

Горение жидкостей

Учебные вопросы:

1. Условия возникновения горения жидкостей.
2. Механизм теплового распространения горения.
3. Основные характеристики горения жидкостей.

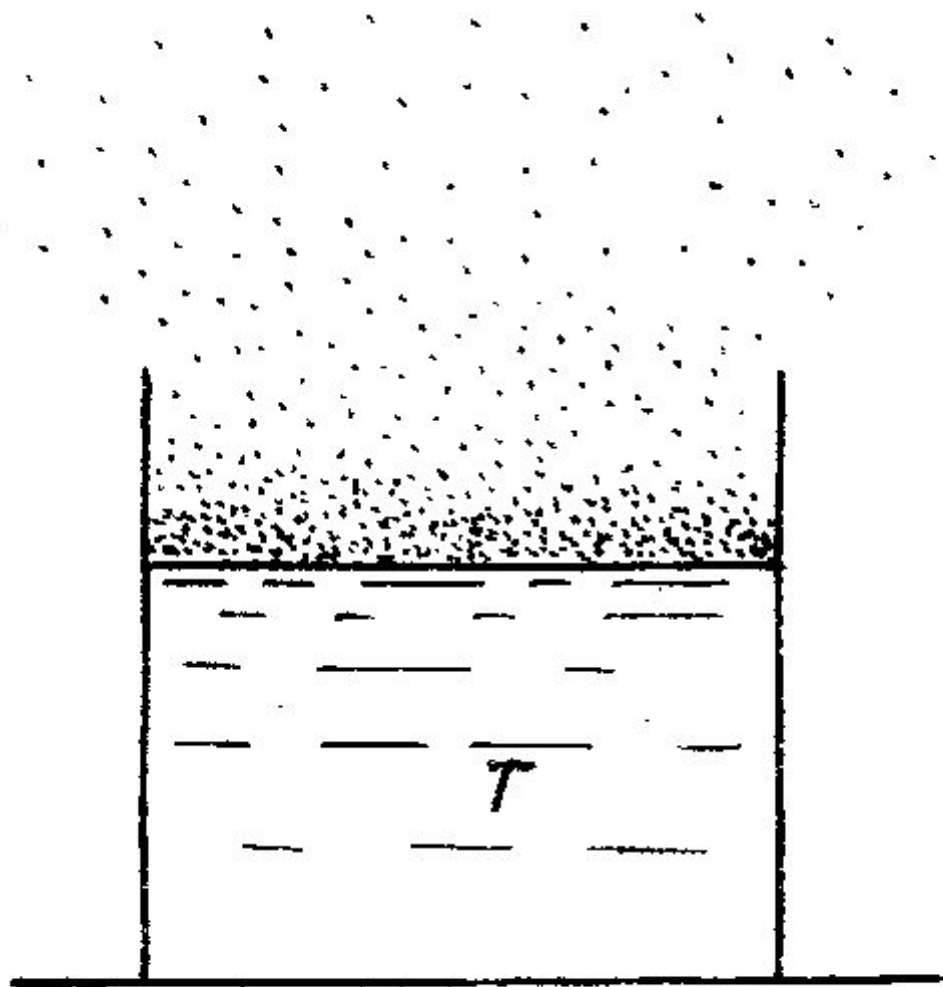


Рис.1. Схема испарения жидкости из открытого сосуда

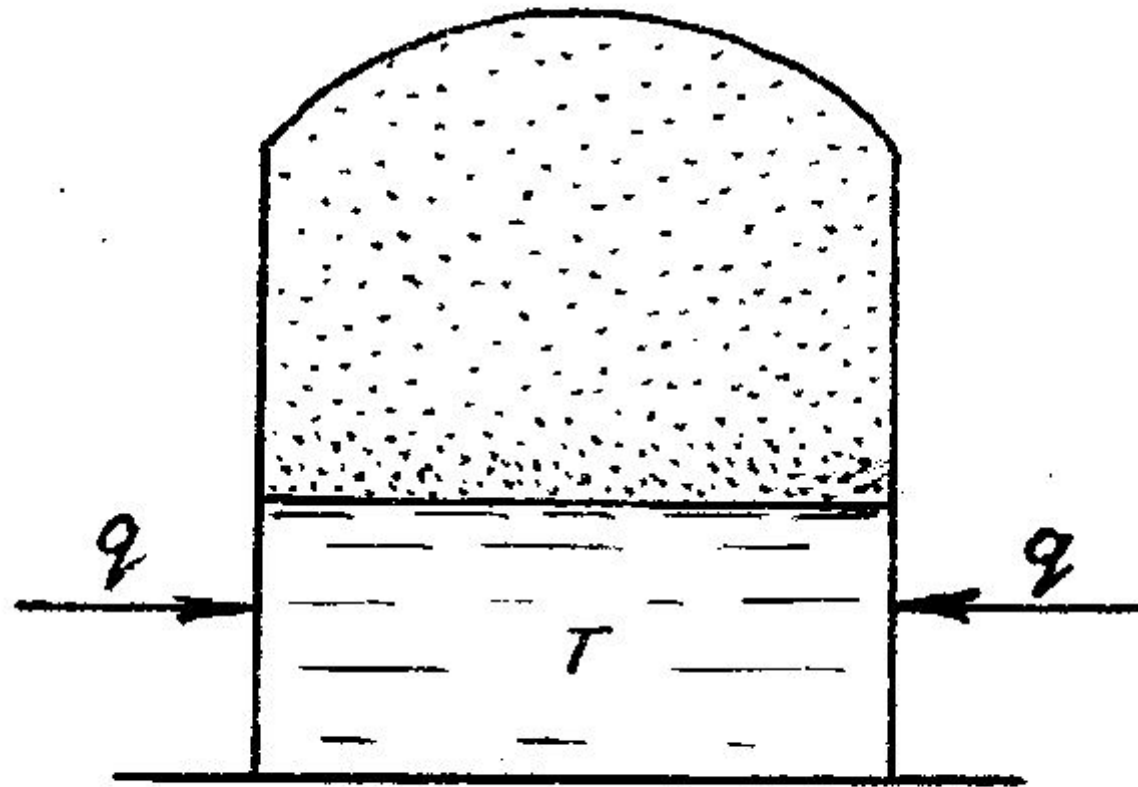


Рис.2. Схема парообразования в закрытом сосуде

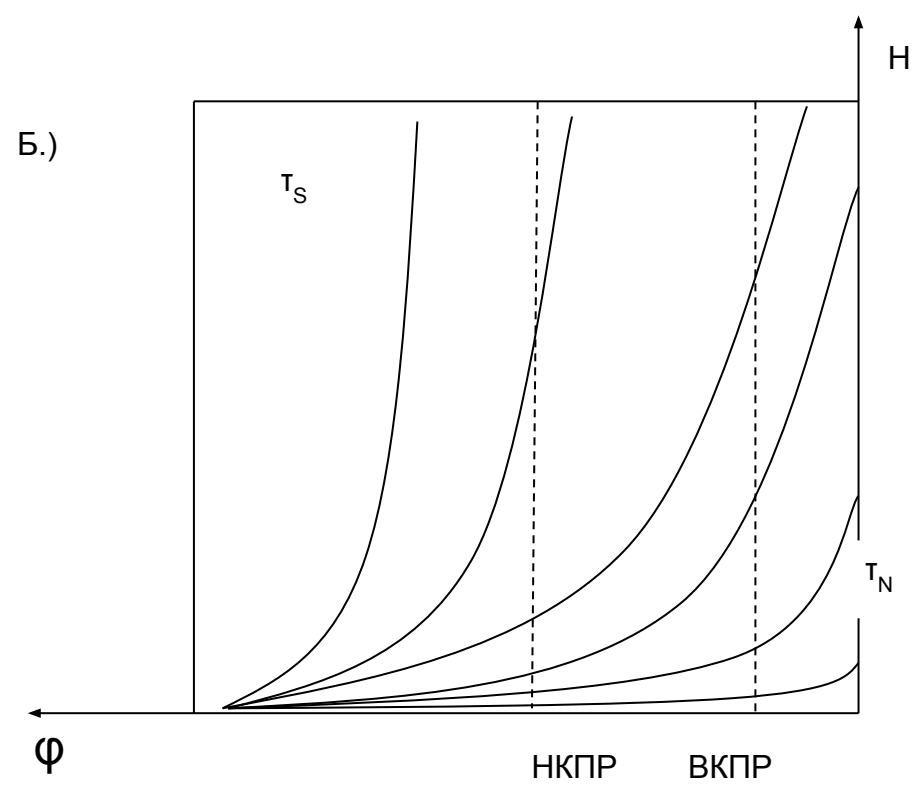
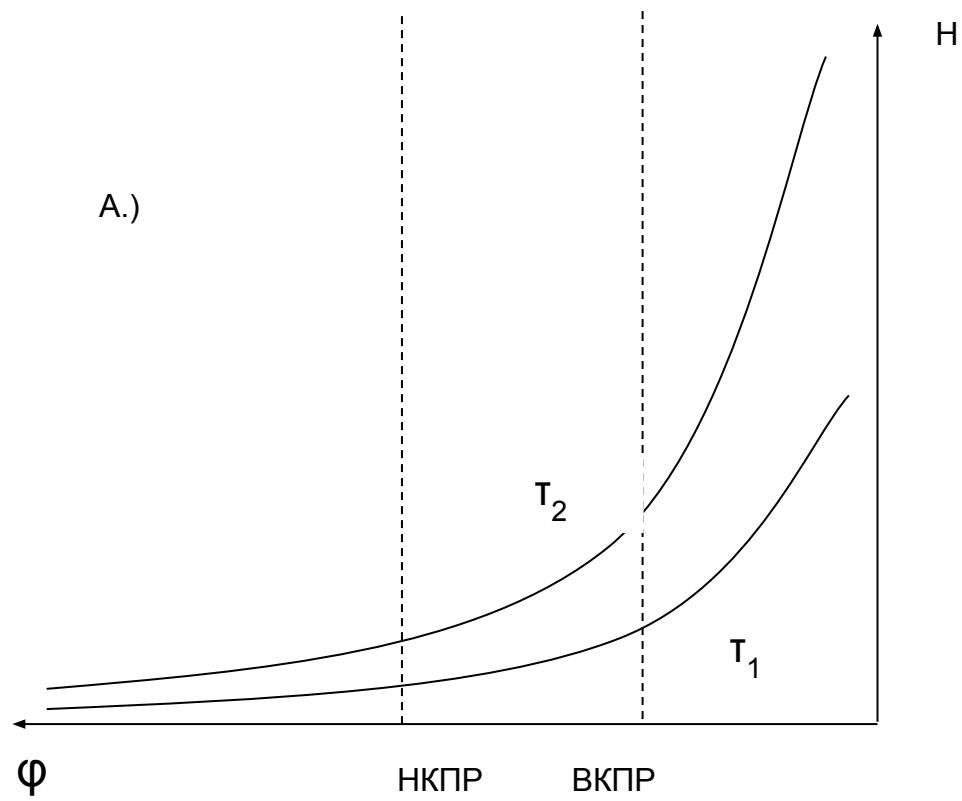


Рис. 3 Изменение концентрации паров от высоты над уровнем жидкости и времени.

- А.) - открытая емкость;
- Б.) - закрытая емкость;
- τ - время, $\tau_n > \tau$

Уравнение Клапейрона – Клаузиуса:

$$P_{нас} = P_0 \exp(-Q_{исп}/(RT_0))$$

где $P_{нас}$ - давление насыщенного пара;

$Q_{исп}$ - мольная теплота испарения жидкости.

Уравнение Антуана:

$$P_{нас} = 10^{A - B/(t + C)},$$

где A, B, C - константы, определяемые эмпирически.

Нижним (НТПР) или верхним (ВТПР) температурным пределом распространения пламени называется температура жидкости, при которой концентрация паров над ее поверхностью равна соответствующему концентрационному пределу.

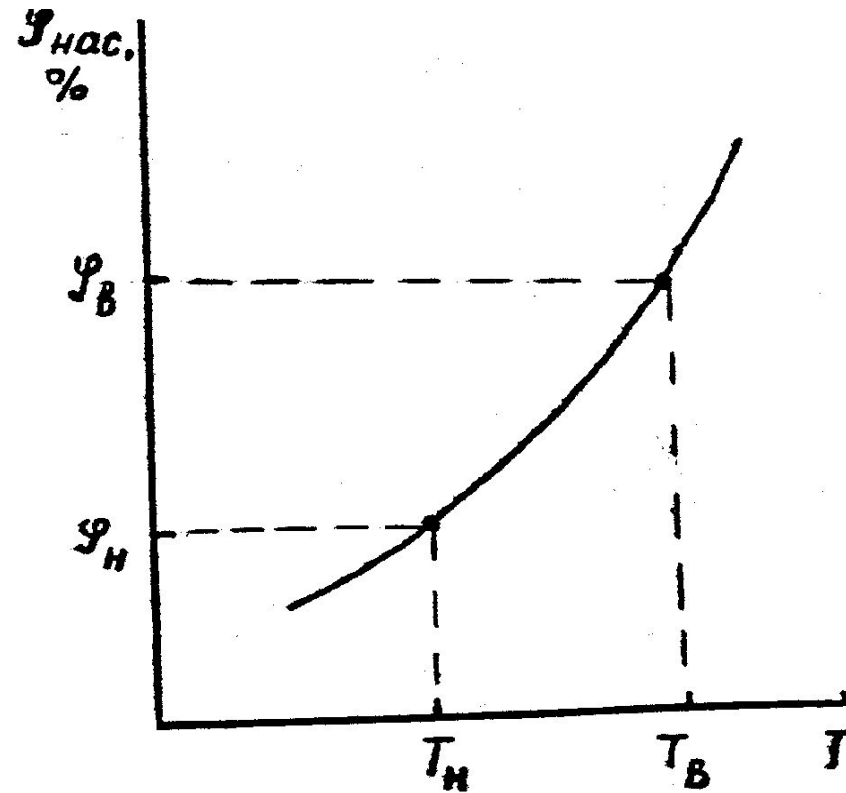


Рис.4. Зависимость концентрации паров от температуры жидкости

$$t_{\text{пр}} = \frac{B}{A - \lg(0,01 \varphi_{\text{пр}} P_0)} - C_a,$$

где $\varphi_{\text{пр}}$ - нижний или верхний КПР, %;

P_0 - атмосферное давление, кПа;

A, B, C_a - константы уравнения Антуана для давления насыщенных паров.

Скорость испарения жидкости с открытой поверхностью:

$$w = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot p_{нас}, \text{ кг / (м}^2 \cdot \text{с)},$$

где η - коэффициент, учитывающий влияние температуры жидкости и скорости воздушного потока над ее поверхностью;

M - молярная масса вещества;

$p_{нас}$ - давление насыщенного пара, кПа.

Температура вспышки - это наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары и газы, способные вспыхивать от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает.

Жидкости с температурой вспышки до 61°C относятся к **легковоспламеняющимся (ЛВЖ)**, а выше 61°C - к **горючим (ГЖ)**.

Температура воспламенения - это наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие газы и пары с такой скоростью, что при воздействии источника зажигания наблюдается воспламенение жидкости.

Механизм теплового распространения горения

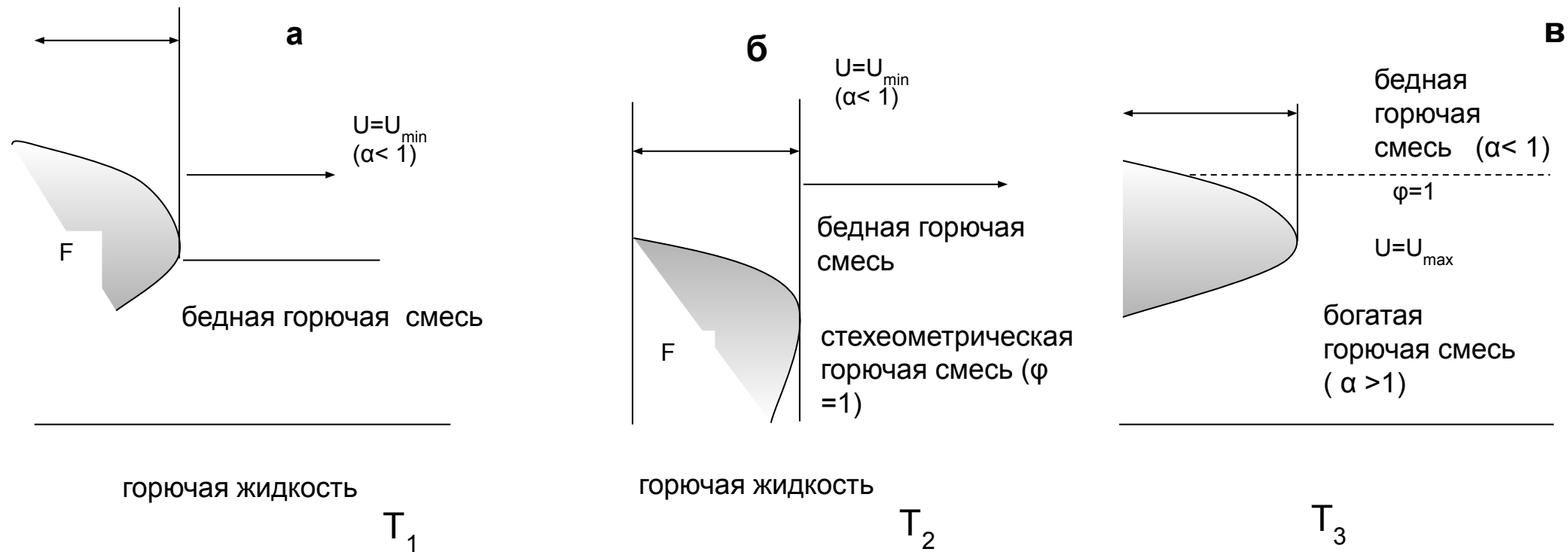


Рис. 5 Схема образования горючей зоны и фронта пламени по поверхности жидкости с низкой температурой вспышки.

а- движение пламени по жидкости с температурой T_1
 б- движение пламени по жидкости с температурой T_2
 в- движение пламени по жидкости с температурой T_3
 $T_3 > T_2 > T_1$

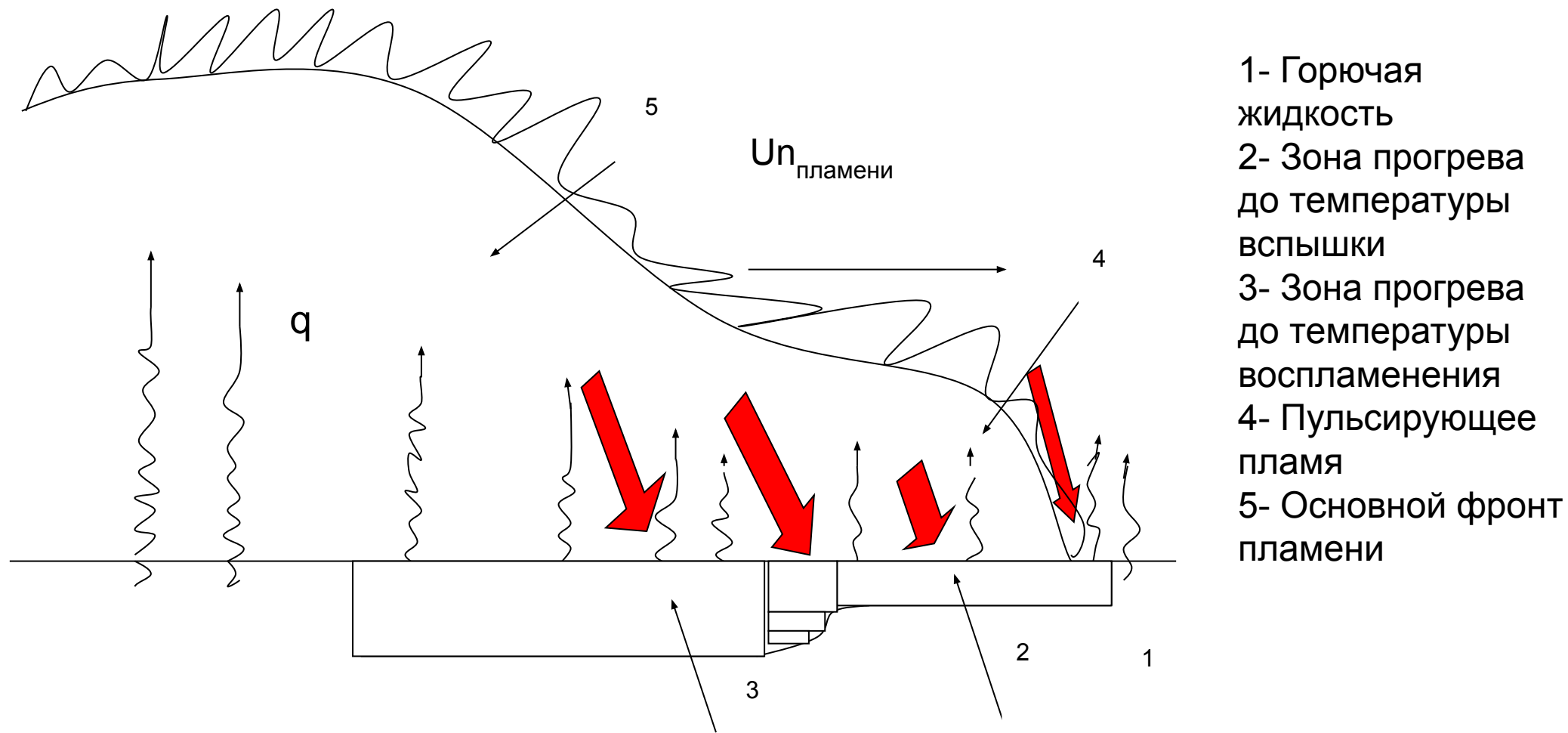


Рис. 6 Схема распространения жидкости с высокой температурой вспышки

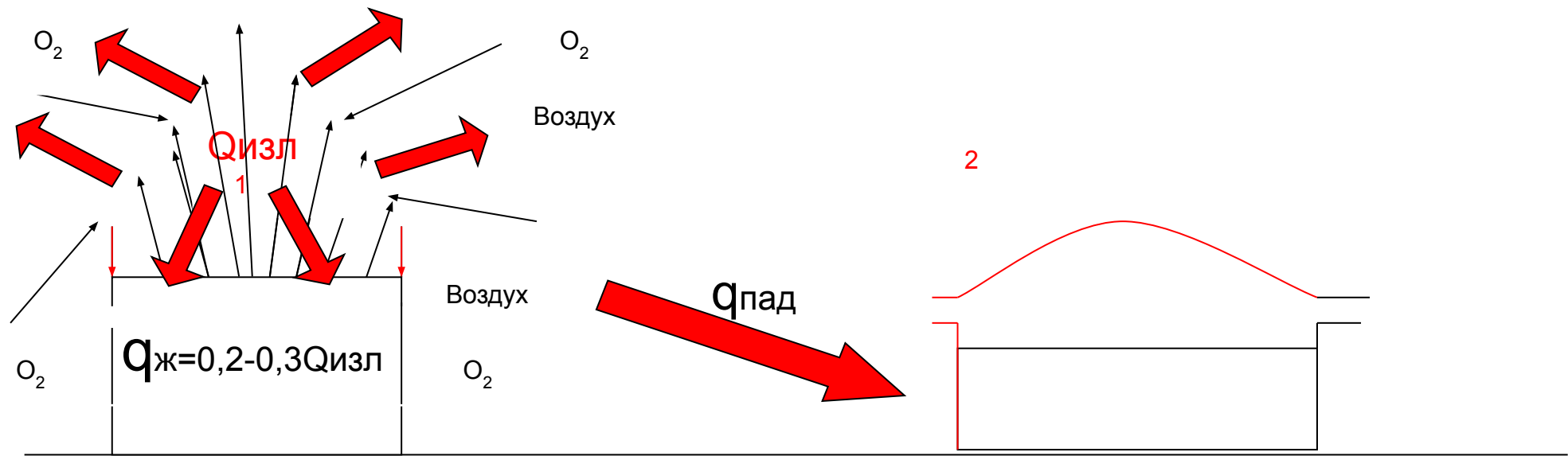


Рис. 7 Схема процессов теплообмена при горении жидкостей
 1- нагрев жидкости;
 2-нагрев соседних резервуаров

Теплоту излучения можно рассчитать по **закону Стефана - Больцмана**:

$$Q_{изл} = \varepsilon \cdot \delta (T_{гор}^4 - T_{жс}^4), \quad (6)$$

где ε - степень черноты пламени ($\varepsilon = 0,75 - 1,0$);

δ - постоянная Стефана - Больцмана ($5,7 \cdot 10^{11}$ кДж/м² · с · К);

$T_{гор}$ и $T_{жс}$ - соответственно, температура пламени и жидкости, К.

На поверхность жидкости падает только часть теплоты излучения, равная:

$$q_{ж} = (0,2 - 0,3)Q_{изл}.$$

Тепловой баланс процесса теплообмена при горении

жидкости будет иметь следующий вид:

$$q_{ж} = q_{нагр} + q_{исп} = \rho \cdot V_{нагр} \cdot c \cdot (T_n - T_0) + \rho \cdot V_{исп.} \cdot q_{исп} + q_{потерь} \quad (7)$$

где $q_{ж}$ - теплота, поступающая от факела к жидкости;

ρ - плотность жидкости, кг/м³;

$V_{нагр}$ - объем прогретой жидкости, м³;

c - теплоемкость жидкости, кДж/кг град;

T_n и T_0 - соответственно, температура поверхности и начальная температура жидкости, К;

$V_{исп}$ - объем испарившейся жидкости, м³;

$q_{исп}$ - удельная теплота испарения, кДж/кг.

Падающий тепловой поток определяется как:

$$q_{над.} = q_{ф} \cdot \varphi$$

где $q_{ф}$ – поверхностная площадь собственного излучения;

φ - коэффициент облучения

Основные характеристики горения жидкости

Геометрические размеры пламени

Площадь разлива жидкостей

Высота факела пламени горящей жидкости

$$H_{\phi} = 16,4 \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt[3]{(u_m d_{\phi})^2}$$

Массовая скорость выгорания

Линейная скорость выгорания

Линейная скорость выгорания U_l - ЭТО ВЫСОТА
СЛОЯ ЖИДКОСТИ, КОТОРАЯ ВЫГОРАЕТ В ЕДИНИЦУ
ВРЕМЕНИ. $U_l = [\text{м/с}]$.

Массовая скорость выгорание U_m – ЭТО КОЛИЧЕСТВО
ЖИДКОСТИ, КОТОРАЯ ВЫГОРАЕТ С ЕДИНИЦЫ ПЛОЩАДИ В
ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ. $U_m = [\text{кг/м}^2\text{с}]$

$$U_m = U_l \cdot \rho, \text{ кг/м}^2\text{с}$$

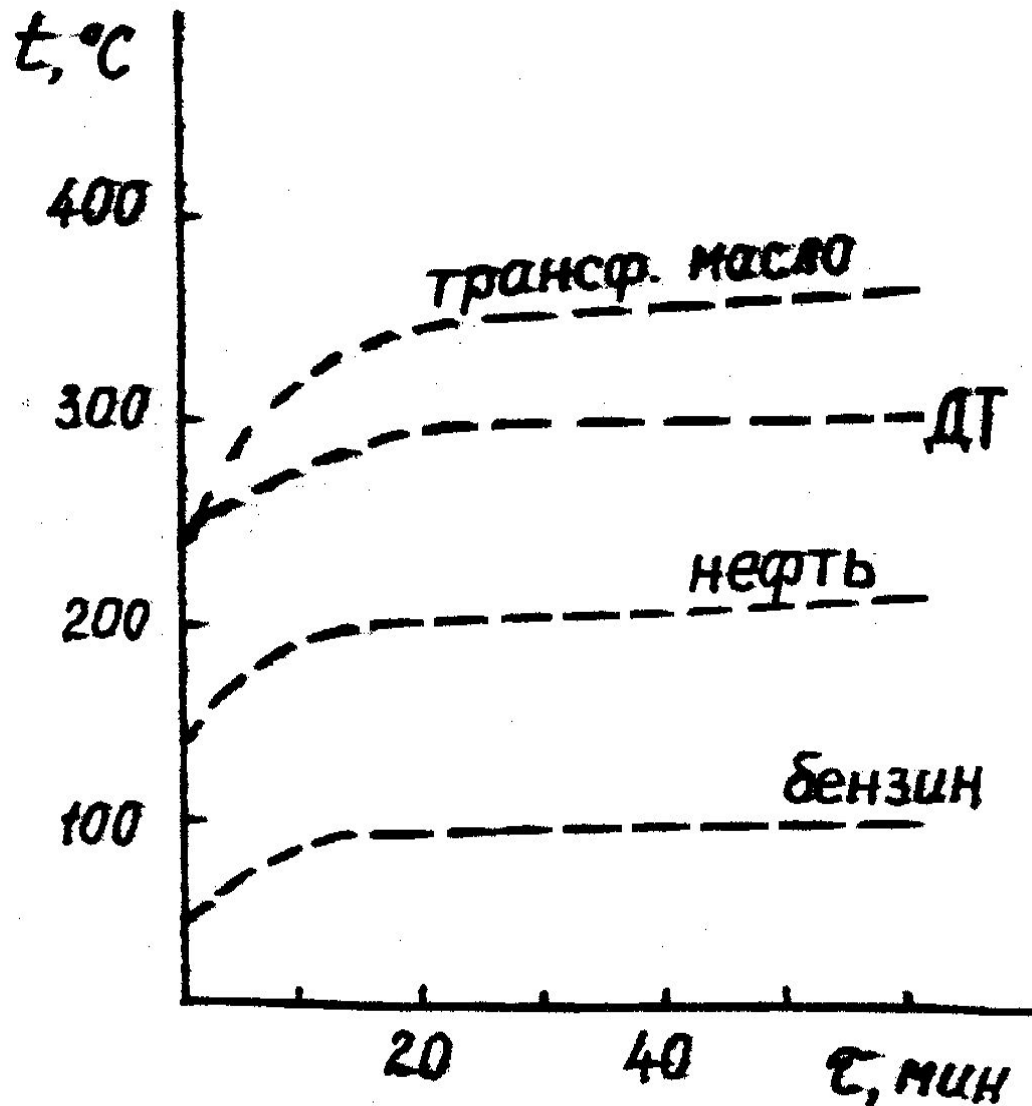


Рис.8. Изменение температуры поверхности жидкости во времени

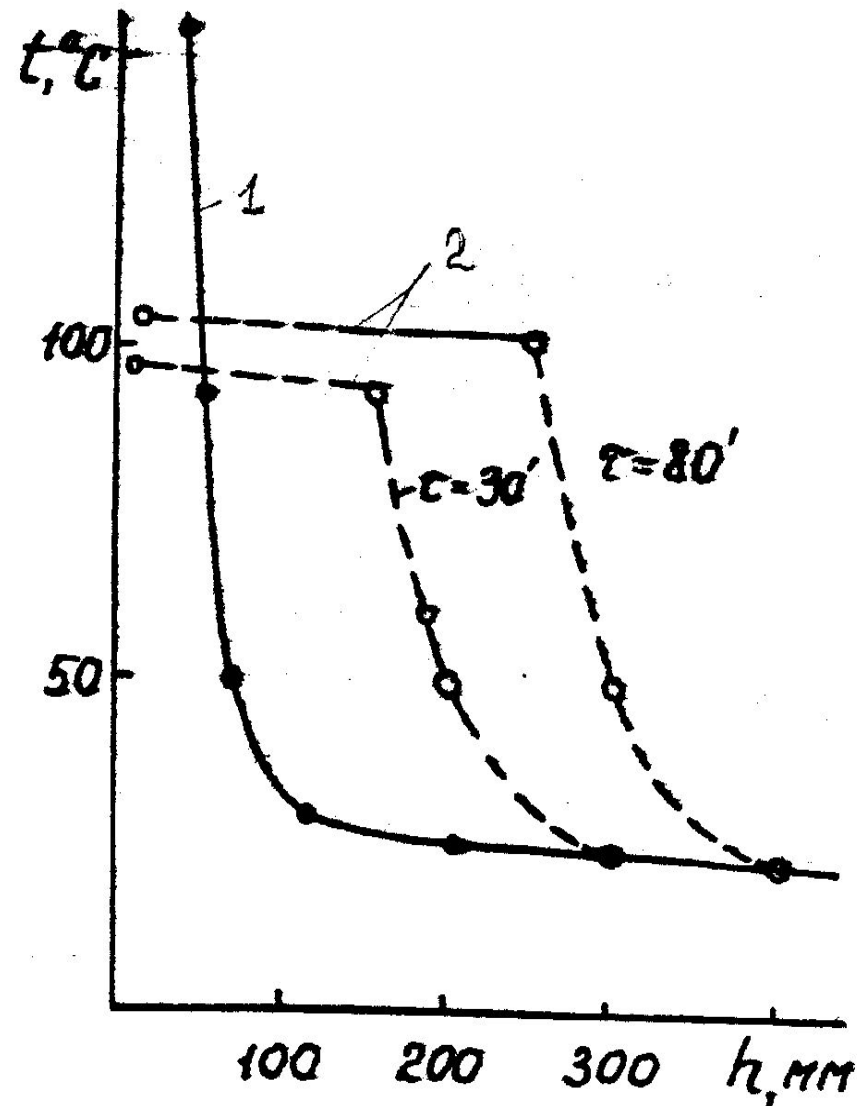


Рис.9. Распределение температуры жидкости по глубине:
1- керосин; 2 - бензин

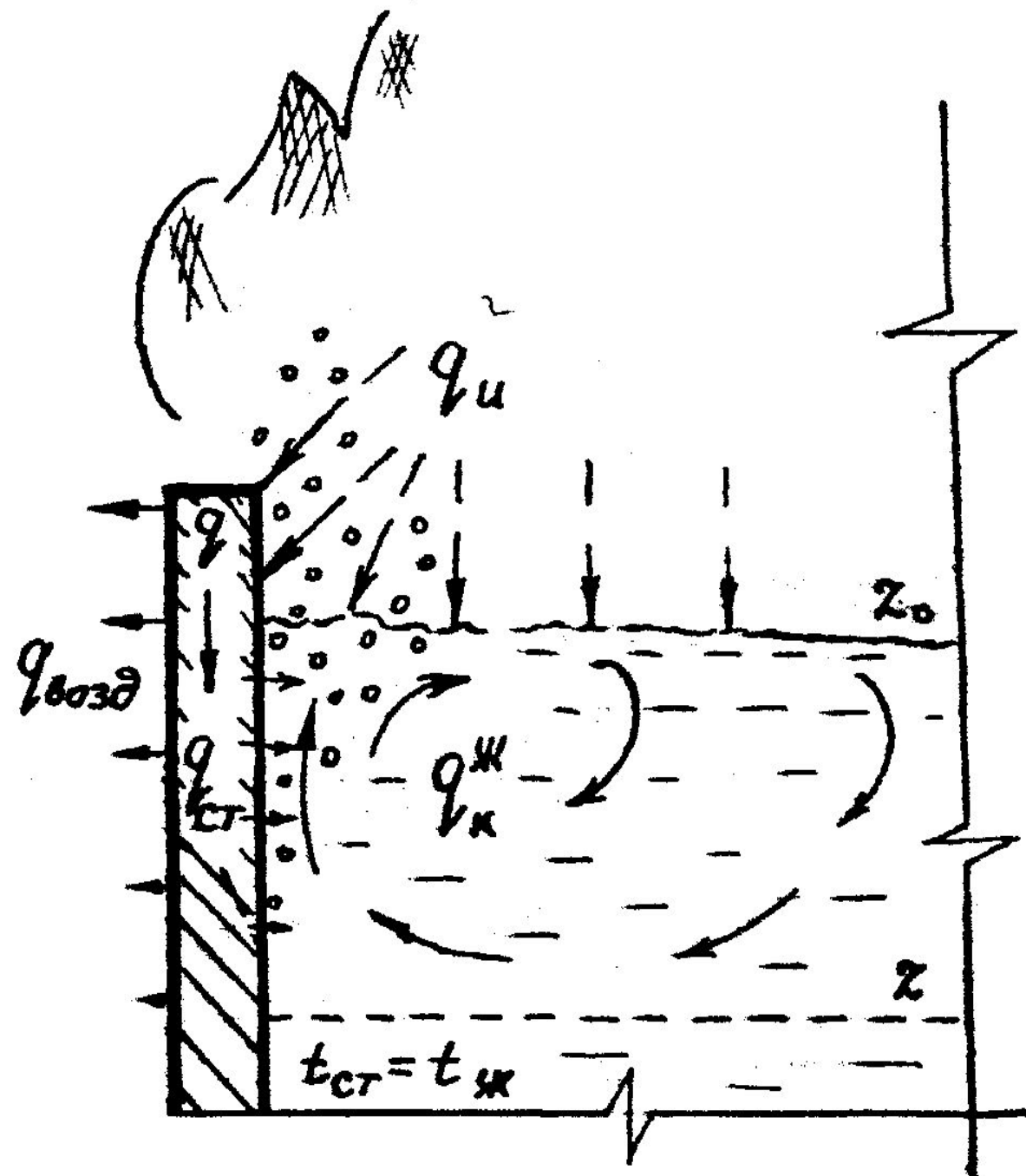
Параметры выгорания некоторых горючих жидкостей

Горючие жидкости	Скорость выго- рания, см/мин.	Скорость нарас- тания прогретого слоя, см/мин.	Температура прогретого слоя, °С
Нефть	0,23	0,5	130 - 160
Мазут	0,17	0,5	230 - 300
Керосин	0,40	-	220 - 240
Дизельное топливо	0,33	-	220 - 240
Бензины	0,50	1,2	80 - 100

На модели резервуара с диаметром 0,5 метра экспериментально установлено:

- скорость прогрева растет с увеличением скорости воздушного потока;
- с ростом диаметра резервуара толщина гомотермального слоя увеличивается;
- охлаждение стенок резервуара может как уменьшать интенсивность прогрева, так и, в некоторых случаях, увеличивать;
- нефть с большим содержанием воды имеет большую скорость прогрева и меньшую температуру на поверхности;
- характер распределения температуры в мазуте зависит от количества в нем воды. Гомотермальный слой образуется, если влажность более 0,5%.

Рис.10. Схема образования
прогретого слоя



Уравнение скорости прогрева жидкости:

$$\frac{\partial Z_0}{\partial \tau} = U=V \frac{\rho_T}{\rho_0} \frac{C_T}{C_0} \frac{1-C_L}{C_L} \exp \frac{2\alpha\tau}{\rho_0 C_0 R}$$

Z_0 - толщина гомотермального слоя,

τ - время от начала формирования слоя,

α - коэффициент теплоотдачи,

R - радиус резервуара,

U - скорость изменения толщины слоя,

V - скорость выгорания жидкости.

ρ_0, ρ_T - плотности исходной жидкости и высококипящей фракции,

C_0, C_T, C_L - теплоемкости исходной жидкости, высококипящей и легкокипящей фракций,