263,9             |
| 124,5         | 0,854                                       | 917,6                        | 3,77                              | 271,1             |
| 126           | 0,800                                       | 913,5                        | 5,36                              | 276,5             |
| 127,5         | 0,770                                       | 908                          | 6,70                              | 284,9             |
| 129           | 0,600                                       | 902                          | 7,96                              | 301,7             |
| 130,5         | 0,565                                       | 897                          | 0,84                              | 318,4             |
| 132           |                                             | 888                          | 2,68                              | 321,8             |
| 133,5         |                                             | 880                          | 2,57                              | 323,4             |
| 135           |                                             | 870                          | 2,28                              | 328,9             |
| 136,5         |                                             | 858                          | 2,43                              | 335,2             |
| 138           |                                             | 840                          | 2,39                              | 546,8             |
| 139,5         |                                             | 825                          | 2,36                              | 341,5             |
| 145           |                                             | 820                          | 2,30                              | 351,9             |
| 150           |                                             | 816,5                        | 2,26                              | 364,5             |
| 155           |                                             | 813                          | 2,26                              | 377,1             |
| 160           |                                             | 810                          | 2,26                              | 389,6             |
| 165           |                                             | 806,2                        | 2,28                              | 400,1             |
| 170           |                                             | 803                          | 2,29                              | 410,6             |

|     |  |       |      |       |
|-----|--|-------|------|-------|
| 175 |  | 799,8 | 2,30 | 423,2 |
| 180 |  | 796   | 2,30 | 435,7 |
| 185 |  | 793   | 2,31 | 444,1 |
| 190 |  | 789,8 | 2,31 | 456,7 |
| 195 |  | 786,0 | 2,32 | 469,3 |
| 200 |  | 783   | 2,33 | 481,8 |
| 205 |  | 779,8 | 2,34 | 492,3 |
| 210 |  | 776,2 | 2,35 | 502,8 |
| 215 |  | 773   | 2,35 | 515,3 |
| 220 |  | 769,7 | 2,35 | 527,9 |

### Варіант 7.

Поліетилен низької щільності П2003-К (густина 855 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,415                                        | 0,154                              | 855                          | 3,50                                       | 67,1                      |
| 25                  | 0,410                                        | 0,150                              | 852                          | 3,55                                       | 84,8                      |
| 30                  | 0,407                                        | 0,147                              | 849                          | 3,57                                       | 102,6                     |
| 35                  | 0,402                                        | 0,143                              | 846                          | 3,60                                       | 120,5                     |
| 40                  | 0,398                                        | 0,140                              | 843                          | 3,62                                       | 138,6                     |
| 45                  | 0,394                                        | 0,136                              | 839                          | 3,70                                       | 156,8                     |
| 50                  | 0,390                                        | 0,133                              | 836                          | 3,75                                       | 175,5                     |
| 55                  | 0,386                                        | 0,130                              | 832                          | 3,80                                       | 194,8                     |
| 60                  | 0,382                                        | 0,126                              | 828                          | 3,85                                       | 213,5                     |
| 65                  | 0,378                                        | 0,123                              | 824                          | 3,9                                        | 232,8                     |
| 70                  | 0,374                                        | 0,118                              | 821                          | 3,95                                       | 252,4                     |
| 75                  | 0,370                                        | 0,115                              | 817                          | 4,00                                       | 272,3                     |
| 80                  | 0,366                                        | 0,111                              | 812                          | 4,10                                       | 292,5                     |
| 85                  | 0,362                                        | 0,107                              | 807                          | 4,15                                       | 313,2                     |
| 90                  | 0,358                                        | 0,104                              | 801                          | 4,30                                       | 334,3                     |
| 95                  | 0,353                                        | 0,100                              | 793                          | 4,42                                       | 356,1                     |
| 100                 | 0,348                                        | 0,097                              | 770                          | 4,71                                       | 378,9                     |
| 105                 | 0,340                                        | 0,089                              | 739                          | 5,50                                       | 401,4                     |
| 107                 | 0,337                                        | 0,020                              | 735                          | 20,0                                       | 478,2                     |
| 109                 | 0,333                                        | 0,050                              | 734                          | 13,0                                       | 550,7                     |
| 111                 | 0,329                                        | 0,072                              | 733                          | 5,3                                        | 596,5                     |
| 113                 | 0,324                                        | 0,093                              | 732                          | 4,5                                        | 620,9                     |
| 115                 | 0,313                                        | 0,100                              | 732                          | 3,7                                        | 641,4                     |
| 117                 | 0,290                                        | 0,120                              | 732                          | 3,0                                        | 658,2                     |
| 120                 | 0,285                                        | 0,129                              | 732                          | 2,7                                        | 672,4                     |
| 125                 | 0,269                                        | 0,140                              | 731                          | 2,25                                       | 684,8                     |
| 130                 | 0,263                                        | 0,140                              | 730                          | 2,15                                       | 695,8                     |

|     |       |       |     |      |       |
|-----|-------|-------|-----|------|-------|
| 135 | 0,255 | 0,141 | 729 | 2,10 | 706,4 |
| 140 | 0,247 | 0,141 | 729 | 2,05 | 716,8 |
| 145 | 0,240 | 0,141 | 728 | 2,00 | 726,9 |
| 150 | 0,231 | 0,141 | 727 | 1,99 | 736,9 |
| 155 | 0,225 | 0,142 | 726 | 1,98 | 746,8 |
| 160 | 0,217 | 0,142 | 725 | 1,98 | 756,7 |
| 165 | 0,210 | 0,142 | 724 | 1,98 | 766,6 |

### Варіант 8.

Співполімер поліетилену низької щільності П2003-К з бутилкаучуком (густина 874 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,334                                        | 0,130                              | 874                          | 2,6                                        | 48                        |
| 25                  | 0,332                                        | 0,127                              | 873                          | 2,7                                        | 61,2                      |
| 30                  | 0,330                                        | 0,123                              | 871                          | 2,8                                        | 75                        |
| 35                  | 0,328                                        | 0,120                              | 869                          | 3,0                                        | 89,5                      |
| 40                  | 0,326                                        | 0,117                              | 868                          | 3,1                                        | 104,7                     |
| 45                  | 0,324                                        | 0,114                              | 866                          | 3,3                                        | 120,7                     |
| 50                  | 0,322                                        | 0,111                              | 864                          | 3,4                                        | 137,5                     |
| 55                  | 0,319                                        | 0,107                              | 860                          | 3,6                                        | 155                       |
| 60                  | 0,317                                        | 0,103                              | 858                          | 3,7                                        | 173,2                     |
| 65                  | 0,314                                        | 0,100                              | 856                          | 2,9                                        | 192,2                     |
| 70                  | 0,311                                        | 0,096                              | 853                          | 4,05                                       | 212,1                     |
| 75                  | 0,307                                        | 0,092                              | 848                          | 4,2                                        | 232,7                     |
| 80                  | 0,304                                        | 0,088                              | 844                          | 4,3                                        | 253,9                     |
| 85                  | 0,300                                        | 0,084                              | 840                          | 4,5                                        | 275,9                     |
| 90                  | 0,296                                        | 0,080                              | 835                          | 4,6                                        | 298,7                     |
| 95                  | 0,291                                        | 0,075                              | 825                          | 4,9                                        | 322,5                     |
| 100                 | 0,286                                        | 0,068                              | 812                          | 5,3                                        | 347,9                     |
| 110                 | 0,275÷0,266                                  | 0,045                              | 775                          | 8÷19                                       | 381,2÷408,7               |
| 112                 | 0,266                                        | 0,020                              | 774                          | 19,2                                       | 449,2                     |
| 115                 | 0,264                                        | 0,070                              | 773                          | 10,5                                       | 453,5                     |
| 117                 | 0,263                                        | 0,090                              | 772                          | 4,5                                        | 480,2                     |
| 120                 | 0,262                                        | 0,099                              | 771                          | 3,2                                        | 496,2                     |
| 125                 | 0,261                                        | 0,102                              | 771                          | 3,2                                        | 520,0                     |
| 130                 | 0,260                                        | 0,103                              | 770                          | 3,2                                        | 552,2                     |
| 135                 | 0,260                                        | 0,103                              | 769                          | 3,2                                        | 573,0                     |
| 140                 | 0,260                                        | 0,104                              | 768                          | 3,2                                        | 592,0                     |
| 145                 | 0,260                                        | 0,104                              | 767                          | 3,2                                        | 620,0                     |
| 150                 | 0,260                                        | 0,105                              | 767                          | 3,2                                        | 640,0                     |
| 155                 | 0,260                                        | 0,105                              | 766                          | 3,2                                        | 660,0                     |

|     |       |       |     |     |       |
|-----|-------|-------|-----|-----|-------|
| 160 | 0,260 | 0,106 | 765 | 3,2 | 680,0 |
|-----|-------|-------|-----|-----|-------|

### Варіант 9.

Поліетилен низької щільності марки П2020-Т (густина 920 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,7 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 288,26                                       | 1,44                               | 920                          | 2,22                                       | 44,9                      |
| 25                  | 287,68                                       | 1,42                               | 917,5                        | 2,30                                       | 54,5                      |
| 30                  | 287,33                                       | 1,39                               | 915                          | 2,39                                       | 67,1                      |
| 35                  | 286,52                                       | 1,36                               | 912,5                        | 2,51                                       | 75,4                      |
| 40                  | 285,94                                       | 1,33                               | 910                          | 2,56                                       | 90,1                      |
| 45                  | 285,01                                       | 1,29                               | 907                          | 2,68                                       | 102,6                     |
| 50                  | 284,20                                       | 1,25                               | 904                          | 2,76                                       | 115,2                     |
| 55                  | 283,04                                       | 1,21                               | 900                          | 2,85                                       | 129,9                     |
| 60                  | 281,30                                       | 1,17                               | 896,5                        | 2,93                                       | 144,5                     |
| 65                  | 280,14                                       | 1,12                               | 892                          | 2,99                                       | 157,1                     |
| 70                  | 277,82                                       | 1,07                               | 888                          | 3,08                                       | 175,9                     |
| 75                  | 276,08                                       | 1,02                               | 883                          | 3,18                                       | 188,6                     |
| 80                  | 273,18                                       | 0,960                              | 877                          | 3,31                                       | 207,4                     |
| 85                  | 270,28                                       | 0,900                              | 871                          | 3,48                                       | 226,2                     |
| 90                  | 266,80                                       | 0,830                              | 864                          | 3,77                                       | 243,0                     |
| 95                  | 262,16                                       | 0,740                              | 857                          | 4,10                                       | 261,9                     |
| 100                 | 255,20                                       | 0,615                              | 849                          | 4,69                                       | 284,9                     |
| 105                 | 249,92                                       | 0,425                              | 840                          | 7,75                                       | 314,2                     |
| 106,5               | 243,60                                       | 0,350                              | 837                          | 9,09                                       | 324,7                     |
| 108                 | 240,12                                       | 0,250                              | 833                          | 10,39                                      | 339,4                     |
| 109,5               | 236,64                                       | 0,134                              | 829                          | 12,15                                      | 356,1                     |
| 111                 | 232,58                                       | 0,235                              | 824                          | 10,68                                      | 368,7                     |
| 112,5               | 227,36                                       | 0,600                              | 817                          | 8,25                                       | 385,5                     |
| 114                 | 220,40                                       | 0,930                              | 808                          | 5,87                                       | 395,9                     |
| 115,5               | 215,18                                       | 1,290                              | 807,8                        | 2,39                                       | 406,4                     |
| 117                 | 215,76                                       | 1,305                              | 807                          | 2,24                                       | 408,5                     |
| 118,5               | 215,99                                       | 1,315                              | 806,5                        | 2,18                                       | 412,7                     |
| 120                 | 216,22                                       | 1,320                              | 806                          | 2,14                                       | 416,9                     |
| 125                 | 216,92                                       | 1,322                              | 803                          | 2,05                                       | 427,4                     |
| 130                 | 217,61                                       | 1,323                              | 801                          | 2,09                                       | 435,7                     |
| 135                 | 218,08                                       | 1,324                              | 799                          | 2,11                                       | 448,3                     |
| 140                 | 218,89                                       | 1,325                              | 796                          | 2,14                                       | 460,9                     |
| 145                 | 219,24                                       | 1,322                              | 794                          | 2,14                                       | 471,4                     |
| 150                 | 219,82                                       | 1,320                              | 791,5                        | 2,15                                       | 481,8                     |
| 155                 | 220,40                                       | 1,318                              | 789                          | 2,16                                       | 492,3                     |

|     |        |       |       |      |       |
|-----|--------|-------|-------|------|-------|
| 160 | 220,51 | 1,315 | 787   | 2,18 | 502,8 |
| 165 | 220,98 | 1,310 | 784   | 2,20 | 513,3 |
| 170 | 221,21 | 1,305 | 782   | 2,21 | 523,7 |
| 175 | 221,56 | 1,300 | 780   | 2,22 | 534,2 |
| 180 | 221,67 | 1,290 | 777,5 | 2,24 | 544,7 |
| 185 | 221,79 | 1,288 | 775   | 2,26 | 555,1 |
| 190 | 222,02 | 1,280 | 772   | 2,27 | 565,6 |
| 195 | 225,25 | 1,270 | 770   | 2,28 | 576,1 |
| 200 | 222,49 | 1,265 | 767   | 2,30 | 586,6 |
| 205 | 222,60 | 1,255 | 764   | 2,32 | 605,4 |
| 210 | 222,72 | 1,250 | 762   | 2,32 | 615,9 |
| 215 | 222,83 | 1,238 | 759   | 2,34 | 628,5 |
| 220 | 222,95 | 1,230 | 756   | 2,35 | 638,9 |
| 225 | 223,18 | 1,220 | 754   | 2,37 | 649,4 |
| 230 | 223,41 | 1,210 | 751   | 2,39 | 659,5 |
| 235 | 223,53 | 1,200 | 749   | 2,39 | 670,4 |
| 240 | 223,65 | 1,187 | 746   | 2,41 | 680,9 |
| 245 | 223,76 | 1,175 | 744   | 2,43 | 691,3 |
| 250 | 223,88 | 1,165 | 742   | 2,44 | 706,0 |

### Варіант 10.

Полікапроамід (густина 1152 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,383                                        | 0,173                              | 1152                         | 2,0                                        | 37,9                      |
| 30                  | 0,381                                        | 0,168                              | 1146                         | 2,0                                        | 57,9                      |
| 40                  | 0,378                                        | 0,163                              | 1142                         | 2,04                                       | 78,2                      |
| 50                  | 0,377                                        | 0,158                              | 1138                         | 2,08                                       | 98,8                      |
| 60                  | 0,376                                        | 0,154                              | 1134                         | 2,12                                       | 119,8                     |
| 70                  | 0,374                                        | 0,149                              | 1130                         | 2,17                                       | 141,2                     |
| 80                  | 0,373                                        | 0,144                              | 1126                         | 2,23                                       | 163,2                     |
| 90                  | 0,371                                        | 0,139                              | 1122                         | 2,30                                       | 185,9                     |
| 100                 | 0,369                                        | 0,134                              | 1118                         | 2,38                                       | 209,3                     |
| 110                 | 0,368                                        | 0,129                              | 1113                         | 2,48                                       | 233,6                     |
| 120                 | 0,366                                        | 0,124                              | 1109                         | 2,59                                       | 258,9                     |
| 130                 | 0,364                                        | 0,119                              | 1104                         | 2,71                                       | 285,3                     |
| 140                 | 0,363                                        | 0,115                              | 1099                         | 2,88                                       | 313,1                     |
| 150                 | 0,361                                        | 0,110                              | 1093                         | 3,04                                       | 342,0                     |
| 160                 | 0,359                                        | 0,105                              | 1087                         | 3,22                                       | 372,6                     |
| 170                 | 0,358                                        | 0,100                              | 1081                         | 3,41                                       | 404,7                     |
| 180                 | 0,356                                        | 0,095                              | 1073                         | 3,53                                       | 438,9                     |
| 190                 | 0,354                                        | 0,090                              | 1064                         | 3,92                                       | 475,6                     |



|     |       |       |      |      |        |
|-----|-------|-------|------|------|--------|
| 200 | 0,345 | 0,079 | 1052 | 4,33 | 574,7  |
| 210 | 0,286 | 0,055 | 1030 | 5,23 | 688,4  |
| 215 | 0,252 | 0,025 | 1006 | 7,96 | 855    |
| 216 | 0,245 | 0,033 | 996  | 8,20 | 876    |
| 220 | 0,243 | 0,068 | 993  | 2,68 | 911,6  |
| 230 | 0,245 | 0,105 | 987  | 2,12 | 968,1  |
| 240 | 0,246 | 0,104 | 982  | 2,23 | 989,7  |
| 250 | 0,248 | 0,104 | 977  | 2,35 | 1012,6 |
| 260 | 0,250 | 0,104 | 974  | 2,48 | 1036,9 |
| 270 | 0,251 | 0,104 | 970  | 2,59 | 1062,7 |
| 280 | 0,253 | 0,104 | 967  | 2,71 | 1090,2 |

### Варіант 11.

Полігексаметиленадипамід (найлон-6,6) (густина 986 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,364                                        | 0,221                              | 986                          | 1,66                                       | 30,5                      |
| 30                  | 0,359                                        | 0,217                              | 984                          | 1,68                                       | 47,25                     |
| 40                  | 0,354                                        | 0,212                              | 981                          | 1,70                                       | 64,17                     |
| 50                  | 0,348                                        | 0,207                              | 978                          | 1,71                                       | 81,24                     |
| 60                  | 0,343                                        | 0,202                              | 974                          | 1,73                                       | 98,5                      |
| 70                  | 0,337                                        | 0,197                              | 970                          | 1,76                                       | 115,87                    |
| 80                  | 0,332                                        | 0,192                              | 969                          | 1,78                                       | 133,45                    |
| 90                  | 0,327                                        | 0,187                              | 960                          | 1,81                                       | 151,41                    |
| 100                 | 0,321                                        | 0,182                              | 955                          | 1,84                                       | 169,67                    |
| 110                 | 0,316                                        | 0,177                              | 950                          | 1,87                                       | 188,25                    |
| 120                 | 0,310                                        | 0,172                              | 944                          | 1,90                                       | 207,12                    |
| 130                 | 0,305                                        | 0,167                              | 938                          | 1,94                                       | 226,30                    |
| 140                 | 0,299                                        | 0,162                              | 930                          | 1,97                                       | 245,90                    |
| 150                 | 0,294                                        | 0,157                              | 922                          | 2,02                                       | 265,40                    |
| 160                 | 0,288                                        | 0,152                              | 915                          | 2,07                                       | 286,41                    |
| 170                 | 0,283                                        | 0,146                              | 907                          | 2,12                                       | 307,37                    |
| 180                 | 0,277                                        | 0,142                              | 899                          | 2,17                                       | 328,84                    |
| 190                 | 0,272                                        | 0,137                              | 892                          | 2,23                                       | 350,85                    |
| 200                 | 0,266                                        | 0,132                              | 884                          | 2,28                                       | 373,41                    |
| 210                 | 0,261                                        | 0,127                              | 877                          | 2,33                                       | 396,48                    |
| 220                 | 0,256                                        | 0,122                              | 869                          | 2,40                                       | 420,2                     |
| 230                 | 0,249                                        | 0,113                              | 861                          | 2,56                                       | 444,9                     |
| 240                 | 0,241                                        | 0,096                              | 854                          | 2,95                                       | 472,26                    |
| 250                 | 0,231                                        | 0,072                              | 846                          | 3,75                                       | 505,3                     |
| 255                 | 0,224                                        | 0,054                              | 843                          | 4,93                                       | 527,00                    |

|     |       |       |     |      |        |
|-----|-------|-------|-----|------|--------|
| 257 | 0,221 | 0,046 | 839 | 5,71 | 537,65 |
| 258 | 0,218 | 0,030 | 835 | 8,65 | 573,56 |
| 260 | 0,210 | 0,030 | 830 | 8,43 | 616,3  |
| 261 | 0,210 | 0,070 | 817 | 3,67 | 646,56 |
| 262 | 0,211 | 0,123 | 815 | 2,09 | 660,98 |
| 263 | 0,212 | 0,128 | 814 | 2,08 | 671,42 |
| 265 | 0,213 | 0,126 | 813 | 2,08 | 681,84 |
| 267 | 0,214 | 0,126 | 811 | 2,09 | 692,26 |
| 269 | 0,215 | 0,126 | 810 | 2,10 | 702,75 |
| 270 | 0,215 | 0,126 | 809 | 2,11 | 713,3  |
| 272 | 0,217 | 0,126 | 808 | 2,13 | 723,91 |
| 275 | 0,218 | 0,124 | 807 | 2,18 | 734,70 |
| 280 | 0,221 | 0,123 | 805 | 2,25 | 745,8  |

### Варіант 12.

Полівінілхлоридний пластикат на основі ПВХ-С5 (густина 1403 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,178                                        | 0,115                              | 1403                         | 1,08                                       | 21,0                      |
| 30                  | 0,180                                        | 0,113                              | 1402                         | 1,13                                       | 32,1                      |
| 40                  | 0,183                                        | 0,110                              | 1400                         | 1,18                                       | 43,7                      |
| 50                  | 0,185                                        | 0,107                              | 1398                         | 1,23                                       | 55,7                      |
| 60                  | 0,188                                        | 0,104                              | 1397                         | 1,28                                       | 68,3                      |
| 70                  | 0,190                                        | 0,101                              | 1396                         | 1,35                                       | 81,5                      |
| 80                  | 0,193                                        | 0,098                              | 1394                         | 1,40                                       | 95,2                      |
| 90                  | 0,195                                        | 0,095                              | 1392                         | 1,46                                       | 109,5                     |
| 100                 | 0,197                                        | 0,093                              | 1391                         | 1,53                                       | 124,5                     |
| 110                 | 0,200                                        | 0,090                              | 1389                         | 1,60                                       | 140,1                     |
| 120                 | 0,202                                        | 0,087                              | 1388                         | 1,66                                       | 156,6                     |
| 130                 | 0,202                                        | 0,087                              | 1362                         | 1,71                                       | 173,3                     |
| 140                 | 0,202                                        | 0,087                              | 1336                         | 1,74                                       | 190,5                     |
| 150                 | 0,202                                        | 0,087                              | 1312                         | 1,77                                       | 208,1                     |
| 160                 | 0,202                                        | 0,087                              | 1285                         | 1,81                                       | 225,9                     |
| 170                 | 0,202                                        | 0,087                              | 1259                         | 1,84                                       | 244,2                     |
| 175                 | 0,201                                        | 0,087                              | 1247                         | 1,86                                       | 253,5                     |
| 177                 | 0,200                                        | 0,083                              | 1241                         | 1,93                                       | 262,9                     |
| 179                 | 0,196                                        | 0,075                              | 1235                         | 2,12                                       | 273,1                     |
| 180                 | 0,177                                        | 0,026                              | 951                          | 7,23                                       | 296,4                     |
| 181                 | 0,164                                        | 0,106                              | 941                          | 1,64                                       | 318,6                     |
| 190                 | 0,167                                        | 0,107                              | 923                          | 1,68                                       | 335,2                     |
| 200                 | 0,171                                        | 0,109                              | 912                          | 1,71                                       | 352,1                     |

**Варіант 13.**Полівінілхлорид ПВХ-Л5 (густина 1400 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,167                                        | 0,118                              | 1400                         | 1,11                                       | 20                        |
| 25                  | 0,169                                        | 0,117                              | 1398                         | 1,11                                       | 25                        |
| 30                  | 0,170                                        | 0,126                              | 1395                         | 1,11                                       | 30                        |
| 35                  | 0,172                                        | 0,120                              | 1392                         | 1,15                                       | 32                        |
| 40                  | 0,174                                        | 0,115                              | 1390                         | 1,12                                       | 45                        |
| 45                  | 0,176                                        | 0,114                              | 1390                         | 1,17                                       | 52                        |
| 50                  | 0,177                                        | 0,113                              | 1392                         | 1,20                                       | 60                        |
| 55                  | 0,178                                        | 0,112                              | 1395                         | 1,25                                       | 64                        |
| 60                  | 0,180                                        | 0,112                              | 1397                         | 1,28                                       | 68                        |
| 65                  | 0,183                                        | 0,110                              | 1399                         | 1,32                                       | 72                        |
| 70                  | 0,186                                        | 0,108                              | 1405                         | 1,36                                       | 80                        |
| 75                  | 0,190                                        | 0,100                              | 1408                         | 1,41                                       | 90                        |
| 80                  | 0,193                                        | 0,098                              | 1415                         | 1,48                                       | 95                        |
| 85                  | 0,192                                        | 0,095                              | 1418                         | 1,50                                       | 100                       |
| 90                  | 0,190                                        | 0,091                              | 1420                         | 1,55                                       | 110                       |
| 95                  | 0,189                                        | 0,088                              | 1425                         | 1,60                                       | 120                       |
| 100                 | 0,187                                        | 0,085                              | 1428                         | 1,65                                       | 130                       |
| 105                 | 0,187                                        | 0,083                              | 1428                         | 1,7                                        | 135                       |
| 110                 | 0,187                                        | 0,080                              | 1427                         | 1,75                                       | 140                       |
| 115                 | 0,188                                        | 0,078                              | 1425                         | 1,79                                       | 150                       |
| 120                 | 0,190                                        | 0,077                              | 1420                         | 1,84                                       | 160                       |
| 122                 | 0,192                                        | 0,085                              | 1410                         | 1,7                                        | 175                       |
| 125                 | 0,194                                        | 0,088                              | 1380                         | 1,66                                       | 190                       |
| 130                 | 0,196                                        | 0,091                              | 1360                         | 1,66                                       | 210                       |
| 135                 | 0,198                                        | 0,093                              | 1350                         | 1,66                                       | 215                       |
| 140                 | 0,202                                        | 0,095                              | 1345                         | 1,66                                       | 220                       |
| 145                 | 0,205                                        | 0,098                              | 1340                         | 1,68                                       | 229                       |
| 150                 | 0,208                                        | 0,100                              | 1330                         | 1,66                                       | 238                       |
| 155                 | 0,210                                        | 0,101                              | 1325                         | 1,67                                       | 250                       |
| 160                 | 0,214                                        | 0,102                              | 1320                         | 1,68                                       | 260                       |
| 165                 | 0,212                                        | 0,094                              | 1310                         | 1,7                                        | 270                       |
| 170                 | 0,210                                        | 0,083                              | 1300                         | 2,0                                        | 280                       |
| 175                 | 0,207                                        | 0,080                              | 1200                         | 2,2                                        | 300                       |
| 180                 | 0,201                                        | 0,883                              | 1080                         | 2,39                                       | 318                       |
| 182                 | 0,190                                        | 0,089                              | 1060                         | 2,34                                       | 330                       |
| 185                 | 0,170                                        | 0,091                              | 1050                         | 2,34                                       | 345                       |
| 190                 | 0,155                                        | 0,096                              | 1010                         | 1,9                                        | 360                       |

|     |       |       |      |     |     |
|-----|-------|-------|------|-----|-----|
| 195 | 0,164 | 0,105 | 1005 | 1,7 | 370 |
| 200 | 0,171 | 0,118 | 1000 | 1,6 | 380 |

### Варіант 14.

Полівінілхлорид ПВХ-Л5 (густина 1330 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,162                                        | 0,114                              | 1330                         | 1,05                                       | 20                        |
| 25                  | 0,163                                        | 0,114                              | 1325                         | 1,07                                       | 25                        |
| 30                  | 0,164                                        | 0,113                              | 1320                         | 1,08                                       | 30                        |
| 35                  | 0,165                                        | 0,113                              | 1318                         | 1,10                                       | 40                        |
| 40                  | 0,166                                        | 0,112                              | 1316                         | 1,12                                       | 45                        |
| 45                  | 0,168                                        | 0,111                              | 1318                         | 1,15                                       | 50                        |
| 50                  | 0,169                                        | 0,110                              | 1320                         | 1,17                                       | 55                        |
| 55                  | 0,170                                        | 0,109                              | 1324                         | 1,20                                       | 60                        |
| 60                  | 0,172                                        | 0,108                              | 1325                         | 1,22                                       | 65                        |
| 65                  | 0,175                                        | 0,106                              | 1326                         | 1,25                                       | 72                        |
| 70                  | 0,178                                        | 0,104                              | 1327                         | 1,28                                       | 80                        |
| 75                  | 0,180                                        | 0,100                              | 1330                         | 1,30                                       | 87                        |
| 80                  | 0,185                                        | 0,095                              | 1335                         | 1,35                                       | 95                        |
| 85                  | 0,183                                        | 0,092                              | 1340                         | 1,38                                       | 100                       |
| 90                  | 0,182                                        | 0,090                              | 1345                         | 1,41                                       | 105                       |
| 95                  | 0,180                                        | 0,087                              | 1347                         | 1,45                                       | 112                       |
| 100                 | 0,179                                        | 0,085                              | 1350                         | 1,47                                       | 120                       |
| 105                 | 0,178                                        | 0,083                              | 1350                         | 1,49                                       | 128                       |
| 110                 | 0,177                                        | 0,08                               | 1350                         | 1,53                                       | 136                       |
| 115                 | 0,179                                        | 0,08                               | 1340                         | 1,56                                       | 142                       |
| 120                 | 0,181                                        | 0,079                              | 1330                         | 1,58                                       | 150                       |
| 122                 | 0,185                                        | 0,080                              | 1310                         | 1,54                                       | 160                       |
| 125                 | 0,189                                        | 0,082                              | 1300                         | 1,49                                       | 170                       |
| 130                 | 0,192                                        | 0,086                              | 1290                         | 1,44                                       | 180                       |
| 135                 | 0,195                                        | 0,089                              | 1285                         | 1,42                                       | 188                       |
| 140                 | 0,197                                        | 0,093                              | 1280                         | 1,49                                       | 195                       |
| 145                 | 0,197                                        | 0,094                              | 1270                         | 1,52                                       | 205                       |
| 150                 | 0,198                                        | 0,096                              | 1260                         | 1,55                                       | 215                       |
| 155                 | 0,197                                        | 0,095                              | 1255                         | 1,59                                       | 220                       |
| 160                 | 0,196                                        | 0,095                              | 1250                         | 1,62                                       | 225                       |
| 165                 | 0,192                                        | 0,093                              | 1240                         | 1,7                                        | 232                       |
| 170                 | 0,194                                        | 0,091                              | 1230                         | 1,75                                       | 240                       |
| 175                 | 0,191                                        | 0,088                              | 1150                         | 1,81                                       | 250                       |
| 180                 | 0,188                                        | 0,084                              | 1080                         | 1,93                                       | 260                       |
| 182                 | 0,164                                        | 0,088                              | 1060                         | 1,98                                       | 275                       |

|     |       |       |     |      |     |
|-----|-------|-------|-----|------|-----|
| 185 | 0,155 | 0,091 | 970 | 1,80 | 290 |
| 190 | 0,158 | 0,096 | 955 | 1,65 | 300 |
| 195 | 0,163 | 0,099 | 950 | 1,60 | 307 |
| 200 | 0,164 | 0,112 | 940 | 1,55 | 315 |

### Варіант 15.

Поліпропілен (густина 862 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 13,5                | 0,193                                        | 0,124                              | 862                          | 1,81                                       | 24,3                      |
| 38,8                | 0,194                                        | 0,122                              | 859                          | 1,84                                       | 70,9                      |
| 61,3                | 0,194                                        | 0,117                              | 857                          | 1,94                                       | 113,9                     |
| 80,0                | 0,195                                        | 0,115                              | 851                          | 1,99                                       | 150,4                     |
| 102,0               | 0,195                                        | 0,107                              | 844                          | 2,16                                       | 195,6                     |
| 124,2               | 0,194                                        | 0,089                              | 828                          | 2,61                                       | 248,2                     |
| 142,0               | 0,188                                        | 0,070                              | 810                          | 3,28                                       | 229,5                     |
| 163,8               | 0,168                                        | 0,039                              | 793                          | 5,40                                       | 412,6                     |
| 170,6               | 0,160                                        | 0,022                              | 758                          | 9,77                                       | 600,6                     |
| 173,5               | 0,205                                        | 0,093                              | 750                          | 2,93                                       | 642,6                     |
| 174,2               | 0,214                                        | 0,130                              | 741                          | 2,42                                       | 649,6                     |
| 210,0               | 0,237                                        | 0,088                              | 702                          | 3,81                                       | 769,1                     |

### Варіант 16.

Поліпропілен (густина 868 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 13,5                | 0,213                                        | 0,128                              | 868                          | 1,92                                       | 25,6                      |
| 39,0                | 0,213                                        | 0,126                              | 866                          | 1,93                                       | 74,8                      |
| 61,0                | 0,208                                        | 0,125                              | 863                          | 1,95                                       | 117,9                     |
| 80,0                | 0,211                                        | 0,120                              | 857                          | 2,05                                       | 155,6                     |
| 101,4               | 0,211                                        | 0,111                              | 850                          | 2,23                                       | 200,6                     |
| 124,7               | 0,207                                        | 0,096                              | 833                          | 2,59                                       | 256,6                     |
| 141,7               | 0,198                                        | 0,077                              | 813                          | 3,16                                       | 306,1                     |
| 163,2               | 0,172                                        | 0,043                              | 796                          | 5,01                                       | 413,4                     |
| 170,3               | 0,163                                        | 0,024                              | 763                          | 8,90                                       | 606,9                     |
| 172,5               | 0,259                                        | 0,096                              | 750                          | 3,59                                       | 634,9                     |
| 174,0               | 0,269                                        | 0,134                              | 743                          | 2,70                                       | 649,2                     |
| 210,0               | 0,290                                        | 0,094                              | 707                          | 4,35                                       | 781,3                     |

### Варіант 17.

Поліетилен високої щільності П4015 (густина 967,9 кг/м<sup>3</sup>, тиск 5 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,333                                        | 2,165                              | 967,9                        | 1,89                                       | 41,9                      |
| 25                  | 0,330                                        | 1,975                              | 967,5                        | 1,91                                       | 50,3                      |
| 30                  | 0,328                                        | 1,933                              | 967,0                        | 1,92                                       | 58,6                      |
| 35                  | 0,325                                        | 1,874                              | 966,5                        | 1,95                                       | 69,1                      |
| 40                  | 0,322                                        | 1,857                              | 966,0                        | 1,97                                       | 78,3                      |
| 45                  | 0,318                                        | 1,800                              | 965,0                        | 1,97                                       | 87,9                      |
| 50                  | 0,314                                        | 1,750                              | 964,5                        | 1,99                                       | 98,5                      |
| 55                  | 0,311                                        | 1,706                              | 963,2                        | 2,01                                       | 106,8                     |
| 60                  | 0,307                                        | 1,655                              | 962,2                        | 2,03                                       | 117,3                     |
| 65                  | 0,303                                        | 1,625                              | 961,0                        | 2,05                                       | 125,7                     |
| 70                  | 0,298                                        | 1,550                              | 959,9                        | 2,10                                       | 138,3                     |
| 75                  | 0,293                                        | 1,516                              | 958,2                        | 2,16                                       | 146,6                     |
| 80                  | 0,289                                        | 1,465                              | 956,5                        | 2,22                                       | 159,2                     |
| 85                  | 0,284                                        | 1,417                              | 954,7                        | 2,30                                       | 169,7                     |
| 90                  | 0,279                                        | 1,341                              | 952,5                        | 2,41                                       | 180,2                     |
| 95                  | 0,273                                        | 1,267                              | 949,8                        | 2,51                                       | 192,7                     |
| 100                 | 0,267                                        | 1,232                              | 946,5                        | 2,66                                       | 203,2                     |
| 105                 | 0,263                                        | 1,153                              | 943,0                        | 2,83                                       | 222,1                     |
| 110                 | 0,257                                        | 1,091                              | 937,5                        | 3,03                                       | 234,6                     |
| 115                 | 0,253                                        | 1,00                               | 930,5                        | 3,31                                       | 251,4                     |
| 120                 | 0,246                                        | 0,882                              | 918,5                        | 3,77                                       | 268,1                     |
| 121,5               | 0,244                                        | 0,835                              | 914,5                        | 4,40                                       | 276,5                     |
| 123                 | 0,242                                        | 0,766                              | 910,0                        | 5,53                                       | 284,9                     |
| 124,5               | 0,240                                        | 0,726                              | 905,0                        | 6,28                                       | 291,2                     |
| 126                 | 0,238                                        | 0,716                              | 898                          | 7,39                                       | 295,4                     |
| 127,5               | 0,236                                        | 0,534                              | 891                          | 8,59                                       | 312,1                     |
| 129                 | 0,234                                        | 0,498                              | 880                          | 11,52                                      | 326,8                     |
| 130,5               | 0,232                                        | 0,490                              | 866,5                        | 13,82                                      | 339,4                     |
| 132                 | 0,227                                        | 0,200                              | 846,4                        | 7,56                                       | 356,1                     |
| 133,5               | 0,226                                        | 0,103                              | 820                          | 5,86                                       | 371,0                     |
| 135                 | 0,225                                        | 0,20                               | 812                          | 3,77                                       | 383,6                     |
| 136,5               | 0,225                                        | 0,40                               | 811                          | 2,70                                       | 389,7                     |
| 139,5               | 0,224                                        | 1,07                               | 809                          | 2,41                                       | 398,0                     |
| 145                 | 0,221                                        | 1,32                               | 805,5                        | 2,26                                       | 408,8                     |
| 150                 | 0,219                                        | 1,315                              | 801,8                        | 2,18                                       | 419,0                     |
| 155                 | 0,217                                        | 1,314                              | 798,2                        | 2,13                                       | 431,5                     |
| 160                 | 0,215                                        | 1,310                              | 794,7                        | 2,11                                       | 442,0                     |
| 165                 | 0,214                                        | 1,308                              | 791,3                        | 2,09                                       | 452,5                     |
| 170                 | 0,212                                        | 1,310                              | 787,7                        | 2,10                                       | 460,9                     |
| 175                 | 0,210                                        | 1,295                              | 784,2                        | 2,13                                       | 473,4                     |

|     |       |       |       |      |       |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|
| 180 | 0,209 | 1,286 | 780,5 | 2,14 | 486,0 |
| 185 | 0,207 | 1,277 | 777,2 | 2,14 | 494,4 |
| 190 | 0,206 | 1,267 | 773,7 | 2,14 | 506,9 |
| 195 | 0,204 | 1,255 | 770,3 | 2,15 | 515,3 |
| 200 | 0,203 | 1,245 | 767   | 2,16 | 527,9 |
| 205 | 0,202 | 1,230 | 763,2 | 2,17 | 236,3 |
| 210 | 0,201 | 1,220 | 760   | 2,17 | 550,9 |
| 215 | 0,199 | 1,210 | 756,6 | 2,18 | 561,4 |
| 220 | 0,198 | 1,200 | 753   | 2,18 | 571,5 |

### Варіант 18.

Поліетилен високої щільності П4015 (густина 954,9 кг/м<sup>3</sup>, тиск 1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,333                                        | 1,84                               | 954,9                        | 2,00                                       | 41,9                      |
| 25                  | 0,330                                        | 1,79                               | 954,5                        | 2,01                                       | 54,5                      |
| 30                  | 0,328                                        | 1,74                               | 954                          | 2,02                                       | 62,8                      |
| 35                  | 0,325                                        | 1,695                              | 953,4                        | 2,03                                       | 77,5                      |
| 40                  | 0,322                                        | 1,65                               | 952,6                        | 2,04                                       | 83,8                      |
| 45                  | 0,318                                        | 1,60                               | 951,8                        | 2,05                                       | 96,3                      |
| 50                  | 0,315                                        | 1,55                               | 950,8                        | 2,08                                       | 104,7                     |
| 55                  | 0,311                                        | 1,50                               | 949,8                        | 2,09                                       | 113,1                     |
| 60                  | 0,307                                        | 1,46                               | 948,4                        | 2,13                                       | 125,7                     |
| 65                  | 0,303                                        | 1,41                               | 947                          | 2,18                                       | 136,2                     |
| 70                  | 0,298                                        | 1,36                               | 945,5                        | 2,22                                       | 146,6                     |
| 75                  | 0,293                                        | 1,31                               | 944                          | 2,26                                       | 157,1                     |
| 80                  | 0,289                                        | 1,26                               | 941,8                        | 2,34                                       | 167,6                     |
| 85                  | 0,284                                        | 1,21                               | 938,3                        | 2,42                                       | 180,1                     |
| 90                  | 0,279                                        | 1,16                               | 936                          | 2,51                                       | 192,7                     |
| 95                  | 0,274                                        | 1,1                                | 932,7                        | 2,68                                       | 199,4                     |
| 100                 | 0,267                                        | 1,04                               | 929                          | 2,76                                       | 217,8                     |
| 105                 | 0,263                                        | 0,98                               | 924,6                        | 2,95                                       | 230,4                     |
| 110                 | 0,257                                        | 0,91                               | 920,3                        | 3,26                                       | 247,2                     |
| 115                 | 0,253                                        | 0,81                               | 915                          | 3,81                                       | 263,9                     |
| 120                 | 0,246                                        | 0,64                               | 908                          | 4,86                                       | 284,9                     |
| 121,5               | 0,244                                        | 0,56                               | 905,5                        | 5,44                                       | 293,3                     |
| 123                 | 0,242                                        | 0,48                               | 903                          | 6,49                                       | 303,8                     |
| 124,5               | 0,241                                        | 0,4                                | 897,5                        | 7,33                                       | 312,1                     |
| 126                 | 0,239                                        | 0,32                               | 895                          | 8,80                                       | 322,6                     |
| 127,5               | 0,236                                        | 0,24                               | 888                          | 11,52                                      | 335,2                     |
| 129                 | 0,234                                        | 0,17                               | 873                          | 15,67                                      | 368,7                     |
| 130,5               | 0,232                                        | 0,08                               | 840                          | 39,56                                      | 431,6                     |

|       |       |       |       |      |       |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 132   | 0,227 | 0,25  | 820   | 7,54 | 444,1 |
| 133,5 | 0,226 | 0,43  | 810,5 | 5,86 | 473,5 |
| 135   | 0,225 | 0,6   | 808,5 | 3,77 | 502,8 |
| 136,5 | 0,225 | 0,74  | 808   | 2,70 | 509,1 |
| 138   | 0,224 | 0,9   | 807   | 2,53 | 513,3 |
| 139,5 | 0,224 | 1,07  | 806   | 2,41 | 519,5 |
| 145   | 0,221 | 1,32  | 801,8 | 2,26 | 530,0 |
| 150   | 0,219 | 1,315 | 798   | 2,18 | 540,5 |
| 155   | 0,217 | 1,314 | 794,5 | 2,8  | 553,1 |
| 160   | 0,215 | 1,31  | 790,4 | 2,18 | 565,6 |
| 165   | 0,214 | 1,308 | 787   | 2,19 | 574,0 |
| 170   | 0,212 | 1,31  | 783,4 | 2,21 | 586,6 |
| 175   | 0,210 | 1,295 | 780   | 2,22 | 597,1 |
| 180   | 0,209 | 1,286 | 776   | 2,22 | 607,5 |
| 185   | 0,207 | 1,277 | 772,5 | 2,22 | 620,1 |
| 190   | 0,206 | 1,267 | 768,8 | 2,25 | 628,5 |
| 195   | 0,205 | 1,255 | 765   | 2,26 | 641,0 |
| 200   | 0,203 | 1,245 | 762   | 2,26 | 653,6 |
| 205   | 0,202 | 1,23  | 758   | 2,26 | 662,0 |
| 210   | 0,200 | 1,22  | 754,6 | 2,28 | 674,6 |
| 215   | 0,199 | 1,21  | 751   | 2,29 | 685,0 |
| 220   | 0,198 | 1,2   | 747,5 | 2,30 | 695,5 |

### Варіант 19.

Поліетилен низької щільності П2015-КУ (густина 872 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,420                                        | 0,149                              | 872                          | 3,2                                        | 74                        |
| 25                  | 0,414                                        | 0,146                              | 870                          | 3,21                                       | 93,3                      |
| 30                  | 0,406                                        | 0,142                              | 867                          | 3,22                                       | 107                       |
| 35                  | 0,400                                        | 0,138                              | 865                          | 3,23                                       | 126,5                     |
| 40                  | 0,392                                        | 0,134                              | 861                          | 3,3                                        | 148,5                     |
| 45                  | 0,385                                        | 0,129                              | 858                          | 3,35                                       | 160                       |
| 50                  | 0,377                                        | 0,125                              | 855                          | 3,40                                       | 180                       |
| 55                  | 0,370                                        | 0,121                              | 851                          | 3,41                                       | 200                       |
| 60                  | 0,364                                        | 0,116                              | 847                          | 3,45                                       | 215                       |
| 65                  | 0,356                                        | 0,111                              | 843                          | 3,5                                        | 234                       |
| 70                  | 0,349                                        | 0,107                              | 839                          | 3,6                                        | 253,3                     |
| 75                  | 0,341                                        | 0,102                              | 835                          | 3,75                                       | 267                       |
| 80                  | 0,333                                        | 0,097                              | 830                          | 3,9                                        | 286,5                     |
| 85                  | 0,326                                        | 0,091                              | 825                          | 4,1                                        | 298,8                     |



|     |       |       |     |      |       |
|-----|-------|-------|-----|------|-------|
| 90  | 0,319 | 0,086 | 817 | 4,3  | 324,4 |
| 95  | 0,312 | 0,080 | 809 | 4,6  | 337,5 |
| 100 | 0,305 | 0,075 | 800 | 5,0  | 358   |
| 102 | 0,303 | 0,070 | 797 | 5,2  | 373   |
| 105 | 0,292 | 0,060 | 791 | 5,6  | 386,6 |
| 107 | 0,296 | 0,015 | 785 | 19,5 | 408,6 |
| 109 | 0,294 | 0,08  | 780 | 7,0  | 419,8 |
| 112 | 0,289 | 0,081 | 772 | 4,1  | 440   |
| 115 | 0,284 | 0,083 | 769 | 3,8  | 453,3 |
| 120 | 0,270 | 0,083 | 767 | 3,5  | 466,6 |
| 125 | 0,270 | 0,082 | 764 | 3,4  | 486,6 |
| 130 | 0,271 | 0,082 | 762 | 3,3  | 524,4 |
| 135 | 0,271 | 0,081 | 759 | 3,27 | 539,8 |
| 140 | 0,271 | 0,081 | 757 | 3,3  | 555,6 |
| 145 | 0,271 | 0,080 | 756 | 3,4  | 573   |
| 150 | 0,271 | 0,079 | 755 | 3,48 | 580   |
| 155 | 0,271 | 0,078 | 754 | 3,5  | 586,7 |
| 160 | 0,271 | 0,077 | 753 | 3,6  | 595,6 |

### Варіант 20.

Поліетилен низької щільності марки П2020-Т (густина 927 кг/м<sup>3</sup>, тиск 6,8 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 290,0                                        | 1,55                               | 927                          | 2,01                                       | 41,9                      |
| 25                  | 289,77                                       | 1,53                               | 924                          | 2,05                                       | 50,3                      |
| 30                  | 289,53                                       | 1,50                               | 922                          | 2,07                                       | 60,7                      |
| 35                  | 289,18                                       | 1,47                               | 919                          | 2,09                                       | 71,2                      |
| 40                  | 288,37                                       | 1,44                               | 917                          | 2,11                                       | 81,7                      |
| 45                  | 287,78                                       | 1,41                               | 914                          | 2,14                                       | 92,2                      |
| 50                  | 268,52                                       | 1,37                               | 911                          | 2,18                                       | 102,7                     |
| 55                  | 285,36                                       | 1,33                               | 908                          | 2,22                                       | 113,1                     |
| 60                  | 284,20                                       | 1,29                               | 905                          | 2,26                                       | 123,6                     |
| 65                  | 281,88                                       | 1,24                               | 901                          | 2,30                                       | 134,1                     |
| 70                  | 280,72                                       | 1,20                               | 897                          | 2,39                                       | 146,6                     |
| 75                  | 278,98                                       | 1,13                               | 892                          | 2,47                                       | 161,3                     |
| 80                  | 277,24                                       | 1,06                               | 887                          | 2,60                                       | 173,9                     |
| 85                  | 273,76                                       | 0,98                               | 881                          | 2,76                                       | 186,4                     |
| 90                  | 271,44                                       | 0,88                               | 874                          | 3,02                                       | 201,1                     |
| 95                  | 266,80                                       | 0,78                               | 866                          | 3,35                                       | 217,9                     |
| 100                 | 262,16                                       | 0,65                               | 858                          | 3,77                                       | 234,6                     |
| 105                 | 256,36                                       | 0,50                               | 849                          | 4,52                                       | 259,8                     |

|       |        |       |     |      |       |
|-------|--------|-------|-----|------|-------|
| 106,5 | 253,46 | 0,45  | 845 | 5,65 | 266,1 |
| 108   | 251,42 | 0,40  | 840 | 7,54 | 274,5 |
| 109,5 | 248,82 | 0,25  | 836 | 9,43 | 284,9 |
| 111   | 245,34 | 0,235 | 831 | 7,54 | 297,5 |
| 112,5 | 240,12 | 0,600 | 826 | 5,65 | 307,9 |
| 114   | 234,32 | 0,930 | 820 | 3,77 | 314,2 |
| 115,5 | 226,20 | 1,290 | 819 | 2,39 | 322,6 |
| 117   | 211,12 | 1,305 | 818 | 2,24 | 324,7 |
| 118,5 | 211,70 | 1,315 | 817 | 2,18 | 328,9 |
| 120   | 212,28 | 1,320 | 815 | 2,14 | 331,0 |
| 125   | 213,44 | 1,322 | 812 | 2,05 | 343,6 |
| 130   | 215,76 | 1,323 | 808 | 2,09 | 351,9 |
| 135   | 216,92 | 1,324 | 805 | 2,11 | 370,8 |
| 140   | 218,66 | 1,325 | 803 | 2,14 | 372,9 |
| 145   | 219,82 | 1,322 | 800 | 2,14 | 383,4 |
| 150   | 221,56 | 1,320 | 798 | 2,15 | 393,9 |
| 155   | 223,30 | 1,318 | 795 | 2,16 | 404,3 |
| 160   | 224,46 | 1,315 | 792 | 2,18 | 414,8 |
| 165   | 226,2  | 1,310 | 790 | 2,20 | 425,3 |
| 170   | 227,36 | 1,305 | 787 | 2,21 | 435,7 |
| 175   | 228,52 | 1,300 | 784 | 2,22 | 446,2 |
| 180   | 229,68 | 1,290 | 782 | 2,24 | 456,7 |
| 185   | 230,84 | 1,288 | 779 | 2,26 | 467,2 |
| 190   | 232,0  | 1,280 | 776 | 2,27 | 477,7 |
| 195   | 232,58 | 1,270 | 773 | 2,28 | 488,1 |
| 200   | 233,16 | 1,265 | 770 | 2,30 | 498,6 |
| 205   | 233,74 | 1,255 | 767 | 2,32 | 509,1 |
| 210   | 234,32 | 1,250 | 765 | 2,32 | 519,5 |
| 215   | 234,90 | 1,238 | 762 | 2,34 | 532,1 |
| 220   | 235,48 | 1,230 | 759 | 2,35 | 544,7 |
| 225   | 235,71 | 1,220 | 756 | 2,36 | 555,1 |
| 230   | 235,82 | 1,210 | 753 | 2,39 | 565,7 |
| 235   | 235,94 | 1,200 | 750 | 2,39 | 576,1 |
| 245   | 236,17 | 1,176 | 745 | 2,43 | 601,3 |
| 250   | 236,29 | 1,165 | 742 | 2,44 | 615,9 |

### Варіант 21.

Полікапроамід (густина 1120 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | $I, \text{кДж}/\text{кг}$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| 20                  | 0,346                                        | 0,163                              | 1120                         | 1,89                                       | 37,4                      |
| 30                  | 0,341                                        | 0,159                              | 1119                         | 1,92                                       | 56,6                      |

|       |       |       |      |      |       |
|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 40    | 0,337 | 0,156 | 1118 | 1,94 | 75,9  |
| 50    | 0,332 | 0,151 | 1116 | 1,97 | 95,5  |
| 60    | 0,328 | 0,148 | 1113 | 1,99 | 114,3 |
| 70    | 0,323 | 0,144 | 1110 | 2,02 | 134,4 |
| 80    | 0,319 | 0,140 | 1106 | 2,05 | 154,8 |
| 90    | 0,315 | 0,137 | 1102 | 2,08 | 175,5 |
| 100   | 0,310 | 0,133 | 1097 | 2,12 | 196,6 |
| 110   | 0,306 | 0,129 | 1091 | 2,17 | 218,1 |
| 120   | 0,301 | 0,126 | 1085 | 2,20 | 239,8 |
| 130   | 0,297 | 0,122 | 1079 | 2,25 | 262,1 |
| 140   | 0,292 | 0,119 | 1072 | 2,30 | 284,8 |
| 150   | 0,288 | 0,115 | 1065 | 2,35 | 308,0 |
| 160   | 0,284 | 0,111 | 1058 | 2,41 | 331,7 |
| 170   | 0,279 | 0,108 | 1051 | 2,47 | 356,1 |
| 180   | 0,276 | 0,104 | 1042 | 2,54 | 380,9 |
| 190   | 0,270 | 0,100 | 1032 | 2,60 | 406,6 |
| 200   | 0,264 | 0,094 | 1018 | 2,76 | 473,5 |
| 202   | 0,262 | 0,091 | 1015 | 2,82 | 487,4 |
| 205   | 0,255 | 0,085 | 1009 | 2,99 | 515,5 |
| 207   | 0,250 | 0,077 | 1005 | 3,24 | 531,1 |
| 210   | 0,242 | 0,055 | 990  | 4,39 | 550,1 |
| 211,4 | 0,235 | 0,038 | 976  | 6,42 | 577,2 |
| 212   | 0,235 | 0,040 | 974  | 6,04 | 608,3 |
| 215   | 0,236 | 0,066 | 966  | 3,67 | 632,6 |
| 217   | 0,237 | 0,085 | 962  | 2,89 | 619,1 |
| 220   | 0,237 | 0,095 | 957  | 2,62 | 662,8 |
| 222   | 0,238 | 0,102 | 955  | 2,45 | 675,4 |
| 225   | 0,239 | 0,111 | 952  | 2,26 | 678,2 |
| 227   | 0,239 | 0,114 | 950  | 2,21 | 698,3 |
| 230   | 0,240 | 0,103 | 945  | 2,24 | 709,5 |
| 240   | 0,243 | 0,109 | 942  | 2,37 | 732,4 |
| 250   | 0,246 | 0,105 | 938  | 2,51 | 756,7 |
| 260   | 0,249 | 0,100 | 934  | 2,66 | 781,5 |
| 270   | 0,252 | 0,096 | 929  | 2,83 | 809,0 |
| 280   | 0,255 | 0,091 | 993  | 3,01 | 838,2 |

### Варіант 22.

Склопластик (густина 1227 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| 20                  | 0,336                                        | 0,188                              | 1227                         | 1,41                                       |
| 25                  | 0,337                                        | 0,185                              | 1225                         | 1,45                                       |

|     |       |       |      |      |
|-----|-------|-------|------|------|
| 30  | 0,339 | 0,182 | 1222 | 1,48 |
| 35  | 0,340 | 0,180 | 1220 | 1,52 |
| 40  | 0,341 | 0,178 | 1217 | 1,56 |
| 45  | 0,343 | 0,176 | 1215 | 1,60 |
| 50  | 0,344 | 0,174 | 1212 | 1,63 |
| 55  | 0,345 | 0,171 | 1210 | 1,67 |
| 60  | 0,347 | 0,169 | 1207 | 1,71 |
| 65  | 0,348 | 0,167 | 1203 | 1,75 |
| 70  | 0,349 | 0,164 | 1201 | 1,79 |
| 75  | 0,351 | 0,162 | 1200 | 1,83 |
| 80  | 0,352 | 0,160 | 1197 | 1,87 |
| 85  | 0,353 | 0,158 | 1195 | 1,90 |
| 90  | 0,354 | 0,155 | 1192 | 1,94 |
| 95  | 0,356 | 0,153 | 1190 | 1,93 |
| 100 | 0,357 | 0,151 | 1187 | 2,02 |
| 105 | 0,358 | 0,149 | 1185 | 2,06 |
| 110 | 0,360 | 0,146 | 1182 | 2,10 |
| 115 | 0,361 | 0,144 | 1180 | 2,13 |
| 120 | 0,362 | 0,142 | 1177 | 2,17 |
| 125 | 0,363 | 0,139 | 1175 | 2,21 |
| 130 | 0,365 | 0,137 | 1172 | 2,25 |
| 135 | 0,366 | 0,135 | 1170 | 2,29 |
| 140 | 0,367 | 0,133 | 1167 | 2,32 |

### Варіант 23.

Склопластик (густина 1317 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| 20                  | 0,607                                        | 0,388                              | 1317                         | 1,20                                       |
| 25                  | 0,612                                        | 0,386                              | 1320                         | 1,22                                       |
| 30                  | 0,620                                        | 0,384                              | 1321                         | 1,24                                       |
| 35                  | 0,627                                        | 0,382                              | 1324                         | 1,27                                       |
| 40                  | 0,635                                        | 0,380                              | 1326                         | 1,30                                       |
| 45                  | 0,645                                        | 0,378                              | 1330                         | 1,32                                       |
| 50                  | 0,652                                        | 0,376                              | 1335                         | 1,35                                       |
| 55                  | 0,660                                        | 0,374                              | 1336                         | 1,37                                       |
| 60                  | 0,667                                        | 0,372                              | 1337                         | 1,39                                       |
| 65                  | 0,675                                        | 0,370                              | 1339                         | 1,42                                       |
| 70                  | 0,982                                        | 0,368                              | 1340                         | 1,44                                       |
| 75                  | 0,687                                        | 0,355                              | 1342                         | 1,46                                       |
| 80                  | 0,697                                        | 0,363                              | 1344                         | 1,48                                       |
| 85                  | 0,705                                        | 0,361                              | 1343                         | 1,50                                       |

|     |       |       |      |      |
|-----|-------|-------|------|------|
| 90  | 0,710 | 0,359 | 1342 | 1,52 |
| 95  | 0,720 | 0,357 | 1340 | 1,55 |
| 100 | 0,727 | 0,355 | 1335 | 1,58 |
| 105 | 0,735 | 0,353 | 1332 | 1,60 |
| 110 | 0,742 | 0,351 | 1327 | 1,62 |
| 115 | 0,757 | 0,349 | 1323 | 1,64 |
| 120 | 0,757 | 0,347 | 1321 | 1,66 |
| 125 | 0,765 | 0,345 | 1317 | 1,68 |
| 130 | 0,772 | 0,343 | 1314 | 1,70 |
| 135 | 0,780 | 0,341 | 1310 | 1,72 |
| 140 | 0,787 | 0,339 | 1306 | 1,75 |

### Варіант 24.

Склопластик (густина 1310 кг/м<sup>3</sup>, тиск 0,1 МПа).

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ | $a\cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$ | $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$ | $C_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ |
|---------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| 20                  | 0,592                                        | 0,377                              | 1310                         | 1,20                                       |
| 25                  | 0,597                                        | 0,374                              | 1312                         | 1,22                                       |
| 30                  | 0,605                                        | 0,372                              | 1314                         | 1,24                                       |
| 35                  | 0,612                                        | 0,370                              | 1316                         | 1,27                                       |
| 40                  | 0,625                                        | 0,368                              | 1318                         | 1,30                                       |
| 45                  | 0,632                                        | 0,366                              | 1322                         | 1,32                                       |
| 50                  | 0,640                                        | 0,364                              | 1324                         | 1,35                                       |
| 55                  | 0,647                                        | 0,362                              | 1326                         | 1,37                                       |
| 60                  | 0,650                                        | 0,360                              | 1328                         | 1,39                                       |
| 65                  | 0,655                                        | 0,358                              | 1330                         | 1,42                                       |
| 70                  | 0,660                                        | 0,356                              | 1333                         | 1,44                                       |
| 75                  | 0,667                                        | 0,353                              | 1336                         | 1,46                                       |
| 80                  | 0,675                                        | 0,351                              | 1338                         | 1,48                                       |
| 85                  | 0,682                                        | 0,349                              | 1340                         | 1,50                                       |
| 90                  | 0,690                                        | 0,347                              | 1335                         | 1,52                                       |
| 95                  | 0,697                                        | 0,345                              | 1330                         | 1,55                                       |
| 100                 | 0,705                                        | 0,343                              | 1328                         | 1,58                                       |
| 105                 | 0,710                                        | 0,341                              | 1326                         | 1,60                                       |
| 110                 | 0,720                                        | 0,339                              | 1322                         | 1,62                                       |
| 115                 | 0,725                                        | 0,337                              | 1317                         | 1,64                                       |
| 120                 | 0,732                                        | 0,335                              | 1315                         | 1,66                                       |
| 125                 | 0,740                                        | 0,332                              | 1311                         | 1,68                                       |
| 130                 | 0,747                                        | 0,330                              | 1308                         | 1,70                                       |
| 135                 | 0,755                                        | 0,328                              | 1305                         | 1,72                                       |
| 140                 | 0,760                                        | 0,326                              | 1301                         | 1,75                                       |

## ДОДАТОК Б

Криві течії полімерних матеріалів

Криві течії полімерних матеріалів викладені за авторами [2].

## Вариант 1

Люцит 129 (Du Pont de Nemours)

Полиметилметакрилат, тип 6 по ASTM

Плотность при 23 °С равна 1,18 г/см<sup>3</sup>.  
Индекс расплава: 15 г/10 мин (ASTM-D1238-52Т при 230 °С; груз весом 3800 г; замер течения начинается через 7 мин после загрузки).

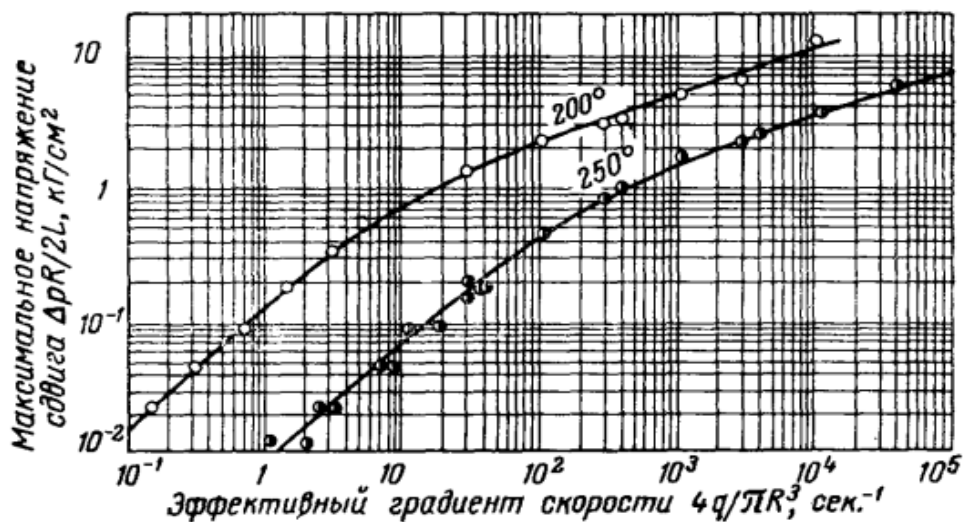


Рис. 2. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).

Внутренний диаметр капилляра 0,127—1,19 мм,  $L/D=16$ .

## Варианты 2, 13, 19

Тенайт-бутират 205-H2 (Eastman Chem. Prod.)

Ацетобутират целлюлозы

Плотность при 23 °С равна 1,21 г/см<sup>3</sup>.  
Пластификатор: органический сложный эфир.  
Индекс расплава: 0,25 г/10 мин (ASTM-D1238-52Т).

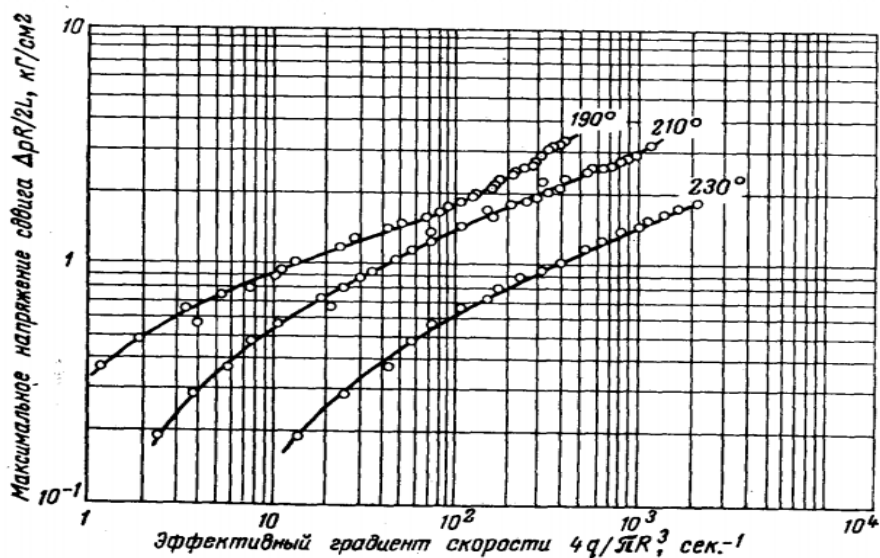


Рис. 40. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).

Внутренний диаметр капилляра 0,483 мм,  $L/D=9$ .

## Варианты 3, 14, 20

Пласкон-найлон 8201 (Chem. a. Dye Co.)

Поликапролактан, или найлон, тип 6

Плотность при 23 °С равна 1,13 г/см<sup>3</sup>.  
 Средневесовой молекулярный вес, определенный методом светорассеяния, 34 000—40 000.  
 Среднечисловой молекулярный вес, определенный по характеристической вязкости или методом концевых групп, 18 000—22 000.  
 Пластификаторы, мягчители или наполнители отсутствуют.

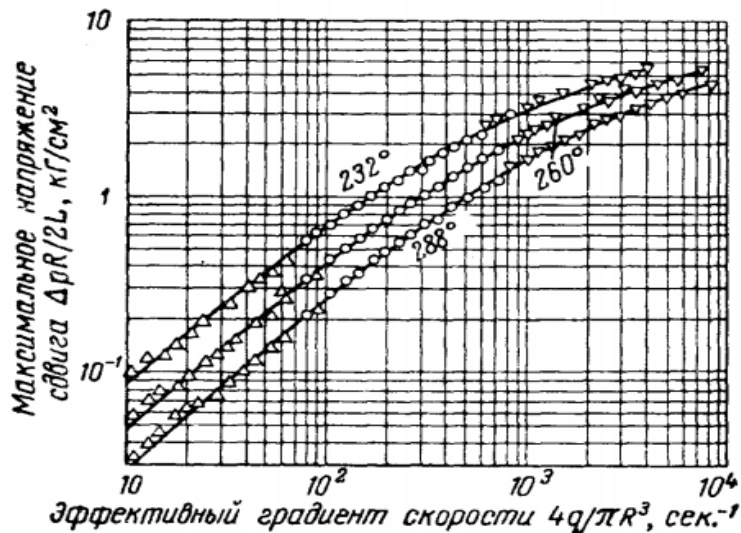


Рис. 52. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).

△—внутренний диаметр капилляра 5,11 мм,  $L/D=20$   
 ○— » » » 2,54 мм,  $L/D=15$   
 ▽— » » » 1,27 мм,  $L/D=20$

## Варианты 4, 15, 21

Алатон 17 (De Pont de Nemours)

Полиэтилен

Плотность при 23 °С равна 0,92 г/см<sup>3</sup>.  
 Средневесовой молекулярный вес, определенный методом светорассеяния, 225 000.  
 Среднечисловой молекулярный вес (вычисленный) 16 000.  
 Индекс расплава: 20 г/10 мин (ASTM-D1238-52T).

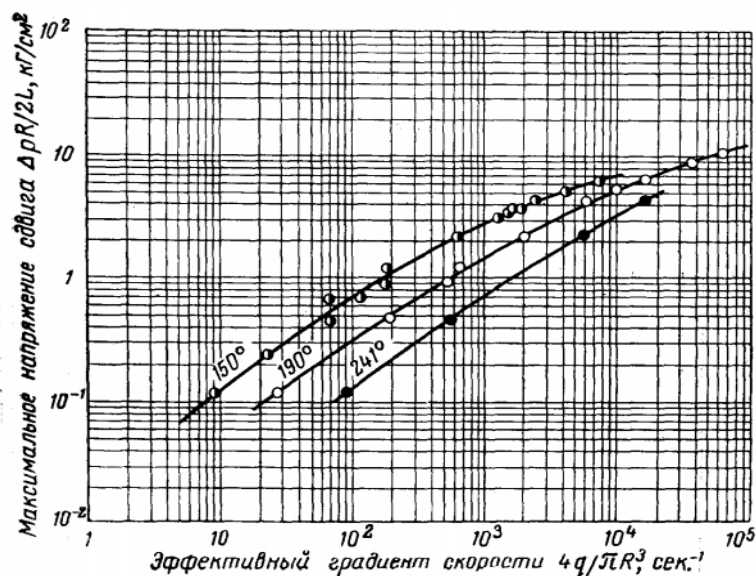


Рис. 96. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).  
 Внутренний диаметр капилляра 1,19 мм,  $L/D=3,6$ .



## Варианты 5, 16, 22

Люстрек LSA 843-411 (Monsanto Chemical)

Полистирол

Плотность при 23 °С равна 1,05 г/см<sup>3</sup>.  
Индекс расплава: 1,33 г/10 мин (ASTM-D1238-52T).

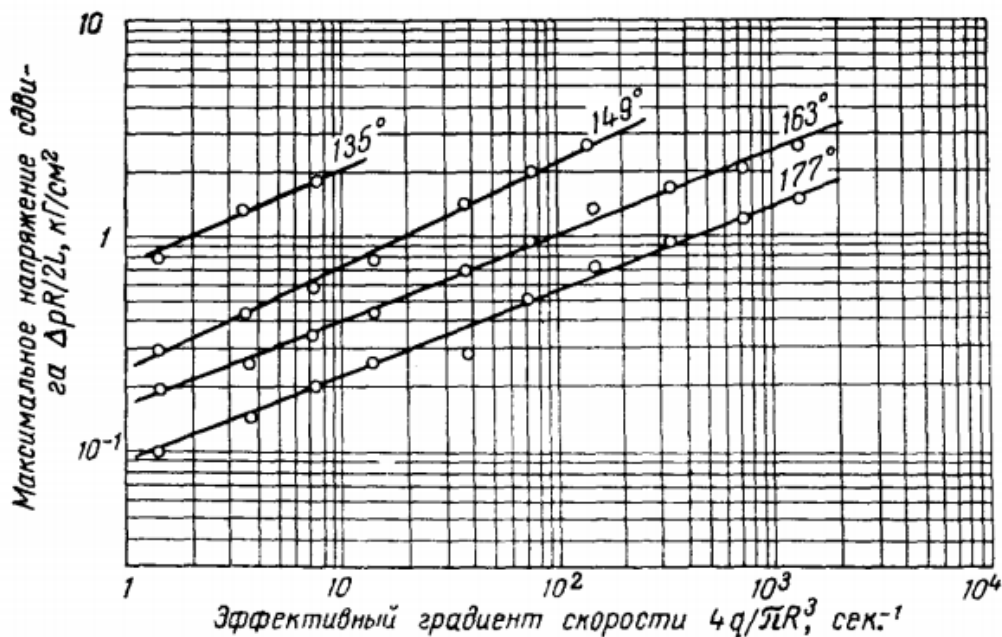


Рис. 171. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С). Капилляр с коническим входом, угол 90°, внутренний диаметр 1,59 мм,  $L/D=64$ .

## Вариант 6

Опалон 1038 (Monsanto Chemical)

Пластифицированный поливинилхлорид

Плотность при 23 °С равна 1,38 г/см<sup>3</sup>.  
Индекс расплава: 0,12 г/10 мин (ASTM-D1238-52T).

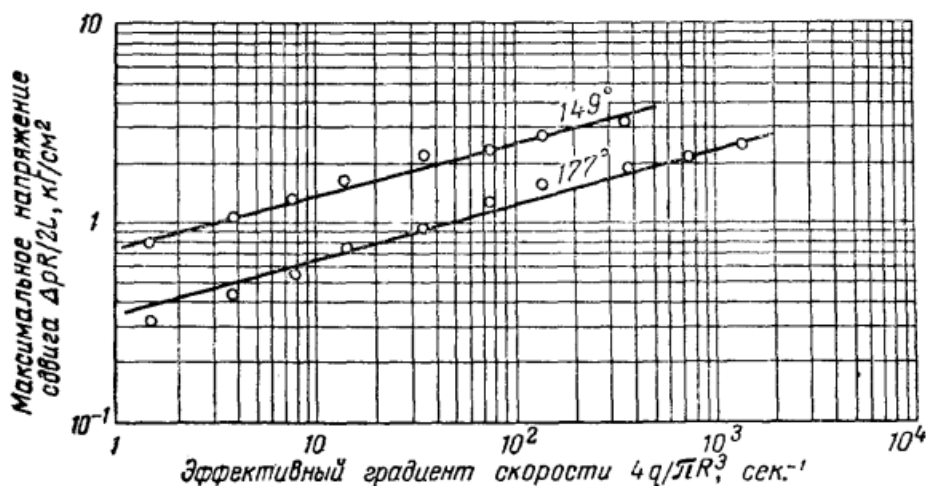


Рис. 196. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С). Капилляр с коническим входом, угол 90°, внутренний диаметр 1,59 мм,  $L/D=64$ .

## Вариант 7, 17

Люцит 130 (Du Pont de Nemours)

Полиметилметакрилат, тип 6 по ASTM

Плотность при 23 °С равна 1,18 г/см<sup>3</sup>.

Индекс расплава: 30 г/10 мин (ASTM-D1238-52Т при 230 °С; груз весом 3800 г; замер течения начинается через 7 мин после загрузки).

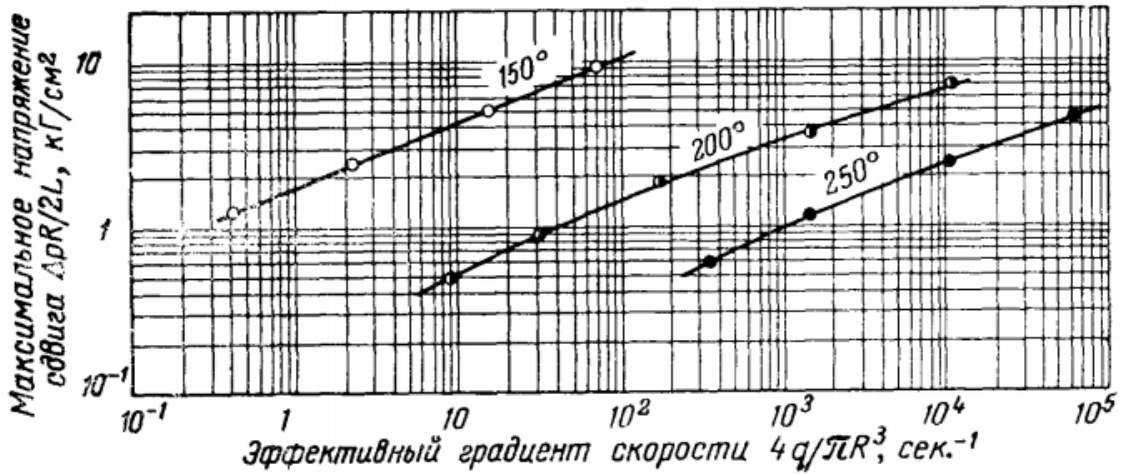


Рис. 6. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).

Внутренний диаметр капилляра 0,81 мм,  $L/D=16$ .

## Вариант 8

Тенайт-пропионат 307-Н5 (Eastman Chem. Prod.)

Пропионат целлюлозы

Плотность при 23 °С равна 1,22 г/см<sup>3</sup>.

Пластификатор: органический сложный эфир.

Индекс расплава: 0,25 г/10 мин (ASTM-D1238-52Т).

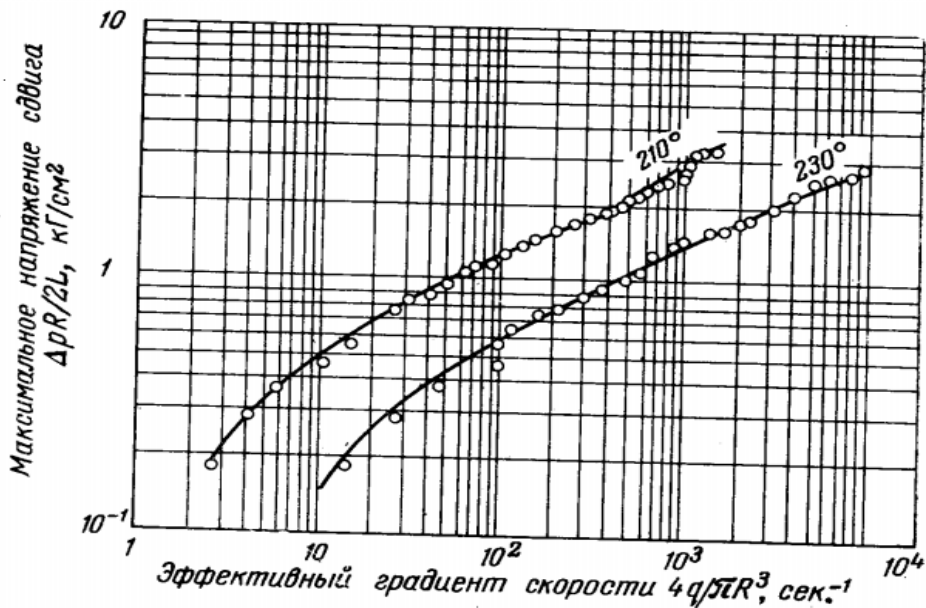


Рис. 49. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).

Внутренний диаметр капилляра 0,483 мм,  $L/D=9$ .

## Вариант 9

Зайтел 42 NC10 (Du Pont de Nemours)

Полигексаметиленадипамид

Плотность при 23 °С равна 1,14 г/см<sup>3</sup>.  
Среднечисловой молекулярный вес, определенный методом концевых групп, 34 000 ± 1000.  
Пластификаторы или наполнители отсутствуют.  
Индекс расплава: 2 г/10 мин (ASTM-D1238-57T, вариант К, за исключением веса нагрузки, равного 2160 г).

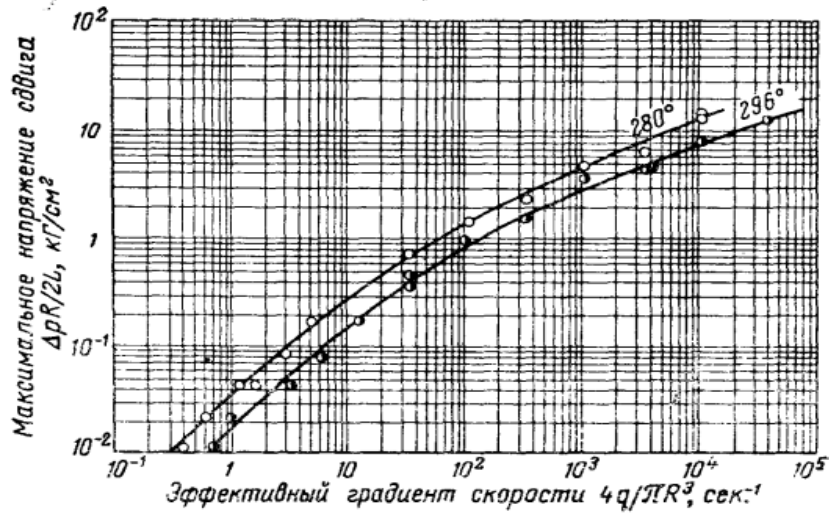


Рис. 59. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).  
Внутренний диаметр капилляра 0,127—1,19 мм,  $L/D=16$ .

## Варианты 10, 18, 23, 24

Марлекс 50, тип 50 (Phillips Chemical)

Полиэтилен

Плотность при 23 °С равна 0,96 г/см<sup>3</sup>.  
Пластификаторы, мягчители или наполнители отсутствуют.  
В качестве добавки содержит 0,015% ионола.  
Индекс расплава: 5,0 г/10 мин (ASTM-D1238-52T).

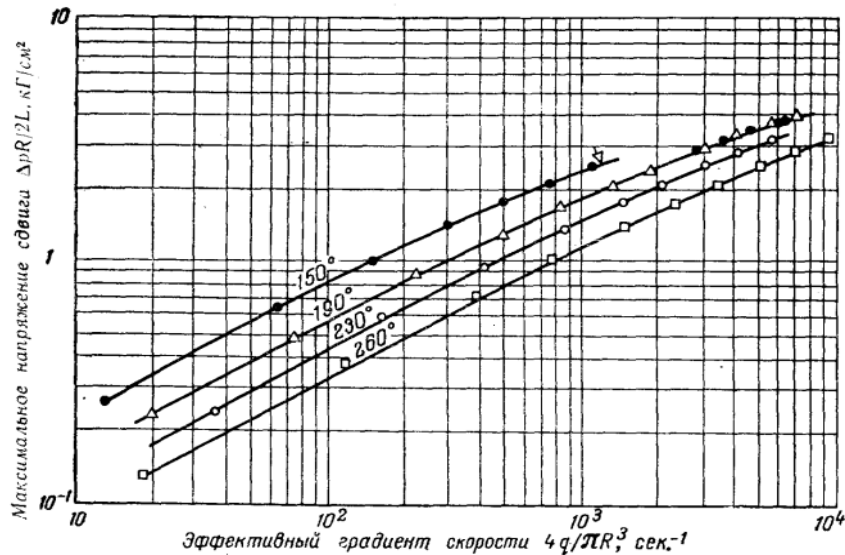


Рис. 126. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °С).  
Внутренний диаметр капилляра 0,49 мм,  $L/D=9,3$ .

## Вариант 11

Сополимер RMD 4511 (Union Carbide Co.)

Сополимер стирола с акрилонитрилом

Плотность при 23 °C равна 1,07 г/см<sup>3</sup>.

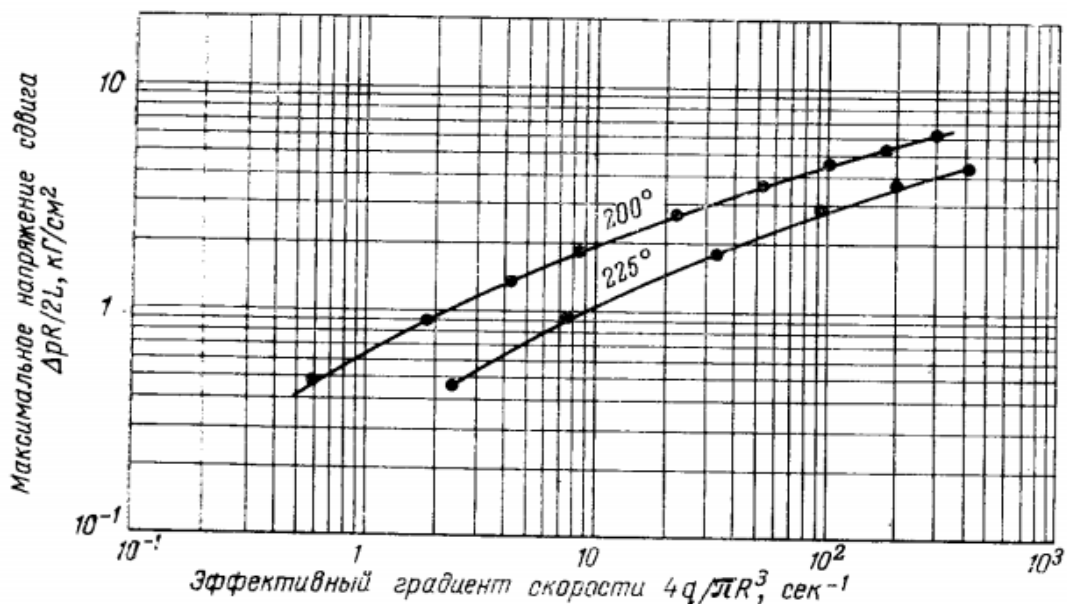


Рис. 179. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °C).

Внутренний диаметр капилляра: 3,18 мм,  $L/D=4$ .

## Вариант 12

Опалон 1706 (Monsanto Chemical)

Пластифицированный поливинилхлорид

Плотность при 23 °C равна 1,34 г/см<sup>3</sup>.

Индекс расплава: 0,07 г/10 мин (ASTM-D1238-52T).

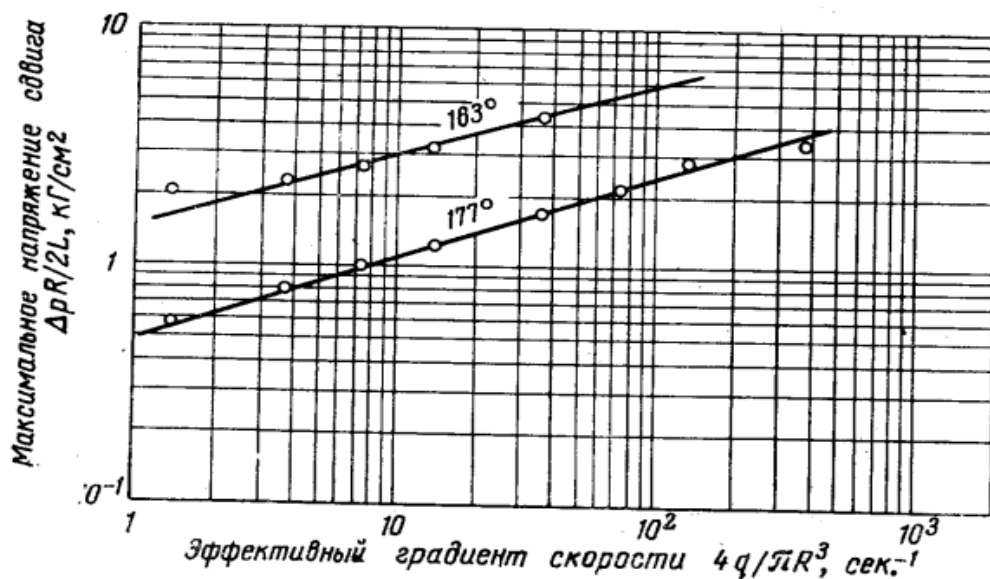


Рис. 204. Изменение максимального напряжения сдвига в зависимости от эффективного градиента скорости (цифры на кривых—температура в °C).

Капилляр с коническим входом, угол 90°, внутренний диаметр 1,59 мм,  $L/D=64$ .

## ДОДАТОК В

Програма для визначення температурного поля в поперечному перерізі  
полімерного виробу при його охолодженні

```

CLS
INPUT " Kilkist' rivnyan"; n
  DIM a(n, n + 1)
  DATA 0.814,-0.121,0,-0.121,0,0,0,0,37.84
  DATA -0.121,0.814,-0.121,0,-0.121,0,0,0,35.42
  DATA 0,-0.121,0.814,0,0,-0.121,0,0,37.84
  DATA -0.121,0,0,0.814,-0.121,0,-0.121,0,35.42
  DATA 0,-0.121,0,-0.121,0.814,-0.121,0,-0.121,0,33
  DATA 0,0,-0.121,0,-0.121,0.814,0,0,-0.121,35.42
  DATA 0,0,0,-0.121,0,0,0.814,-0.121,0,37.84
  DATA 0,0,0,0,-0.121,0,-0.121,0.814,-0.121,35.42
  DATA 0,0,0,0,0,-0.121,0,-0.121,0.814,37.84
109
FOR i = 1 TO n
  FOR k = 1 TO n + 1
    READ a(i, k): PRINT TAB(k * 10); a(i, k); " ";
  NEXT k
  PRINT
NEXT i
u = 0
110
u = u + 1
k = u
120
IF a(k, u) <> 0 THEN 150
k = k + 1
IF k <= n THEN 120
PRINT "sys ne vyznachena": END
150
IF k = u THEN 1200
FOR m = u TO n + 1
  SWAP a(u, m), a(k, m)
NEXT m
1200
FOR j = n + 1 TO u STEP -1

```

```

a(u, j) = a(u, j) / a(u, u)
NEXT j
m = n + 1
IF k + 1 > n THEN 1260
FOR i = k + 1 TO n
FOR j = u + 1 TO m
a(i, j) = a(i, j) - a(i, u) * a(u, j)
1250
NEXT j
NEXT i
1260
IF u <> n THEN 110
FOR i = n TO 1 STEP -1
x(i) = a(i, m)
IF i = 1 THEN 1290
FOR k = i - 1 TO 1 STEP -1
a(k, m) = a(k, m) - a(k, i) * x(i)
NEXT k
1290
NEXT i
FOR i = 1 TO n
PRINT "T ["; i; "] = "; x(i)
NEXT i
END

```

Результат розрахунку:

```
C:\QB\qb.exe
  0      0      -.121      .814      0      0      -.121      0
  0      -.121      0      0      .814      -.121      0      -.121
  0      0      35.42      0      -.121      .814      -.121      0
-.121      0      33      0      -.121      0      -.121      0
  0      0      0      -.121      0      -.121      .814      0
  0      -.121      35.42      0      -.121      0      0      .814
-.121      0      37.84      0      0      -.121      0      -.121
  .814      -.121      35.42      0      0      -.121      0      -.121
-.121      0      0      0      0      0      -.121      0
-.121      .814      37.84      0      0      0      -.121      0
T [ 1 ] = 69.36809
T [ 2 ] = 76.96539
T [ 3 ] = 69.36809
T [ 4 ] = 76.9654
T [ 5 ] = 86.30375
T [ 6 ] = 76.96539
T [ 7 ] = 69.36809
T [ 8 ] = 76.96539
T [ 9 ] = 69.36809
Press any key to continue
```



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пивень А. Н. Теплофизические свойства полимерных материалов. Справочник / А. Н. Пивень, Н. А. Гречаная, И. И. Чернобыльский. – Киев: "Вища школа", 1976. – 180 с.
2. Бернхардт Э. Переработка термопластичных материалов / Э. Бернхардт. – М: Химия, 1965. – 747 с.
3. Корячкин В. П. Особенности стационарного течения сплошных пластических сред в сквозных каналах с учетом эффекта пристенного скольжения / В. П. Корячкин. // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – №2. – С. 12–18; URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=21606> (дата обращения: 11.04.2017).
4. Ровкина Н. М. Технологические расчеты в процессах синтеза полимеров. Сборник примеров и задач: Учебное пособие / Н. М. Ровкина, А. А. Ляпков. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 167 с.
5. Радченко Л. Б. Переробка термопластів методом екструзії: Наук. посібник / Л. Б. Радченко. – Київ: ІЗМН, 1999. – 220 с.
6. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 568 с.