Р36

ГОСГРАЖДАНСТРОЙ
ЛЕНЗНИИЭП

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КАТКОВ

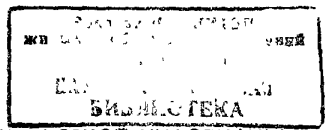
ЛЕНИНГРАД
1 9 7 2

gost.e-ecolog.ru

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ЗОНАЛЬНЫЙ
НАУЧНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
ТИПОВОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ
(ЛЕНЗНИИЭП) ГОСГРАЖДАНСТРОЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КАТКОВ

(ХЛАДОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ)



ОТДЕЛ НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ОБОБЩЕНИЯ ОПЫТА

ЛЕНИНГРАД 1972

УДК 621.56/59

Рекомендации" рассматривают вопросы проектирования хладотехнической части закрытых спортивных сооружений, использующих искусственный лед.

В них приведены аналитические зависимости, по которым можно определить значения главных параметров искусственного ледяного поля, обеспечивающих температурную однородность поверхности льда, то есть его высокое качество.

На основе отечественного и зарубежного опыта, а также научных исследований, выполненных в Ленинградском технологическом институте холодильной промышленности, даны предложения по проектированию хладотехнической части и показана степень влияния многочисленных факторов на качество льда.

Большое внимание уделено методике теплотехнических расчетов.

"Рекомендации" предназначены для инженеров, занимающихся проектированием и эксплуатацией искусственных катков.

"Рекомендации" разработаны сотрудниками инженерного отдела ЛенЗНИИЭПа - инж. Э.А.Астаповым, А.Л.Беккергуном, Ю.В.Коноваловым, Н.С.Раскиным и ст. научн.сотрудником Алмаатинского политехнического института канд.техн.наук Э.Л.Лихтенштейном. Под общей редакцией А.Л.Беккергуна.

"Рекомендации" рассмотрены и рекомендованы к опубликованию научно-техническим советом ЛенЗНИИЭПа. Протокол №1-а от 7 января 1972г.

Работа согласована с Управлением инженерного оборудования Госграждданстроя.

ВВЕДЕНИЕ

Искусственные катки по сравнению с естественными имеют определенные преимущества, которые заключаются в возможности получения льда высокого качества и заданной температуры, и длительного его поддержания независимо от условий внешней среды. Это позволяет использовать их круглогодично.

Искусственные катки в нашей стране начали строить в 50-х годах, а к настоящему времени эксплуатируется уже свыше пятидесяти дворцов спорта с искусственными ледяными полями; и можно с уверенностью сказать, что строительство катков и беговых дорожек с искусственным льдом будет продолжаться и впредь.

Несмотря на широкое строительство искусственных катков, проектирование их производится, главным образом, на основе повторения опыта строительства и эксплуатации действующих катков, а также использования имеющихся немногочисленных литературных данных. В то же время отдельные рекомендации, имеющиеся в специальной литературе, противоречивы, предлагают решения отдельных узлов и расчетных величин без их взаимосвязи, не содержат критериев оценки конструкций катков, а самое главное - эти рекомендации не подчинены решению основной задачи-обеспечению высокого качества поверхности льда.

Между тем, искусственные катки - дорогие сооружения, для строительства которых расходуются в больших количествах дефицитные трубы и холодильное обо-

рудование, а эксплуатация их сопровождается значительными энергетическими затратами. Поэтому удешевление строительства искусственных катков и уменьшение расходов на их эксплуатацию являются весьма актуальными. В "Рекомендациях" даны наиболее современные и экономичные конструкции искусственных ледяных катков и методы их расчетов.

Перечень основных обозначений:

a, м	– расстояние между осями труб;
a', $м^2/сек$	– коэффициент температуропроводности;
C	– коэффициент лучеиспускания;
c, ккал/кг град	– удельная теплоемкость;
d, м	– наружный диаметр труб;
E, $ккал/м^2$ час	– энергия излучения;
ϵ	– степень черноты тела;
F, $м^2$	– площадь, поверхность;
F_o	– критерий Фурье;
G, кг/час	– весовое количество;
h, м	– высота, глубина;
α, $ккал/м^2$ час град	– коэффициент теплоотдачи;
x, y, z	– координаты;
δ, м	– толщина;
Δt, °C	– разность температур;
t, °C	– температура;
$T = 273 + t$, °K	– абсолютная температура;
θ, °C	– относительная температура;
γ, $кг/м^3$, $кг/л$	– удельный или объемный вес;
V, $м^3$, $м^3/час$	– объем, часовой объем;
v, $м^3/кг$	– объем удельный;

i	– льдистость грунта;
ℓ, м	– линейный размер;
N, квт	– мощность;
Q, q, ккал, $\frac{\text{ккал}}{\text{час}}$	– количество тепла;
W, %	– влажность грунта;
λ, ккал/м час град	– коэффициент теплопроводности;
τ, час	– время;
φ, %	– относительная влажность воздуха

1. Общие положения

1.1. Настоящие рекомендации распространяются на проектирование хладотехнической части крытых демонстрационных и тренировочных катков со стационарными искусственными ледяными полями, в которых охлаждающие трубные конструкции замоноличены в железобетонную плиту, а для охлаждения используется промежуточный теплоноситель.

1.2. Рекомендации могут быть использованы для:

- расчетов сборно-разборных катков, эксплуатируемых в помещении;
- теплотехнических расчетов оснований открытых искусственных ледяных полей;
- выбора охлаждающих трубных конструкций и систем холодоснабжения сборно-разборных и открытых искусственных ледяных полей;
- уточнения тепловых нагрузок на системы кондиционирования воздуха, проектируемые для крытых катков.

2. Расчет охлаждающей плиты искусственного ледяного поля

2.1. Задачей теплового расчета при проектировании катка является рациональный выбор охлаждающей конструкции (диаметра и шага труб, толщины слоя материала над

трубами и его теплопроводности, перепада температуры теплоносителя в поле и конструкции трубной системы), обеспечивающей заданное качество поверхности льда.

2.2. Этот расчет выполняется со следующими допущениями:

- охлаждающие трубы рассматриваются как достаточно длинный цилиндрический источник тепла, диаметр которого равен наружному диаметру трубы;
- при применении металлических труб пренебрегают термическим сопротивлением стенки трубы, в связи с чем температура наружной поверхности труб принимается равной температуре теплоносителя;
- материалы, составляющие охлаждающую плиту, и лед - однородны, а их теплофизические характеристики не зависят от температуры;
- величина теплопритоков к ледяному слою и коэффициент теплоотдачи к поверхности льда одинаковы во всех точках катка;
- ледяное поле можно считать бесконечным, поскольку на катке имеется достаточно большое число труб.

2.3. Источники теплопритоков к ледяному полю многочисленны и не ограничиваются только конвективным теплообменом с окружающим воздухом. Поэтому в дальнейших расчетах пользуются некоторым эффективным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{эфф.}$, учитывающим и другие виды переноса тепла ко льду.

Этот коэффициент определяется по выражению:

$$\alpha_{эфф.} = \frac{q_{т.п}}{t_в - t_л}, \qquad (1)$$

где $q_{т.п}$ - удельная максимальная величина одновременного притока тепла от источников, расположенных над ледяной поверхностью, ккал/м^{2}час.

Основные составляющие $q_{т.п}$ могут быть определены следующим образом:

- от окружающего воздуха конвекцией

$$q_{конв.} = \alpha_{конв.} \cdot (t_в - t_л), \qquad (2)$$

где $\alpha_{конв} = 1{,}13 \cdot \sqrt[4]{t_в - t_л}$ ккал/м²час°С (может быть определен по графику приложения 1);

- от окружающего воздуха путем конденсации влаги и замерзания ее на поверхности льда. Эта составляющая определяется в сумме с теплопритоком от окружающего воздуха по выражению, аналогичному (2), где $\alpha_{конв}$ заменен величиной $\alpha'_{конв}$, учитывающей конденсацию и замерзание влаги,

$$q_{(конв+конд)} = \alpha'_{конв}(t_в - t_л), \qquad (3)$$

где $$\alpha'_{конв} = \alpha_{конв} \cdot B. \qquad (4)$$

Величина $B = \dfrac{4{,}15\,[(i_в - i''_л) - (d_в - d''_л) \cdot i_л]}{t_в - t_л}$ (может быть определена по графику приложения 2).

Лучистый перенос тепла от окружающих поверхностей, главным образом от трибун со зрителями и строительных конструкций:

$$q_{луч} = \alpha_{луч}(t_в - t_л);$$

$$\alpha_{луч} = C \cdot \frac{\left(\frac{T_{огр}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_л}{100}\right)^4}{t_в - t_л},$$

где α - радиационный коэффициент теплоотдачи к поверхности льда, ккал/м²·час·град;

$T_{огр.}$ - средневзвешенная абсолютная температура окружающих каток поверхностей. С некоторым приближением она может приниматься равной абсолютной температуре воздуха $T_в$;

$C = 4{,}96$ - коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела, ккал/м²·час·°К⁴.

В условиях спортивных залов степень черноты материалов поверхностей, окружающих ледяное поле, близка к 1 (0,9), а суммарная их площадь значительно больше поверхности льда. В этих условиях $\varepsilon_п$, коэффициент излучения системы "лед - окружающие поверхности", всецело определяется коэффициентом излучения поверхности льда:

$$\varepsilon_п = 4{,}96\, A,$$

где A = 0,5 - коэффициент поглощения слоя льда.

Окончательно

$$q_{луч.} = 2{,}48\left[\left(\frac{T_в}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_л}{100}\right)^4\right] \qquad (5)$$

(величина $q_{луч.}$ может быть определена по графику приложения 3).

Теплопоступления от приборов освещения:

$$q_{осв.} = A \cdot \frac{860 \cdot N_{осв.} \cdot n}{F_л} \cdot K, \qquad (6)$$

где $N_{осв.}$ - суммарная мощность источников освещения, квт

n - лучистая составляющая полного теплового потока от светильников (табл. 1)

K=0,8-0,9 - коэффициент, учитывающий количество лучистой энергии, падающей непосредственно на лед.

Таблица 1

Тип светильника	
СЗЛ-500 с лампой ЗН-3	0,43
То же со стеклом	0,23
То же с лампой N = 1,0 квт без стекла	0,52
СЗЛ открытого исполнения с лампой ДРЛ N = 0,45 квт	0,18
ГС - 500 с лампой ЗИ-8 N = 0,5квт	0,42
ГС - 1000 с лампой ЗН-8 N = 1,0 квт	0,44

Кроме того, при проектировании системы холодоснабжения необходимо предусматривать возможность компенсации кратковременных теплопритоков от охлаждения и замораживания воды при обработке ледяной поверхности комбайном.

2.4. Для расчета реальной конструкции искусственного катка (рис.1,2), которая в общем случае может состоять из нескольких разнородных материалов, уложенных между трубами (с коэффициентом теплопроводности λ_1), над трубами ($\lambda_{2,3-n}$), слоя льда ($\lambda_л$) – заменяют однородным, эквивалентным по термическому сопротивлению слоем, причем за основу следует брать материал, в котором уложены трубы,

$$h_{экв.} = \frac{d}{2} + \sum_{n=2}^{\infty} \delta_n \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_n} + \delta_л \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_л}; \qquad (7)$$

$$\kappa = h_{экв.} - \frac{d}{2}. \qquad (8)$$

2.5. Уравнение температурного поля поверхности льда в случае равенства температуры всех труб в поперечном сечении имеет вид:

$$\theta = \frac{t_в - t_{л(x,0)}}{t_в - t_р} = \frac{\ln \cdot \dfrac{ch\frac{2\pi}{a}\left(y_0 + 2\frac{\lambda_1}{\alpha}\right) - \cos\frac{2\pi}{a}\cdot x}{ch\frac{2\pi}{a}\cdot y_0 - \cos\frac{2\pi}{a}\cdot x}}{c}; \qquad (9)$$

$$c = 2\left\{\ln\left[th\frac{\pi}{a}\left(\kappa + \frac{\lambda_1}{\alpha_э} + d\right) + th\frac{\pi}{a}\left(\kappa + \frac{\lambda_1}{\alpha}\right) + \right.\right.$$

$$+ 2\sqrt{th\frac{\pi}{a}\left(\kappa + \frac{\lambda_1}{\alpha_э} + d\right) th\frac{\pi}{a}\left(\kappa - \frac{\lambda_1}{\alpha_э}\right)} +$$

$$\left. + \ln ch\frac{\pi}{a}\left(\kappa + \frac{\lambda_1}{\alpha_э} + d\right) + \ln ch\frac{\pi}{a}\left(\kappa + \frac{\lambda_1}{\alpha_э}\right) - \ln sh\frac{\pi}{a}d\right\}. \qquad (10)$$

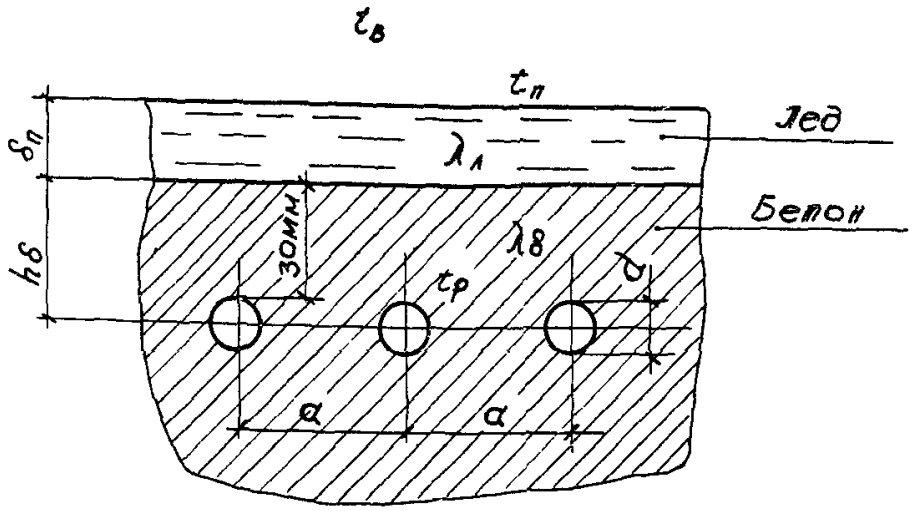


Рис. 1. Схематический разрез охлаждающей плиты

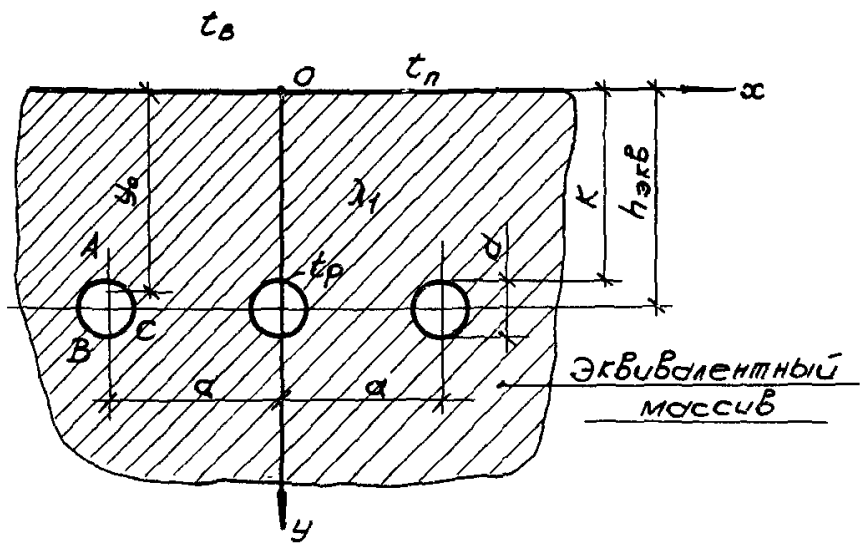


Рис. 2. Расчетная схема охлаждающей плиты

2.6. Особенностью искусственных катков является очень малое заглубление труб и большая разница в теплопритоках к ним от воздуха и от грунта. В этих условиях точечный источник, которым при расчете распределения температуры заменяется реальная труба, не может отождествляться с центром трубы. В таком случае температура поверхности трубы была бы неизотермичной, что противоречит реальной физической картине. Поэтому ордината центра такого источника смещается от центра трубы к поверхности льда и находится по выражению:

$$y_0 = \frac{a}{2\pi}\left\{\ln\left[\operatorname{ch}\frac{\pi}{a}\left(2\kappa + d + 2\,\frac{\lambda_1}{\alpha_3}\right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \sqrt{\operatorname{sh}\frac{2\pi}{a}\left(\kappa + d + \frac{\lambda_1}{\alpha_3}\right)\operatorname{sh}\frac{2\pi}{a}\left(\kappa + \frac{\lambda_1}{\alpha_3}\right)}\right] - \ln\operatorname{ch}\frac{\pi}{a}\right\} - \frac{\lambda_1}{\alpha_{эфф}}. \qquad (11)$$

2.7. Отождествление положения источника с центром трубы приводит при вычислении температуры поверхности льда к погрешности в 1–2°С. Поэтому для приближенного определения средней температуры поверхности льда можно вместо уравнения (9) пользоваться более простой формулой О.Е.Власова:

$$\theta = \frac{t_в - t_{л\,ср}}{t_в - t_р} = \frac{2\pi \cdot \lambda_1}{a \cdot \alpha_{эфф} \cdot \ln\left[\frac{2a}{\pi d} \cdot \operatorname{sh}\left(2\pi\,\frac{h_{экв} + \lambda/\alpha_3}{a}\right)\right]}. \qquad (12)$$

2.8. Значения θ для различных параметров искусственных катков по выражениям (9,10,11) вычислены на ЭВМ и даны в приложении 5.

2.9. Температура льда в любой точке поля для случая чередования температур труб определяется по уравнению:

$$t_{л\,(x,0)} = t_в - \theta\,(t_в - t_р)\,\theta_2 \cdot \Delta t_р\,. \qquad (13)$$

Значения θ_2 приведены в приложении 6.

2.10. Рассчитывать перепад температуры рассола $\Delta t_р$ в охлаждающей плите катка следует, исходя из полной величины теплопритоков как со стороны окружающего воздуха, так и со стороны грунта:

$$\Delta t_р = \frac{\Sigma q \cdot F}{C_р \cdot G_р \cdot \gamma} \ ^\circ C, \qquad (14)$$

где γ – удельный вес теплоносителя, кг/м^3;

$C_р$ – удельная теплоемкость теплоносителя, ккал/кг $^\circ$С;

$G_р$ – количество циркулирующего теплоносителя, м^3/час;

Σq – удельная максимальная величина полного одновременного притока тепла к охлаждающей плите катка, ккал/м^2.час;

F – площадь охлаждающей плиты м^2.

2.11. Значения температуры охлаждающей среды $t_р$ могут быть найдены по известному значению θ в зависимости от температуры воздуха над катком:

$$t_р = t_в - \frac{t_в - t_{л\,(x,y)}}{\theta_{(x,y)}}. \qquad (15)$$

2.12. Для известных трубных конструкций, замоноличенных в бетонную охлаждающую плиту, анализ дал следующие результаты: влияние диаметра труб на качество льда невелико. Однако увеличение диаметра при одном и том же расстоянии между трубами ухудшает качество льда, и тем больше, чем больше разность температур $\Delta t_р$.

Разность температуры поверхности льда в характерных точках поля меньше разности температуры рассола в тех же точках. Указанный эффект "гашения" проявляется в поперечном направлении, если соседние трубы имеют разную температуру. В схемах с прямоточным движением теплоносителя неравномерность температуры вдоль трубных плетей является определяющей. Даже при минимальном значении $\Delta t_р = 1^\circ$С она составляет 0,7 ÷ 0,95°С. Поэтому значение $\Delta t_р = 0{,}8^\circ$С для этой схемы является предельным.

Δt_p°C при максимальных теплопоступлениях	Схема „а"				Схема „б"				Схема „в"			
	Разность температур поверхности льда в точках											
	А-В	К-N	К-А	К-В	А-В	К-N	N-А	К-А	А-В	К-N	N-А	К-В
1	0,26	0,26	0,7	0,95	0,26	0,54	0,42	0,18	0,26	0,31	0,28	0,1
2	0,26	0,26	1,3	1,55	0,26	0,85	0,61	0,24	0,26	0,36	0,30	0,1
3	0,26	0,26	2,0	2,55	0,26	1,14	0,80	0,35	0,26	0,43	0,35	0,1

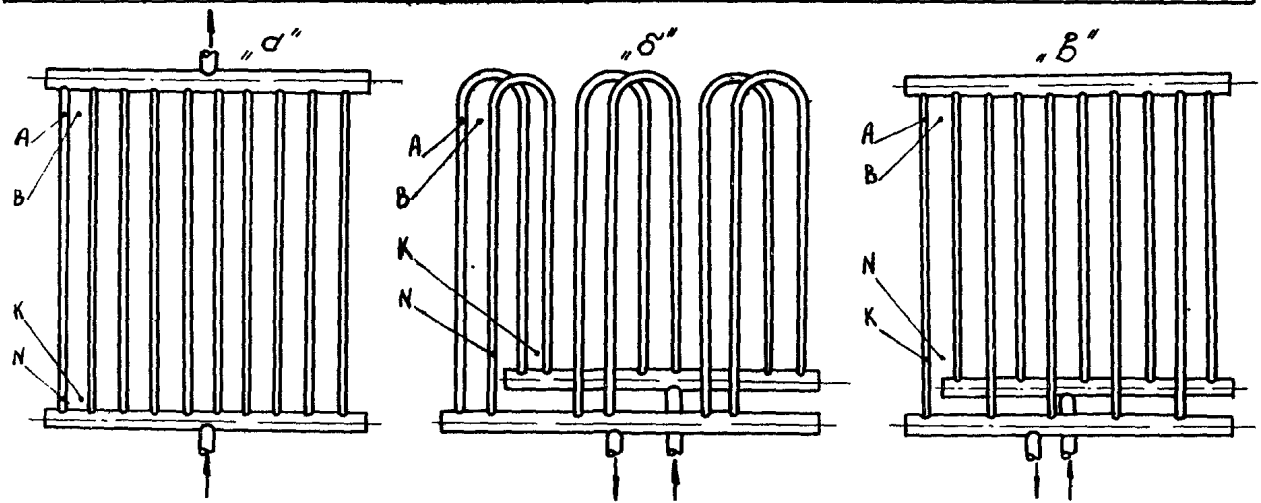


Рис. 3. Распределение температур на поверхности льда

В схемах с противоточным движением теплоносителя $_{\Delta}t_{р}$ в противоположных концах поля вдвое меньше полного нагрева его, и, соответственно, максимальная $_{\Delta}t_{л}$ вдоль труб равна величине температурной неравномерности льда в поперечном направлении (см. рис. 3а) либо меньше ее (см. рис. 3б).

Наиболее однородное поле температуры поверхности льда дает схема (см. рис. 3в), для которой максимальная разность температуры не превышает $0{,}5^{\circ}C$ даже при $_{\Delta}t_{р} = 3^{\circ}C$.

3. Расчет основания искусственного ледяного поля

3.1. Охлаждающая плита, имеющая отрицательную температуру в течение всего периода эксплуатации, формирует температурное поле основания. При этом, вначале из основания отбирается тепло, аккумулированное грунтом. Затем, температура верхнего слоя грунта становится равной нулю. С течением времени охлаждаются нижележащие слои, и нулевая изотерма все глубже проникает в грунт. При этом вода, содержащаяся в грунте, превращается в лед, и механические свойства грунта резко изменяются. Однако механические и теплофизические процессы, имеющие место при промерзании различных грунтов, различны.

В мелкодисперсных грунтах - глинистых, пылеватых, суглинках и супесях - вода, заполняющая мелкие поры, замерзает, образуются характерные для таких грунтов ледяные линзы. Последние непрерывно растут за счет подсасывания влаги из нижележащих слоев по капиллярам грунта. Замерзающий грунт резко увеличивается в объеме, разрушая вышележащие слои. Такие пучинистые грунты наиболее опасны для расположения на них охлаждающей плиты катка. Крупноскелетные грунты (гравий, крупнозернистый песок) даже при высокой влажности замерзают без увеличения объема. Конденсирующаяся на частицах скелета грунта влага легко стекает

по крупным порам между ними. Если же льдообразование все же началось, излишняя влага отжимается из зоны замерзания растущими кристаллами льда.

3.2 При проектировании основания катка необходимы данные об уровне грунтовых вод, способности их подниматься по капиллярам вверх к границам грунта; о характере грунта, его водосодержании, структуре (особенно однородности), механических (усадочность и т.д.) и теплофизических характеристиках. На основании этих данных рассчитывают распределение температуры в основании к концу периода непрерывной эксплуатации катка, продвижение границы промерзания вглубь основания. Если естественный грунт оказывается непригодным для устройства на нем искусственного катка, его полностью заменяют. При этом толщину искусственного непучинистого основания рассчитывают так, чтобы нулевая изотерма не коснулась естественного грунта за период эксплуатации катка.

3.3 Для теплофизических расчетов все варианты устройства оснований можно представить в виде нескольких основных схем:

- охлаждающая плита расположена непосредственно на влажном грунте;

- охлаждающая плита отделена от влажного грунта слоем изоляции;

- основание катка устроено из сухих непучинистых материалов, при этом конструкция основания может быть однородной или состоять из нескольких разнородных слоев, включающих также и изоляцию;

- изолированная охлаждающая плита поднята над уровнем земли (пространство между плитой и грунтом может проветриваться естественным или искусственным способом).

3.4. При рассмотрении температурного режима этих оснований существенна температура t_n, поддерживаемая на границе "охлаждающая плита - грунт". По данным моделирования подобных явлений эта температура может быть принята равной температуре теплоносителя t_p.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ

Возможная разница $t_п - t_р$ составляет не более $1^{\circ}C$.

В расчетах $t_р$ следует принимать как среднюю температуру теплоносителя за рассматриваемый период времени от начала эксплуатации катка.

Рассмотрение температурных изменений в основаниях катка ведется с предположением, что температура изменяется лишь в одном направлении y, т.е. по глубине массива. Строго такой характер имеют изотермы лишь при бесконечно большой охлаждающей плите или под центром сооружения реальных размеров.

От центра катка к краям температура грунта на данной глубине растет, слой мерзлого грунта уменьшается, а притоки тепла из основания к плите катка увеличиваются. Поскольку расчеты ведутся на наиболее неблагоприятный из возможных случаев, температурное поле определяется под центром сооружения, а в калорический расчет включается средняя по площади катка величина теплопритоков.

Для катка круглой формы средняя величина теплопритоков к охлаждающей плите вдвое больше теплопритоков к центру катка [20,21].

Наиболее часто встречающаяся форма катков – прямоугольник со сторонами А и В. Количество тепла, проходящего через прямоугольник со сторонами А и В, относится к потоку тепла, проходящему через круг площадью А х В, как периметр прямоугольника к периметру круга:

$$\varphi = \frac{\frac{A}{B} + 1}{\sqrt{\pi \cdot \frac{A}{B}}}. \qquad (16)$$

Такие соотношения имеют место в стационарном процессе, не связанном с замерзанием влаги. С некоторым приближением можно считать, что они справедливы и для нестационарного режима, и для процессов с фазовым переходом. Тогда средний удельный поток тепла к ох-

лаждающей плите в каждый данный момент времени от начала процесса можно найти по выражению:

$$q_\tau = 2 q_ч \cdot \varphi \quad ккал/м^2 \cdot час , \qquad (17)$$

где $q_ч$ – удельный тепловой поток в данный момент времени к центру плиты.

В калорический расчет катка следует включать осредненную по площади катка среднечасовую величину теплопритоков из грунта за время τ, от момента пуска катка до получения необходимого начального слоя льда (период намораживания):

$$q_{\tau\,расч.} = 2 q_{ч.расч.} \cdot \varphi \quad ккал/м^2 \cdot час , \qquad (18)$$

где $q_{ч.расч}$ – среднечасовая величина теплопритоков из грунта к центру охлаждающей плиты за время τ.

3.5. Неизолированная охлаждающая плита, расположенная на влажном грунте. Подразумевается в этом случае, что грунт основания крупноскелетный непучинистый (часто такое основание создают искусственно), так как устраивать каток непосредственно на пучинистом грунте вообще нельзя. Считается также, что температура грунта до начала работы катка одинакова и равна $t_г$. После включения катка в работу начинается охлаждение грунта, а температура $t_г$ сохраняется неизменной лишь на некоторой глубине, называемой поясом постоянной температуры, неодинаковой для различных географических пунктов. Глубина расположения поясов в среднем не превышает 10 м (см. источник [4]), а температура его примерно равна среднегодовой температуре воздуха в данной местности.

Однако температура всего массива грунта может быть принята такой лишь в период перед первоначальным пуском катка в эксплуатацию. Величина ее перед последующими циклами работы катка зависит от полноты оттаивания основания в перерывах между этими циклами. Такое периодическое полное оттаивание основания

весьма важно, так как в противном случае промерзание основания носит прогрессирующий характер.

Для упрощения расчетов пренебрегаем небольшим (1,7 – 2 ккал/м^2·час) потоком тепла от пояса постоянной температуры к границе промерзания и потоком тепла, выделяющегося при охлаждении мерзлого грунта.

Тогда глубину промерзания грунта под центром катка через τ часов после начала работы катка находят по формуле:

$$h_\infty = \sqrt{\frac{2\lambda_м (t_0' - t_п)}{Q}\tau}\left(\sqrt{1+V^2} - V\right) \text{ м.} \qquad (19)$$

Здесь

$$V = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{t_ф - t_0'}{\sqrt{t_0 - t_п}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_т}{\lambda_м} \cdot \frac{C_0^т}{Q}};$$

$$Q = \gamma_{с.к.} \cdot \frac{W}{100} \cdot 80 i \ \text{ккал/м}^3,$$

где
- t_0 – температура замерзания грунта;
- $\lambda_т, \lambda_м$ – коэффициенты теплопроводности соответственно талого и мерзлого грунтов, ккал/м·час·град;
- τ – время, прошедшее от начала работы катка;
- $C_0^т, C_0^м$ – объемные теплоемкости, соответственно, талого и мерзлого грунтов, ккал/м^3·град;
- Q_0 – теплота замерзания грунта, ккал/м^3;
- i – расчетная льдистость грунта. (см. табл. 2);
- $\gamma_{ск}$ – объемный вес скелета грунта, кг/м^3;
- W – весовая влажность грунта, %.

Таблица 2

Вид грунта	t_0, °C	i
Крупноскелетный грунт (песок и др.)	0	1,0
Суглинки легкие	−0,3	0,9
Суглинки тяжелые, глины	−0,6÷−1,0 и ниже	0,8–0,7 и ниже

Распределение температуры, под центром катка на расстоянии y, соответственно, в мерзлом и талом грунте описывается выражениями:

$$t_м = t_п + \frac{t_0' - t_п}{h_\infty} \cdot y; \qquad (20)$$

$$t_т = t_0' + (t_г - t_0') \cdot erf\left(\frac{y-h}{2\sqrt{\frac{\lambda_т}{C_0^т} \cdot \tau}}\right). \qquad (21)$$

Значения функции erf приведены в работе [12].

Удельные теплопритоки к центру плиты могут быть найдены по глубине промерзания грунта в каждый момент времени

$$q_ч = \frac{\lambda_м}{h_\infty} \cdot (t_0' - t_п) \quad ккал/м^2 \cdot час. \qquad (22)$$

Особенности процесса видны из результатов расчетов по формулам (19–22) и моделирования его на электромодели при следующих условиях:

Q_o = 23560 ккал/м^3;
$\lambda_м$ = 2,5 ккал/м·час·град;
$t_п$ = – 15°C;
t_o = – 0,6^{o}C;
$\lambda_т$ = 1,55 ккал/м·час·град;
$C_o^т$ = 704 ккал/м^3·град;
$t_т$ = 6,5^{o}C.

Продвижение границы фазового перехода представлено на рис. 4б (кривая 1), а тепловой поток из грунта к центру катка на рис. 4а (кривая 5).

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что для оснований из крупноскелетных влажных, но непучинистых пород три месяца непрерывной эксплуатации являются критическим сроком. Дальнейшая эксплуатация катка потребует длительного времени на оттаивание (более 60 дней), что неприемлемо для тренировочных и тем более – демонстрационных катков.

Следует, таким образом, сделать общий вывод об области применения неизолированных оснований. Они приемлемы лишь для сезонно работающих катков, например, открытых, эксплуатирующихся в условиях мягкой зимы, и передвижных сборно-разборных.

Средняя часовая величина теплопритоков из грунта к центру охлаждающей плиты за время τ_1 от момента пуска катка до получения ледяного слоя составит:

$$q_{ч.\,расч.} = \frac{\sqrt{2\lambda_м \cdot (t_o' - t_м) \cdot Q}}{\sqrt{\tau_1}\,(\sqrt{1-V^2} - V)}. \qquad (23)$$

3.6. Изолированная охлаждающая плита на влажном грунте. Изоляция охлаждающей плиты резко замедляет процесс промерзания грунта и снижает теплопритоки из грунта.

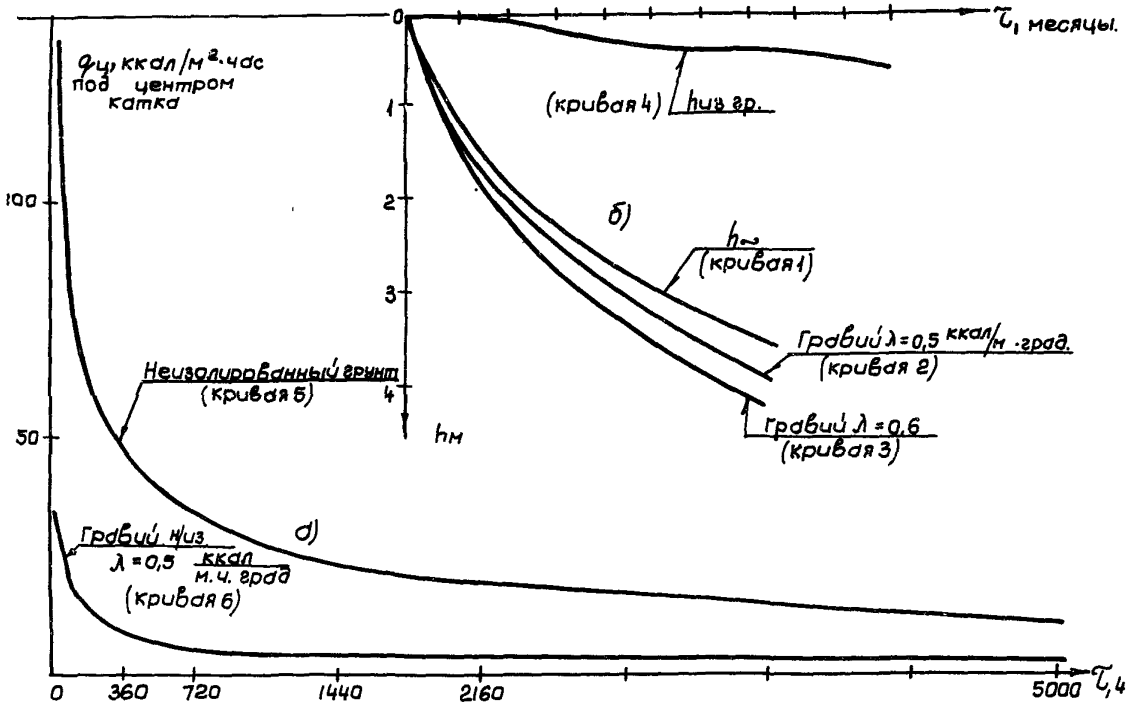


Рис.4. Характеристика процессов в грунте под охлаждающей плитой:
а) динамика промерзания грунта; б) граница фазового перехода

В этом случае глубина промерзания $h_{из.гр.}$ и теплопритоки $q_ц$ к плите определяются по выражениям (24 ÷ 26) (если пренебречь теплоемкостью изоляции):

$$h_{из.гр} = \sqrt{h_{-}^2 + S^2} - S \quad м, \tag{24}$$

где $$S = \lambda_м \cdot \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}.$$

$$q_ц = (t_0' - t_п) \cdot \frac{1}{\frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{h_{гр.из} - \delta_{из}}{\lambda_м}} \quad ккал/м^2 \cdot час; \tag{25}$$

$$q_{ц.расч} = \frac{\lambda_м \cdot Q}{\tau(\sqrt{1+V^2} - V)^2} \left[\sqrt{A \cdot \tau_1 + \left(\frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}\right)^2} - \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} \right] \quad ккал/м^2 час, \tag{26}$$

где $$A = \frac{2(t_0' - t_п)}{Q_0 \cdot \lambda_м} (\sqrt{1+V^2} - V)^2.$$

Динамика промерзания грунта при указанных условиях и $\lambda_{из}/\delta_{из}$ = 0,3 ккал/м^2·час·град представлена на рис. 4б (кривая 4).

Как видно из рис. 4б, такое основание, эксплуатирующееся непрерывно в течение трех месяцев, промерзает всего на 12 см, а грунт под катком оттаивает полностью через 8 - 10 дней после выключения холодильной установки.

Все это вполне удовлетворяет условиям работы демонстрационных полей, так как время непрерывной их эксплуатации меньше трех месяцев.

Для тренировочных катков длительные перерывы в работе нежелательны, поэтому их не следует эксплуатировать непрерывно более 3 - 4 месяцев без отепления изолированного основания.

Тепловой поток из грунта (рис.5) невелик, 5 – 8 ккал/м^2·час и незначительно уменьшается во времени. Таким образом, период пуска катков с изолированными основаниями не связан со значительными теплопритоками из грунта. Это справедливо для всех изолированных оснований и поэтому такую конструкцию особенно хорошо применять для демонстрационных катков с частыми намораживаниями и оттаиваниями льда.

Распределение температуры под центром основания изолированного катка на влажном грунте в стационарном состоянии по работе [13]:

$$\frac{t_{(o,y)} - t_в}{t_п - t_в} = \pi\left(\beta_1 \cdot \ell^{-\xi} - \beta \cdot \ell^{-3\xi}\right), \qquad (27)$$

где $t_{(o,y)}$ – температура грунта на глубине;
$t_в$ – температура воздуха в зале.

$$sh\xi = \frac{y}{a}\ ;\ \beta_1 = \Delta_1/\Delta\ ;\ \beta_2 = \Delta_2/\Delta\ ;\ \Delta_1 = \frac{\pi}{\sqrt{}} + 0{,}6857\ ;$$

$$\Delta_2 = 0{,}1778\ ;\quad \Delta = \left(\frac{\pi}{\sqrt{}}\right)^2 + 3{,}3525\ \frac{\pi}{\sqrt{}} + 1{,}7334\ ;$$

$$\sqrt{} = \frac{\lambda_{из.} \cdot a}{\delta_{из.} \cdot \lambda_г}\ ;$$

здесь a – полуширина катка, м.

Уравнение легко решается графически по рис. 6. Расчеты показывают, что процесс промерзания стабилизируется при $h = 5 - 7$ м, и эта величина мало зависит от величины a и $t_в$.

Таким образом, при длительной работе катка изоляция не предотвращает процесса промерзания грунта. Вместе с тем, для катка с периодическим характером работы можно рассчитать такую толщину изоляции, при

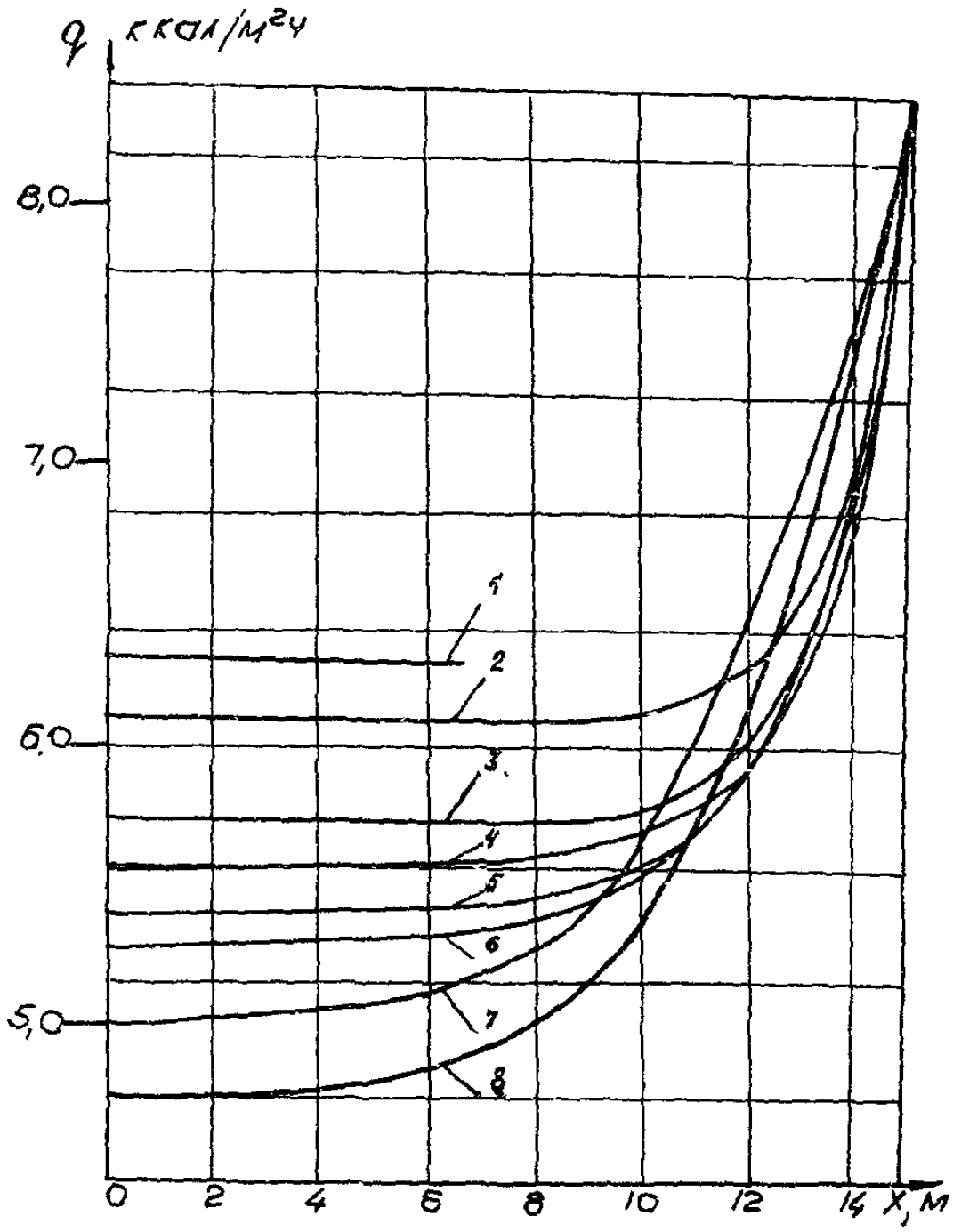


Рис. 5. Тепловой поток из грунта к охлаждающей плите

1 – через 0,5 мес. после начала работы холодильной установки, 2 – через 1 мес; 3 – через 3 мес.; 4 – через 6 мес.; 5 – через 9 мес.; 6 – через 12 мес., 7 – через 21 мес.; 8 – через 28 мес.

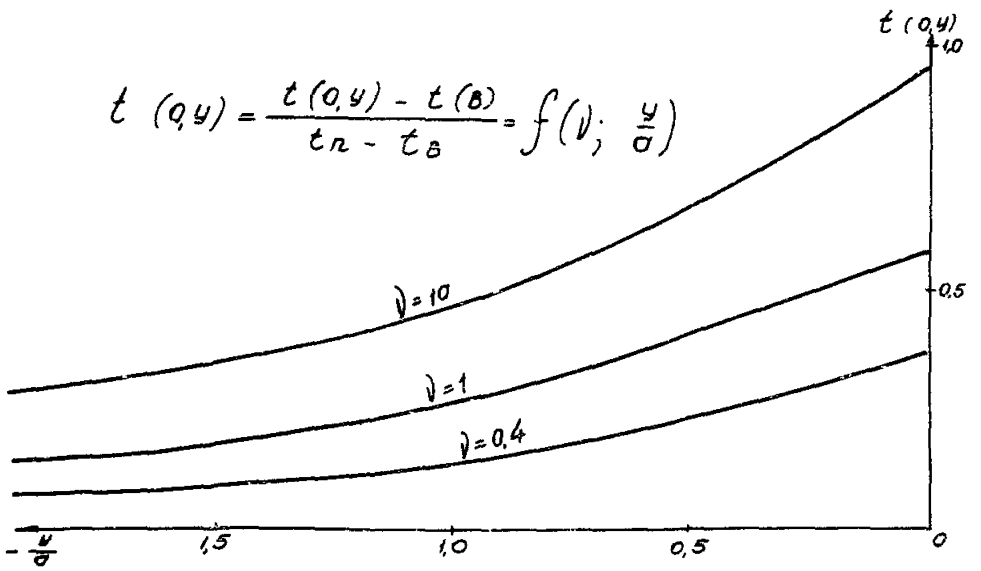


Рис. 6. Графическое решение уравнения (27)

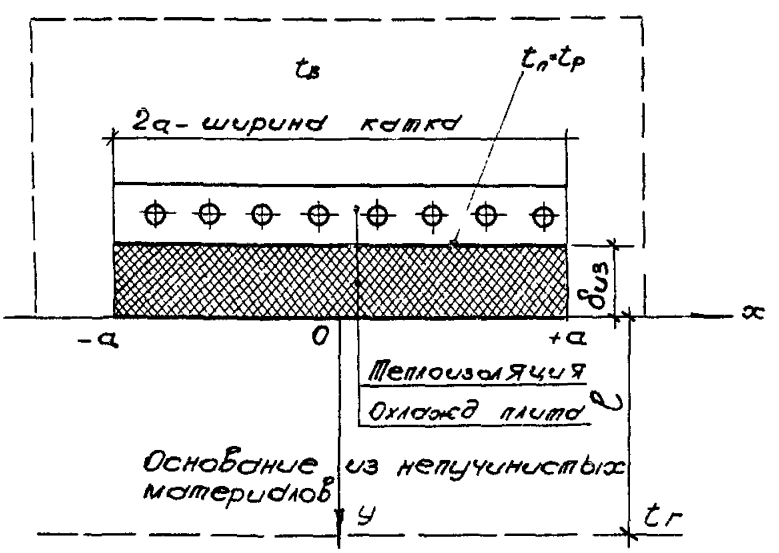


Рис. 7. Охлаждающая плита на основании из непучинистых материалов

которой нулевая изотерма за определенный промежуток времени ($\tau_{кр}$) не покинет низа слоя изоляции.

Толщину изоляции $\delta_{из}$ можно найти из выражения (см. источник [15]):

$$\frac{t_n}{t_г} = -\frac{\lambda_т}{\lambda_{из}}\sqrt{\frac{a_{из}}{a_т}}\cdot l\frac{\rho^2}{4}\left(\frac{1}{a_{из}}-\frac{1}{a_т}\right)\cdot$$

$$\cdot\frac{erf\left(\frac{\rho}{\sqrt{4a_{из}}}\right)}{erf\left(\frac{l\rho}{\delta_{из}\sqrt{4a_т}}\right)-erf\left(\frac{\rho}{\sqrt{4a_т}}\right)}, \qquad (28)$$

где

$$\rho = \frac{\delta_{из}}{\sqrt{\tau_{крит}}};$$

l – глубина пояса, постоянной температуры грунтам. Искомую величину $\delta_{из}$ получают подбором или графическим решением уравнения. Однако необходимо учитывать, что при очень продолжительной работе ледяного поля для предотвращения промерзания грунта под ним потребуется практически невыполнимая толщина теплоизоляционного слоя.

3.7. Охлаждающая плита на основании из сухих пучинистых материалов (рис.7). Такое основание чаще всего создают искусственно, в тех случаях, когда природный грунт в районе строительства непригоден в качестве основания катка.

Глубина расположения нулевой изотермы, при прочих равных условиях, в сухих грунтах больше (рис.4б, кривые 2,3), чем во влажных (кривая 1), и оттаивают они быстрее, поскольку влажный грунт, замерзая, аккумулирует больше холода. Поэтому принципиально неверно при замене пучинистого грунта приравнивать глубину про-

мерзания последнего к необходимой толщине гравийной засыпки, как это рекомендуется (см.работу [19]).

Расчеты для охлаждения сухих оснований следует вести по закономерностям для полуограниченного тела [10] .

$$\theta = \frac{t_{(y,\tau)} - t_n}{t_r - t_n} = erf\left(\frac{1}{2\sqrt{F_{oy}}}\right), \qquad (29)$$

где $t_{(y,\tau)}$ – температура на любой глубине y под охлаждающей плитой через τ часов после пуска катка;

$F_{oy} = \frac{a \cdot \tau}{y^2}$ – критерий Фурье, рассчитанный для глубины y , м.

Глубина расположения нулевой изотермы $y_{(0°C)}$ определяется графически (рис.8). Находим $\theta = \frac{0°C - t_n}{t_r - t_n}$, затем соответствующую ей величину критерия F_o . Искомая глубина

$$y_{(0°C)} = \sqrt{\frac{a \cdot \tau}{F_o}}. \qquad (30)$$

Удельные теплопритоки к плите в любой момент времени τ определяются из выражения:

$$q_ч = \frac{2\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \gamma}}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} \cdot (t_r - t_n), \qquad (31)$$

а средний часовой приток тепла за период времени τ_1

$$q_{ч.расч.} = \frac{2\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \gamma}}{\sqrt{\pi \cdot \tau_1}} \cdot (t_r - t_n') \ \text{ккал}/\text{м}^2\cdot\text{час}. \qquad (32)$$

Выражение (32) справедливо, если пояс постоянной температуры грунта располагается на бесконечном удалении от поверхности основания ($\ell = \infty$). Но поскольку реально ℓ – конечная величина, то вместо формул (29 и 32) следует использовать уравнения:

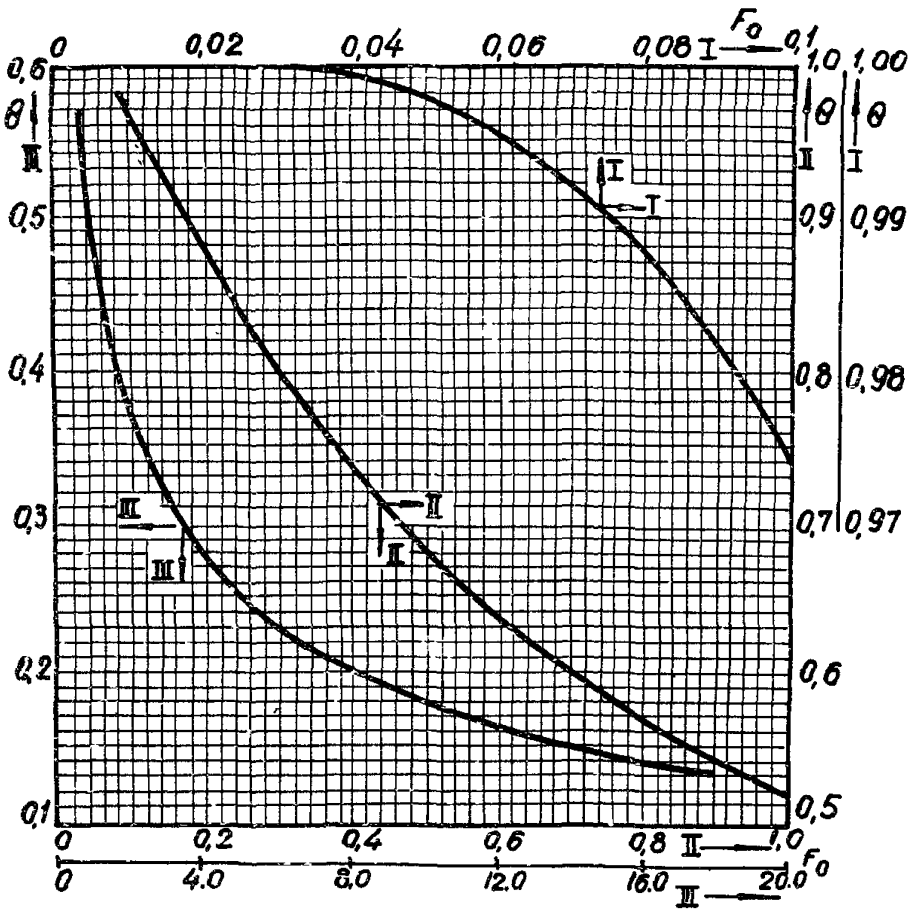


Рис. 8. Зависимость между θ и F_o для стержня

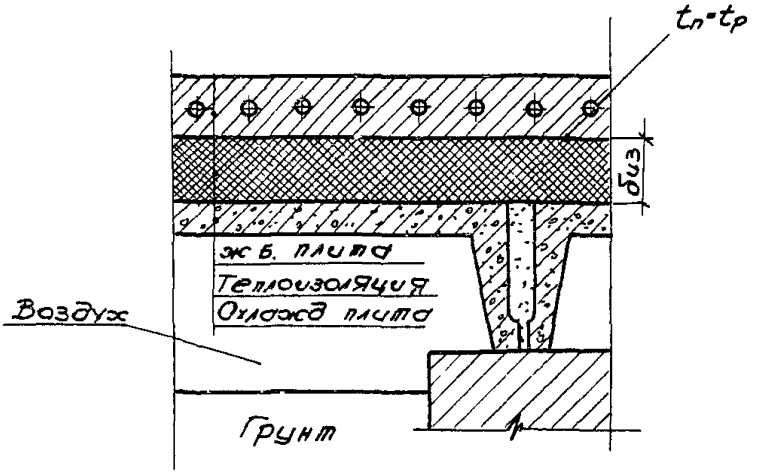


Рис. 9. Охлаждающая плита, поднятая над уровнем земли

$$\theta = \frac{erf\left(\frac{1}{2\sqrt{F_{o,y}}}\right)}{erf\left(\frac{1}{2\sqrt{F_{o,\ell}}}\right)}; \qquad (33)$$

$$q_ч = \frac{\sqrt{\lambda \cdot \varepsilon \cdot \gamma}\,(t_r - t_n)}{\sqrt{\pi \cdot \tau} \cdot erf\left(\frac{1}{2\sqrt{F_{o,\ell}}}\right)}. \qquad (34)$$

К такому решению иногда вынуждают и экономические соображения, например, высокая стоимость гравия в некоторых районах.

Однако этими выражениями следует пользоваться лишь при очень больших значениях τ.

Если основание выполняется многослойным (в том числе и со слоем изоляции), то в качестве теплофизических характеристик материала основания следует вводить средневзвешенные величины:

$$\lambda_m = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \ldots + \delta_n}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} = \frac{\sum \delta_i}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}; \quad C_m = \frac{\sum c_i \delta_i}{\sum \delta_i}; \quad \gamma_m = \frac{\sum \gamma_i \delta_i}{\sum \delta_i},$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \ldots \lambda_n$; $C_1 \ldots C_n$; $\gamma_1 \ldots \gamma_n$ – теплофизические характеристики отдельных материалов, составляющих многослойное основание;

δ – толщина слоя каждого материала, м.

Если использование гравия нецелесообразно, а основание из песка в данных конкретных условиях является не надежным, то проектируют основание смешанного типа. В этом случае на небольшой слой песка (50 – 80 см) укладывают слой бетона толщиной 100 – 150 мм с расположенными в толще его электронагревателями, а на него – слой изоляции и охлаждающую плиту катка.

3.8. Охлаждающая изолированная плита, поднятая над уровнем земли (рис. 9). Рассмотренные выше конструкции полностью не предохраняют основание катка от промерзания при оптимальных толщинах слоев изоляции и непучинистых материалов. Только цикличность работы сооружения, включающая периоды оттаивания грунта, может предотвратить прогрессирующее промерзание.

Однако длительные перерывы в работе катков, особенно тренировочных в закрытых сооружениях невозможны.

Имеется, кроме того, тенденция располагать под ледяным полем универсальных спортивных залов складские помещения.

Тогда проектируют конструкцию основания, оторванную от земли. В этом случае полностью исключается промерзание грунта и имеется возможность полезно использовать площадь под катком.

Характер изменения относительной температуры $\theta = \frac{t_{(y,\tau)} - t_n}{t_в - t_n}$ (рис.10) таков, что на любом расстоянии от охлаждающей плиты (т.е. при любом $1 - \frac{y}{R}$) температура практически стабилизируется при значениях $F_o = 0,2 \div 0,3$. Длительность нестационарного режима в такой конструкции того же порядка, что и длительность намораживания льда.

Поэтому основным для такой конструкции является стационарный режим.

Необходимая толщина изоляции определяется при условии, что тепловой поток к охлаждающей плите не должен превышать 7 - 10 ккал/м^2.час, по выражению:

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{K} - \left(\frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}\right)\right] \cdot \lambda_{из} \quad м, \qquad (35)$$

где $\alpha_в = 5 - 7$ $^{ккал}/_{м^2 \cdot час \cdot град}$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к нижней поверхности перекрытия, несущего охлаждающую плиту;

$\delta_{из}$ – толщина слоев материалов конструкции от охлаждающей плиты до нижней поверхности перекрытия (кроме слоя изоляции), м.

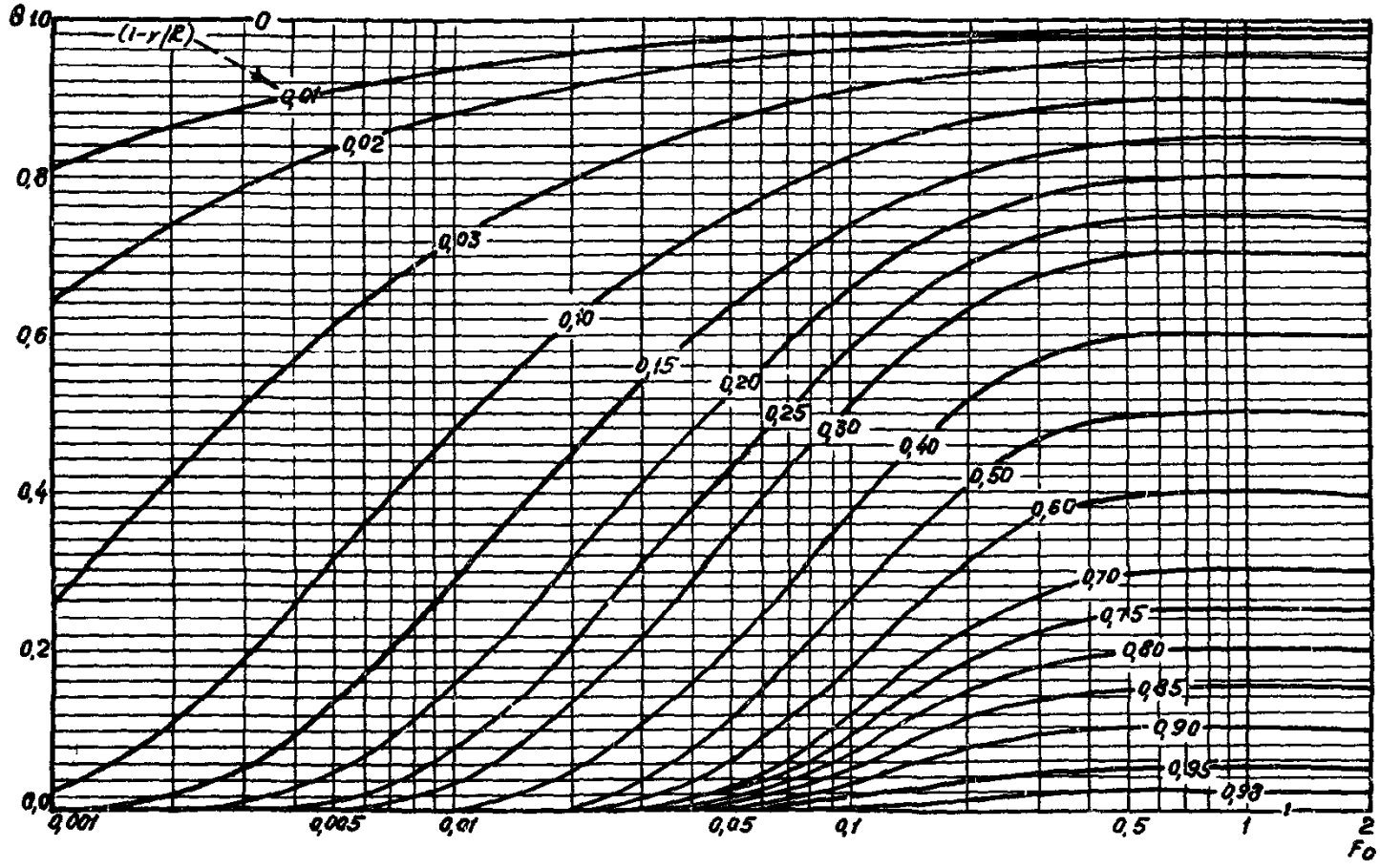


Рис. 10. Зависимость между F_o и θ для пластины

Полученная таким образом толщина изоляции может быть проверена по выпадению влаги на нижней поверхности перекрытия, несущего охлаждающую плиту.

Удельный поток тепла к охлаждающей плите в стационарном режиме:

$$q_{ц} = \frac{t_в - t_п}{\frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \sum\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_в}} \quad \frac{ккал}{м^2 \cdot час}, \qquad (35)$$

4. Конструктивные решения искусственных катков

Основание ледяного поля (рис. 11,12)

4.1. Основание ледяного поля искусственного катка должно быть прочным - оно должно нести, кроме веса конструкции катка, дополнительную нагрузку (от людей и транспорта) до 2,2 кг/см^2.

4.2. При проектировании основания ледяного поля из крупноскелетных пород (крупнозернистый сухой песок, щебень или гравий) необходимо предусмотреть уклон площади под катком вдоль длинной стороны поля 0,2% (12 см на 60 м) и выполнить вокруг катка надежную дренажную систему.

4.3. В случае возможности проникновения в основание атмосферных осадков или влаги из окружающих каток зон, нужно обеспечить дополнительную гидроизоляцию по всему периметру основания.

4.4. Из крупноскелетных пород для оснований следует считать наиболее предпочтительным гравий плотностью 1600 - 1800 кг/м^3, с весовым содержанием воды 1,5 - 3% , теплопроводностью в слое 0,3 - 0,6 ккал/м·час·град.

4.5. Перед укладкой в основание, гравий рекомендуется промывать для удаления грязи и глинистых частиц; засыпку производить послойно с прокаткой каждого слоя до прекращения усадки.

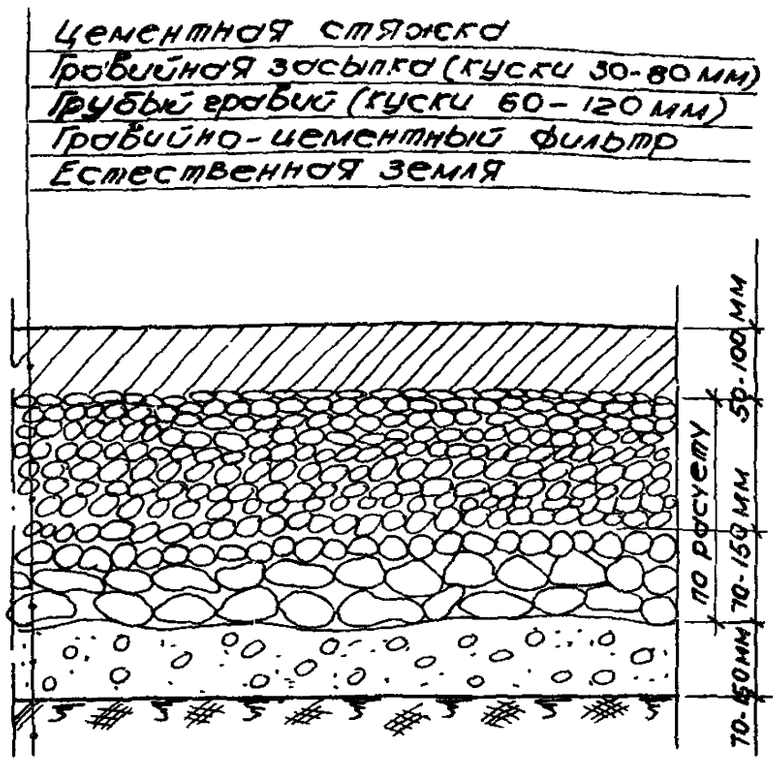


Рис. 11. Основание поля из крупноскелетных пород

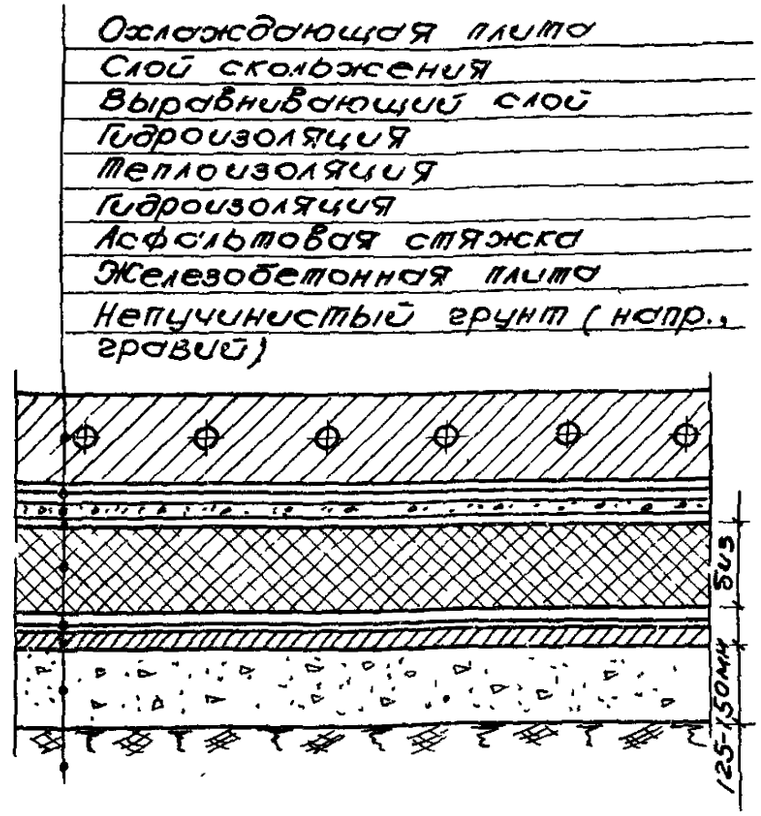


Рис. 12. Основание поля со слоем теплоизоляции

4.6. При проектировании основания из крупноскелетных пород необходимо предусматривать следующую очередность укладки слоев: на фильтре укладывается слой толщиной 7 – 15 см из гравия с размером кусков 6 – 12 см, затем основной расчетный слой из гравия с кусками 3 – 8 см; поверх гравия устраивается выравнивающая цементная стяжка толщиной 5 – 10 см.

4.7. Для теплоизоляции охлаждающей плиты следует применять эффективные изоляционные материалы: пенополистирол, полужесткие минераловатные плиты, плиты из минеральной пробки; либо материалы средней эффективности: битумоперлит, битумовермикулит (изготавливаемые на месте укладки), пенобетон, керамзитобетон и др.

4.8. Если изоляционный слой уложен на основание из пучинистых материалов, важно обеспечить сочетание низкого коэффициента теплопроводности изоляции с возможно большей ее тепловой инерцией.

4.9. Если теплоизоляционный слой расположен в конструкции, оторванной от грунта, то опасность промерзания и разрушения отсутствует, поэтому на первый план в этом случае выступает продолжительность намораживания льда, и термическое сопротивление слоя, по которому следует определять толщину изоляции.

4.10. Подход к выбору толщины теплоизоляции демонстрационного и тренировочного полей должен быть различным. При проектировании демонстрационного поля необходимо учитывать, в первую очередь, требование быстрой трансформации, и решающим фактором следует считать малую инерционность изоляции, а для тренировочного катка, эксплуатируемого без перерывов длительное время, – уменьшение потерь холода.

4.11. Продолжительность намораживания льда имеет значение лишь при проектировании демонстрационного катка; для тренировочного она несущественна.

4.12. При опасности усадки теплоизоляции под нагрузкой вышележащих слоев, несущую плиту необходимо укладывать на опоры из керамзитобетона, а изоляция в этом случае располагается между опорами с таким рас-

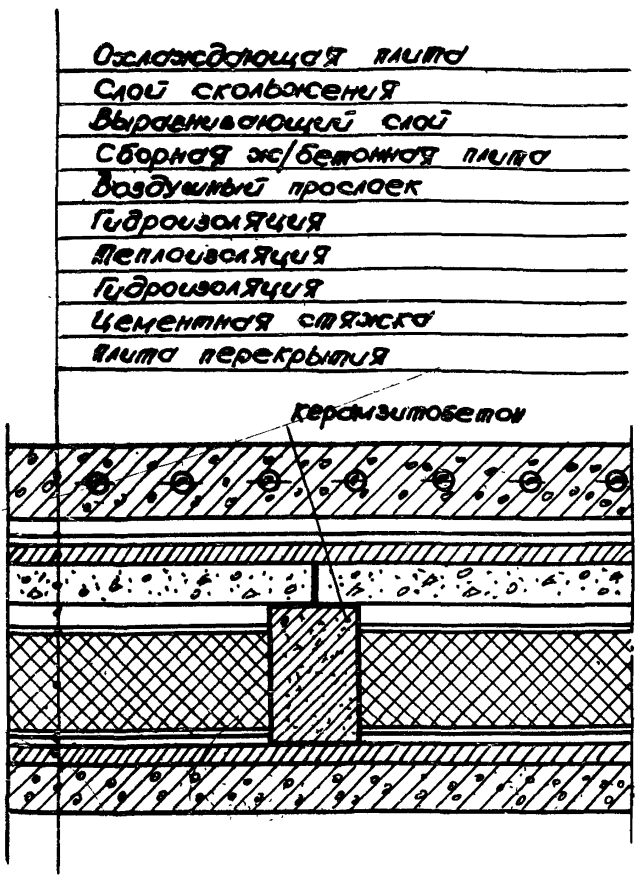


Рис. 13. Основание пола с воздушной прослойкой

четом, чтобы была воздушная прослойка до 50 мм, которая служит дополнительным термическим сопротивлением (рис. 13).

Охлаждающая плита

4.13. Охлаждающая плита в плане должна выступать за борт, ограждающий хоккейную площадку, на 300 – 500 мм (рис. 14).

4.14. Рекомендуемая толщина слоя бетона над трубами в охлаждающей плите – 30 мм.

4.15. Слой бетона над трубами армируется круглой сталью диаметром 6 ÷ 8 мм с ячейкой 150 х 150; необходимость армирования бетона под трубами определяется расчетом.

4.16. Бетонирование охлаждающей плиты следует вести непрерывно, желательно при температуре окружающей среды +10°С; толщина охлаждающей плиты определяется конструктивно и должна быть не более 140 мм.

4.17. При бетонировании охлаждающей плиты следует обеспечить хорошее заполнение межтрубного пространства бетоном.

4.18. Поверхность охлаждающей плиты должна быть светлого тона; разность отметок верха плиты не должна превышать 3 мм.

4.19. Охлаждающую плиту не следует покрывать декоративными слоями, увеличивающими термическое сопротивление плиты в целом.

4.20. Бетон для бетонирования охлаждающей плиты должен быть морозостойким и по пределу прочности на сжатие иметь марку М-150 ÷ М-200; размеры зерен заполнителя не более 12 – 15 мм.

4.21. При проектировании охлаждающей плиты необходимо учитывать, что она в период эксплуатации находится под воздействием переменных температур от +40°С (во время оттаивания льда) до –20°С (в режиме демонстрации), в связи с чем возникают температурные деформации, составляющие 0,009 ÷ 0,0095 мм/м·град.

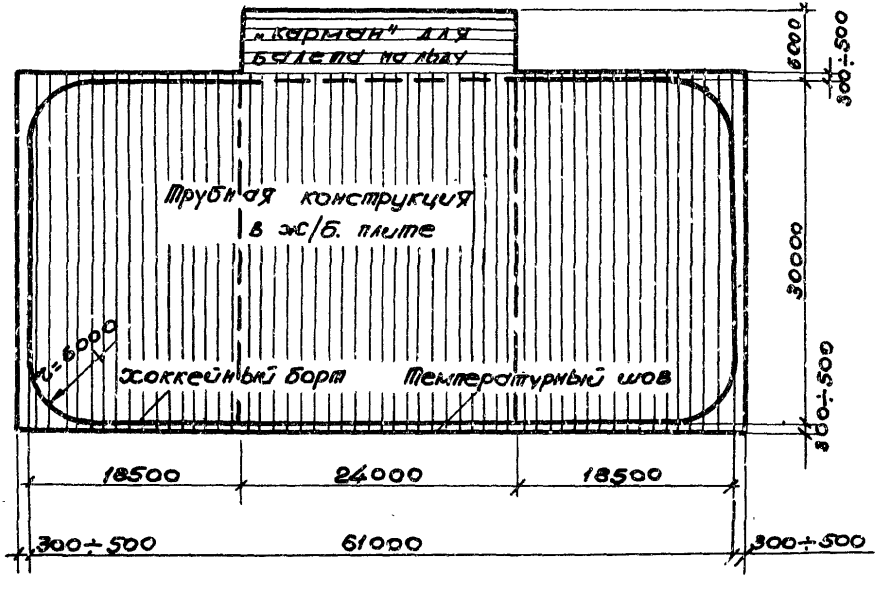


Рис. 14. План ледяного поля демонстрационного катка

4.22. Для облегчения перемещений охлаждающей плиты относительно нижележащих слоев необходимо предусмотреть слой скольжения, который состоит из защитных ограждений и помещенного между ними слоя материала, обладающего малым коэффициентом трения.

4.23. В качестве защитных ограждений слоя скольжения предпочтительно применять рубероид, алюминиевую фольгу, листы поливинилхлорида.

4.24. Между ограждениями следует прокладывать тонкий слой (около 5 мм) порошкообразного графита, талька или графитно-масляной эмульсии, которая приготавливается на маслах, загустевающих при температурах ниже -25°С; для этой цели могут быть использованы также графитные смазки УССА (ГОСТ 3333-55) и ПВМ-1-1 (ГОСТ 5656-60).

4.25. Для компенсации изменений линейных размеров охлаждающей плиты под влиянием температуры необходимо предусмотреть по периметру плиты температурный шов шириной 50 мм, отделяющий плиту от основных конструкций; температурный шов заполняется упругим материалом, например, тиоколовой мастикой АМ-0,5 или СМ-0,5, изготовленной по ВТУ-38-3-3, либо мастикой АМ-2, изготовленной по ТУ 38-3Г.

Трубные конструкции искусственного ледяного поля

4.26. Для изготовления трубных конструкций необходимо, как правило, применять трубы по ГОСТУ 8732-70, либо 8734-70; допускается также применение труб по ГОСТу 10704-63, если они подвергнуты специальным заводским испытаниям (что подтверждается сертификатом).

4.27. Трубную конструкцию следует изготавливать преимущественно из труб наружным диаметром от 26 до 38 мм.

4.28. Шаг труб принимать соответственно с 4.27 от 90 до 110 мм.

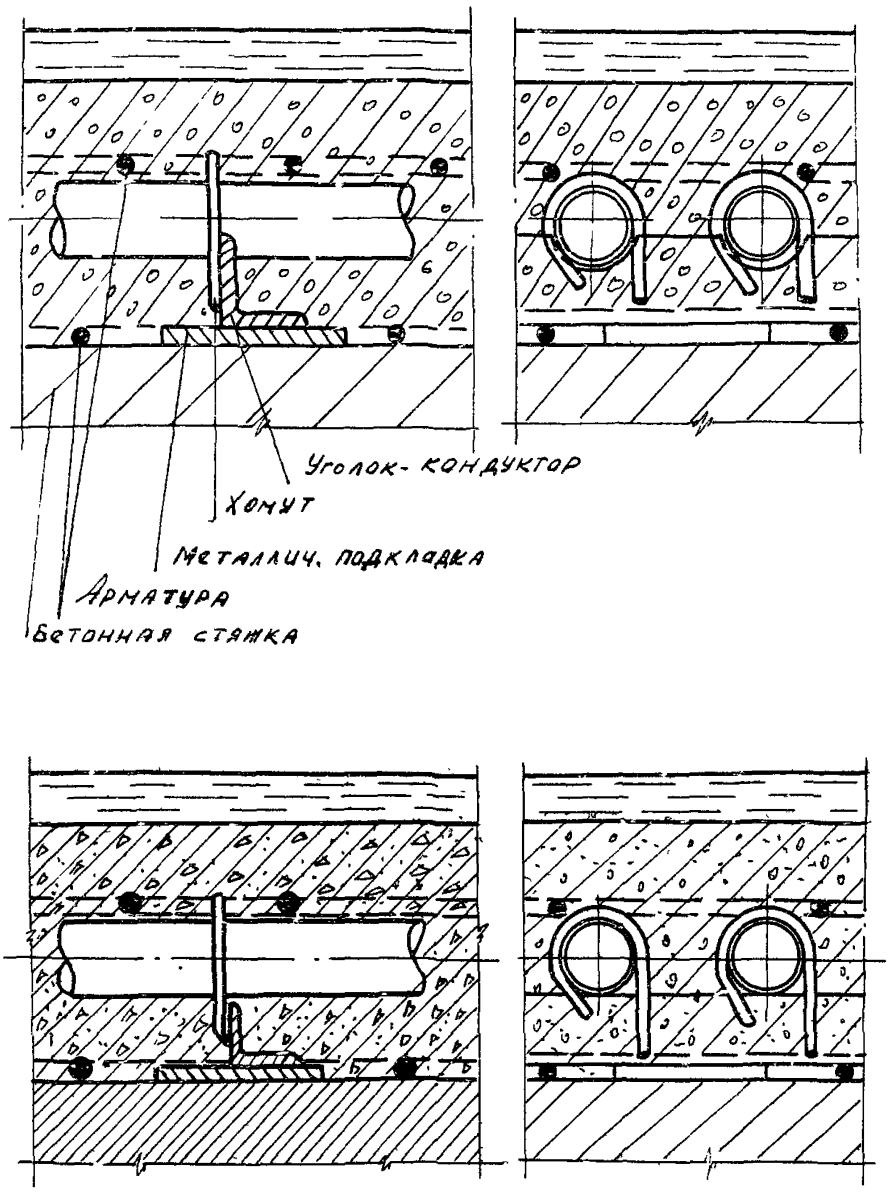


Рис. 15. Опоры для крепления труб в охлаждающей плите

4.29. Охлаждающие трубы рекомендуется укладывать на опоры из угловой стали с ровной полкой или полкой с вырезками под трубы (кондукторы); крепление труб к опорам производится хомутами из круглой стали диаметром 6 - 8 мм с помощью сварки (рис.15).

4.30. Трубную конструкцию ледяного поля искусственного катка следует проектировать с таким расчетом, чтобы при Δt_p, равном 2 - 2,5°С, разность температур льда в разных точках поля не превышала 0,5°С.

4.31 В качестве расчетных принимаются температура поверхности льда - 3°С и толщина слоя льда 30 мм.

4.32. Оптимальными температурами следует считать для фигурного катания - 1,5°С, а для хоккея -5÷-6°С.

4.33. Скорость движения теплоносителя в охлаждающих трубах рекомендуется выбирать 0,4 - 1 м/сек. в зависимости от схемы трубной конструкции.

4.34. В качестве теплоносителя на искусственных катках, как правило, используется водный раствор хлористого кальция с температурой замерзания не выше - 20°С.

4.35. Для замедления коррозии труб (поддержания концентрации водородных ионов pH = 9,5 ÷ 10) в раствор хлористого кальция следует добавлять бихромат натрия в количестве 1,6 кг на 1 $м^3$ раствора и, дополнительно, 0,43 кг/$м^3$ раствора едкого натрия (при pH=7).

Оттаивание льда должно производиться с помощью циркулирующего через трубную систему рассола, нагретого до 30 - 35°С.

4.36 Условиям 4.30 отвечают следующие трубные конструкции:

а) змеевиковая (рис. 16);

б) с промежуточным коллектором (рис. 17);

в) с удвоенным числом коллекторов (рис. 18);

г) с наклонным расположением охлаждающих труб (рис. 19).

4.37. Для закрытых стационарных искусственных катков по условиям технологичности изготовления следует принимать схемы змеевиковые и с промежуточным коллектором, а схемы с наклонным расположением труб могут

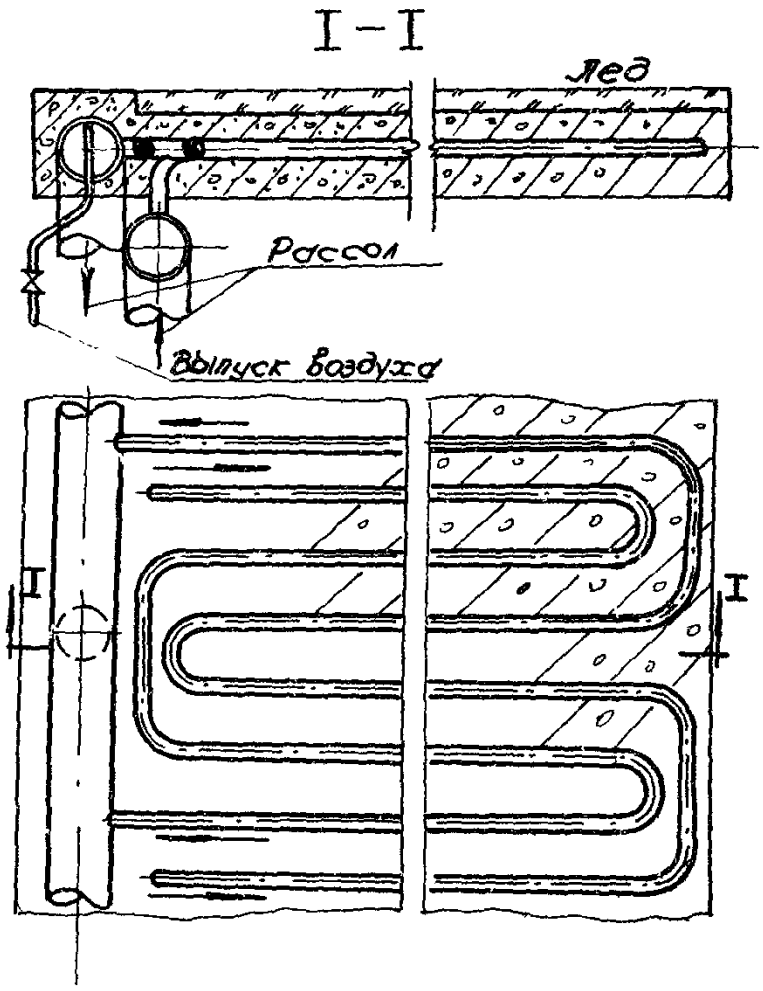


Рис. 16. Змеевиковая схема укладки труб

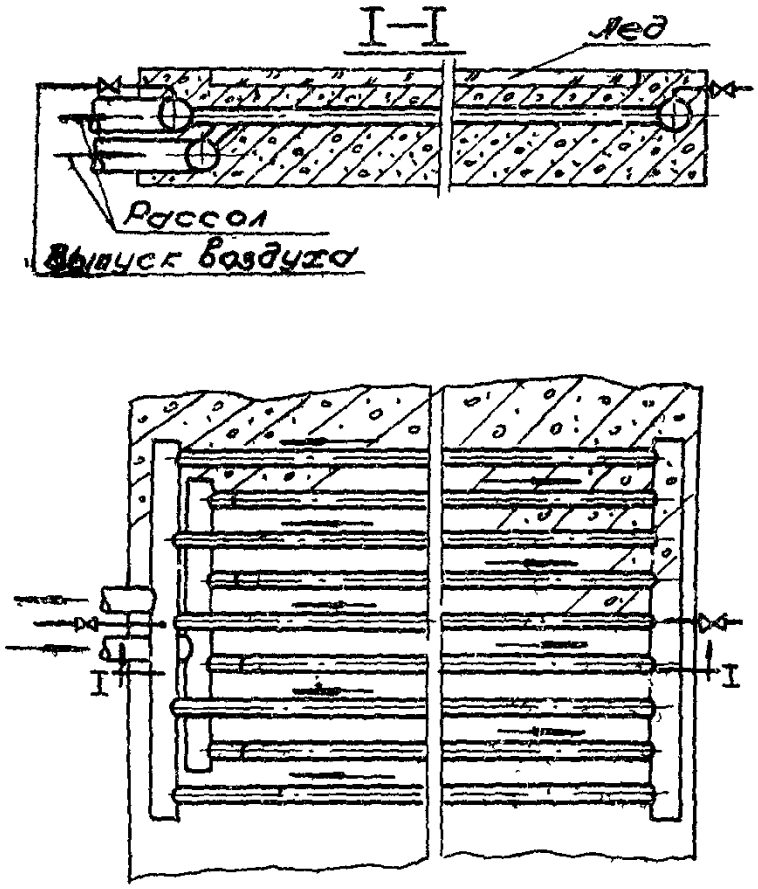


Рис. 17. Схема укладки труб с промежуточным коллектором

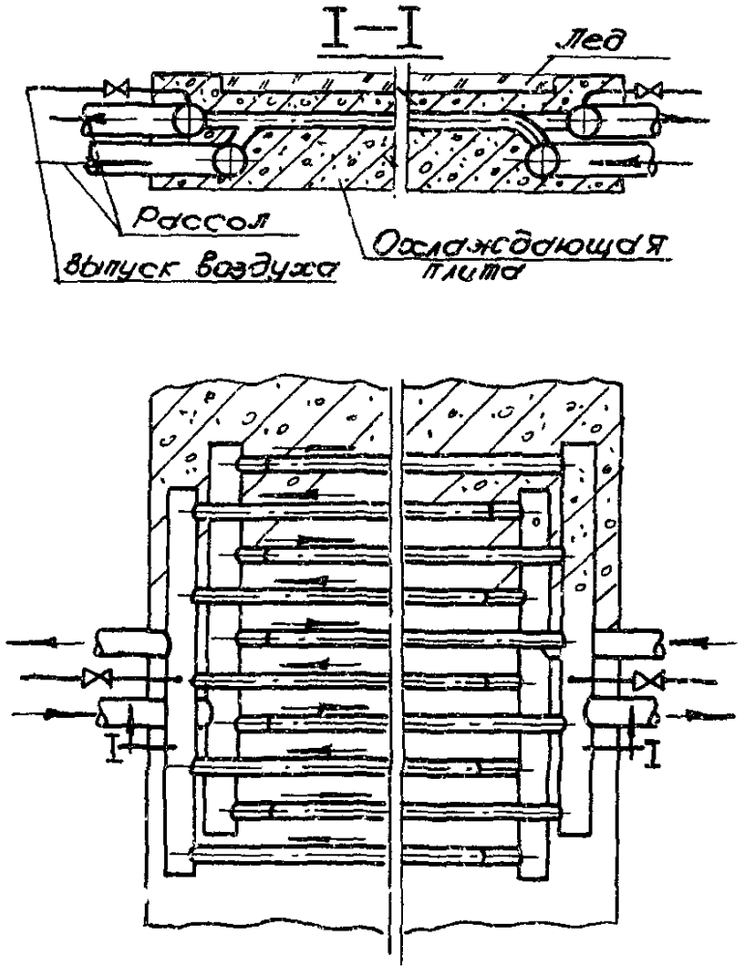


Рис. 18. Схема укладки труб с удвоенным числом коллекторов

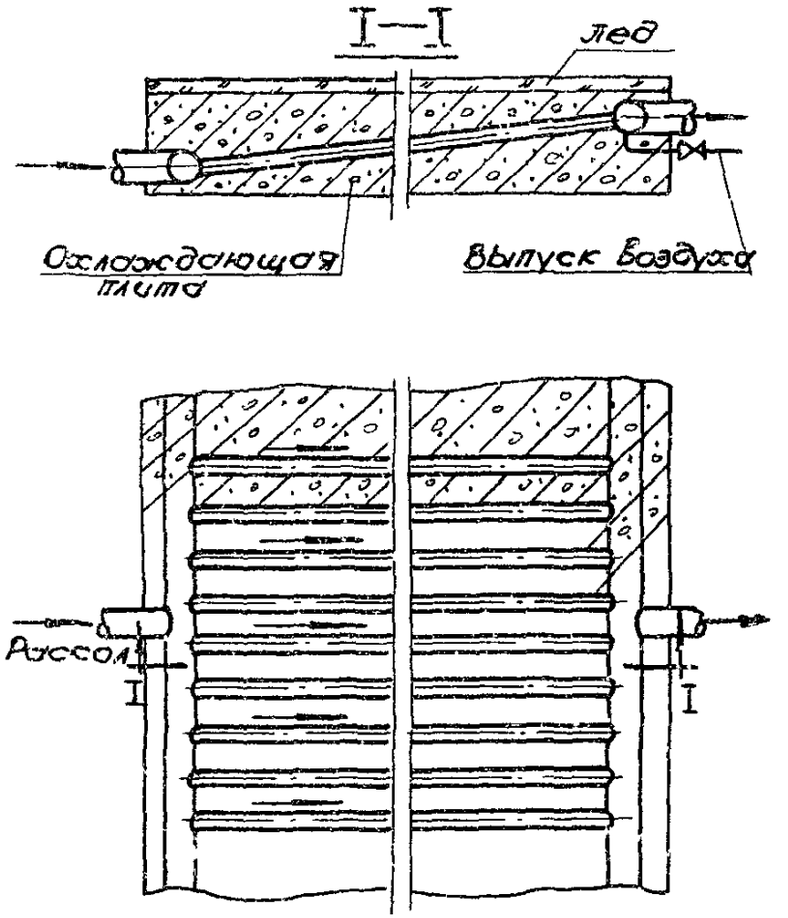


Рис. 19. Схема укладки труб с наклонным их расположением

найти применение для передвижных сборно-разборных искусственных катков.

4.38. Для змеевиковых конструкций характерны сравнительно большие скорости движения теплоносителя и, следовательно, увеличение гидравлического сопротивления трубной системы, что требует по сравнению с коллекторными конструкциями дополнительных энергетических затрат при эксплуатации; вместе с тем, змеевиковые конструкции гидравлически более устойчивы, менее металлоемки из-за отсутствия коллекторов. Таким образом, при выборе типа трубной конструкции из перечисленных в 4.36 необходимо произвести технико-экономические сравнительные расчеты.

4.39. Охлаждающие трубы на демонстрационном катке целесообразно укладывать вдоль короткой, а на тренировочном - вдоль длинной стороны ледяного поля.

4.40. Схемы укладки труб следует проектировать с таким расчетом, чтобы обеспечивалось равномерное распределение теплоносителя по охлаждающим трубам, поэтому гидравлическое сопротивление в коллекторах должно быть значительно меньше, чем в охлаждающих трубах.

4.41. Охлаждающие трубы должны укладываться строго горизонтально (отклонения не допускаются).

4.42. Перед бетонированием охлаждающей плиты необходимо произвести гидравлическое испытание трубной конструкции давлением 6 кгс/см^2.

4.43. В любой выбранной трубной конструкции необходимо предусмотреть устройство для выпуска воздуха при заполнении системы теплоносителем и во время эксплуатации; надежный выпуск воздуха (для коллекторных схем) может осуществляться из верхней зоны коллекторов, для змеевиковых - из магистральных трубопроводов, к которым подключаются змеевики.

4.44. В трубной конструкции наиболее подверженными коррозии являются наружные участки труб на выходе из охлаждающей плиты, в связи с чем они должны быть тщательно обработаны гидроизоляционным материалом, например водной дисперсией тиокола Т-50 по ТУ 38/30318-70.

4.45. Из 4. 44 следует, что трубная конструкция должна иметь возможно меньше выпусков из охлаждающей плиты; этому условию в большей мере отвечают конструкции, где трубные плети объединяются в секции с помощью коллекторов, замоноличенных в бетон охлаждающей плиты.

Для змеевиковых трубных конструкций целесообразно размещать и замоноличивать в охлаждающую плиту магистральные трубопроводы, которые в этом случае на участке охлаждающей плиты выполняют функции распределительного и сборного коллекторов.

Системы холодоснабжения

4.46. Для охлаждения промежуточного теплоносителя в системах холодоснабжения искусственных катков рекомендуется применять холодильные машины, работающие на аммиаке, фреоне – 12 или фреоне – 22.

4.47. Если холодильная станция размещена в одном здании с ареной, следует использовать фреоновые холодильные машины, преимущественно, на фреоне –22; в отдельно стоящей холодильной станции при отсутствии противопоказаний могут быть установлены аммиачные холодильные машины.

4.48. В системах холодоснабжения искусственных катков главным образом следует применять поршневые компрессоры; использование винтовых и турбокомпрессоров, несмотря на преимущества, в настоящее время ограничено из-за отсутствия компрессоров соответствующей мощности.

4.49. Если компрессоры не имеют устройства для регулирования холодопроизводительности, то их количество должно подбираться с учетом возможности ступенчатого регулирования в зависимости от тепловых нагрузок.

4.50. Холодопроизводительность холодильной установки для демонстрационных катков, если нет указаний об ограничении срока намораживания льда, подбирается по нагрузкам демонстрационного режима.

4.51. Для универсальных залов, имеющих поля искусственного льда и установки кондиционирования воздуха, система холодоснабжения может проектироваться с автономными холодильными машинами для обслуживания каждого из этих потребителей холода, или с общей холодильной машиной (при этом следует осуществлять принцип аккумулирования).

4.52. В составе проектируемой холодильной станции необходимо предусмотреть вспомогательное оборудование: специальный бак для слива теплоносителя из охлаждающих труб поля на случай ремонта и для хранения запаса, скоростные бойлеры для нагрева теплоносителя до 30 – 40°С во время оттаивания льда, устройство для растворения хлористого кальция.

4.53. В системах холодоснабжения могут быть осуществлены следующие схемы включения агрегатов:

а) без аккумулятора холода, с одним потребителем (рис. 20);

б) с аккумулятором холода, с одним потребителем (рис. 21);

в) с аккумулятором холода, двумя теплоносителями, с параллельно подключенными потребителями (рис. 22);

г) с аккумулятором холода, одним теплоносителем, с параллельно подключенными потребителями (рис. 23);

д) с аккумулятором холода, одним теплоносителем, с последовательно подключенными потребителями (рис. 24).

4.54. В системах холодоснабжения искусственных катков с одним потребителем холода наличие аккумулятора холода позволяет реализовать излишки мощности холодильной машины, образующиеся в нерасчетные режимы (например, ночной), и использовать их во время возникающих "пиковых" нагрузок (например, намораживание льда в короткий период, или обработка поверхности льда горячей водой во время перерывов игры в хоккей); такая система позволяет с уверенностью подбирать холодильную машину по демонстрационному режиму и обеспечивать достаточно гибкое регулирование, в связи с чем ее следует применять для демонстрационных катков

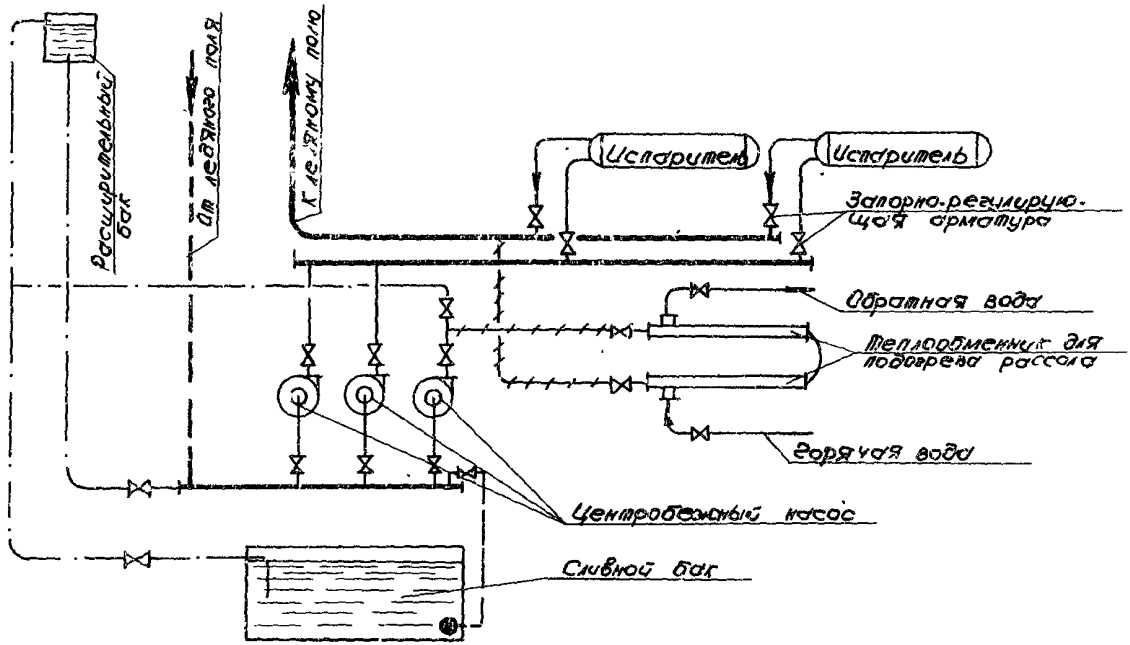


Рис.20 Система холодоснабжения без аккумулятора холода, с одним потребителем

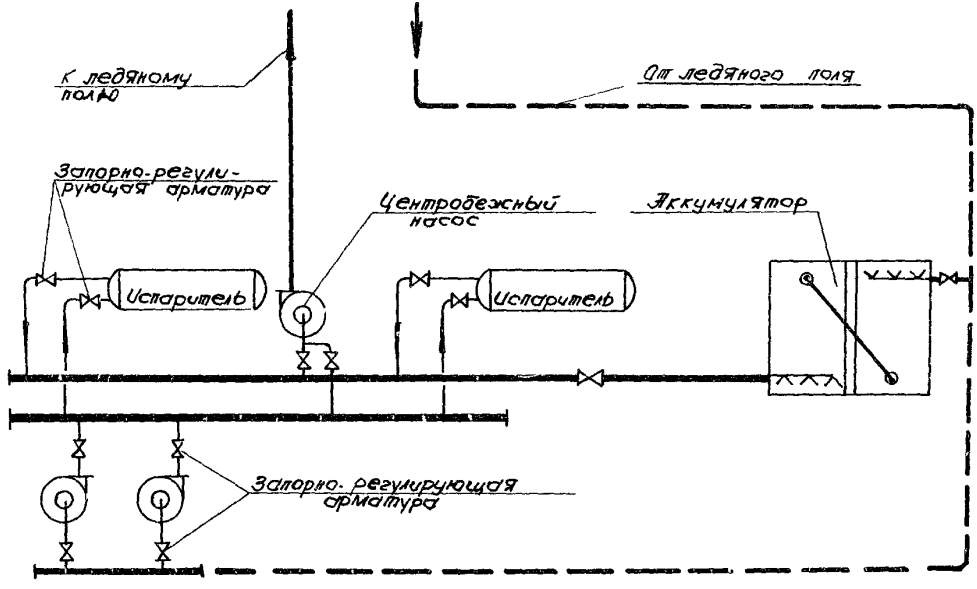


Рис.21. Система холодоснабжения с аккумулятором холода, с одним потребителем

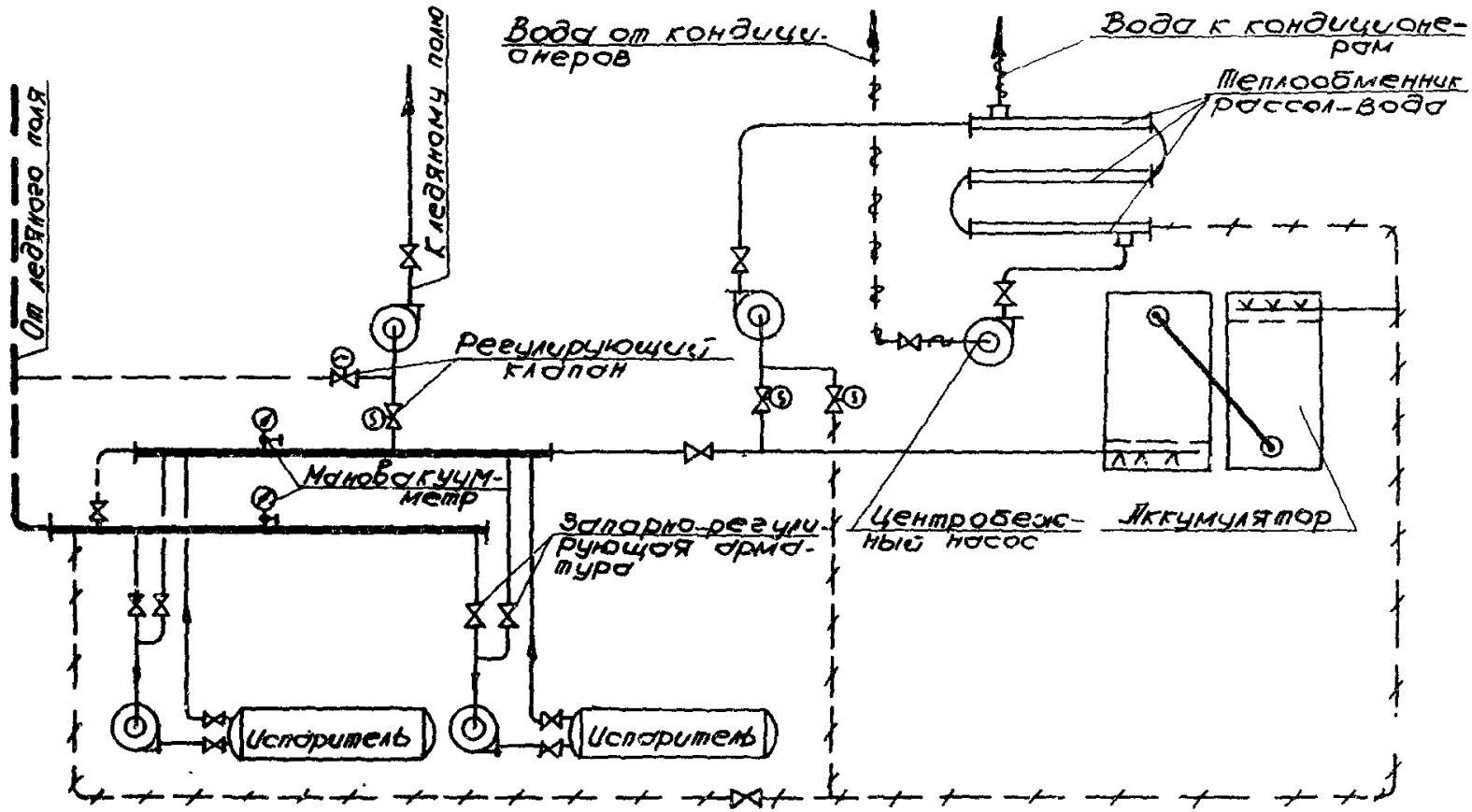


Рис. 22. Система холодоснабжения с аккумулятором холода, двумя теплоносителями, с параллельно подключенными потребителями

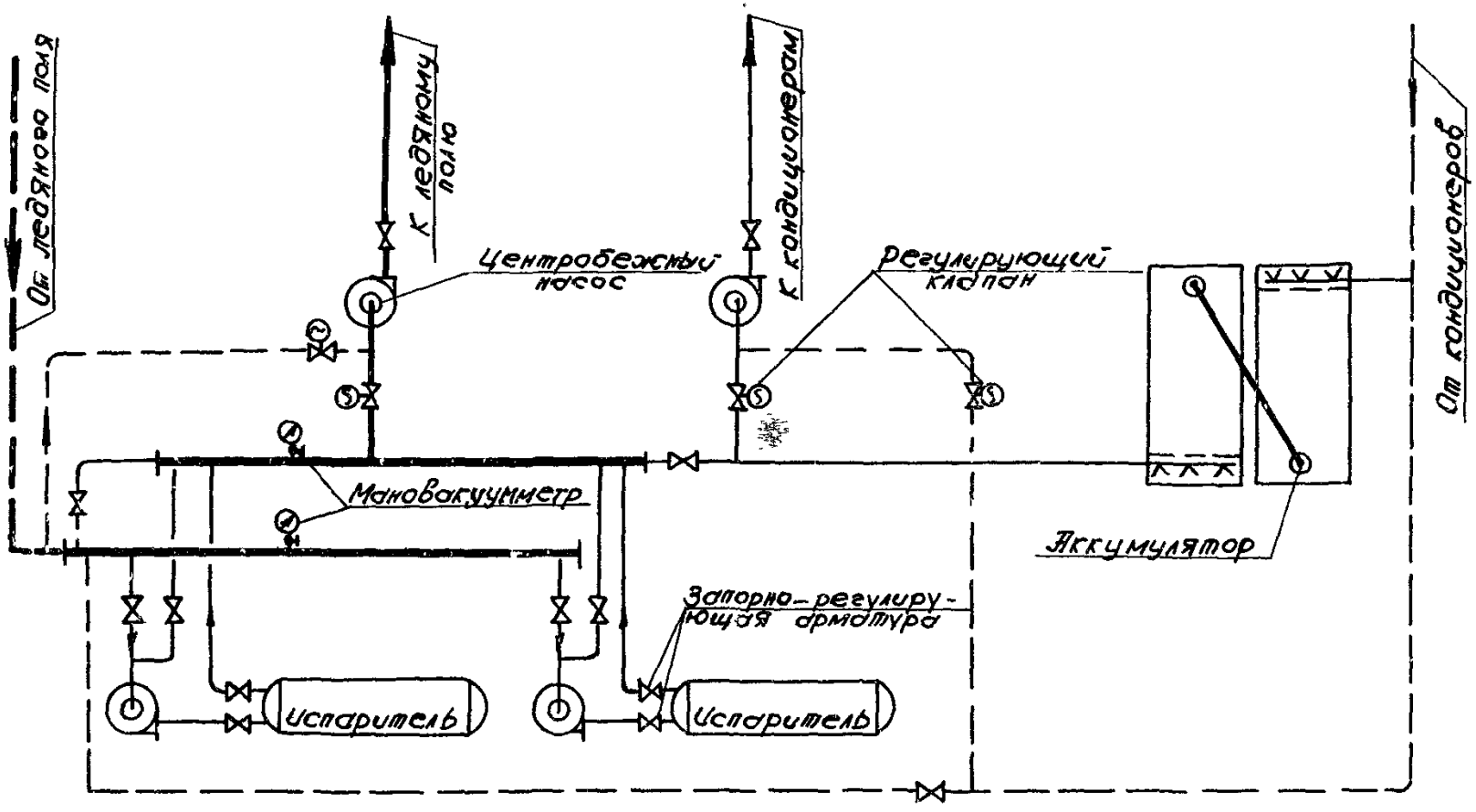


Рис. 23. Система холодоснабжения с аккумулятором холода, одним теплоносителем с параллельно подключенными потребителями

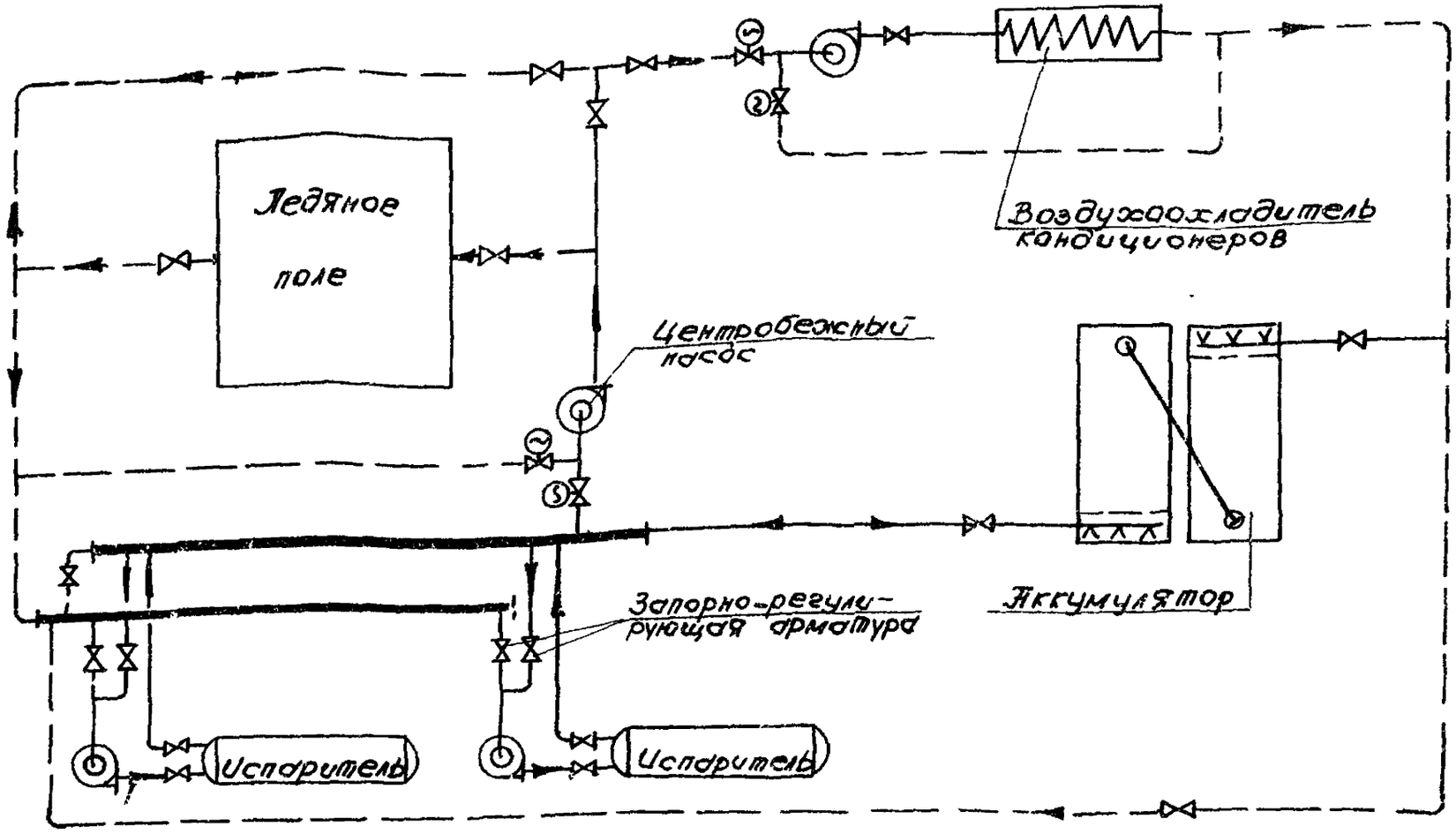


Рис. 24. Система холодоснабжения с аккумулятором холода, одним теплоносителем с последовательно подключенными потребителями

стандартных размеров, а система без аккумуляторе может применяться для катков малых размеров и сборно-разборных передвижных катков.

4.55. Если система холодоснабжения искусственного катка должна обеспечивать два или три разнотемпературных потребителя холода, (ледяные поля тренировочного и демонстрационного катков, установки кондиционирования воздуха), то нужно использовать еще один промежуточный теплоноситель (воду) и включить потребители холода, например, по схеме рис. 22, где вода является теплоносителем установки КВ. Такой способ включения, однако, требует применения дополнительных теплообменников, насосов, что экономически не эффективно, а реализация второго перепада температур в теплообменнике рассол-вода делает его и энергетически несовершенным.

4.56. Свободным от недостатков, изложенных в 4.55, является система холодоснабжения искусственных катков с разнотемпературными потребителями, использующая один теплоноситель, включение потребителей при этом может быть параллельное или последовательное. Оба способа включения рекомендуются для холодоснабжения искусственных катков, оснащенных также установками кондиционирования воздуха.

Преимущества последовательного способа включения потребителей холода обусловлены уменьшением циркуляции теплоносителя, а при значительном удалении холодильной станции от спортивной арены существенно уменьшается также длина трубопроводов и емкость системы по теплоносителю.

Вентиляция, кондиционирование воздуха

Ледяная поверхность катка влияет на микроклимат в зале, а он, в свою очередь, – на качество поверхности льда и расход холода на его поддержание.

4.57. Оптимальные параметры внутреннего воздуха.

Система вентиляции:

зимний режим:

$t = 18^{\circ}C$ для зала с демонстрационным полем;

$t = 14^{\circ}C$ для зала с тренировочным полем;

летний режим:

температура не более чем на $3^{\circ}C$ выше расчетной по параметрам "А".

Система кондиционирования воздуха:

зимний режим:

$t = 18^{\circ}C$ для зала с демонстрационным полем;

летний режим:

$t = 20 \div 25^{\circ}C$ для зала с демонстрационным полем.

4.58. Относительную влажность воздуха следует принимать не более 50%, при этом надо иметь в виду, что изменение φ от 30% до 70% (при $t_в = +23^{\circ}C$) увеличивает расход холода на 22% а повышение температуры на $1^{\circ}C$ (с 23 до $24^{\circ}C$ и $\varphi = 50\%$) увеличивает расход холода на 6 ÷ 7%. Кроме того, увеличение относительной влажности воздуха может стать причиной образования слоя воды на поверхности льда, тумана над ним, выпадения конденсата на конструкциях и оборудовании зала, что недопустимо.

4.59. В системах вентиляции или кондиционирования воздуха при наличии в помещениях искусственного льда не следует предусматривать увлажнение воздуха.

4.60. Скорость движения воздуха у поверхности льда не должна превышать 0,2 м/сек.

4.61. Воздухообмен в демонстрационном зале следует осуществлять преимущественно по схеме "сверху - вниз" или "сверху - вниз - вверх".

4.62. Часть вытяжных отверстий следует располагать в нижней зоне возможно ближе к границам ледяного поля.

4.63. Для универсальных спортивных залов (дворцов спорта) при использовании их также для спортивных и зрелищных мероприятий без льда необходимо предусмат-

ривать оптимальные параметры внутреннего воздуха по СНиП II-Г.7-62. Табл.1.

4.64. При устройстве кондиционирования воздуха рекомендуются одноканальные системы низкого давления без рециркуляции с подачей наружного воздуха в объеме санитарной нормы. При этом следует предусматривать возможность прогрева (охлаждения) помещения до необходимой температуры перед заполнением его зрителями.

4.65. Воздухообмен в демонстрационном зале следует проектировать с учетом превышения количества приточного воздуха над вытяжным на 0,4 - 0,8крат/час в зависимости от конструкции и объема помещения.

4.66. При проектировании систем вентиляции или кондиционирования воздуха необходимо предусматривать солнцезащитные устройства.

4.67. Дежурное отопление следует рассчитывать на $t = 15^{\circ}C$ для демонстрационного зала и $t = 10^{\circ}C$ для тренировочного.

Автоматизация

4.68. При проектировании автоматической защиты, контроля и регулирования систем холодоснабжения искусственных ледяных полей и установок кондиционирования воздуха следует предусматривать возможность регулирования температуры теплоносителя на входах в трубные конструкции ледяного поля и воздухоохладители путем смешения "прямого" и "обратного" теплоносителя.

4.69. Необходимо предусматривать также возможность дистанционного контроля температуры: теплоносителя на входе в испарители и выходе из них, воды (прямой и обратной) на конденсаторе, поверхности охлаждающей плиты на границе бетон-лед в нескольких точках поля, грунта под охлаждающей плитой в нескольких точках в горизонтальной и вертикальной плоскостях для определения положения нулевой изотермы, теплоносителя в отсеках

аккумулятора холода, если используется схема с аккумулированием, воздуха в зале и вытяжном воздуховоде, а кроме того, дистанционного контроля относительной влажности воздуха в зале.

4.70. Щиты с приборами автоматизации и устройствами для дистанционного пуска оборудования необходимо размещать в отдельном помещении, соединенном входом с машинным отделением холодильной станции; приборные щиты, поставляемые комплектно с холодильным оборудованием следует устанавливать в непосредственной близости от компрессоров.

5. Пример теплотехнического расчета искусственного катка (для г. Таллина)

Исходные данные. Назначение и размеры катка – демонстрационный, 61 х 30 м (для теплотехнических расчетов 62×31 м). Время непрерывной эксплуатации катка – 3 месяца. Зал демонстрационного катка оборудован системой кондиционирования воздуха $t_в = 23^{\circ}C$, $\varphi = 50\%$. Мощность осветительных приборов (светильники типа ГС с лампами ЗН-8) – 465 квт. Грунт в районе строительства катка – суглинки естественные тяжелые.

Принимаемые данные. Существующий грунт на глубину $\delta_{грав} = 0{,}3$ м заменяется крупноскелетным, $\gamma_{с.к} = 1800$ кг/м^3, $W = 20\%$, $i = 0{,}8$, $\lambda_м = 2{,}5$ ккал/м·час·град, $\lambda_т = 1{,}55$ ккал/м·час·град, среднегодовая температура грунта $t_г = +5^{\circ}C$, температура замерзания грунта $t_о' = -1^{\circ}C$, теплоемкость грунта $C_о' = 704$ ккал/м^3·град. Толщина охлаждающей бетонной плиты 130 мм, $\lambda_б = 1{,}3$ ккал/м·час·град, $\gamma_б = 2200$ кг/м^3, толщина слоя бетона над трубами 30 мм. Температура низа бетонной плиты $t_н = -13^{\circ}C$. Наружный диаметр труб в трубной конструкции 32 мм, расстояние между осями охлаждающих труб 100 мм. Объем охлаждающих труб в бетонной плите 22 м^3, вес металла в охлаждающей плите 30 кг/м^2. Трубная конструкция с промежуточным коллектором. Ма-

териал для теплоизоляции охлаждающей плиты – битумоперлит, $\gamma_{из} = 350$ кг/м^3, $\delta_{из.} = 300$ мм. Начальная температура воды для заливки поля + 18°С. Теплоноситель – раствор хлористого кальция $\gamma = 1{,}230$ кг/л, $c = 0{,}678$ ккал/кг·град, $t_{зам} = -26$°С, $\Delta t_р = 2{,}5$°С. Расчетная толщина слоя льда – 30 мм, температура поверхности льда – 4°С.

Расчет основания ледяного поля. Положение нулевой изотермы, по которой проверяется правильность выбранной толщины изоляции находится по формуле (24):

$$h_{из.гр.} = \sqrt{h_\infty^2 + S^2} - S.$$

Значения Q, v, h_∞, S определяются соответственно по уравнениям (19) и (24):

$$Q = \gamma_{с.к.} \cdot \frac{W}{100} \cdot 80 \cdot i = 1800 \cdot \frac{20}{100} \cdot 80 \cdot 0{,}8 = 23000 \ \text{ккал}/\text{м}^3;$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{t_г - t_0'}{\sqrt{t_0 - t_п}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_т}{\lambda_м} \cdot \frac{C_0^т}{Q}} = \frac{1}{\sqrt{6{,}28}} \cdot \frac{5+1}{\sqrt{-1+13}} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{1{,}55}{2{,}5} \cdot \frac{704}{23000}} = 0{,}0865;$$

$$h_\infty = \sqrt{\frac{2\lambda_м \cdot (t_0' - t_п) \cdot \tau}{Q}} \cdot (\sqrt{1 - v^2} - v) =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}5 (-1{,}0 + 13)}{23000}} \cdot \tau \cdot (\sqrt{1 - 0{,}0865^2} - 0{,}0865) = 0{,}9 \sqrt{\frac{60 \cdot \tau}{23000}};$$

$$S = \lambda_м \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} = 2{,}5 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}07} = 10{,}7 \text{ м}.$$

После трехмесячной непрерывной эксплуатации катка при $\delta_{из} = 300$ мм глубина залегания нулевой изотермы

$$h_{из.гр.} = \sqrt{h_\infty^2 - S^2} - S = \sqrt{0{,}81 \ \frac{60 \cdot 720 \cdot 3}{23000} + 10{,}7^2} - 10{,}7 = 200 \text{мм}.$$

т.е. нулевая изотерма находится в толще изоляционной конструкции, значит принятая предварительно толщина изоляции является завышенной.

При уменьшении толщины изоляции до 200 мм глубина залегания нулевой изотермы

$$h_{из.гр.} = \sqrt{0{,}81\,\frac{60 \cdot 720 \cdot 3}{23000} + 7{,}15^2} - 7{,}15 = 350 \text{ мм},$$

где $S = 2{,}5 \times \frac{0{,}2}{0{,}07} = 7{,}15$ м.

Таким образом, при толщине теплоизоляции 200мм нулевая изотерма будет находиться в толще крупноскелетного слоя на расстоянии 150 мм от верхней отметки естественного грунта, что полностью устранит опасность его вспучивания в течение трех месяцев непрерывной эксплуатации ледяного поля.

Расчет удельных теплопритоков к ледяному полю:

$$\Sigma q = q_{т.п.} + q_{гр.},$$

где $q_{гр}$ – теплоприток из грунта;

$q_{т.п.}$ – теплопритоки от источников над ледяной поверхностью.

Согласно формуле (25), теплоприток из грунта составит:

$$q_{гр} = 2{,}4(t_o' - t_n)\,\frac{1}{\frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{h_{из.гр.} - \delta_{из}}{\lambda_м}} = 2{,}4(-1+13) \times$$

$$\times\,\frac{1}{\frac{0{,}2}{0{,}07} + \frac{0{,}15}{2{,}5}} = 9{,}9 \ \text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час}.$$

Теплопритоки от источников над ледяной поверхностью:

$$q_{т.п} = q_{(конв.+кон)} + q_{луч.} + q_{осв.}$$

Теплопритоки от воздуха ко льду с учетом конденсации и замерзания влаги соответственно формуле (3):

$$q_{(конв+конд)} = \alpha'_{конв}\,(t_в - t_л);$$

$$\alpha'_{конв.} = \alpha_{конв.} \cdot B;$$

$\alpha_{конв.} = 2{,}57$ ккал/м^2·час·град (см. приложения 1,2);
$B = 1{,}8$

$\alpha'_{конв} = 2{,}57 \times 1{,}8 = 4{,}62$ ккал/м^2·час·град;

$q_{конв+конд} = 4{,}62\,(23+4) = 125$ ккал/м^2·час.

Тепло, вносимое лучистой энергией,

$$q_{луч.} = \alpha_{луч.}(t_в - t_л) = 63{,}2 \ ккал/м^2 \cdot час$$ (см. приложение 3).

Теплопоступления от приборов освещения по формуле (6):

$$q_{осв.} = \frac{A \cdot 860 \cdot N_{осв.} \cdot n}{F_л} \cdot K =$$

$$= 0{,}5\,\frac{860 \times 0{,}42 \times 465 \times 0{,}9}{1922} = 39{,}3 \text{ ккал/м}^2\text{·час},$$

где $n = 0{,}42$ (см. табл. 3),

$q_{т.п.} = 63{,}2 + 125 + 39{,}3 = 227{,}5$ ккал/м^2·час.

Эффективный коэффициент теплоотдачи согласно формуле (1):

$$\alpha_{эфф.} = \frac{q_{тп}}{t_в - t_л} = \frac{227{,}5}{23+4} = 8{,}35 \text{ ккал/м}^2\text{·час·град}.$$

Величина удельных теплопритоков к ледяному полю:

$$\Sigma q = 227{,}5 + 9{,}9 = 237{,}4 \text{ ккал/м}^2\text{·час}.$$

Общий расход холода составит:

$$Q_п = F_л \times \Sigma \times Q = 237{,}4 \times 62 \times 31 \times 1{,}1 =$$

$= 500000$ ккал/час,

где β = 1,1 – коэффициент, учитывающий потери при транспортировке холода.

Температуру теплоносителя можно определить по графику приложения 4 или по формуле:

$$t_р = t_в - \frac{t_в - t_л}{\theta} = 23 - \frac{23 + 4}{0{,}728} = 14^{\circ}C,$$

где θ = 0,728 (см.приложение 5).

При намораживании ледяного поля холод расходуется:

– на охлаждение бетонного массива поля от + 15 до – 14°С:

(1922–22) х 0,13х2200х0,2 х (15+14) =3 160 000ккал;

– на охлаждение металла труб и опор от + 15 до – 14°С:

1922 х 30 х0,115 х (15+14) = 192000 ккал;

– на охлаждение теплоносителя в трубных конструкциях ледяного поля, магистральных трубопроводах и аппаратах при емкости системы 25 $м^3$ от + 15 до – 14°С:

25х1230х0,68 х (15+14) = 610000 ккал;

– на охлаждение воды, образование и переохлаждение льда:

1830х0,03х $[(18+80) \times 1000 + 900х0,5х4]$ = 5450000 ккал;

– на охлаждение изоляции от +15 до –5°С:

350х0,2х62х31х (15+5) = 2700000 ккал.

При удельном усредненном притоке тепла из воздуха 30 ккал/$м^2$ час и времени намораживания 24 час. суммарный расход холода составит:

(30х1922х24) + 3160000 + 192000 + 610000 + 5450000 + + 2700000 = 13492000 ккал.

При оттаивании ледяного поля тепло расходуется:

– на нагрев бетонного основания поля от – 14 до+15°С: (1922–22)х0,13 х 2200 х 0,2 х (15 + 14) =3 160 000ккал;

- на подогрев металла труб и опор от - 14 до +15°С:

1922х30х0,115х(15+14) = 192000 ккал;

- на подогрев рассола от - 14 до +15°С:

25х0,68х1230х(14+15) = 605000 ккал;

- на плавление льда при его толщине 50 мм:

1830х0,05х900х80 = 6550000 ккал;

- на подогрев изоляции от - 5 до + 10°С:

350х0,2х62х31х(10+5) = 2020000 ккал.

Общий расход тепла составит:

3.160000 + 192000 + 605000 + 6550000 + 2020000 =

= 12527000 ккал.

При продолжительности оттаивания 10 час. расход тепла на подогрев рассола в теплообменниках составит:

$$\frac{12527000}{10} = 1\,252\,700 \text{ ккал/час.}$$

Количество циркулирующего теплоносителя:

$$G = \frac{Q}{c\,\gamma \cdot \Delta t_0} = \frac{500\,000}{2{,}5 \times 0{,}678 \times 1{,}230} = 238 \text{ м}^3\text{/час.}$$

Количество труб в охлаждающей плите:

$$\frac{62000}{100} = 620 \text{ шт.}$$

Общая длина труб Ø 32х2,5 :

620х31 = 19200 п.м.

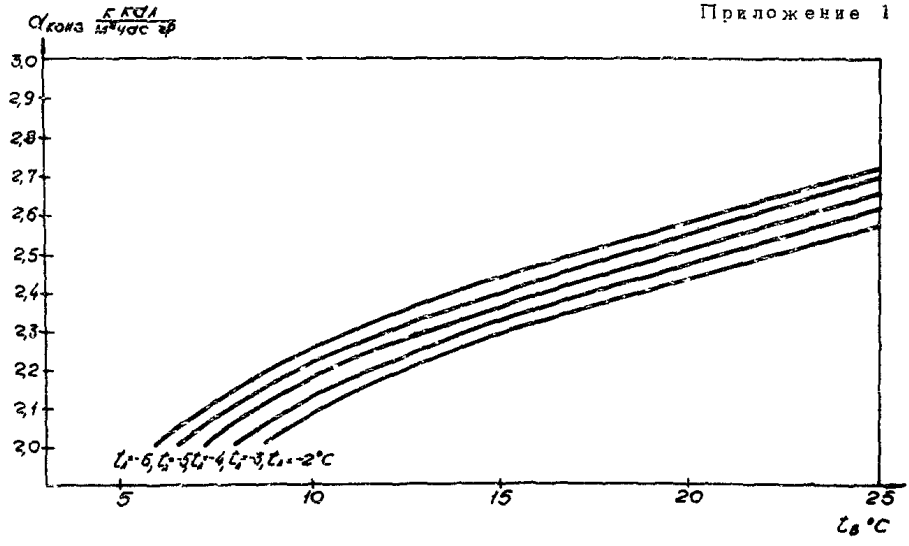
Количество теплоносителя, проходящего по каждой трубе:

$$\frac{238\,000}{310} = 767 \text{ л/час.}$$

При расходе теплоносителя 767 л/час. скорость движения теплоносителя в трубах поля 0,4 м/сек.

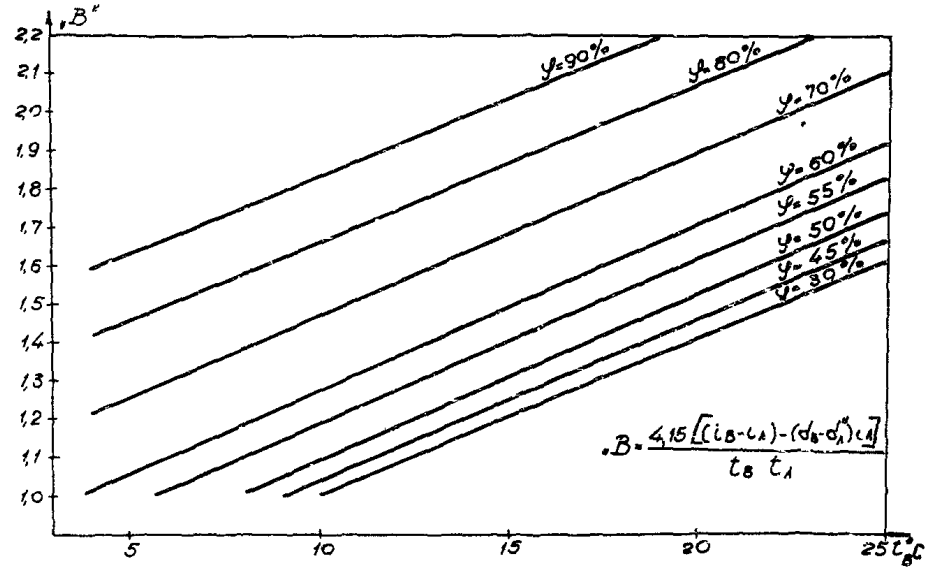
В результате теплотехнических расчетов получены исходные данные для разработки строительной конструкции ледяного поля и проектирования холодильной станции, вспомогательного оборудования, трубопроводов и т.д.

Приложение 1



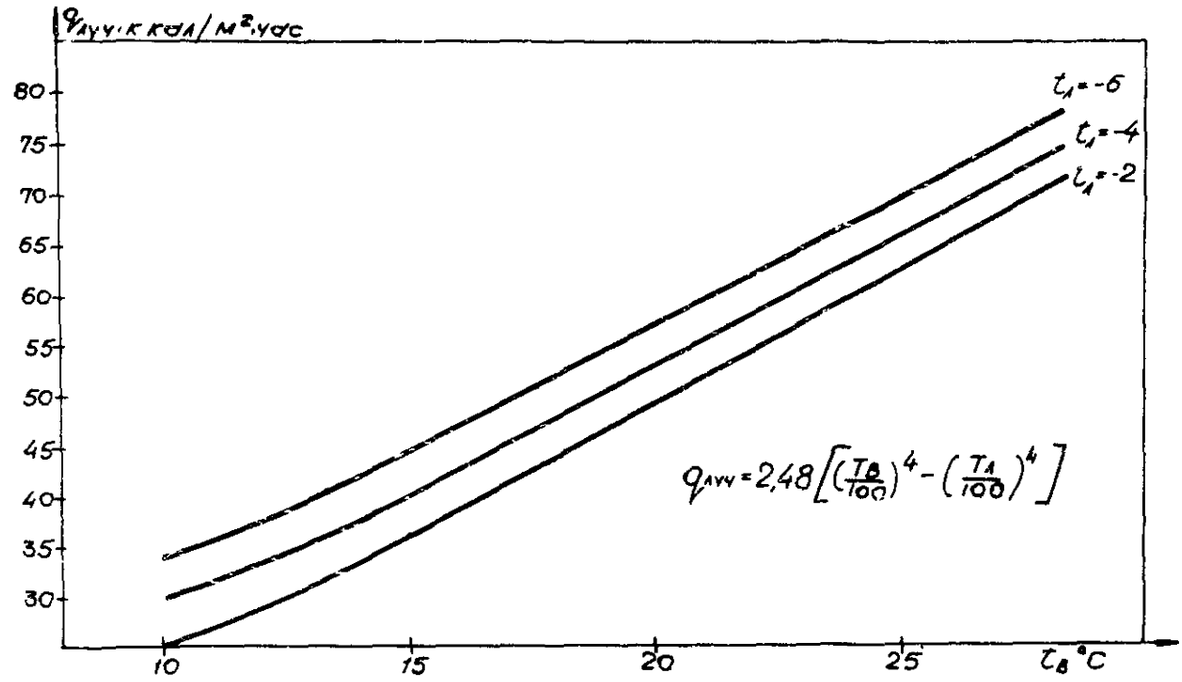
Значения $\alpha_{конв}$

Приложение 2



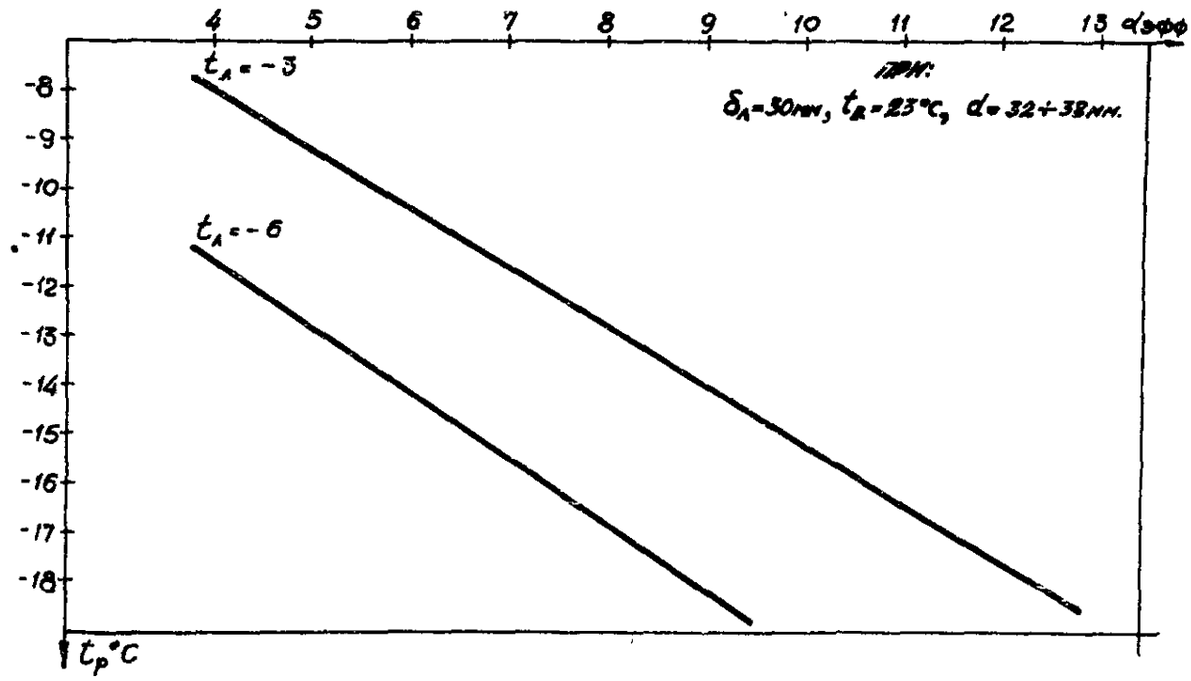
Значения коэффициента "В"

Приложение 3



Значения $q_{луч}$

Приложение 4



Значения t_p

Значения относительной температуры θ (x, o)
для труб равной температуры наружным диаметром 25 мм

a, м	χ, м	$\delta_л$, м	α эфф, ккал/м^2·час·^{o}С					
			4	6	8	10	12	14
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,09	0	0,02	0,8596	0,8034	0,7542	0,7107	0,6720	0,6374
		0,03	0,8439	0,8008	0,7303	0,6844	0,6439	0,6079
		0,04	0,8290	0,7638	0,7082	0,6601	0,6182	0,5814
		0,05	0,8146	0,7456	0,6875	0,6377	0,5947	0,5571
		0,06	0,8008	0,7285	0,6681	0,6169	0,5731	0,5351
	0,045	0,02	0,8577	0,8008	0,7509	0,7069	0,6677	0,6326
		0,03	0,8429	0,7815	0,7285	0,6822	0,6414	0,6052
		0,04	0,8283	0,7629	0,70715	0,6588	0,6184	0,5798
		0,05	0,8142	0,7451	0,6869	0,6371	0,594C	0,5563
		0,06	0,8006	0,7282	0,6677	0,6152	0,5726	0,5346

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0	0,02	0,8558	0,7985	0,7485	0,7044	0,6653	0,6304
		0,03	0,8401	0,7781	0,7247	0,6782	0,6374	0,6012
		0,04	0,8252	0,7590	0,7027	0,6543	0,6120	0,5750
		0,05	0,8109	0,7410	0,6822	0,6321	0,5839	0,5512
		0,06	0,7972	0,7239	0,6629	0,6115	0,5675	0,5294
	0,05	0,02	0,8529	0,7945	0,7435	0,6985	0,6588	0,6231
		0,03	0,8383	0,7757	0,7216	0,6747	0,6334	0,5968
		0,04	0,8241	0,7575	0,7009	0,6521	0,6094	0,5723
		0,05	0,8102	0,7401	0,6811	0,6308	0,5875	0,5495
		0,06	0,7967	0,7234	0,6623	0,6107	0,5666	0,5285
0,11	0	0,02	0,8519	0,7935	0,7426	0,6982	0,6586	0,6236
		0,03	0,8362	0,7731	0,7190	0,6721	0,6309	0,5945
		0,04	0,8213	0,7541	0,6971	0,6483	0,6059	0,5686
		0,05	0,8071	0,7362	0,6767	0,6293	0,5829	0,5452
		0,06	0,7934	0,7162	0,6576	0,6060	0,5619	0,5237
	0,055	0,02	0,8478	0,7877	0,7355	0,6897	0,6498	0,6131
		0,03	0,8335	0,7694	0,7144	0,6668	0,6250	0,5881
		0,04	0,8196	0,7517	0,6942	0,6449	0,6021	0,5645
		0,05	0,8060	0,7347	0,6749	0,6242	0,5805	0,5425
		0,06	0,7926	0,7183	0,6565	0,6047	0,5604	0,5221

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,12	0	0,02	0,8480	0,7884	0,7369	0,6919	0,6521	0,6168
		0,03	0,8322	0,7680	0,7133	0,6658	0,6245	0,5880
		0,04	0,8173	0,74908	0,6915	0,6423	0,5996	0,5623
		0,05	0,8031	0,7312	0,6713	0,6206	0,5770	0,5391
		0,06	0,7895	0,7144	0,6524	0,6004	0,5561	0,5179
	0,06	0,02	0,8423	0,78054	0,7271	0,6804	0,6392	0,6025
		0,03	0,8284	0,7628	0,7067	0,6583	0,6160	0,5787
		0,04	0,8147	0,7456	0,6873	0,6373	0,5940	0,5562
		0,05	0,8014	0,7290	0,6684	0,6173	0,5733	0,5351
		0,06	0,7883	0,7129	0,6506	0,5983	0,5538	0,5153

Значения относительной температуры $\theta(x, 0)$
для труб равной температуры наружным диаметром 32 мм

a, м	x, м	$\delta_л$, м	$\alpha_{эфф}$, ккал/м^2·час·°С					
			4	6	8	10	12	14
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,08	0	0,02	0,8651	0,8106	0,7626	0,7199	0,6820	0,6477
		0,03	0,8494	0,7900	0,7385	0,6933	0,6533	0,6176
		0,04	0,8343	0,7707	0,7160	0,6686	0,6272	0,5904
		0,05	0,8199	0,7523	0,6950	0,6458	0,6031	0,5658
		0,06	0,8059	0,7348	0,6751	0,6245	0,5809	0,5429
	0,04	0,02	0,8641	0,8092	0,7608	0,7178	0,6796	0,6451
		0,03	0,8488	0,7893	0,7375	0,6922	0,6519	0,6162
		0,04	0,8340	0,7702	0,7155	0,6680	0,6265	0,5898
		0,05	0,8197	0,7520	0,6946	0,6455	0,6027	0,5652
		0,06	0,8058	0,7346	0,6749	0,6243	0,5807	0,5427
0,09	0	0,02	0,8619	0,8065	0,7577	0,7146	0,6762	0,6417
		0,03	0,8462	0,7860	0,7337	0,6880	0,6479	0,6119
		0,04	0,8312	0,7667	0,7114	0,6636	0,6219	0,5850
		0,05	0,8168	0,7483	0,6905	0,6410	0,5981	0,5607
		0,06	0,8029	0,7310	0,6708	0,6199	0,5702	0,5382

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,09	0,045	0,02	0,8602	0,8040	0,7546	0,7110	0,6721	0,6372
		0,03	0,8452	0,7845	0,7319	0,6860	0,6454	0,6094
		0,04	0,8306	0,7658	0,7104	0,6624	0,6206	0,5836
		0,05	0,8164	0,7478	0,6899	0,6403	0,5974	0,5598
		0,06	0,8027	0,7307	0,6705	0,6196	0,5758	0,5378
0,1	0	0,02	0,8586	0,8022	0,7528	0,7092	0,6705	0,6359
		0,03	0,8429	0,7817	0,7289	0,6828	0,6422	0,6062
		0,04	0,8279	0,7626	0,7067	0,6586	0,6166	0,5796
		0,05	0,8135	0,7443	0,6860	0,6361	0,5932	0,5555
		0,06	0,7998	0,7271	0,6666	0,6152	0,5715	0,5334
	0,05	0,02	0,8560	0,7985	0,7482	0,7038	0,6643	0,6290
		0,03	0,8412	0,7794	0,7261	0,6795	0,6384	0,6021
		0,04	0,8269	0,7611	0,7050	0,6565	0,6143	0,5771
		0,05	0,8129	0,7434	0,6849	0,6349	0,5918	0,5540
		0,06	0,7994	0,7266	0,6659	0,6146	0,5706	0,5325
0,11	0	0,02	0,8552	0,7979	0,7478	0,7039	0,6648	0,6299
		0,03	0,8395	0,7774	0,7239	0,6775	0,6366	0,6005
		0,04	0,8246	0,7583	0,7018	0,6534	0,6112	0,5742
		0,05	0,8102	0,7402	0,6812	0,6311	0,5879	0,5501
		0,06	0,7965	0,7231	0,6619	0,6105	0,5665	0,5284

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,11	0,055	0,02	0,8515	0,7925	0,7412	0,6959	0,6558	0,6200
		0,03	0,8371	0,7739	0,7197	0,6725	0,6309	0,5943
		0,04	0,8230	0,7560	0,6991	0,6502	0,6076	0,5703
		0,05	0,8092	0,7387	0,6795	0,6291	0,5856	0,5477
		0,06	0,7958	0,7221	0,6609	0,6092	0,5650	0,5268
0,12	0	0,02	0,8520	0,7937	0,7429	0,6985	0,6591	0,6241
		0,03	0,8361	0,7731	0,7190	0,6721	0,6310	0,5948
		0,04	0,8211	0,7539	0,6970	0,6482	0,6058	0,5686
		0,05	0,8068	0,7359	0,6766	0,6261	0,5827	0,5449
		0,06	0,7931	0,7189	0,6575	0,6057	0,5616	0,5234
	0,06	0,02	0,8467	0,7862	0,7338	0,6877	0,6469	0,6106
		0,03	0,8326	0,7662	0,7130	0,6650	0,6231	0,5860
		0,04	0,8188	0,7507	0,6930	0,6436	0,6005	0,5629
		0,05	0,8052	0,7338	0,6738	0,6231	0,5793	0,5411
		0,06	0,7920	0,7174	0,6557	0,6037	0,5593	0,5209

Продолжение

Значения относительной температуры $\vartheta\ (x, \ell)$
для труб равной температуры наружным диаметром 38 мм

ℓ, м	x, м	$\delta_л$, м	α эфф, ккал/м^2·час·°С					
			4	6	8	10	12	14
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,08	0	0,02	0,8660	0,8117	0,7639	0,7215	0,6835	0,6494
		0,03	0,8502	0,7912	0,7397	0,6947	0,6548	0,6192
		0,04	0,8352	0,7717	0,7172	0,6710	0,6285	0,5918
		0,05	0,8207	0,7533	0,6961	0,6469	0,6044	0,5670
		0,06	0,8067	0,7357	0,6762	0,6257	0,5821	0,5442
	0,04	0,02	0,8650	0,8103	0,7622	0,7194	0,6811	0,6463
		0,03	0,8496	0,7904	0,7388	0,6936	0,6535	0,6178
		0,04	0,8349	0,7712	0,7167	0,6693	0,6278	0,5910
		0,05	0,8205	0,7530	0,6958	0,6467	0,6040	0,5666
		0,06	0,8066	0,7356	0,6760	0,6255	0,5819	0,5440

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0,02	0,8631	0,8080	0,7596	0,7167	0,6784	0,6441
		0,03	0,8473	0,7875	0,7355	0,6900	0,6499	0,6141
	0	0,04	0,8323	0,7681	0,7131	0,6654	0,6238	0,5870
		0,05	0,8178	0,7497	0,6921	0,6427	0,5998	0,5624
		0,06	0,8040	0,7323	0,6724	0,6215	0,5779	0,5399
0,09		0,02	0,8614	0,8056	0,7566	0,7132	0,6745	0,6397
		0,03	0,8464	0,7862	0,7338	0,6879	0,6476	0,6116
	0,045	0,04	0,8317	0,7673	0,7121	0,6643	0,6225	0,5856
		0,05	0,8175	0,7493	0,6915	0,6420	0,5991	0,5616
		0,06	0,8038	0,7320	0,6721	0,6212	0,5775	0,5395
		0,02	0,8602	0,8043	0,7552	0,7119	0,6733	0,6388
		0,03	0,8444	0,7837	0,7311	0,6852	0,6449	0,6089
	0	0,04	0,8284	0,7644	0,7088	0,6608	0,6190	0,5822
		0,05	0,8149	0,7461	0,6879	0,6383	0,5954	0,5578
		0,06	0,8011	0,7288	0,6685	0,6174	0,5735	0,5355
0,1		0,02	0,8577	0,8007	0,7507	0,7066	0,6673	0,6321
		0,03	0,8428	0,7815	0,7284	0,6820	0,6412	0,6048
	0,05	0,04	0,8284	0,7630	0,7071	0,6589	0,6168	0,5797
		0,05	0,8144	0,7453	0,6869	0,6371	0,5904	0,5563
		0,06	0,8008	0,7283	0,6678	0,6167	0,5727	0,5346

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0,02	0,8572	0,8004	0,7508	0,7070	0,6682	0,6335
		0,03	0,8414	0,7798	0,7267	0,6805	0,6398	0,6038
	0	0,04	0,8264	0,7606	0,7045	0,6562	0,6142	0,5772
		0,05	0,8120	0,7423	0,6878	0,6338	0,5907	0,5530
		0,06	0,7982	0,7252	0,6643	0,6131	0,5691	0,5311
0,11		0,02	0,8535	0,7952	0,7442	0,6994	0,6596	0,6239
		0,03	0,8390	0,7765	0,7226	0,6757	0,6346	0,5978
	0,055	0,04	0,8249	0,7585	0,7018	0,6531	0,6107	0,5734
		0,05	0,8110	0,7410	0,6820	0,6319	0,5885	0,5507
		0,06	0,7975	0,7243	0,6633	0,6118	0,5678	0,5295
		0,02	0,8543	0,7965	0,7464	0,7023	0,6632	0,6283
		0,03	0,8384	0,7760	0,7223	0,6757	0,6348	0,5987
	0	0,04	0,8233	0,7566	0,7001	0,6515	0,6093	0,5722
		0,05	0,8089	0,7386	0,6795	0,6292	0,5860	0,5483
		0,06	0,7951	0,7214	0,6602	0,6087	0,5646	0,5266
0,12		0,02	0,8492	0,7895	0,7375	0,6918	0,6514	0,6152
		0,03	0,8350	0,7712	0,7164	0,6688	0,6271	0,5902
	0,06	0,04	0,8210	0,7535	0,6962	0,6470	0,6042	0,5667
		0,05	0,8074	0,7365	0,6769	0,6263	0,5827	0,5447
		0,06	0,7941	0,7200	0,6586	0,6067	0,5624	0,5242

Значения относительной температуры θ_2 (x, 0) для труб наружным диаметром 32 мм разной температуры ($\delta_{без}$ = 30 мм), полученные методом ЭТА

d, мм	$\alpha_{эфф}$, ккал/м^2·час·^{o}C	$\delta_{л.}$, мм	Расстояние от оси, мм			
			0	45	55	100
100	8,00	30	0,3056	0,3680	0,3896	0,4524
		20	0,2732	0,3495	0,3755	0,4539
		30	0,2823	0,3441	0,3660	0,4283
	9,00	40	0,2870	0,3352	0,3520	0,4005
		50	0,2899	0,3276	0,3420	0,3796
		60	0,2910	0,3194	0,3313	0,3597
	12,00	30	0,2522	0,3138	0,3354	0,3987
	14,00	30	0,2353	0,2961	0,3178	0,3815

Продолжение

Значения относительной температуры ϑ_2 (X,0) для труб наружным диаметром 38 мм разной температуры ($\delta_{бет}$ = 30), полученные методом ЭТА

α, мм	$\alpha_{эфф}$, ккал/м^2 час	$\delta_{л.}$, мм	Расстояние от оси, мм				
			0	45	55	75	95
100	4,50	20	0,3449	0,3297	–	0,4400	0,4563
	7,00	20	0,3072	0,3629	–	0,4080	0,4130
	9,00	20	0,2830	0,3390	–	0,3778	0,3910
	14,00	20	0,2385	0,2931	–	0,3326	0,3460
	16,00	20	0,2300	0,2802	–	0,3139	0,3326
80	7,00	20	0,3362	0,3916	0,4067	0,4292	–
	9,00	20	0,3079	0,3784	0,4018	0,4299	–
		30	0,3128	0,3680	0,3846	0,4054	–
		40	0,3140	0,3535	0,3661	0,3812	–
		50	0,3123	0,3425	0,3517	0,3645	–
		60	0,3085	0,3296	0,3375	0,3470	–
	12,00	20	0,2834	0,3389	0,3553	0,3707	–
	14,00	20	0,2666	0,3215	0,3379	0,3589	–

Значения относительной температуры ϑ_2 (X, 0) для труб наружным диаметром 45 мм разной температуры ($\delta_{бет}$ = 30 мм), полученные методом ЭТА

d, мм	λ, ккал/м^2·час·°С	$\delta_{л}$, мм	Расстояние от оси, мм				
			0	45	55	100	120
100	7,00	30	0,3095	0,3743	0,3963	0,4563	–
		20	0,2761	0,3564	0,3842	0,4669	–
		30	0,2835	0,3500	0,3706	0,4303	–
	9,00	40	0,2846	0,3358	0,3534	0,4005	–
		50	0,2888	0,3287	0,3423	0,3812	–
		60	0,2883	0,3197	0,3300	0,3607	–
	12,00	30	0,2513	0,3159	0,8380	0,3982	–
	14,00	30	0,2327	0,2972	0,3194	0,3788	–

Приложение 7

Пояснительная записка

Основным критерием оценки ледяного поля искусственного катка принято качество льда, которое определяется температурой поверхности и равномерностью ее по всей площади.

Величина температурной неравномерности искусственного катка не однозначна. Например: вдоль охлаждающих труб она не должна превышать 0,5°С, а в поперечном направлении – 0,25°С.

Температурная неравномерность поверхности льда зависит от многих факторов, в том числе от параметров искусственного катка:

– шаг труб (a_1) – расстояние между осями рядом лежащих труб, обусловливает температурную неравномерность ледяного поля в поперечном направлении (относительно направления укладки труб). Кроме того, от шага труб зависит скорость движения теплоносителя в трубах, емкость системы по теплоносителю и общий расход труб;

– диаметр охлаждающих труб (d_1) в меньшей степени, чем шаг труб, оказывает влияние на температурную неравномерность ледяного поля в поперечном направлении. От диаметра труб зависит скорость движения теплоносителя, сопротивление трубной системы, ее емкость, а также стоимость трубной конструкции;

– толщина слоя бетона над трубами ($b_{бет.}$) в большой степени определяет температурную неравномерность ледяного поля как вдоль труб, так и в поперечном направлении. Толщина слоя бетона также в значительной мере влияет на температуру теплоносителя;

– толщина слоя льда оказывает на температурную неравномерность и температуру теплоносителя влияние, аналогичное толщине слоя бетона;

- разность температур теплоносителя на входе в трубные конструкции поля и выходе из них (Δt_p) обусловливает количество циркулирующего теплоносителя и, следовательно, расход электроэнергии на его транспортировку, скорость движения теплоносителя в охлаждающих трубах и температурную неравномерность ледяного поля;

- трубная система охлаждающей плиты определяет разность температур теплоносителя в поле, или, иными словами, - каждой конструктивной схеме укладки труб должна соответствовать определенная разность температур теплоносителя в поле, при которой обеспечивается допускаемое значение температурной неравномерности ледяного поля;

- температура теплоносителя зависит как от постоянных для данного катка факторов - например, термического сопротивления слоев, лежащих над охлаждающими трубами, так и переменных - толщины, температуры льда и тепловых нагрузок, меняющихся во время эксплуатации. Температура теплоносителя влияет на производительность холодильной машины и на расход электроэнергии, необходимой для поддержания льда.

В табл. 1 приведены значения некоторых параметров ледяных полей искусственных катков из зарубежных публикаций.

Из нее видно, что в охлаждающих плитах применяются трубы диаметром 21 ÷ 60 мм, шаг труб - 51 ÷ 152мм, а разность температур теплоносителя в поле - 0,97 ÷ 2,5°С.

Количество рекомендуемых трубных конструкций ограничено. Описываются в основном прямоточная и петлеобразная противоточная схемы, причем, они рассматриваются без взаимосвязи с другими параметрами катка, т.е. без учета их влияния на качество льда.

В некоторых работах [18, 23, 28] приводятся значения удельных теплопритоков к ледяному полю и тем-

Таблица 1

№ пп	Литературный источник	Наружный диаметр охлаждающих труб, мм	Шаг труб, мм	$\Delta t_г$, °С
1.	28	26 - 38	70 - 100	-
2.	29	-	70 - 110	-
3.	16,17	25 - 32	75 - 125	1,6
4.	27	25 - 32	75 - 100	2,0
5.	24,25	19 - 32 (внутренний диаметр)	115	0,97
6.	18	26 - 38	70 - 100	
7.	22,23	25 - 32	70 - 100	1,5 - 2°
8.	30	21 - 32	51 - 152	-
9.	11	60	100	1,0

пературы теплоносителя, однако рекомендуемые удельные теплопритоки (около 100 ккал/м^2·час) и температура теплоносителя (-10°С) без конкретных данных о катке и конструкции охлаждающей плиты не могут быть оценены правильно.

Между тем рекомендации, касающиеся технологии намораживания льда и ухода за его поверхностью, а также указания по бетонированию охлаждающей плиты, выбору цемента и размеров добавок, устройству подвижных слоев, заслуживают внимания.

В работах [15, 23, 28] рекомендуется толщина слоя бетона над трубами 20 мм, что на наш взгляд, не может обеспечить хорошего качества поверхности льда.

Опубликованы и такие теоретические работы, в которых на основе исследований панельного отопления сделаны попытки определить аналитические зависимости, необходимые для расчета искусственных катков. Но в полученных зависимостях либо не учитывается влияние диаметра охлаждающих труб, либо значения параметров катка рекомендуется выбирать в зависимости от величины температурной неравномерности льда, а закон изменения этой неравномерности освещен недостаточно полно [19, 20] .

В указанных, а также и других работах [19, 20, 23, 25, 26, 27] предполагается, что источники холода, т.е. рядом лежащие (в охлаждающей плите) трубы, имеют одинаковую температуру. Такое предположение справедливо лишь для прямоточной схемы с промежуточным теплоносителем и для катков с непосредственным испарением холодильного агента в трубах.

Однако прямоточные схемы в настоящее время применяются редко, а непосредственное испарение в СССР не применяется вовсе. В наиболее распространенных схемах укладки труб, рядом расположенные трубы имеют разные температуры и решение такой задачи весьма сложно.

В конструкции искусственного катка не менее ответственным элементом, чем охлаждающая плита, является его основание. От правильно выполненного основания зависит долговременная безаварийная и экономичная работа катка.

Основаниям холодильных сооружений посвящено достаточно много работ. В этих работах авторы, рассматривая, в частности, основания искусственных катков, отмечают:

- искусственные катки разделяются по функциональному признаку на демонстрационные - с частыми чередованиями циклов замораживания и оттаивания, и тренировочные - с длительными циклами поддержания льда;

- применение в основании искусственных катков теплоизоляционных слоев должно производиться соответственно назначению катка, например, основание демонстрационного катка необходимо тщательно изолировать (см.работы [16, 17, 25]).Здесь же приводятся данные о теплопритоках из грунта к изолированной и неизолированной охлаждающей плите катка, которые составляют соответственно 5,2 и 7,2 ккал/м^2·час, в связи с чем делается вывод, что задача теплоизоляции не в уменьшении теплопритоков к охлаждающей плите, а в предотвращении промерзания грунта под катком [16] .

Наряду с этим в работе [18] указывается, что применение изоляции охлаждающей плиты демонстрационного катка может оказаться экономически невыгодным; по мнению автора, в отдельных случаях целесообразно устройство основания из морозоустойчивых материалов.

В работе [20] отмечается, что применение изоляции охлаждающей плиты демонстрационного катка, поскольку для него характерно частое чередование охлаждения и оттаивания, необходимо, а тренировочного не всегда целесообразно, так как влага в этом случае проникает в изоляцию и последняя в значительной мере теряет свои свойства. При этом и защитные гидроизоляционные слои не могут исключить возможность увлажнения теплоизоляции, поскольку сдвиги охлаждающей плиты, вызванные изменениями температур, приводят к разрушению защитных слоев.

Критически оценивая высказывания авторов, можно заключить, что проектирование основания искусственного катка должно вестись с учетом:

- функционального назначения катка;
- состояния и состава грунта под основанием;
- технико-экономической целесообразности использования в качестве теплоизоляции морозоустойчивых материалов.

В отечественной литературе искусственные катки освещены мало, а опубликованные материалы имеют ин-

формационный характер. В этой связи следует подчеркнуть особое значение, которое приобрела исследовательская работа, выполненная бывшим аспирантом ЛТИХП Э.Л.Лихтенштейном под руководством д-ра техн. наук профессора Е.С.Курылева [7]. Данные этих исследований использованы в настоящей работе.

ЛенЗНИИЭП, с целью изучения различных проектных решений и обобщения опыта эксплуатации спортивных сооружений, эксплуатирующих искусственный лед, проанализировал полученные по запросам характеристики большинства действующих в СССР искусственных катков (табл. 2). В результате анализа можно отметить следующее:

- охлаждающие трубы ледяных полей по наружному диаметру на различных катках имеют незначительное отличие; преимущественно применяются трубы диаметром 45 мм;

- шаг труб на всех катках равен 100 мм;

- разность температур теплоносителя в поле изменяется от 1° до 3°С, и во многих случаях не соответствует принятой схеме укладки труб, что приводит к увеличению температурной неравномерности и, следовательно, к ухудшению качества льда, либо к перерасходу электрической энергии на перекачку теплоносителя при неоправданно малых значениях $\Delta t_{р}$;

- на построенных катках в основном применяется петлеобразная схема укладки труб с противоточным движением теплоносителя, однако включение прямых и обратных плетей при этом выполнено попарно, что несомненно ухудшает качество льда. На катке Киевского дворца спорта, например, где применена прямоточная схема и $\Delta t_{р} = 3^{\circ}$С, температурная неравномерность достигает недопустимой величины - 2°С;

- большинство катков в летний период не функционирует в течении 2-3месяцев, и это необходимо учитывать при проектировании катка и систем кондиционирования воздуха.

№ п/п	Наименование сооружения и время сдачи его в эксплуатацию	Кол-во зрит. мест в зале для режима хоккея, чел.	Размер ледяного поля, м	Продолжительность работы ледяного поля, дней в году				d и d, мм
				хоккей	фигурное катание	балет на льду	тренировки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Дворец спорта на стадионе имени В.И.Ленина - Москва, 1957г. Реконструирован в 1966г.	14000	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле	-	61x30	80	35	24	-	45x3/100
	тренировочное поле	-	61x30	данных нет			320	45x3/100
	то же	-	30x20	данных нет				45x3/100
2.	Дворец спорта ЦСК-Москва, октябрь 1961г.	2750	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле	-	61x30	данных нет		20	240	45x3/100
	тренировочное поле	-	34x22	данных нет			240	данных
3.	Дворец спорта "Юбилейный" - Ленинград, ноябрь 1967 г.	5600	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле	-	61x30	51	25	84	120	38x3/100
	тренировочное поле	-	61x30	данных нет			320	38x3/100

Таблица 2

τ_{min} намораж., час	Холод. машины с компрессором		Q, станд. ккал/час	t_p на входе в трубы поля		max Δt_p, °C	Примечания
	марка	кол-во		max °C	min °C		
10	11	12	13	14	15	16	17
-	АУ-200 АУ-400	3 3	600000 1200000	-	-	-	Со 2 июля по 15 августа поле не функционирует. Холодоснабжение системы КВ - от арт. скважин
36	-	-	-	-15	-23	2,0	
-	-	-	-	данных нет			
-	-	-	-	данных нет			
-	4ФУ-19 ФУ-175/1	4 1	600000 190000	-	-	-	Июнь, июль, август поле не функционирует.
30	-	-	-	-10	-12	3,0	
нет	-	-		данных нет			
-	ФУУ-350/2 ФУ-175/1	2 2	760000 380000	-	-	-	Холодоснабжение системы КВ от аккумулятора холода, теплоноситель - вода
24	-	-	-	-10	-17	1,5	
-	-	-	-	данных нет			

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.	Киевский республиканский дворец спорта – Киев. декабрь 1960г.	7000	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[1]	–	61x30	35	17	47	100	45x2 / 100
	тренировочное поле[1]	–	18x30	данных нет			300	данных
5.	Рижский дворец спорта – Рига, апрель 1970г.	4500	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[2]	–	61x30	данных нет				38x9 / 138
	тренировочное поле[2]			проектируется				
6.	Дворец спорта – Минск, май 1966г.	4000	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[2]	–	61x30	90	15	30	90	Данных нет
	тренировочное поле[2]	–	61x30 открытое		данных нет			–
7.	Дворец спорта им. 50-летия Великого Октября – Алма-Ата, июль 1966г.	4500	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[2]		62x31	30	20	30	90	45x3 / 100
	тренировочное поле	нет	–	–	–	–	–	–

*С учетом нагрузок на систему КВ

Продолжение

10	11	12	13	14	15	16	17
-	АУ-300 4АУ-15	3 1	900000* 150000*	-	-	-	Июнь, июль, август поле не функционирует.
10÷12	-	-	-	-12	-15	3,0	Теплоноситель системы КВ - вода.
нет	-	-	-	данных нет			
-	ФУУ-350/2	3	1140000*	-	-	-	Теплоноситель системы КВ - рассол.
	ФУ-175/1	1	190000				
30	-	-		данных нет		2,0	
-	-	-	-	данных нет		-	
-	ХМ-ФУУ-80/1	7	525000	-	-	-	Май, июнь, июль. поле не функционирует.
40	-	-	-	-12	-15	1 + 2	
-	-	-	-	данных нет		-	
-	ФУ-175/1	6	1140000*	-	-	-	Май, июнь, июль поле не функционирует.
24	-	-	-	-7	-14	2,0	Теплоноситель системы КВ - вода.
-	-	-	-	-	-	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8.	Центральный зал дворца спорта "Юбилейный" - Ташкент, апрель 1970 г.	3800	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[2]	-	61x30	данных нет		35	-	38x15 / 100
	тренировочное поле[2]			проектируется				
9.	Дворец спорта - Казань, ноябрь 1966г.	4000	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[2]	-	61x30	40	240	15	240	45 / 100
	тренировочное поле	нет	-	-	-	-	-	-
10.	Дворец спорта "Арктика" - Норильск, февраль 1971г.	2878	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[2]	-	61x30	данных нет				45x3 / 100
	тренировочное поле[2]			проектируется				
11.	Дворец спорта - Томск, июнь 1970 г.	4000	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[2]	-	61x30	20	данных нет	20	данных нет	40 / 100
	тренировочное поле	нет	-	-	-	-	-	-

*С учетом нагрузок на систему КВ

Продолжение

10	11	12	13	14	15	16	17
-	ФУ-175/1	6	1140000	-	-	-	Теплоноситель системы КВ - рассол.
12	-	-	-	данных нет		1,5	
-	-	-	-	-	-	-	
-	ФУ-175/3	4	560000	-	-	-	Май, июнь, июль поле не функционирует.
16	-	-	-	-5	-13	3,0	
-	-	-	-	-	-	-	
-	ФУ-175	4	560000	-	-	-	
48	-	-	-	данных нет		2 ÷ 3	
-	-	-	-	-	-	-	
-	ФУ-175/1	4	760000	-	-	-	Июнь, июль, август поле не функционирует.
40	-	-	-	-8	-11	1,0	
-	-	-	-	-	-	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12.	Дворец спорта "Юность" - г.Запорожье, январь 1971г.	данных нет	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[2]	-	61x30	данных нет				45x3 / 100
13.	Дворец спорта - Куйбышев, ноябрь 1966 г.	данных нет	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[4]	-	61x31	40	80	20	80	38 / 100
	тренировочное поле	нет	-	-	-	-	-	-
14.	Дворец спорта "Алмаз" - Череповец, 1970г.	данных нет	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[2]	-	61x30	35	30	91	32	45x35 / 100
	тренировочное поле[2]	проектируется						
15.	Дворец спорта - г.Глазов, декабрь 1969г.	данных нет	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле[3]	-	61x30	данных нет				45x3 / 100
	тренировочное поле[3]	проектируется						

*С учетом нагрузок на систему КВ

Продолжение

10	11	12	13	14	15	16	17
–	ФУ-175	5	950000*	–	–	–	Теплоноситель системы КВ – рассол.
16	–	–	–	-8	-11	2,0	
–	ФУ-175/3	4	560000	–	–	–	
36-48	–	–	–	-10	-18		
–	–	–	–	–	–	–	
–	ФУ-175/1	4	760000	–	–	–	Май, июнь поле не функционирует.
27	–	–	–	-8	-12	2,0	
–	–	–	–	–	–	–	
–	ФУ-175	4	560000	–	–		
48	–	–	–	-6	-11	1,0	
–	–	–	–	–	–	–	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16.	Дворец спорта – г.Барнаул, декабрь 1966г.	4100	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[4]	–	60x30	46	15	18	104	43x3 / 100
	тренировочное поле	нет	–	–	–	–	–	–
17.	Дворец спорта – Усть-Каменогорск, март 1969г.	6000	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[2]	–	60x30	данных нет			240	45x3,5 / 110
	тренировочное поле[2]	–	40x60	монтируется				
18.	Дворец спорта – Вильнюс (в эксплуатацию не введен)	данных нет	–	–		–	–	–
	демонстрационное поле[3]	–	61x30		данных нет			45x3 / 100
	тренировочное поле[3]							
19.	Дворец спорта "Юность" – Челябинск, ноябрь 1967г.	3060	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле	–	61x30		данных нет			45x3 / 100
	тренировочное поле	нет	–	–	–	–	–	–

*С учетом нагрузок на систему КВ.

Продолжение

10	11	12	13	14	15	16	17
–	ФУ-175/1	4	760000	–	–	–	
24	–	–	–	-9	-10	1,0	
–	–	–	–	–	–	–	
–	ФУ-175/1	6	1140000	–	–	–	Май, июнь, июль поле не функционирует.
	–	–	–	-11	-14	3,0	
–	–	–	–	–	–	–	
–	ФУ-80/1	6	450000*	–	–	–	
	ФУУ-350/1	2	760000*				Теплоноситель системы КВ – вода
	–	–	–	данных нет			
–	ХМ ФУУ 80/1	6	450000*	–	–	–	Май, июнь поле не функционирует
72	–	–	–	-12	-15	1,0	Теплоноситель системы КВ – вода
–	–	–	–	–	–	–	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20.	Дворец спорта – Саратов, ноябрь 1969г.	5000	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле	–	61x30	52	14	22	214	44x2,5 / 100
	тренировочное поле			проектируется				
21.	Дворец спорта им. 50-летия ВЛКСМ – Первоуральск, август 1968 г.	3000	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[1]	–	61x30	120	данных нет	10	280	45x45 / 100
	тренировочное поле	нет	–	–	–	–	–	–
22.	Дворец спорта ЯМЗ – Ярославль, октябрь, 1967 г.	5000	–	–	–	–	–	–
		–	60x30		данных нет			44,5x3 / 80
		нет	–	–	–	–	–	–
23.	Дворец спорта – Ростов на Дону, октябрь 1967 г.	3580	–	–	–	–	–	–
	демонстрационное поле[2]	–	61x30	данных нет	11	33	100	45x3 / 100
	тренировочное поле	нет	–	–	–	–	–	–

*С учетом нагрузок на систему КВ.

Продолжение

10	11	12	13	14	15	16	17
–	ФУ-175/1	5	950000*	–	–	–	Июнь, июль поле не функционирует.
12	–	–	–	данных нет		2,0	
–	–	–	–	–	–	–	
–	АУ-200	3	600000	–	–	–	Май, июнь и половину июля поле не функционирует
20	–	–	–	-8	-18	1,0	
–	–	–	–	–	–	–	
–	ФУ-175/4	5	700000	–	–	–	Июнь, июль поле не функционирует.
48	–	–	–	-8	-15	2,0	
–	–	–	–	–	–	–	
–	ФУ-175/3	4	560000	–	–	–	Июнь, июль поле не функционирует.
8	–	–	–	данных нет		0,5÷1,0	
–	–	–	–	–	–	–	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24.	Дворец спорта - Горький, ноябрь 1965г.	4500	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле	-	61x30	данных нет			300	45x3 / 100
	тренировочное поле	нет	-	-	-	-	-	-
25.	Дворец спорта "Химик" - Воскресенск, Московская обл., сентябрь 1966 г.	4500	-	-	-	-	-	-
	демонстрационное поле	-	60x31	50	данных нет	7	320	45x3
	тренировочное поле	нет	-	-	-	-	-	-

Схемы укладки труб в поле:

1 Прямоточная;

2 Противоточная с попарным расположением прямых и обратных плетей;

3 С промежуточным коллектором;

4 Петлеобразная противоточная.

Продолжение

10	11	12	13	14	15	16	17
–	ФУ-175	4	560000	–	–	–	Теплоноситель системы КВ – вода
35	–	–	–	-7	-15	2÷3	
–	–	–	–	–	–	–	
–	ФУ-175 175/1 ФУУ-80/1	1 7	190000 520000	–	–	–	Май, июнь поле не функционирует.
60	–	–	–			1,0	

ЛИТЕРАТУРА

1. Авторское свидетельство № 166477. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. Бюллетень. 1964, № 22.

Авторское свидетельство № 281488. Открытия, изобретения. промышленные образцы, товарные знаки. Бюллетень. 1970, № 29.

Авторское свидетельство № 335510. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. Бюллетень. 1972, № 13.

2. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М., Стройиздат, 1971.

3. Душин И.Ф. Современные системы обогрева грунта под холодильниками. М., ЦИНТИ Пищепром, 1965.

4. Каммерер Н.С. Теплоизоляция в промышленности и строительстве. М., Госстройиздат, 1965.

5. Курылов Е.С., Герасимов И.А. Холодильные установки. Л., "Машиностроение", 1970.

6. Колмаков А.А. Учет тепловыделений от приборов освещения при определении мощности систем кондиционирования воздуха универсальных зрелищно-спортивных залов. Вопросы отопления, теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Сб. трудов кафедры отопления, вентиляции и теплоснабжения ЛИСИ, №66. Л., 1971.

7. Лихтенштейн Э.Л. Исследование температурного поля искусственного катка. Автореферат диссертации. Л., ЛТИХП, 1970.

8. Лихтенштейн Э.Л. Моделирование двухмерного нестационарного температурного поля под холодильными сооружениями. - В кн.: Холодильная техника и технология. Вып.7. Киев, "Техника", 1967.

9. Лукьянов В.С., Головко М.Д. Расчет глубины промерзания грунтов. М., Трансжелдориздат, 1957.

10. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., Госэнергоиздат, 1967.

11. Ортнер Р. Спортивные сооружения. Проектирование и расчет. М., Госстройиздат, 1959.

12. Сегал Б.И., Семендяев К.А. Пятизначные математические таблицы. М., Физматиздат, 1962.

13. Хаскинд М.Д. Промерзание грунта под изолированной поверхностью. ДАН, 125, № 4. М., Изд. АН СССР, 1959.

14. Искусственные катки в странах Европы. Обзор. М., ЦНТИ Госгражданстроя, 1967.

15. de Beer E.E. Ecoulement du rreid dans le sol en dessous d'un entrepôt frigerifique. "Bulletin de l'Institut International du Freid", 1956, v.36, N 5.

16. Bengel L. Die Fundation von Kunsteisbahnen. "Kältetechnik", 1962, 14, N 1.

17. Bengel L. Einrichtung der Kunsteisbahnen. "Stahlbau", 1, 1966, X, 1956.

18. Deyle W. Der Bau von Kunsteisbahnen. "Kältetechnik", 1962, N 1, 16-25.

19. Emblik E. Le champ de température sous la dalle d'une patineire artificielle. "La Rêvue générale du freid", 1958, N5.

20. Emblik E. Der Wärmefluß vom Erdboden in gekühlte Räume. "Kältetechnik", 1959, N 3.

21. Greber H., Erk S., Grigull U. Studiumgrundlagen vom Wärmeaustausch. "Kältetechnik", N 5, 1958.

22. Ismaier und Prander. Die Kunsteisbahn im Waldstadion(der Stadt Frankfurt)."Kältetechnik", N 1, 1962.

23. Prander E. Kunsteisbahnen in den USA. "Die Kälte", Heft 9, 1966.

24. Stensel K.A. Plastic pipes- are they good for skating rinks ? "Refrigerating engineering", N1, 1956.

25. Stensel K.A. Skating rinks. "Guide and Data Book", N 1, 1962.

26. Solther M. Die Freiluftkunsteisbahn im Stadion Neuköln in Berlin. "Gesundheitsingenieur"? 1958, v.79.

27. Williams M.J. Design and Cost Data for ice rinks. "Air conditioning, heating and ventilating", 1959, N 10,v.56.

28. Kunsteisbahnen - Bau und Betrieb. "Deutsche Bauzeitungschrift", N 5, 1969.

29. Les Patineirres. Le Moniteur des Travaux publics et du Batiment", 1966, Juin, p.175-179.

30. Remijan J.G. Refrigeration in artificial ice rinks."Modern Refrigeration and Air Conditioning", 1968, March.

Содержание

	Стр.
Введение	3
Перечень основных обозначений	5
1. Общие положения	7
2. Расчет охлаждающей плиты искусственного катка	7
3. Расчет основания искусственного ледяного поля	16
4. Конструктивные решения искусственных катков	34
5. Пример теплотехнического расчета искусственного катка (для г.Таллина)	56
Приложения	62
Литература	95

Научный редактор - В.А.Коровкин

Редактор - В.Э.Громова

Оформление - Б.А.Зайончека

Ленинградский зональный научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий

Ленинград, Д-65, Наб. р.Мойки,45

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КАТКОВ

Подписано к печати 3/1-1973г. М-10006. Зак. №3
Формат 60х90/16. Уч-изд.л. 4,0. Тираж 400 экз.
Цена 1р 23к.

Отпечатано на ротапринте ЛенЗНИИЭПа

gost.e-ecolog.ru