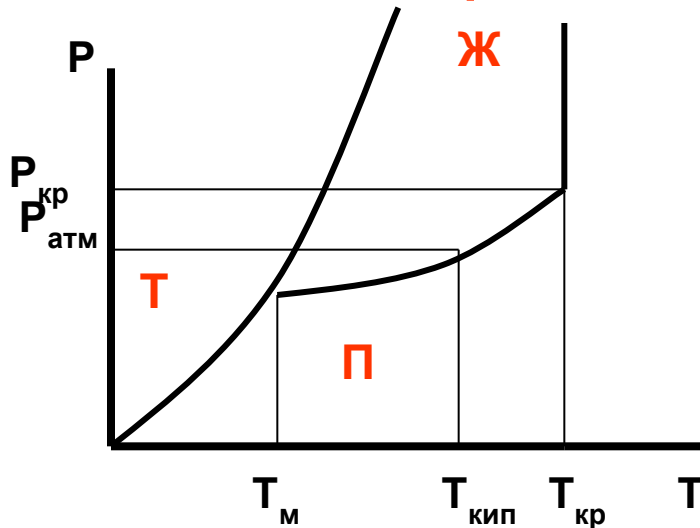


## 5. Поведение жидкостей и сжиженных газов при разгерметизации

### 5.1 Классификация жидкостей по В.Маршаллу



**Ж 1 категории:**  $T_{кр} < T_{ос}$   
(криогенные жидкости, СПГ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ )

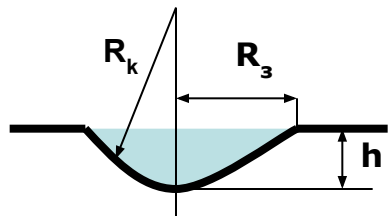
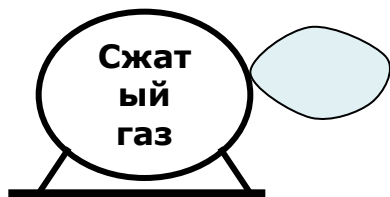
**Ж 2 категории:**  $T_{кр} > T_{ос}$ ;  $T_{кип} < T_{ос}$   
(СПГ,  $C_3H_8$ , бутан в теплую погоду,  $NH_3$ ,  $Cl_2$ )

**Ж 3 категории:**  $P_{кр} > P_{атм}$ ,  $T_{кип} > T_{ос}$ .  
(вода, бутан в холодную погоду)

**Ж 4 категории:** в-ва при повышено т-ре  
(водяной пар, циклогексан, Ж под давлением и  $T > T_{кип}$ )

Вещества	$t_{кип}, ^\circ C$ при $P_{атм} = 100$ кПа	$t_{кр}, ^\circ C$	$P_{кр},$ МПа	$\rho_{сж},$ кг / м <sup>3</sup>
Водород $H_2$	-252,0	-240,0	1,98	7,1
Азот $N_2$	-196,0	-147,0	3,40	807
Метан $CH_4$	-164,0	-82,0	4,65	424
Пропан $C_3H_8$	-42,17	96,8	4,21	582
Хлор $Cl_2$	-34,5	144,0	7,70	1563
Аммиак $NH_3$	-33,35	138,4	11,3	682
Бутан $C_4H_{10}$	-0,6	153,0	3,70	601
Вода	100,0	374,0	21,8	1000

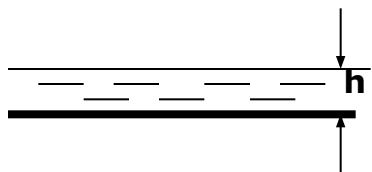
Типовые случаи разгерметизации резервуаров



$$V = \frac{\pi}{6} h(3R_3^2 + h^2) \quad \text{- объем заполнения, м}^3$$

$$S = 2\pi R_k h \quad \text{- площадь «смоченной» поверхности}$$

Растекание жидкого азота



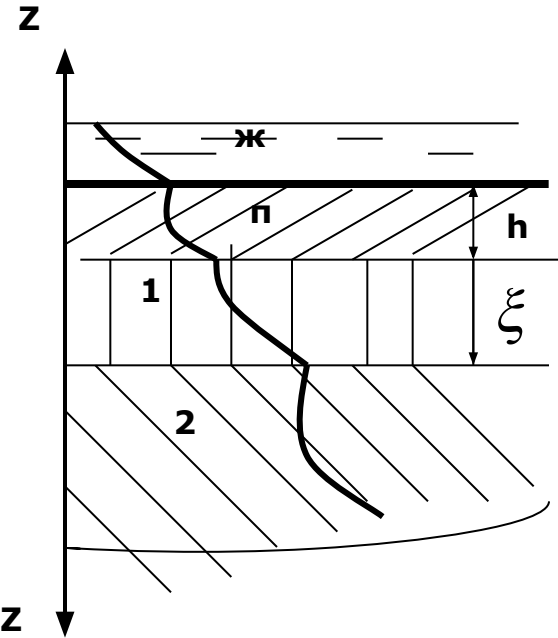
Поверхность	$h_{\min}$ , см
Бетон	0,3
Вода	1,0
Гравий	5,0
Сухой песок	20,0
Влажный песок	15

## 5.2 Испарение разлившихся жидкостей

### Переохлажденные жидкости

Допущения:

1.  $T_{ж}(0, \tau) = T_{п}(0, \tau) = T_{кип, ж.} < T_{замер, гр}$
2. Пренебрегает солнечной радиацией м ТО с атмосферой
3. Температурное поле одномерно



П – покрытие

1 – мерзлый грунт

2 – талый грунт

$$c_n \rho_n \frac{dT_n}{d\tau} = \lambda_n \frac{d^2 T}{dz^2}; 0 < z < h$$

$$c_1 \rho_1 \frac{dT_1}{d\tau} = \lambda_1 \frac{d^2 T_1}{dz^2}; h \leq z < \xi;$$

$$c_2 \rho_2 \frac{dT_2}{d\tau} = \lambda_2 \frac{d^2 T_2}{dz^2}; \xi \leq z < \infty;$$

Начальные условия:

$$T_i(z, 0) = T_{нач}$$

Переохлажденные жидкости (продолжение)

Граничные условия

$$\alpha[T_n(0, \tau) - T_{\text{кун}}] = \lambda \left( \frac{dT_n}{dz} \right)_{z=0} + L_{\text{исп}} W$$

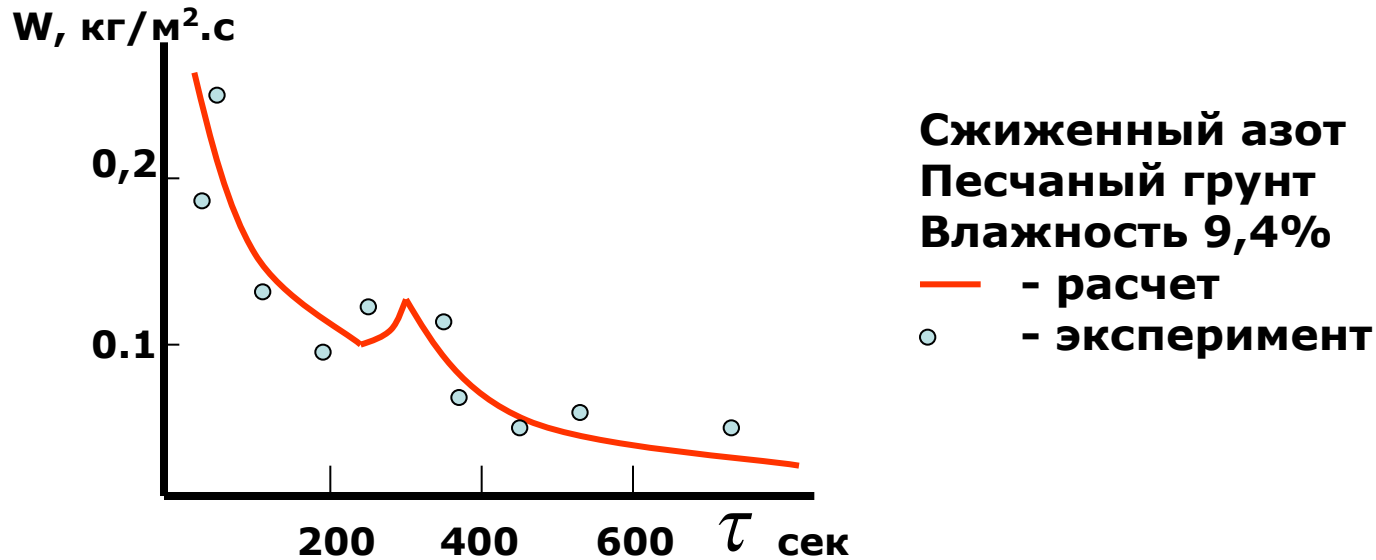
$$\lambda_n \left( \frac{dT_n}{dz} \right)_{z=h} = \lambda_1 \left( \frac{dT_1}{dz} \right)_{z=h}; T_n(h, \tau) = T_1(h, \tau)$$

$$\lambda_1 \frac{dT_1}{dz} - \lambda_2 \frac{dT_2}{dz} = L_{\text{кр}} \frac{d\xi}{d\tau}; z = \xi;$$

$$T_1(\xi, \tau) = T_2(\xi, \tau) = T_{\text{кр}}; z = \xi;$$

$$\left( \frac{dT_2}{dz} \right)_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad T_2(\infty, \tau) = T_{\text{нач}}.$$

## Переохлажденные жидкости (продолжение)



## Не переохлажденные жидкости

$$W(\tau) = \frac{q_{атм} + q_{гр} + q_{солн}}{L_{исп} (T_{кип} - T_{ж})}$$

В инженерных расчетах

$$W = 10^{-6} (5,83 + 4,1u) P_{нас} \sqrt{\mu}, \text{ кг / (м}^2 \cdot \text{с)}$$