

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕНА МЕЖДУ ВОЗДУХОМ И СНЕГОМ В ХОЛОДОХРАНИЛИЩАХ

Тарасова Е.В., Шестопалова А.Е. Кузьменко А.С.
Научный руководитель - доцент Штым А.С.

Дальневосточный федеральный университет

На сегодняшний день в мире все больше внимания уделяется нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии. Использование естественного холода является способом нетрадиционного охлаждения помещений.

Использование естественных источников холода (снег или лед) позволяет сберегать энергию. Снег, собираемый муниципальными службами города, собранный в специально отведенных местах, можно сохранить до теплого периода года, предварительно, теплоизолировав. В теплый период года снег используется для охлаждения помещений.

Согласно проведенным исследованиям потребление электроэнергии системами с аккумуляцией естественного холода по сравнению с традиционными в 3-4 раза меньше. Системы охлаждения помещений с использованием аккумуляции снега и льда могут найти применение практически на всей территории Российской Федерации. В мировом масштабе данные системы применимы во всех странах с отрицательными зимними температурами.

Для создания таких систем охлаждения помещений необходимо знать процессы тепло- и влагообмена между воздухом и снегом в холодохранилищах

При прохождении воздуха через холодохранилище происходит прямой контакт воздуха и снега (рисунок 1). Воздух, охлаждаясь, отдает свою теплоту снегу, который переходит в жидкую фазу – талую воду.

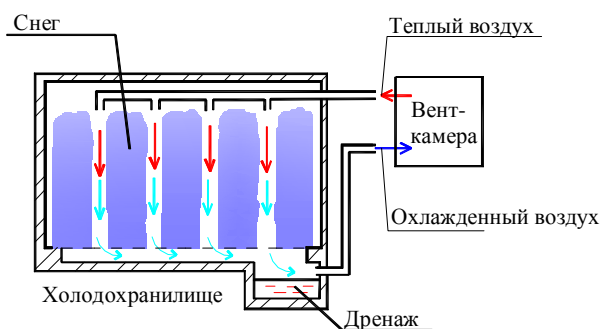


Рис. 1. Охлаждение воздуха в снегохранилище.

На поверхности снега при контакте его с теплым воздухом образуется тонкая пленка воды. Теплообмен с воздухом происходит на границе воздух-вода.

Обычно предполагают, что тонкий слой воздуха на поверхности воды оказывается полностью насыщенным водяными парами, а его температура равна температуре воды. Состояние воздуха в этом слое можно определить по температуре воды, считая его относительную влажность ϕ , равной 100%. При таком предположении процесс тепло- и влагообмена между воздухом и водой можно рассматривать как процесс смешения основного потока воздуха с насыщенным воздухом в тонком слое, контактирующем с водой.

Процесс изменения состояния воздуха при контакте с водой в холодохранилище происходит на I-d диаграмме в зависимости от начального состояния воздуха. Примем

температуру пленки воды постоянной, равной температуре плавления снега – 0 °С. Воздух заходит в холодохранилище и начинает соприкасаться со снежной массой, по мере прохождения через холодохранилище с воздухом происходят процессы тепло- и влагообмена.

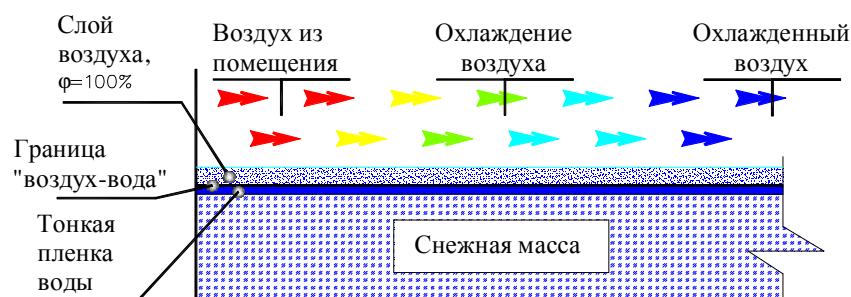


Рис. 2. Процесс охлаждения воздуха при соприкосновении со снежной массой.

В идеальном случае воздух, подающийся в холодохранилище, может охладиться до $t = 0^\circ\text{C}$. Фактически процесс охлаждения воздуха заканчивается на температуре выше 0°C . Параметры воздуха уходящего из холодохранилища зависят от интенсивности теплообмена, площади соприкосновения со снегом и расхода воздуха.

При расчете охлаждения воздуха в холодохранилище необходимо рассматривать взаимодействие влажного воздуха с пленкой воды на поверхности снега.

В снегохранилище параметры влажного воздуха определяются температурой водяной пленки, которая в свою очередь равна температуре плавления пресного льда – 0°C . При этом влагосодержание насыщенного воздуха равно 3.8 г/кг , а его теплоемкость $1,0118 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Теплообмен по полной теплоте можно определить как сумму явной $q_{\text{в}}^{\text{я}}$ и скрытой теплоты $q_{\text{в}}^{\text{ск}}$:

$$q_{\text{в}}^{\text{п}} = q_{\text{в}}^{\text{я}} + q_{\text{в}}^{\text{ск}}, \quad (1)$$

$q_{\text{в}}^{\text{я}}$ и $q_{\text{в}}^{\text{ск}}$ - определяются по формулам:

$$q_{\text{в}}^{\text{я}} = \alpha_t (t_2 - t_1); \quad (2)$$

$$q_{\text{в}}^{\text{ск}} = r \cdot j_g, \quad (3)$$

Где α_t - коэффициент теплообмена; t_1 - температура поверхности воды; t_2 - температура потока воздуха.

Выражение (3) несколько неточно, так как не учитывает переноса теплосодержания жидкой фазы, для учета которой величину r , следует заменить величиной полного теплосодержания i .

Количество сконденсировавшейся влаги при нормальном атмосферном давлении можно определить из уравнений:

$$j_{\text{в}} = \alpha_d (d_2 - d_1). \quad (4)$$

$$j_g = \beta (h_g - h_{\omega}), \quad (5)$$

Где β - коэффициент влагообмена $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм.рт.ст.})$:

$$\beta = (a + b\omega) \frac{760}{B}, \quad (6)$$

h_g - упругость водяного пара в воздухе, мм. рт. ст.; h_{ω} - упругость водяного пара над поверхностью воды, мм. рт. ст.; a - коэффициент, зависящий от температуры воды, при температуре меньше 30°C принимается равным $0,022$; b - коэффициент, принимается равным $0,0174$; B - барометрическое давление в мм. рт. ст.; ω - скорость

потока воздуха α_d - коэффициент влагоперехода; d_1 - влагосодержание насыщенного воздуха при температуре равной температуре поверхности воды; d_2 - влагосодержание потока воздуха.

Тогда:

$$q_B^{ck} = i_{вл} \cdot \beta(h_e - h_w) \cdot \frac{1}{3600} \text{ Вт/м}^2, \quad (7)$$

$$q_B^{ck} = i_{вл} \cdot \alpha_d (d_2 - d_1) \text{ Вт/м}^2, \quad (8)$$

Где, $i_{вл}$ - полное теплосодержание водяного пара при температуре пленки воды.

Выразим α_d из (26):

$$\alpha_d = \frac{q_B^{ck}}{i_{вл} \cdot (d_2 - d_1)} = \frac{i_{вл} \cdot \beta(h_e - h_w)}{i_{вл} \cdot (d_2 - d_1) \cdot 3600} = \frac{\beta(h_e - h_w)}{3600 \cdot (d_2 - d_1)}, \quad (9)$$

Тогда, используя соотношение Льюиса, найдем α_t :

$$\alpha_t = c_e \cdot \alpha_d = \frac{1000 \cdot c_e \cdot \beta \cdot (h_e - h_w)}{3,6 \cdot (d_2 - d_1)} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}. \quad (10)$$

Зависимость (10) представлена графически на рисунках 3 и 4.

Сопоставляя рисунки, видно, что коэффициент теплоотдачи больше всего зависит от скорости движения воздушного потока.

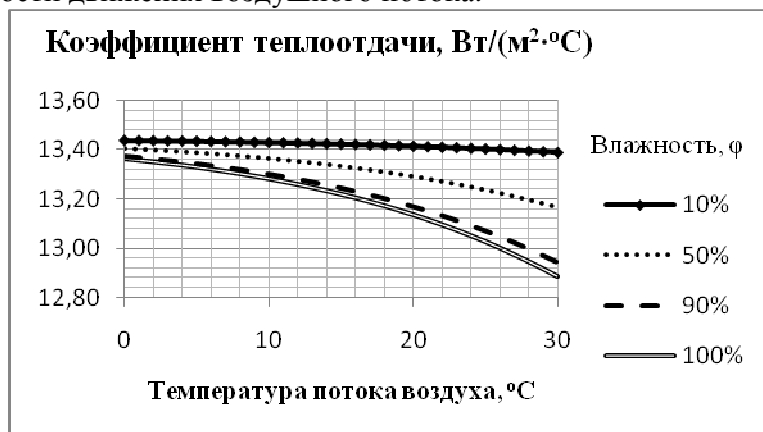


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи от потока воздуха к поверхности водяной пленки, в зависимости от температуры и влажности потока воздуха, при скорости движения воздушного потока $\omega=1$ м/сек.



Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи от потока воздуха к поверхности водяной пленки, в зависимости от скорости движения воздушного потока, при его влажности $\phi=50\%$ и температуре 1 °C.