

Институт инженерной экологии
и химического машиностроения

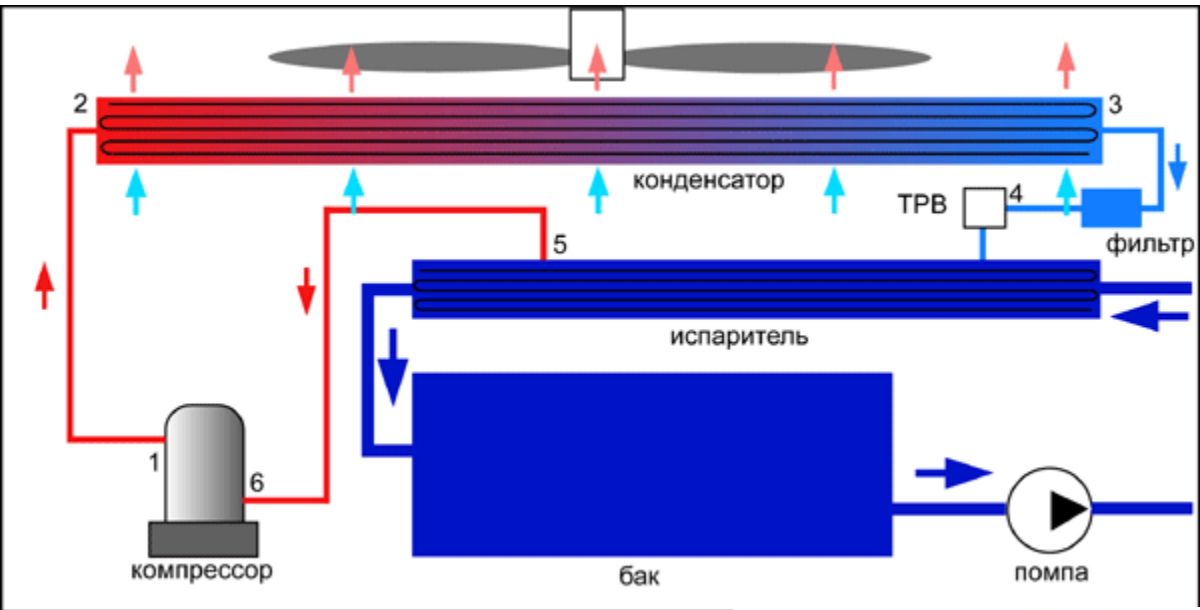
Кафедра «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

Моделирование процессов тепло- и массообмена в вакуумной градирне

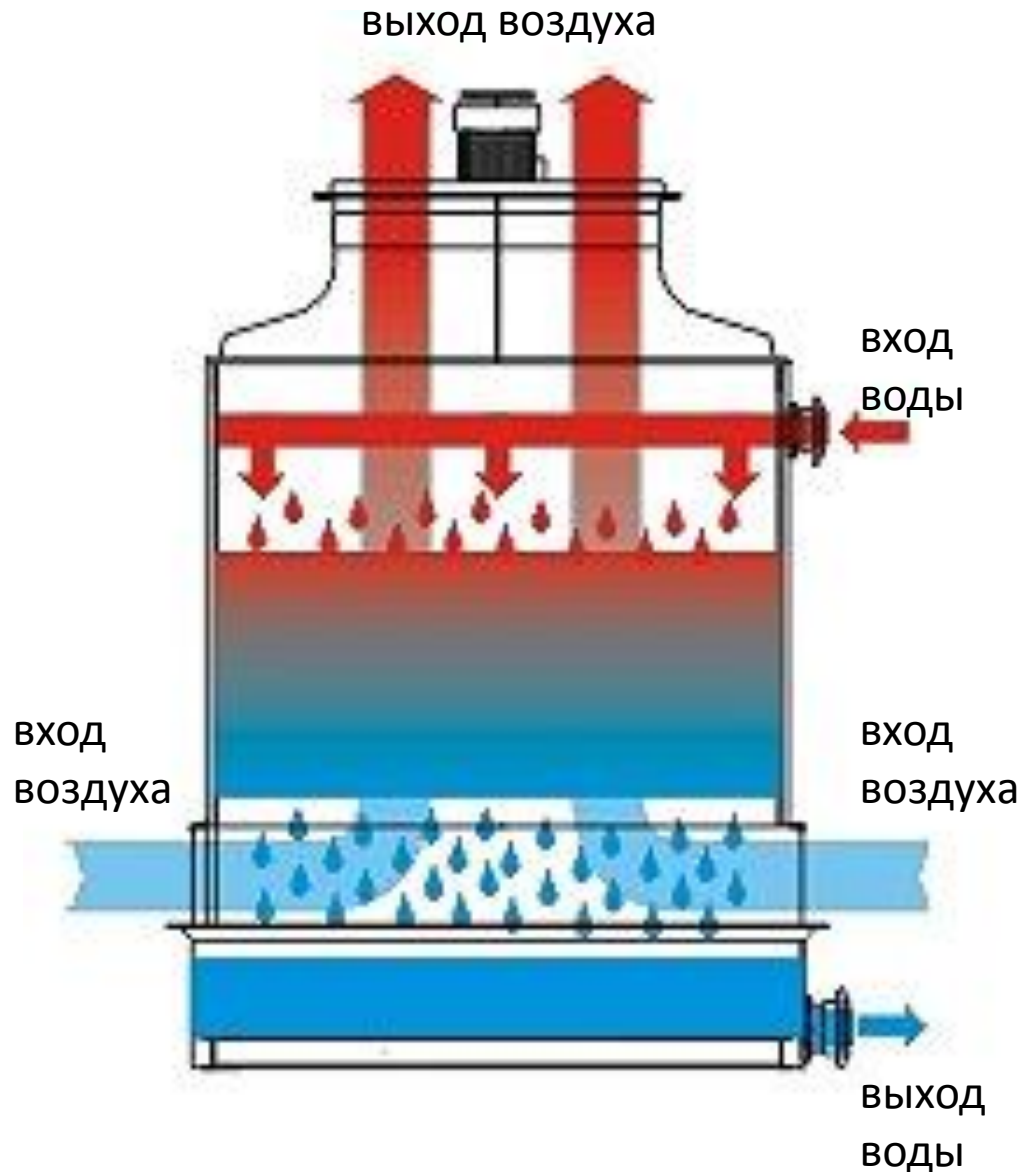
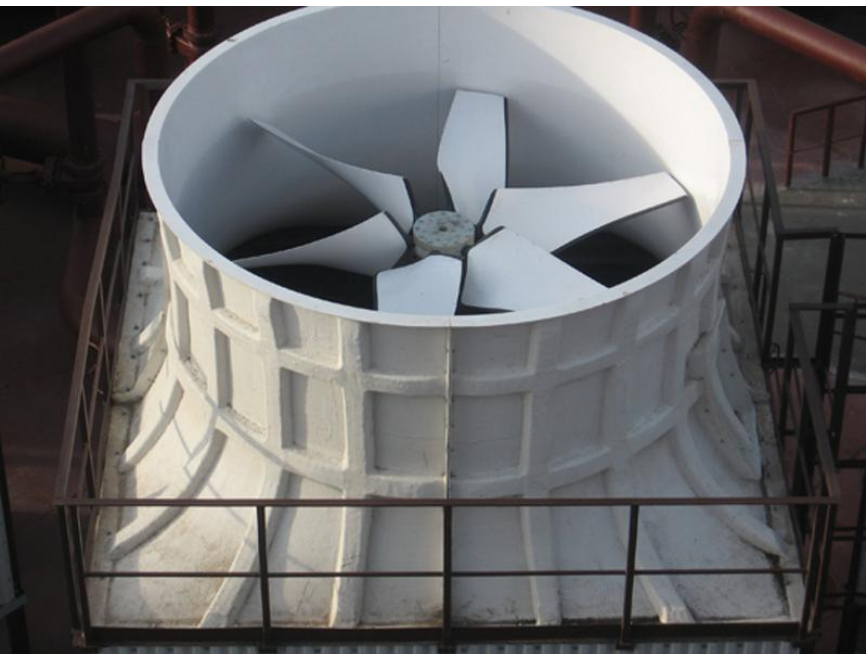
Проф. д.т.н. Маринюк Б.Т.

Докладчик: Спритнюк С.В., асп.

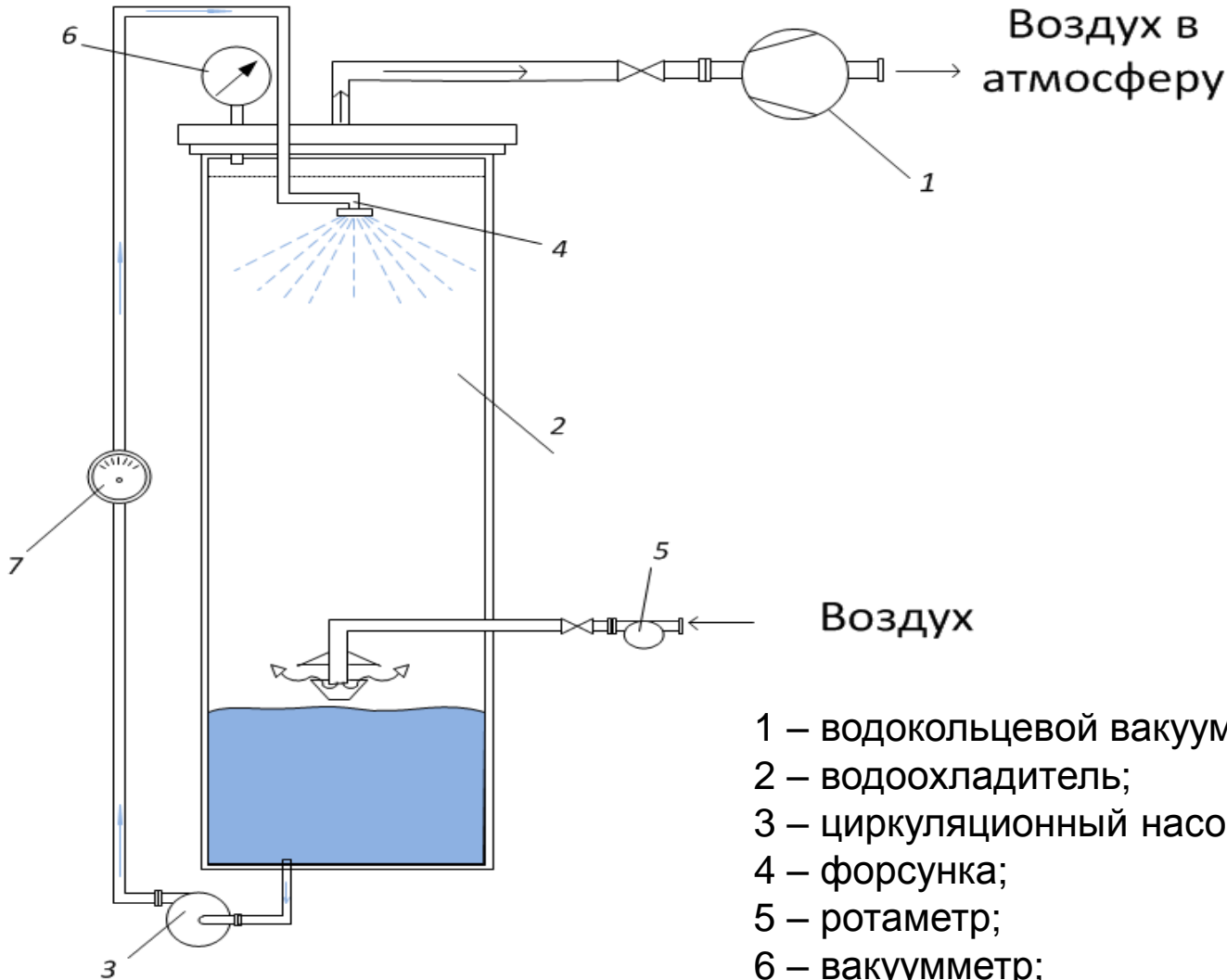
Промышленный фреоновый водоохладитель (чиллер)



Вентиляторная градирня

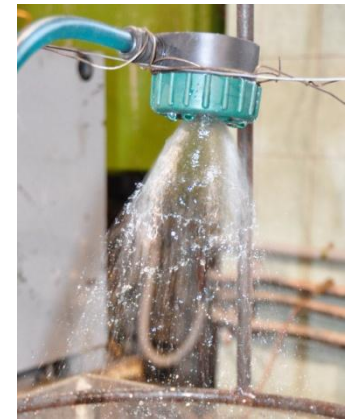


Принципиальная схема опытной установки безнасадочного водоохлаждающего устройства



- 1 – водокольцевой вакуумный насос типа ВВН-6;
- 2 – водоохладитель;
- 3 – циркуляционный насос;
- 4 – форсунка;
- 5 – ротаметр;
- 6 – вакуумметр;
- 7 – счетчик расхода воды.

Опытная установка



Аналитическая модель расчета предельного значения конечной температуры воды

$$\left\{ \begin{array}{l} G_w \cdot C_{p_w} \cdot (T_w^{BX} - T_w^{BЫX}) = \alpha_B \cdot F_K \cdot (T_w - \bar{T}_B) + \frac{\alpha_B \cdot F_K \cdot r}{C_{p_B}} \cdot \left(\bar{d}'' \cdot \frac{P_{atm}}{P_0} - \left(\frac{d_{вл.в}^{BX} + d_{вл.в}^{BX} \cdot \frac{P_{atm}}{P_0}}{2} \right) \right); \\ G_w \cdot C_{p_w} \cdot (T_w^{BX} - T_w^{BЫX}) = G_B \cdot C_{p_B} \cdot (T_B^{BX} - T_B^{BЫX}) + \frac{\alpha_B \cdot F_K \cdot r}{C_{p_B}} \cdot \left(\bar{d}'' \cdot \frac{P_{atm}}{P_0} - \left(\frac{d_{вл.в}^{BX} + d_{вл.в}^{BX} \cdot \frac{P_{atm}}{P_0}}{2} \right) \right); \\ c_{вл.в}^{BЫX} = c_{вл.в}^{BX} + \frac{\alpha_B \cdot F}{C_{p_B} \cdot S} \cdot \left(\bar{d}'' \cdot \frac{P_{atm}}{P_0} - \left(\frac{d_{вл.в}^{BX} + d_{вл.в}^{BX} \cdot \frac{P_{atm}}{P_0}}{2} \right) \right), \end{array} \right.$$

C_{p_B} – теплоемкость воздуха, Дж/кг·К;

α_B – коэффициент теплоотдачи от разреженного воздуха к поверхности капель, Вт/м²·К;

$\rho_{вл.в}$ – плотность влажного пара в воздухе при начальной и конечной температуре воздуха, кг/м³;

P'' – средняя плотность влажного пара в воздухе у поверхности капли, кг/м³;

d'' – влагосодержание воздуха у поверхности капли, кг/кг;

d – влагосодержание воздуха, кг/кг;

S – удельная скорость откачки, м³/с;

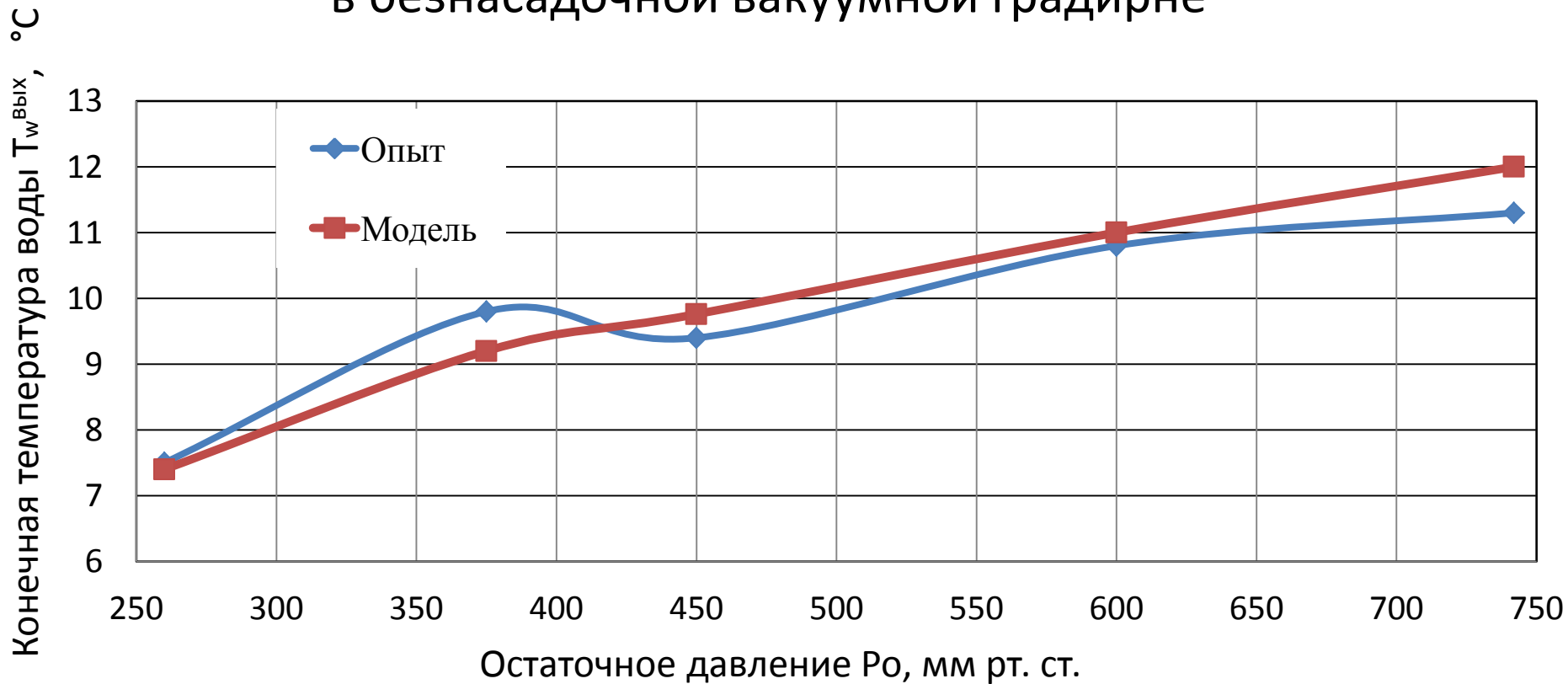
r – теплота испарения влаги, Дж/кг;

F_K – суммарная поверхность капель, м²;

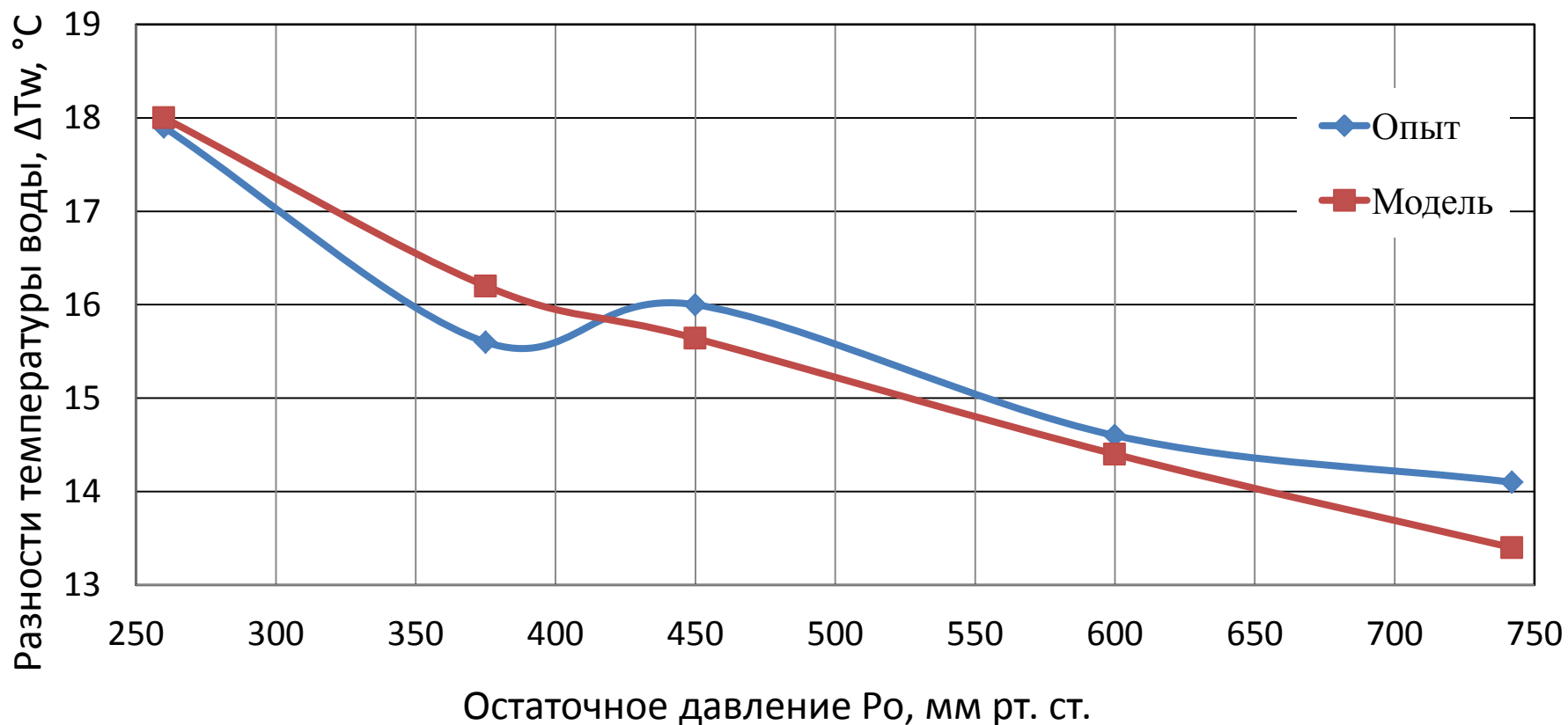
G_w – расход охлаждаемой воды, кг/с;

G_B – расход воздуха, кг/с.

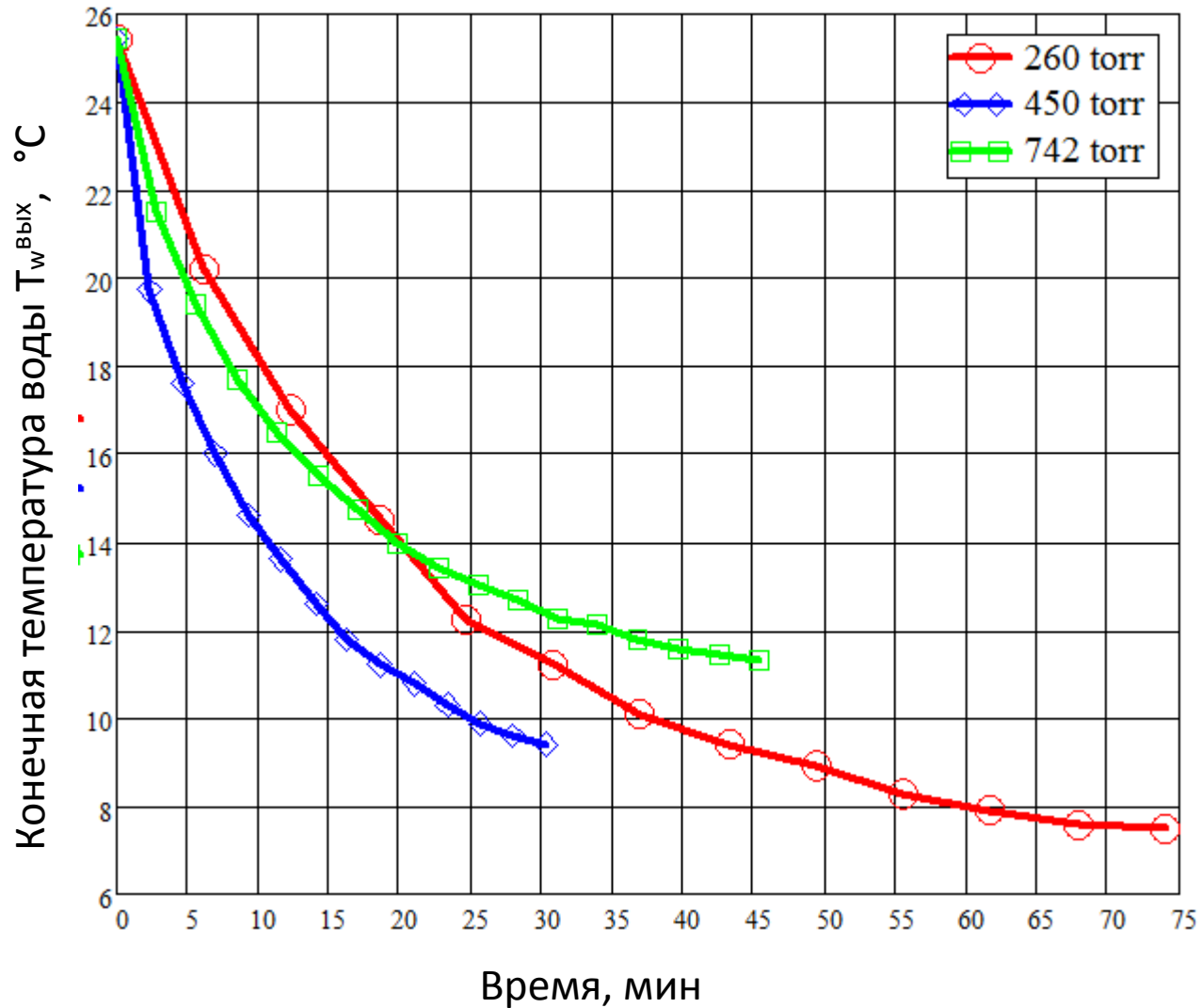
Зависимость конечной температуры охлаждаемой воды от величины остаточного давления в безнасадочной вакуумной градирне



Зависимость разности температуры воды на входе и выходе из градирни от остаточного давления



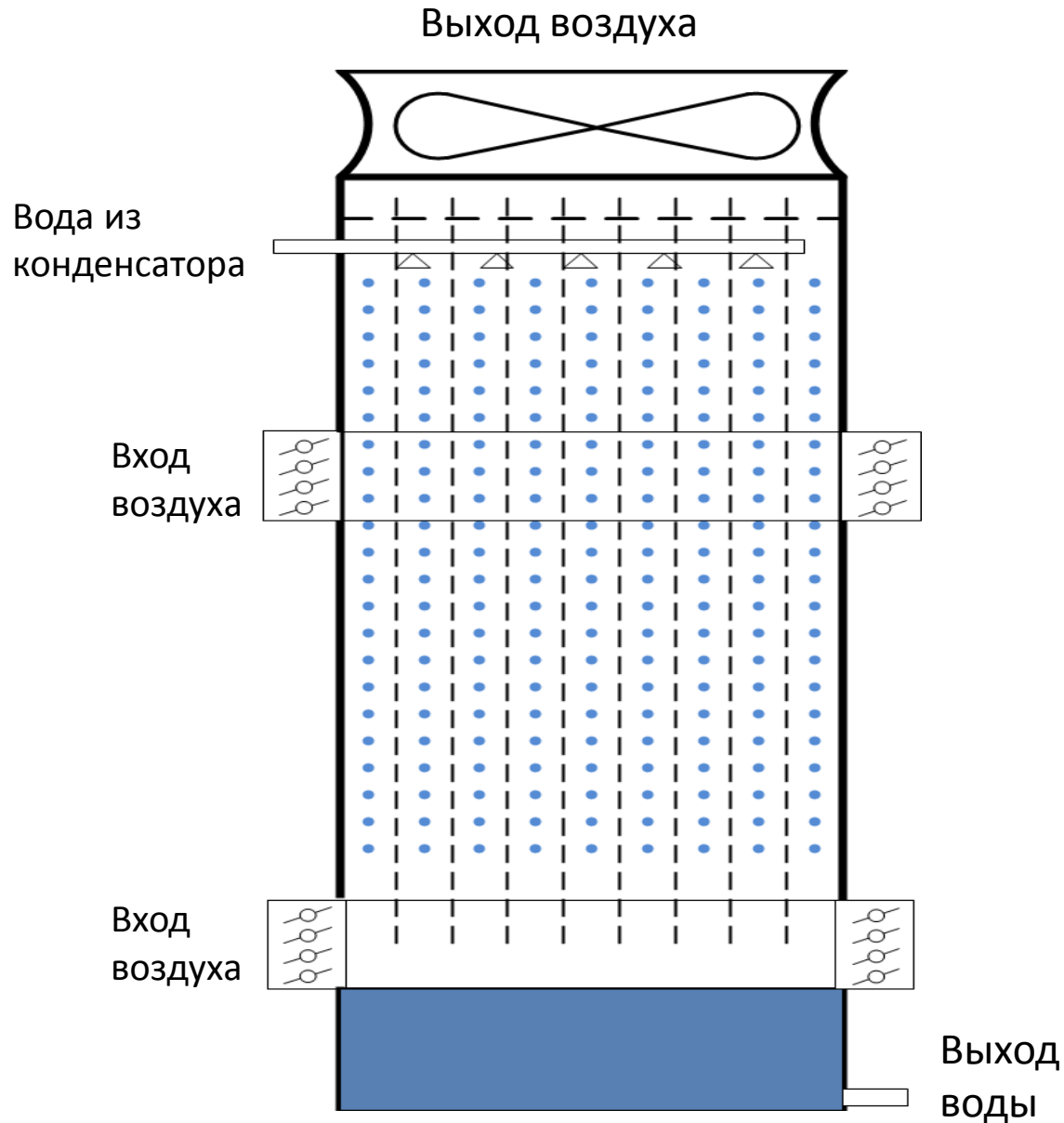
Зависимость конечной температуры охлаждаемой воды от времени



Выводы:

- Составлена аналитическая модель, описывающая процесс испарения охлаждаемой воды с учетом степени разреженности воздуха.
- Выявлено влияние отдельных параметров процесса охлаждения на конечную температуру воды, которая в общем случае может быть ниже термодинамического предела охлаждения.
- Определено влияние давления воздуха на конечную температуру охлаждаемой воды.
- Даны рекомендации по расчету и проектированию градирен интенсивного охлаждения воды как безнасадочных, так и с регулярной насадкой.

Градирня с промежуточной подачей свежего воздуха



Двухступенчатая градирня

