

# ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ РЕАКТОПЛАСТОВ

Литье под давлением реактопластов – более прогрессивный метод по сравнению с компрессионным и литьевым прессованием, но **требует наличия материалов с меньшей вязкостью и более длительным временем вязкотекучего состояния.**

**Специфика переработки реактопластов** - не только процессы массопереноса и теплообмена, но и **химических взаимодействий**, ведущих к образованию трехмерной сетчатой структуры.

Более **жесткие** требования к **выполнению технологических условий** литья, прежде всего, температурно-временных параметров процесса, а также **исключению возможности образования застойных зон** в материальном цилиндре литьевой машины

**Оборудование:** плунжерные и червячные литьевые машины

**Режимы** - инъекционный и интрузионный

### **ТРЕБОВАНИЯ К СЫРЬЮ:**

**Размер гранул:** от 0,25 до 1,0 мм. **Меньше 0,16 мм** - попадание частиц материала в зазор между гребнем шнека и цилиндром. **Более 1 мм** – увеличение анизотропии свойств изделий.

**Содержание влаги и летучих:** от 2 до 4 %. **Меньше 2%** - ухудшается текучесть материала. **Более 4 %** - снижаются диэлектрические, физико-механические показатели, возрастает пористость изделий, усадка, коробление.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА** литьевых реактопластов (пластометр Канавца):

- время вязкопластичного состояния (при 120°C для всех типов сырья) ;
- время отверждения (при 170°C для фенопластов и 150°C для аминопластов);
- вязкость материала на стадии вязкопластичного состояния (при 120°C для всех типов сырья).

## Три группы материалов по технологическим свойствам:

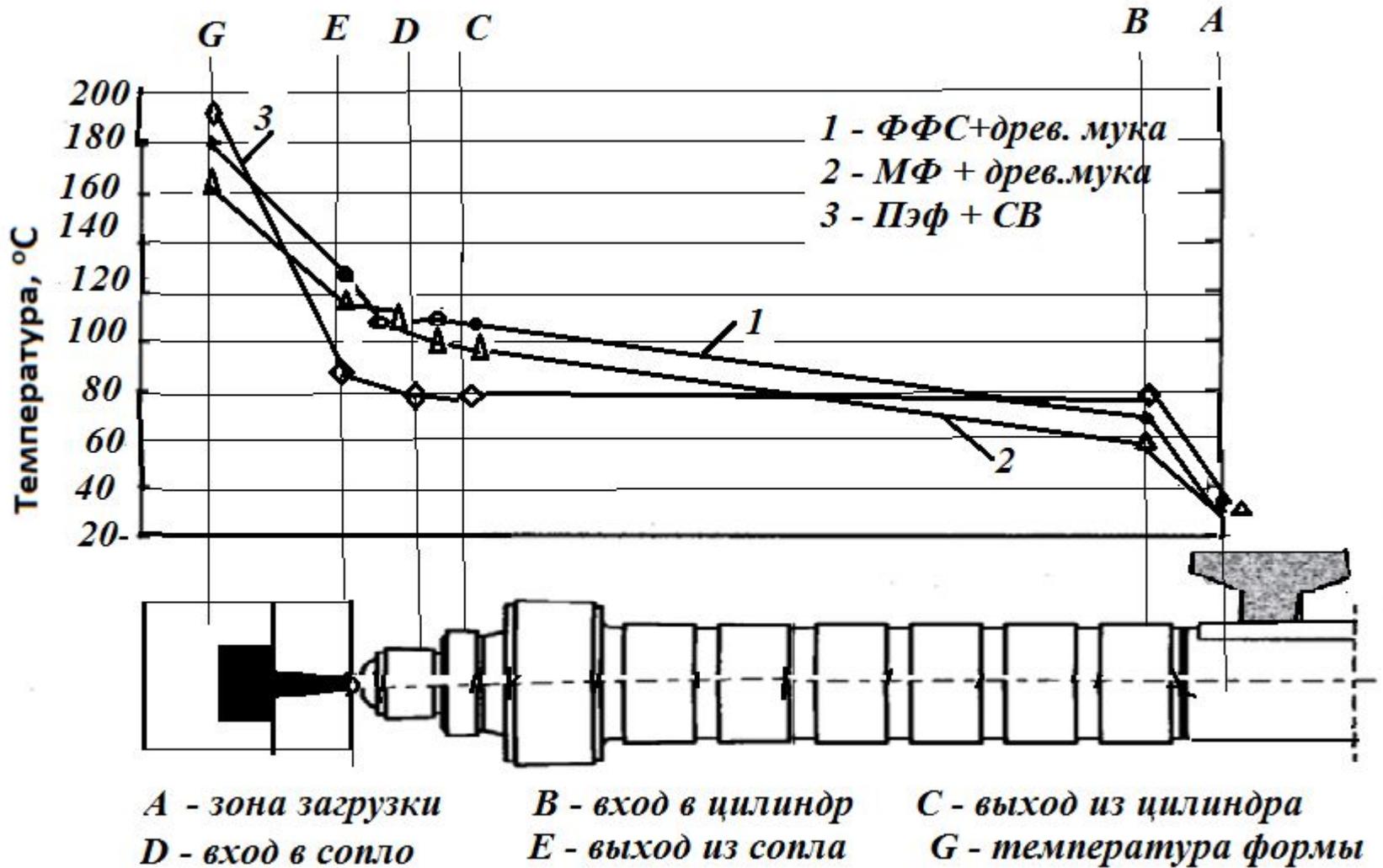
Группа	Вязкость в вязкопластичном состоянии, Па*с	Время вязкопластичного состояния, с
I	$(2 \div 6)10^4$	20 - 140
II	$2*10^3 \div 2*10^4$	40 - 140
III	$2*10^3 \div 10^4$	60 - 140

**Материалы I группы** - переработка **на плунжерных** литьевых машинах;

**Материалы II группы** переработка **на червячных** машинах с незапирающимся соплом и объемом пластикационного цилиндра до  $250 \text{ см}^3$ ;

**Материалы III группы** реактопласгавтоматы с объемом пластикации  $> 250 \text{ см}^3$ , снабженные запорными устройствами, предотвращающими утечку материала при впрыске.

# ПРОФИЛЬ ТЕМПЕРАТУР ПО ЗОНАМ ЦИЛИНДРА И В ФОРМЕ



## ФОРМОВАНИЕ

Завершение времени вязкопластичного состояния интенсифицирует процессы химического взаимодействия, быстро нарастает вязкость материала и теряется текучесть, т. е. формуемость .

**Транспортировка** к формирующей полости и **заполнение** формирующей полости материалом **должна** происходить **в течение времени вязкопластичного состояния перерабатываемого реактопласта.**

### Пластикация материала :

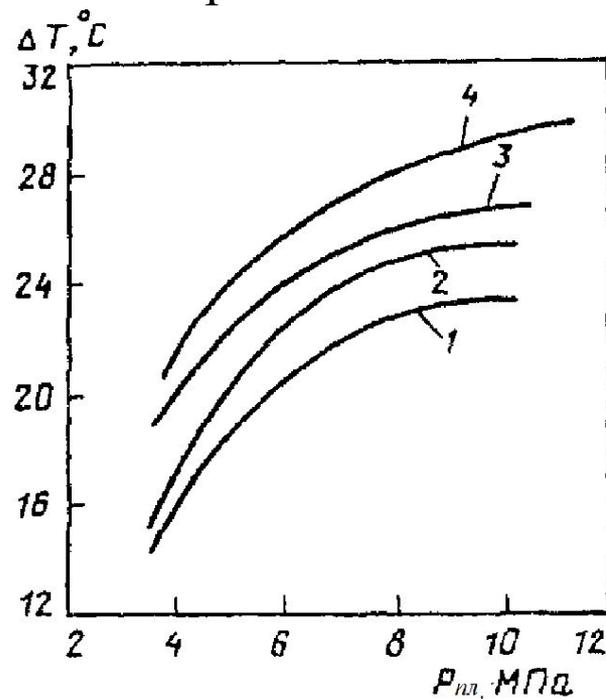
Зависимость прироста температуры реактопласта  $\Delta T$  от давления пластикации

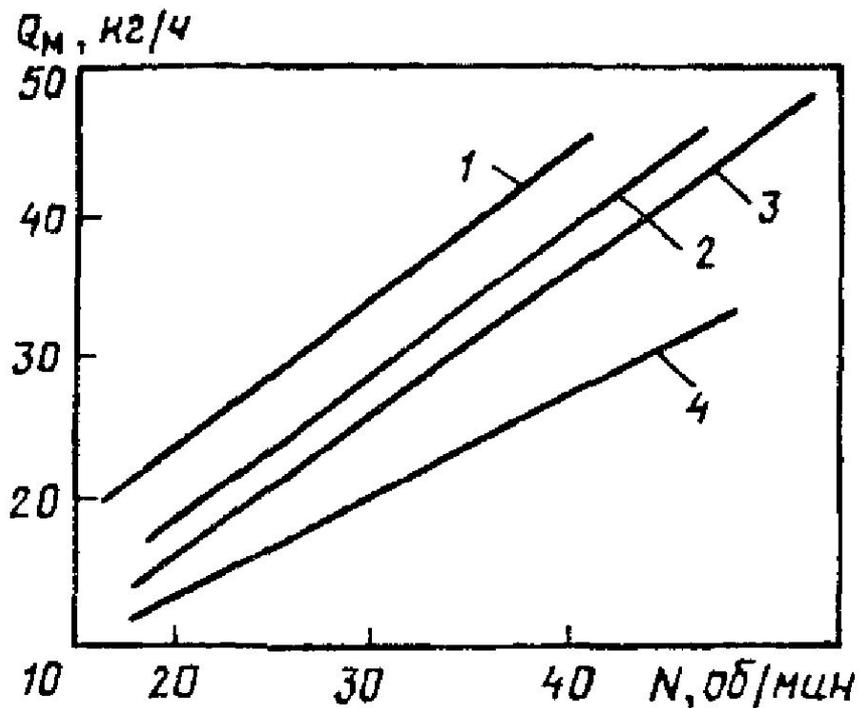
$P_{пл}$ .

Частота вращения шнека (об/мин):

1 - 15; 2 - 25; 3 - 35; 4 - 45.

*С ростом  $P_{пл}$  и  $N$  увеличивается  $\Delta T$*





Зависимость пластикационной производительности литьевой машины  $Q_{пл}$  от частоты вращения шнека  $N$ ;

$P_{пл}$  (МПа): 1- 3,5; 2 - 5,4; 3 - 8,6; 4-12

*Рост  $N$  ведет к росту  $Q_{пл}$*

*Рост  $P_{пл}$  ведет к снижению  $Q_{пл}$*

**Технологические параметры на стадии пластикации** устанавливаются таким образом, чтобы на выходе из цилиндра температура материала не превышала **80—100 °С**.

## Дозирование материала :

Доза материала должна **соответствовать объему впрыска**, для исключения отверждения материала в цилиндре .

**Ход шнека не более двух-трех  $D_{шн.}$**

**Впрыск** подготовленной дозы в форму :

$\Delta P$  «сопло-форма»  $\gg$ , чем для термопластов из-за высокой вязкости, поэтому  $T_m$  при поступлении в форму  $>$ , чем  $T_r$  перед соплом на 15 - 20 °С. *Чем  $> T_{м\ впр}$ , тем  $< \Delta V$  при  $T_m$  до  $T_f$*

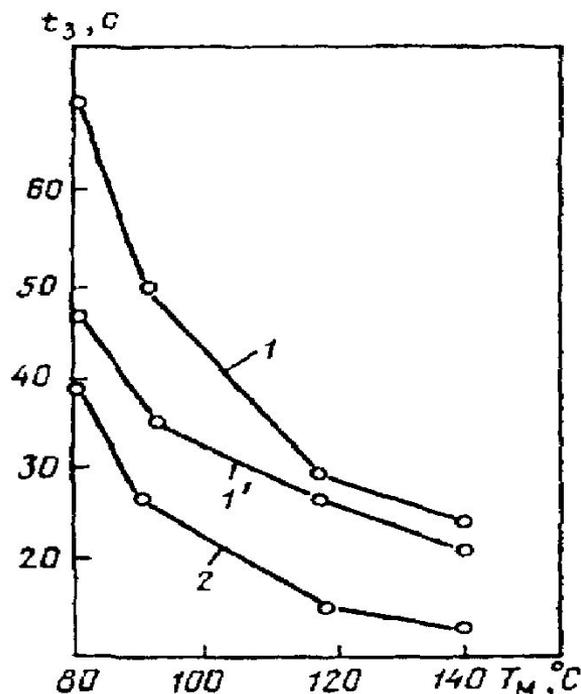
**Время заполнения формы :  $f(V_{впр\ ср.})$**

$V_{впр\ сред} = f(P_l, \eta, \text{сопротивл. ходу шнека})$

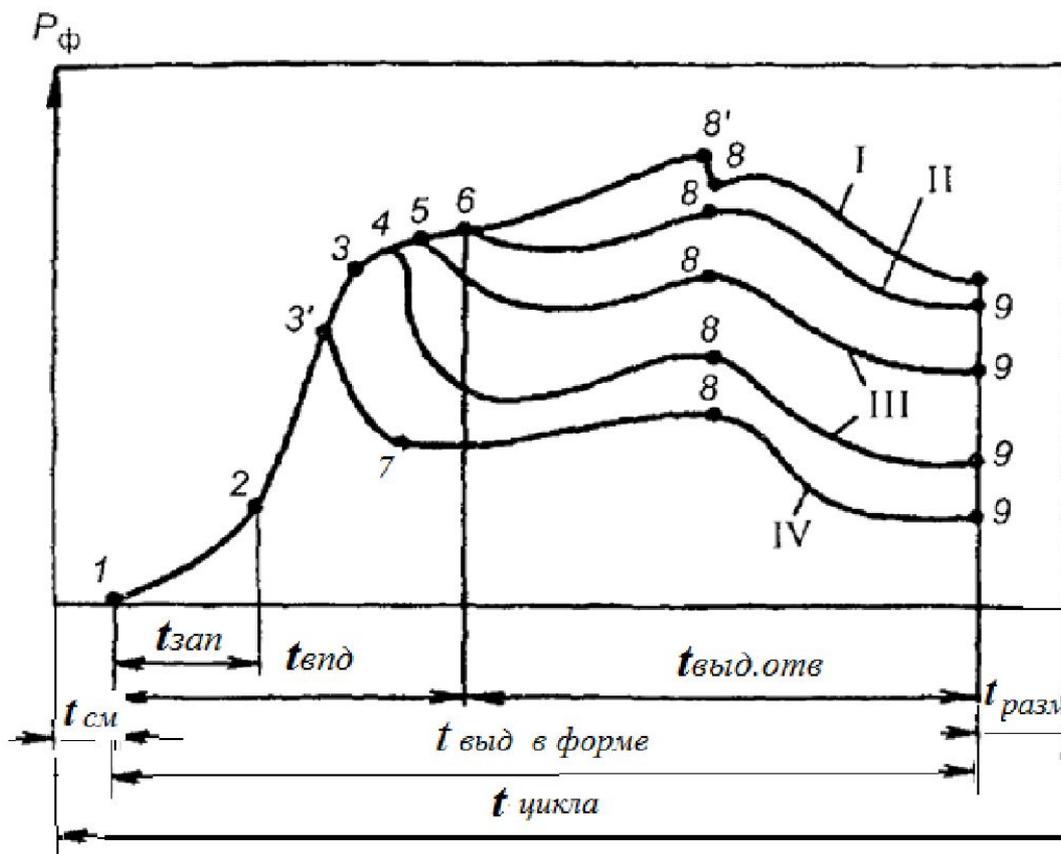
Зависимость времени заполнения формы  $t_{зап}$  от температуры расплава на входе в форму  $T_m$  при температуре формы  $T_f$ : 145 (1 и 2) и 165 °С (1'), и давлении литья  $P_l$ , равном 43 (1и1') и 56 МПа (2).

*Чем выше  $T_f$ , тем меньше  $t_{зап}$  .*

*Чем выше  $P_l$ , тем меньше  $t_{зап}$  .*



# ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ФОРМЕ В ТЕЧЕНИЕ ЦИКЛА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ РЕАКТОПЛАСТА



1—3 - заполнение формы и уплотнение расплава

3'-7 -частичное размыкание

полужою, облой  
4, 5 - мало  $t'_{впд}$  - истечение материала из полости формы

Т. 6, кривые I и II - конец выдержки под давлением

6-8 -расширение из-за прогрева

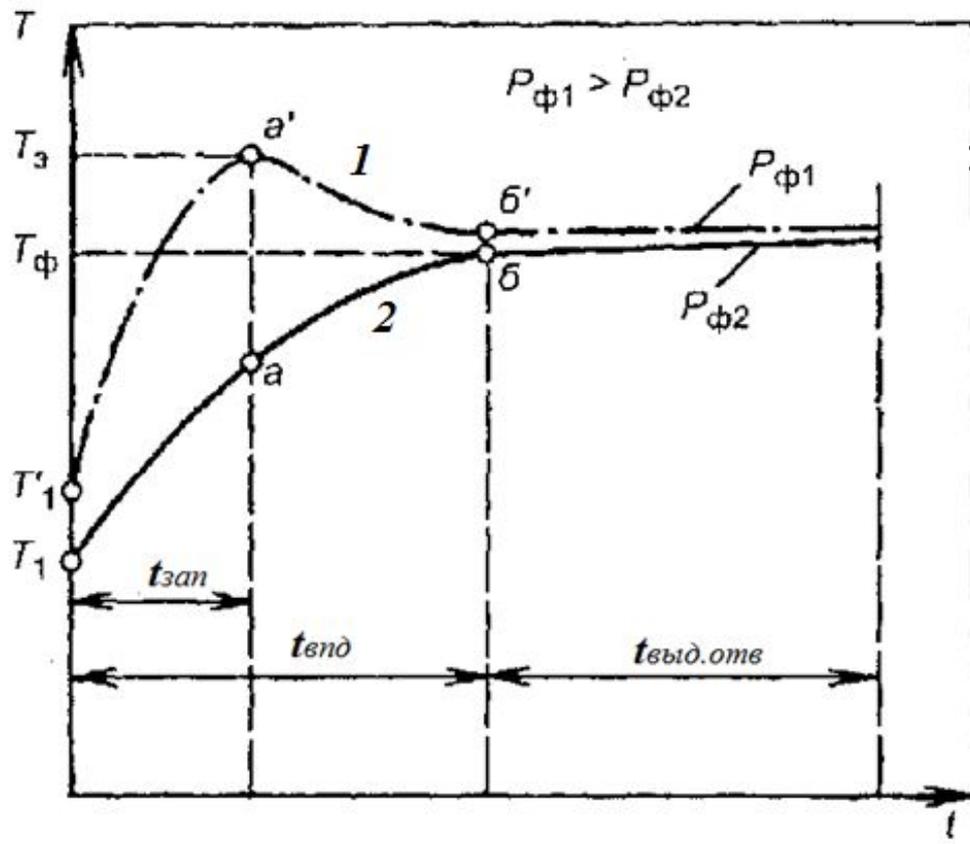
8-9 - усадка в рез. отверждения

8-8' -  $F_{\phi} > F_{см}$ , раскр. формы

Т.9 -  $P_{\phi} =$

I - ход кривой при недостаточном усилии смыкания на стадии выдержки на отверждение; II - при нормальном проведении процесса литья; III - при малой длительности выдержки под давлением; IV - при недостаточном усилии смыкания на стадии уплотнения расплава в форме при выдержке под давлением.

# ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕАКТОПЛАСТА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ФОРМЕ, В ТЕЧЕНИЕ ЦИКЛА



Нагрев материала за счет:  
1) теплопроводности от стенок горячей формы,  
2) диссипативных потерь в результате вязкого течения и  
3) теплового эффекта реакции отверждения.

1 – литье при повышенных  $P_{л}$  и  $T_{р}$   
2 - литье при низких  $P_{л}$  и  $T_{р}$

## Выдержка под давлением

После  $t_{\text{зап}}$  формы расплавом  $t_{\text{впд}}$ . Материал нагнетается в форму и  $P_{\text{ф}}$ . ↑

$$t_{\text{впд}} = f(t_{\text{отв в литнике}}).$$

При большой  $\delta_{\text{изд}}$   $t_{\text{отв литника}} < t_{\text{отв изделия}}$ , а  $t_{\text{впд}} = f(\text{времени текучести материала в литнике})$

При малой  $\delta_{\text{изд}}$   $t_{\text{отв литника}} > t_{\text{отв изделия}}$ , а  $t_{\text{впд}} = f(\text{времени текучести материала в форме})$

После отверждения материала в литниковой системе и прекращения течения сопло отводится от формы.

## Выдержка на отверждение в форме ( $t_{\text{выд.отв}}$ )

Масса изделия постоянна. На этой стадии обеспечивается необходимая и одинаковая по всему объему изделия степень отверждения.

( $t_{\text{выд.отв}}$ ) завершается при достижении материалом определенной степени отверждения.

Изделия общетехнического назначения из фенопластов до  $\sigma_{\text{сдв}} = 6$  МПа, из аминопластов до  $\sigma_{\text{сдв}} = 4$  МПа. Изделия электротехнического назначения требуют  $< t_{\text{выд.отв}}$ .

## РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ РЕАКТОПЛАСТОВ

Температура материала на выходе из шнека  $T$ :

$$T_1 = T_{\text{ц}} + aN + bP, \quad \text{где } T_{\text{ц}} - \text{температура цилиндра, } ^\circ\text{C}; N - \text{частота вращения шнека, об/мин; } P_{\text{пл}} - \text{давление пластикации, МПа; } a, b - \text{константы}$$

Давление в гидроцилиндре литьевой машины на стадии впрыска

$$(P_{\text{впр}}): \quad P_{\text{впр}} = \Sigma \Delta P_{\text{с}} + \Sigma \Delta P_{\text{л}} + P_{\text{ф}} \quad (P_{\text{ф}} \sim 50 \text{ МПа):}$$

Температура материала после заполнения формы  $T_3$  :

$$T_3 = T_1 + \frac{\Sigma \Delta P_{\text{с}} + \Sigma \Delta P_{\text{л}}}{c_p \rho},$$

где  $T_1$  — температура материала в зоне дозирования цилиндра, К;  $\Delta P_{\text{с}}$  и  $\Delta P_{\text{л}}$  - потери давления в каналах сопла и в литниках, МПа;  $c_p$  и  $\rho$  — удельная теплоемкость и плотность материала при  $T_1$

**Длительность выдержки под давлением ( $t_{впд}$ ):**

$$t_{впд} = K_{в} (t_{отв. пл} - t_{нагр. пл}) e^{\beta(T_{пл} - T_3)},$$

где  $t_{отв. пл}$  – по пластометру Канавца, с;  $t_{пл}$  - время нагревания материала в пластометре Канавца до температуры отверждения  $T_{отв}$ , с;

$\beta$  - температурный коэффициент для перерабатываемого материала, учитывающий влияние температуры на длительность отверждения,

$T_{пл}$  - температура измерительной камеры пластометра, °С;

$K_{в} = 0,5- 0,6$ , учет степени отверждения материала в литнике.

**Длительность выдержки на отверждение ( $t_{выд. отв.}$ ):**

Если  $T_m \approx T_{ф}$  :

$$t_{выд отв} = K_{в} (t_{отв. пл} - t_{нагр. пл}) e^{\beta(T_{пл} - T_{ф})} - t_{впд},$$

Если  $T_m < T_f$  :

$$t_{\text{выд отв}} = \frac{1}{K_2} \frac{\delta^2}{4a} \ln \left( K_1 \frac{T_f - T_0}{T_f - T_u} \right) + \\ + (t_{\text{отв. пл}} - t_{\text{нагр. пл}}) e^{\beta(T_{\text{пл}} - T_f)}$$

где  $K_1$  и  $K_2$  - учет формы изделия;  $\delta$  - толщина стенки формуемого изделия, м;  
 $a$  -- коэффициент температуропроводности материала при  $T = (T_0 + T_f)/2$ , м<sup>2</sup>/с;  
 $T_f$ ,  $T_0$ ,  $T_{\text{пл}}$ ,  $T_u$  -- температуры формы, материала на входе в форму, камеры  
пластометра при стандартных испытаниях и в центре изделия к моменту начала  
отверждения соответственно, °С;

Рекомендуется  $T_u = T_f - 20$ .

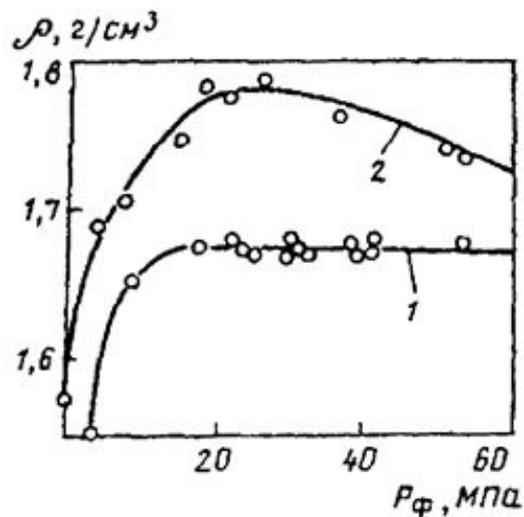
**Время цикла литья под давлением:**

$$t_{\text{цикла}} = t_{\text{выд}} + t_{\text{маш}} + t_{\text{паузы}}$$

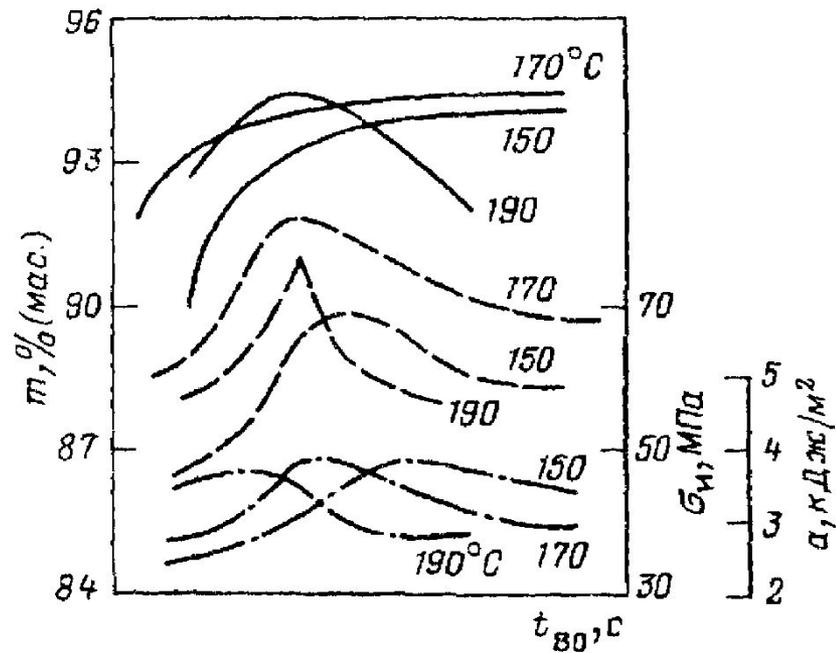
Усилие смыкания формы  $F_{\text{см}}$ :  $F_{\text{см}} = P_{\text{ф}}(S_{\text{изд}}^n + S_{\text{л}})$ ,

где  $P_{\text{ф}}$  — давление в форме, МПа;  $n$  — число гнезд в форме;

$S_{\text{изд}}$  и  $S_{\text{л}}$  — площади проекции изделия и литников,  $\text{м}^2$ .



Зависимость плотности материала в изделии  $\rho$  от давления в форме  $P_{\text{ф}}$ :  
1 — для ФКПМ-15Т; 2 — для АГ-4В



Зависимость содержания нерастворимых продуктов  $m$  (—), разрушающего напряжения при изгибе  $\sigma_{\text{н}}$  (---), ударной вязкости  $a$  (—·—) для материала 03-010-02 от продолжительности отверждения