

УДК 621. 59/56

Совершенствование методики проектирования систем холодоснабжения открытых спортивных сооружений сезонной эксплуатации

Проф. Эглит А. Я. fil24725@yandex.ru

Киссер К.В. kisser90@list.ru

Университет ИТМО

921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В настоящий момент калорический расчет открытого ледового поля (катка) ведется по энциклопедическому справочнику «Холодильная техника», в свою очередь возникает ряд вопросов касающихся относительно коэффициента теплоотдачи, скорости ветра, температуры воздуха, влажности воздуха и коэффициента обратной величине испарения. В данной статье проведен анализ влияния климатических параметров для г.Алматы (Республика Казахстан) таких как скорость ветра, солнечная радиация, влажность воздуха, температура воздуха, которые непосредственно влияют на суммарный тепловой поток, предлагается альтернативная методика расчета теплопритоков для открытых искусственных катков сезонной эксплуатации, а также рассмотрен расчет тепловой нагрузки на холодильное оборудование. Данные полученные в ходе исследования могут быть использованы для теплового расчета открытого ледового поля проектными организациями.

Ключевые слова: тепловой расчет, суммарный теплоприток, открытый искусственный каток.

Improving methods of designing cooling systems outdoor sports facilities seasonal operation

Prof. Eglit A. Ya. fil24725@yandex.ru

Kisser K.V. kisser90@list.ru

University ITMO

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Currently caloric calculation of open ice field (rink) is performed based on Encyclopedic Handbook "Refrigeration", in turn, these are number of questions raised concerning relative heat transfer coefficient, wind speed, air temperature, air humidity, and an inverse magnitude evaporation coefficient. In the given article an analyzes of the influence of climatic parameters for the Almaty city (Kazakhstan) such as wind speed, solar radiation, air humidity, air temperature, which directly affect the total heat flow is performed, an alternate design procedure of heat influxes for artificial open ice rinks with seasonal operation is offered as well as that a thermal load calculation for refrigeration equipment is considered. The data received during research can be used for thermal calculation of open ice field by design organizations.

Keywords: thermal calculation, the total heat gain, open artificial ice rink.

В настоящее время открытые искусственные катки рассчитывают по энциклопедическому справочнику «Холодильная техника» [3], но при расчете

теплопотоков по данному справочнику возникает ряд вопросов о коэффициенте теплоотдачи, скорости ветра, температуре воздуха, влажности и коэффициенте обратном величине испарения.

Согласно [3], расчет теплопотоков принято рассчитывать по следующим формулам:

- 1) из окружающего воздуха (без учета конденсации влаги):
- 2)

$$q_1 = \alpha(t_g - t_l), \text{ Вт/м}^2$$

где: $\alpha=6-8$ ккал/м²·час – коэффициент теплоотдачи ко льду от воздуха при скорости его не выше 2 м/с [3];

t_g – температура воздуха над поверхностью льда, °С;

t_l – температура льда на поверхности катка, °С.

Температура воздуха над поверхностью льда рассчитывается по формуле:

$$t_{н,р} = t_{ср} + 0,25t_{абс.мах}, \text{ °С}$$

С учетом естественной конвекции воздуха над ледовым полем конвективный коэффициент теплопередачи $\alpha_{конв}$ может быть также рассчитан по следующей формуле [1]:

$$\alpha_{конв} = 1,31 \sqrt[4]{t_g - t_l},$$

Коэффициент теплоотдачи ко льду от воздуха α , и в каком диапазоне скоростей, то можно предположить, что расчет коэффициент теплоотдачи ко льду от воздуха мог быть рассчитан по следующей формуле [4]:

$$\alpha = 8,5v^{0,7}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

где: v – средняя скорость движения воздуха, м.

Так же для открытых катков с учетом вынужденной конвекции, вызванной ветром над ледовым полем, коэффициент теплоотдачи ко льду от воздуха рассчитывается по формуле [1], [4]:

$$\alpha_{конв} = 0,037 \cdot \left(\frac{\lambda_g}{\nu_g^{0,8}} \right) \cdot \nu_g^{0,8} \cdot l^{-0,2}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

где: λ_g – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·К;

ν_g – кинематическая вязкость воздуха, м²/с;

$v_с$ – средняя скорость ветра рассчитываемого периода, м/с;

l – линейный размер охлаждающей плиты в направлении движения воздуха (принимается длина ледяного поля), м;

Согласно [9] в существующих методиках предлагаются подобные эмпирические формулы для расчета конвективного коэффициента теплоотдачи, которые можно привести к следующим зависимостям:

– для свободной конвекции:

$$\alpha_{конв} = A \cdot \Delta t^n,$$

где A и n – безразмерные коэффициенты, зависящие от параметров воздуха в зоне ледового поля;

– для вынужденной конвекции:

$$\alpha_{конв} = A \cdot V^{0,8} \cdot x^{-0,2}$$

где x – линейный размер поверхности, м.

Для того чтобы увидеть как влияет скорость ветра и температура окружающего на тепловой поток ко льду был построен график (рис.1), где видно что с увеличением температуры воздуха и скорости ветра над катком теплоприток заметно возрастает.

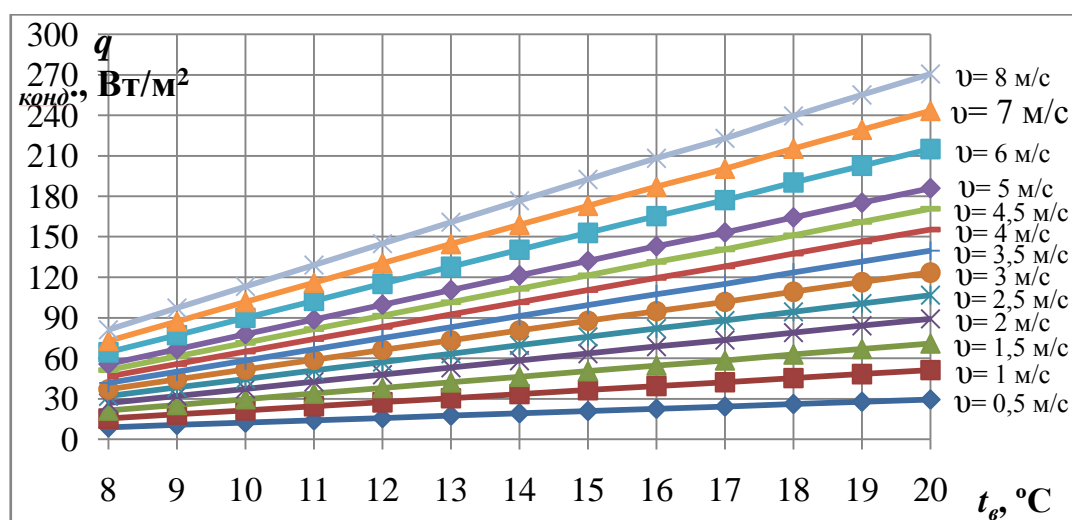


Рис.1 Теплоприток от окружающего воздуха $q_k=f(t_с, v)$

3) от грунта или воздушного пространства с нижней стороны катка:

$$q_{гп} = k(t_г - t_к), \text{ Вт/м}^2$$

где: $k=0,4-0,5$ ккал/м²·час·°C – коэффициент теплопередачи изоляции основания катка [1],[2],[3];

t – температура грунта или воздуха под основанием катка, °C;

t_k – температура песка, бетона или эвтектика (в аккумуляционных плитах), равная средним температурам кипения холодильного агента, циркулирующего рассола или замерзания эвтектического раствора.

4) от солнечной радиации с учетом 50% тепла, отражаемого от поверхности льда:

$$q_3 = 0,5 \cdot q_R, \text{Вт/м}^2$$

где: $q_R = 550 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час}$ — расчетное напряжение солнечной радиации для летнего периода при падении лучей на горизонтальную поверхность.

Согласно [5], [6], [7] для летнего периода $q_R \approx 500 \text{ Вт/м}^2$ (Казахстан, г. Алматы) для 15^{00} ч, а по данным измерений для конец марта-начало апреля 1989г. [8], $q_R \approx 730 \text{ Вт/м}^2$ для 15^{00} ч. На период с $13^{00} \div 14^{00}$ для летнего периода по данным [5], [6], [7] $q_R \approx 720 \text{ Вт/м}^2$, а для весеннего периода $q_R \approx 900 \text{ Вт/м}^2$ [8]. Соответственно можно сделать вывод о том, что данные в СНиП и СП являются не совсем точными(см.рис.2,3).

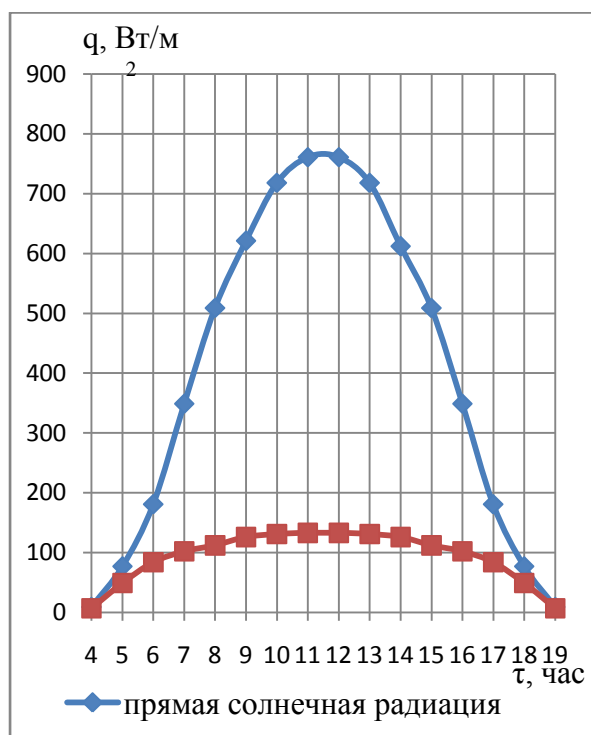


Рис.2 Солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность

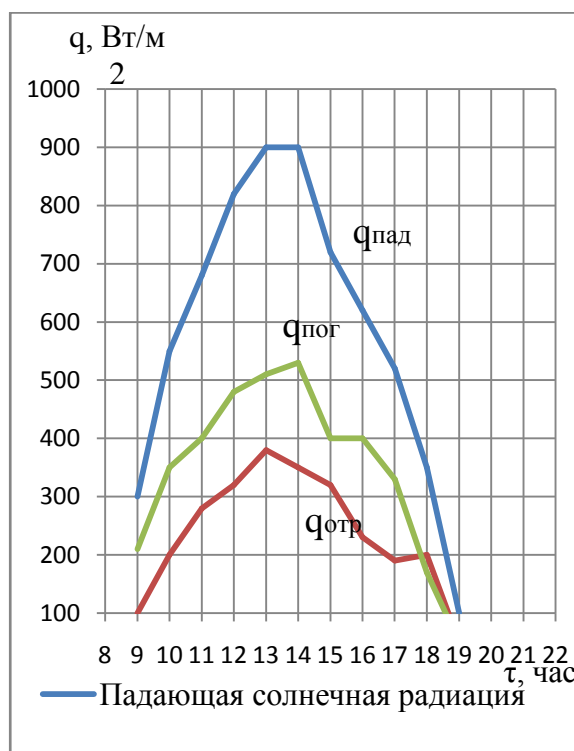


Рис.3 Солнечная радиация (конец марта– начало апреля 1989г)

5) от конденсации и замерзания влаги:

$$q_4 = \delta(x - x'') \cdot r, \text{Вт/м}^2$$

где: $\delta = 25—30$ кг/м²·час — коэффициент, обратный величине коэффициента испарения;

x — влагосодержание воздуха с учетом влажности его над поверхностью льда, кг/кг;

x'' — влагосодержание воздуха в пограничном слое при средней температуре поверхности льда, кг/кг;

$r = 680$ ккал/кг — теплота конденсации водяных паров с учетом замерзания влаги на поверхности льда.

Влагосодержание воздуха с учетом влажности его над поверхностью льда:

$$x = \frac{h - t \cdot c_{pa}}{h_g + t \cdot c_{pv}}, \text{ кг/кг}$$

где: c_{pa} — удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении при 0°С (1 кДж/(кг·°С));

c_{pv} — удельная теплоемкость паров воды при постоянном давлении при 0°С (1,805 кДж/(кг·°С));

h_g — удельная энтальпия насыщенных водяных паров при 0°С (2501 кДж/кг);

h — удельная энтальпия воздуха, кДж/кг;

t — температура наружного воздуха, °С.

Аналогично были построены графики для теплопритока от конденсации и замерзания влаги, из которых видно влияние коэффициента обратному коэффициенту испарения и влажности воздуха в диапазоне температуры воздуха от 8÷20°С.

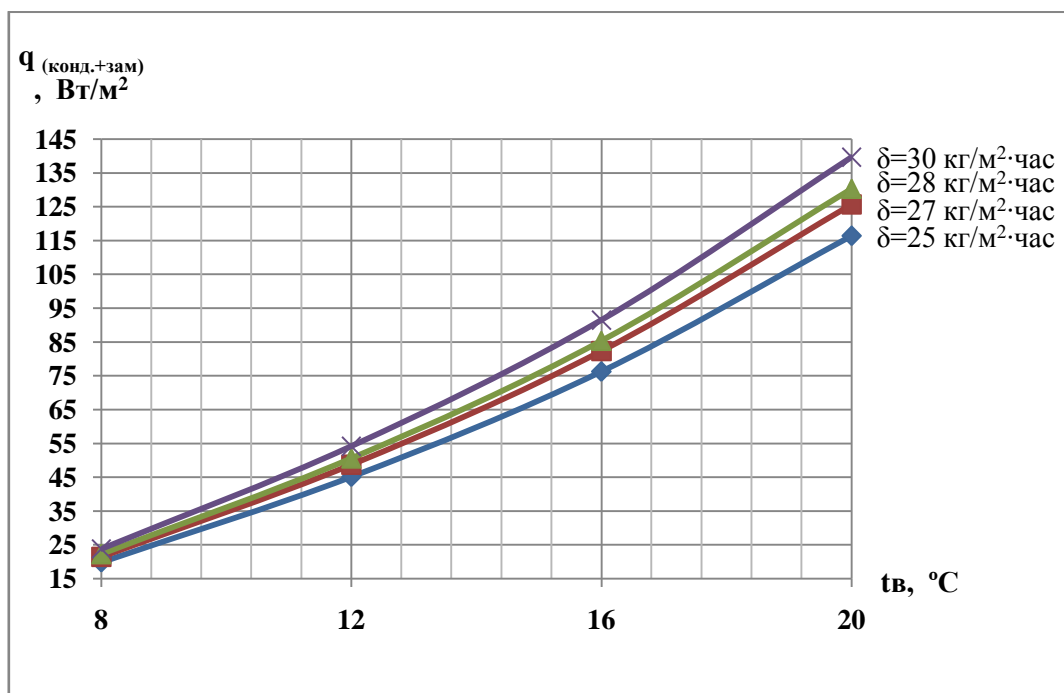


Рис.4 Теплоприток от конденсации и замерзания влаги $q_{конт+зам} = f(t_b, \phi, \delta)$ при $\phi = 60\%$

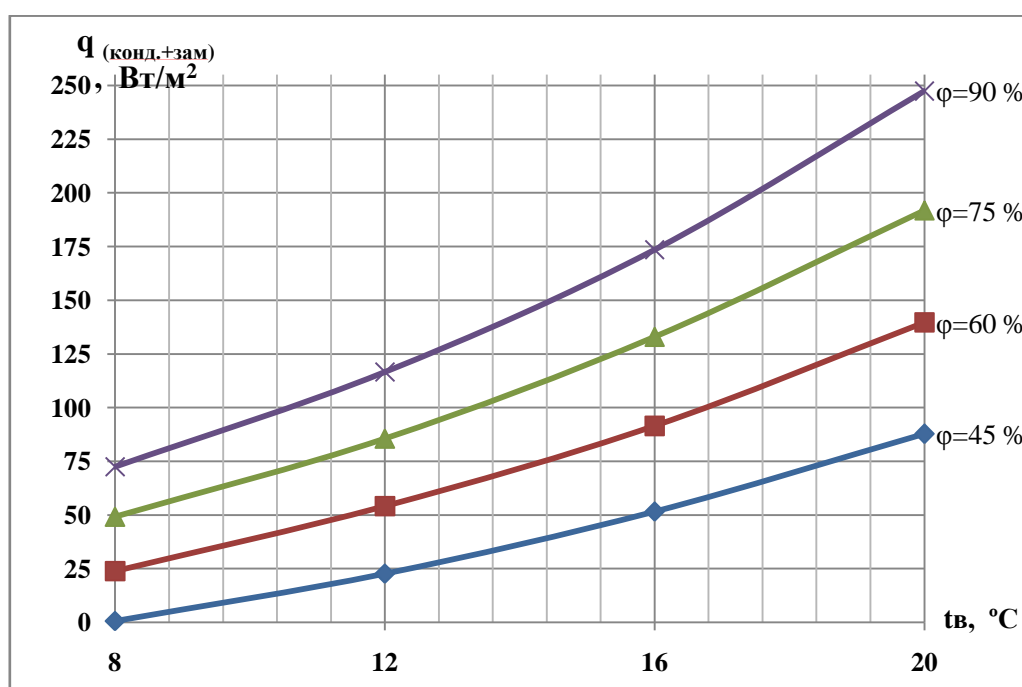


Рис.5 Теплоприток от конденсации и замерзания влаги $q_{конт+зам} = f(t_b, \phi, \delta)$ при $\delta = 30$ $кг/м^3 \cdot час$

Рассмотрим расчет тепловой нагрузки на холодильное оборудование открытого катка для города Алматы (см. табл.1,2,3,4,5).

Таблица 1

Теплоприток из окружающего воздуха (без учета конденсации влаги)

	Октябрь	Октябрь	Октябрь (ЭС ХТ)
Температура льда $t_l, ^\circ\text{C}$	-3	-3	-3
Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$	26	22	18
Скорость ветра, м/с	0	0	1
Коэффициент теплоотдачи ко льду $\alpha, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	2,625	2,529	8,127
Удельный теплоприток из окружающего воздуха $q_{\text{конв}}, \text{Вт/м}^2$	76,374	63,485	168,026

Таблица 2

Теплоприток от солнечной радиации с учетом 50% тепла, отражаемого от поверхности льда

	Октябрь	Октябрь	Октябрь (ЭС ХТ)
Максимальная солнечная радиация $q_R, \text{Вт/м}^2$	216,318	216,318	216,318
Удельный теплоприток от солнечной радиации $q_p, \text{Вт/м}^2$	108,159	108,159	108,159

Таблица 3

Теплоприток от конденсации и замерзания влаги из воздуха

	Октябрь	Октябрь	Октябрь (ЭС ХТ)
Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$	26	22	18
Относительная влажность наружного воздуха, %	49	49	64
Относительная влажность льда, %	100	100	100
Влагосодержание воздуха в пограничном слое при средней температуре поверхности льда $x'', \text{кг/кг}$	3	3	3
Влагосодержание воздуха с учетом влажности его над поверхностью льда $x, \text{кг/кг}$	10,164	10,729	9,998
Температура льда, $^\circ\text{C}$	-3	-3	-3
Теплота конденсации водяных паров с учетом замерзания влаги на поверхности льда $r, \text{ккал/кг}$	680	680	680
Коэффициент обратный величине испарения $\delta, \text{кг/м}^2\cdot\text{час}$	25	25	25
Удельный теплоприток от конденсации и замерзания влаги из воздуха $q_{\text{конд+зам}}, \text{Вт/м}^2$	141,647	152,801	138,366

Таблица 4

Суммарный коэффициент теплопритоков на 1 м² площади катка

	Октябрь	Октябрь	Октябрь (ЭС ХТ)
Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$	26	22	18
Удельный теплоприток из окружающего воздуха $q_{\text{конв}}, \text{Вт/м}^2$	76,374	63,485	168,026
Удельный теплоприток от солнечной радиации $q_p, \text{Вт/м}^2$	108,159	108,159	108,159
Удельный теплоприток от конденсации и замерзания влаги из воздуха $q_{\text{конд+зам}}, \text{Вт/м}^2$	141,647	152,801	138,366
$\sum q, \text{Вт/м}^2$	326,18	324,45	414,55

Таблица 5

Результаты исследований по г. Алматы

Показатель	Методика	Предлагаемая методика	
<i>Составляющие тепловой нагрузки на лед:</i>			
Расчетная температура наружного воздуха, °С	18	22	26
Тепловая нагрузка на лед, Вт/(м ² ·К)	414,55	324,45	326,18
<i>Параметры работы холодильной установки при t_г = -3°С, хладагент- R404A:</i>			
Эффективный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)	20	13	12
Относительная температура трубной решетки	0,6022	0,6838	0,6474
Температура хладоносителя, °С	-17	-15	-19
Температура испарения, °С	-22	-20	-24
Температура конденсации, °С	33	37	41

По данным результатов видно, что температура кипения повышается на 2К и температура конденсации повышается на 4К. Тепловая нагрузка на лед для расчетной температуры воздуха 18°С превышает допустимый суммарный теплоприток при открытом типе в условиях мягкой зимы без морозов 200—300 ккал/м²·час практически в 1,5 раза. Из этого следует, что запуск открытого катка в октябре месяце не целесообразен, в связи с высокими энергозатратами. Если рассматривать рассчитанный суммарный теплоприток по предложенной нами методике для октября, то начало работы открытого катка, возможно.

Вывод: Результаты исследования предлагаются для использования проектными организациями.

Список литературы

1. Рекомендации по проектированию инженерного оборудования искусственных катков (хладотехническая часть). ЛенЗНИИЭП Госгражданстроя СССР. Л., 1972.
2. Лихтенштейн Э. Л. Исследование температурного поля искусственного катка. Автореферат диссертации на соискание степени канд. техн. наук. Новосибирск, 1970.

3. Холодильная техника: Энциклопедический справочник. Госторгиздат, 1961. С. 378–380.
4. Различные области применения холода/Под ред. А.В. Быкова.-М.: Агропромиздат, 1985.-272с.
5. СНиП РК 2.04-01-2010 «Строительная климатология», Изд.: Агентство по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Алматы 2011г.
6. СП 131.13330.2012 Строительная климатология, Москва 2012
7. Погода и климат. Погода в Алматы за 2011г.– <http://pogoda.ru.net/climate/36870.htm>
8. УДК 621.56/59.004.14 Исследование режимных параметров холодильной установки катка «Медео» Цой А.П.
9. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982.