



«ЛЕДОВАРЕНИЕ»: физика процесса и практика

Б. А. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук **Г. Ю. ГОНЧАРОВА**

ООО «ГП Холодильно-инженерный центр»

Х. ЛЕППЯНЕН

ООО «АББ-Элмек»

Серьезного обобщения теории и практики намораживания качественного ледового покрытия на спортивных аренах в России, к сожалению, не проводилось. Технология «ледоварения» хранится в строгом секрете службами эксплуатации спортивных сооружений.

Для сведения: человеко-день опытного «ледовара», приглашенного из Скандинавских стран некоторыми российскими клубами, обходится последним от 1000 до 5000 долл. США.

Процесс намораживания льда выполняется от трех дней до двух недель в зависимости от применяемой технологии.

Настоящая публикация открывает цикл статей, в котором их авторы постараются обобщить накопленный ими опыт проектирования и эксплуатации инженерных и технологических систем спортивных ледовых объектов.

Физика процесса

В последние годы заметно возраст интерес к **строительству разнообразных ледовых полей**: арен Дворцов спорта, хоккейных площадок, различных катков – от тренировочных, демонстрационных и вплоть до развлекательных в торговых центрах и крупных магазинах. Но, к сожалению, ключевым в этом словосочетании оказалось слово **строительство**, и именно этому, как правило, уделяется наибольшее внимание. Однако сам КАТОК или ЛЕДОВОЕ ПОЛЕ – это прежде всего огромный теплообменник, предназначенный для работы в принципиально различных условиях и режимах.

Первый режим – это первоначальный отвод теплоты от «технологического пирога» ледового поля и последующее его промораживание.

Второй, и наиболее напряженный, режим – это интенсивный отвод теплоты от последовательно набрызгиваемых слоев воды в процессе их постепенного намораживания. При этом плотность теплового потока дол-

жна, с одной стороны, обеспечивать охлаждение воды и фазовый переход «вода–лед», а с другой – компенсировать неизбежные теплопритоки из окружающего воздуха к поверхности воды. С точки зрения процесса теплообмена функционально необходимый «технологический пирог» представляет собой дополнительное термическое сопротивление.

После завершения намораживания льда требуемой толщины, его доводки и шлифовки весь «теплообменник» переходит в режим компенсации внешних теплопритоков, т.е. тепловая нагрузка существенно снижается и определяется исключительно суммарной величиной теплопритоков: из окружающего воздуха, от конденсационной составляющей, радиационных, из грунта, от осветительных приборов и т.д.

Теплотехнический расчет ледового поля как теплообменного аппарата сводится к следующему.

► На основе энергетического баланса с учетом времени, необходимого для намораживания

льда, определяют суммарную величину отводимого теплового потока (или же суммарную холодопроизводительность машин).

► Разрабатывают конструкцию трубной системы ледового поля, собственно и являющуюся внутренней поверхностью «теплообменника».

► Рассчитывают (в первом приближении) режимные характеристики течения хладоносителя в трубах: расход, скорость, распределение по различным участкам трубной системы с учетом гидравлического сопротивления отдельных контуров и коллекторов.

► На основе критериальных уравнений находят среднее значение коэффициента теплоотдачи от внутренней поверхности труб к хладоносителю. Этот коэффициент оказывается практически единственным параметром, в значительной мере влияющим на интенсивность теплоотвода, так как для закрытых катков условия теплоотдачи со стороны наружного воздуха, как правило, заданы, а перечень строительных материалов технологической плиты достаточно ограничен.

► Проводят поверочный расчет соответствия выбранных конструктивных и режимных параметров трубной системы суммарной холодопроизводительности машин. Этот расчет определяет минимальные значения скорости циркуляции хладоносителя и суммарной поверхности труб, а также взаиморасположение последних, позволяющие за требуемый отрезок времени отвести количество теплоты, необходимое для замораживания плиты и намораживания слоя льда.

Отметим, что неверный расчет приводит к тому, что часть суммарной холодопроизводительности машин не может быть использована из-за ограниченной теплопередающей способности трубной системы катка. В худшем случае кондиционный лед не будет наморожен даже при соблюдении регламентированных международными стандартами норм по удельной холодопроизводительности.

Рекомендуемый и используемый нами теплофизический расчет сводится к решению много-критериальной обратной задачи исследования операций по определению конструктивных и режимных параметров наиболее напряженного периода, когда толщина слоя льда приближается к конечному значению. В этот момент суммарное термическое сопротивление «пирога» из плиты и слоя льда достигает максимального значения.

В качестве целевой функции оптимизации в зависимости от требований заказчика могут быть выбраны следующие параметры:

- минимум материальных затрат на трубную систему катка (суммарная длина труб, как правило, составляет десятки километров);
- максимум энергетической эффективности процессов намораживания и поддержания ледовой поверхности;

• минимальная стоимость 1 м² ледового поля, включая несущую, теплогидроизоляционную и технологическую его части и т.д.

Несмотря на большой практический опыт, накопленный как зарубежными, так и отечественными фирмами, многие оптимизационные вопросы еще не решены. В частности, в настоящее время решаются такие задачи, как:

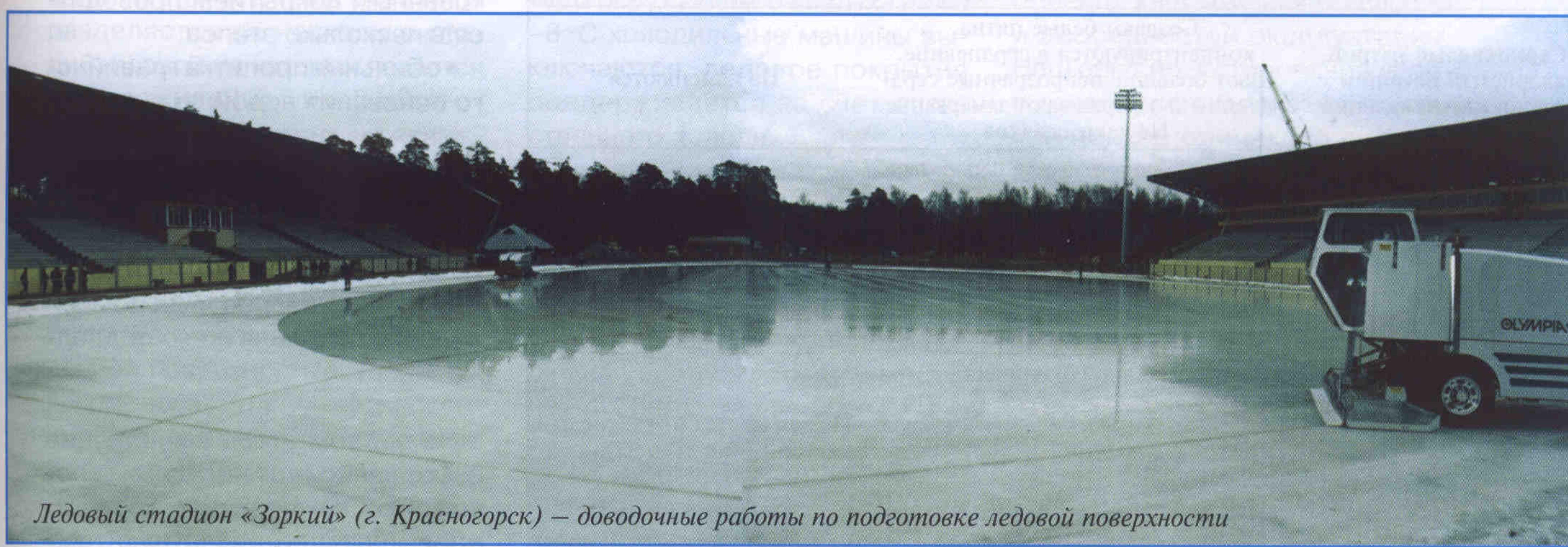
- расчет максимально возможного расстояния между осями труб в технологической плите, при котором экономия, обусловленная уменьшением суммарной длины труб, становится соизмеримой с увеличением энергетических потерь;
- определение диапазона скоростей хладоносителя, в котором достигается необходимая интенсивность теплоотдачи при минимально возможных энерго затратах на циркуляционную систему.

При этом, все-таки, основным критерием, подтверждающим правильность выбора структуры теплопередающей поверхности и оборудования, является высокое качество льда.

В беседах со многими известными фигуристами часто звучит мысль о том, что при прочих равных условиях лед бывает легким или тяжелым, мягким и пластичным или жестким и ломким. Некоторые также высказывают

мнение, что такое понятие, как СПОРТИВНЫЙ ЛЕД, ни один печатный орган, ни одна структура никогда не считали серьезной темой для исследования и обсуждения...

Тем не менее дело не только в сугубо эмоциональной и субъективной оценке: при одних и тех же температурах качество льда различается по весьма конкретным и технически определенным параметрам. Наиболее важные свойства спортивного льда – это деформативная прочность, прозрачность, отсутствие грязных осадков, неоднородных включений и т. д. Факторы, определяющие перечисленные показатели, условно могут быть разделены на две группы: химические и режимные. Под режимными факторами понимается не только скорость намораживания льда, но и дисперсность распыления частиц воды и толщина наносимого слоя. Скорость намораживания во многом обуславливает и наличие пузырьков воздуха в «теле» льда (так, при скорости намораживания 0,5 мм/мин 1 см³ льда содержит примерно 6 пузырьков воздуха, а при скорости 5 мм/мин число их достигает 300). Наличие воздуха, в свою очередь, делает лед не только матовым и непрозрачным, но и негативно оказывается на долговременной прочности льда, способствует его упругой и пластической деформации.



Ледовый стадион «Зоркий» (г. Красногорск) – доводочные работы по подготовке ледовой поверхности

ции, а также снижает способность к режеяции, т.е. к повторному замерзанию после плавления в результате кратковременного воздействия силы с периодом менее 1 с, каковой является воздействие скользящего конька.

Особое внимание должно быть уделено специальной обработке воды в целях удаления различных веществ и механических примесей, влияние которых характеризует таблица, построенная по данным Эренфельда и Джибса, полученным применительно к производству ледяных блоков.

Из сказанного выше ясно, что специализированная фирма, проектирующая раздел «Холодоснабжение ледового поля», должна в полной мере располагать данными по современным методам очистки воды и комплексной водоподготовке применительно к различным регионам России.

Практика

Практика

Из тайн «ледоварения»: технология заливки ледового покрытия на примере стадионов для игры в хоккей с мячом

Сегодня в России действует шесть открытых искусственных ледовых стадионов для игры в хоккей с мячом. Четыре из них (в Архангельске, Сыктывкаре, Красноярске и Кемерове) спроектированы и построены финскими и шведскими фирмами, два (в Казани и подмосковном Красногорске) – отечественными фирмами. На всех этих катках возникают технологические проблемы при подготовке и поддержании качественного льда, обусловленные необходимостью, во-первых, удалять воздух из засыпной конструкции ледового поля в процессе намораживания льда и, во-вторых, исключать (или сводить к минимуму) количество трещин на ледовой поверхности.

Эксплуатация открытых спор-

Примеси, содержащиеся в воде	Влияние на качество льда	Результат обработки воды
Углекислый кальций	Образует грязный осадок обычно в нижней части и центре блока. Вызывает растрескивание при низких температурах	Практически удаляется
Углекислый магний	Образует грязный осадок и пузырьки. Вызывает растрескивание при низких температурах	То же
Оксиды железа	Дают желтые или коричневые осадки и окрашивает кальциевый и магниевый осадки	Удаляются
Оксиды алюминия и кремний	Дают грязный осадок	Практически удаляется
Взвешенные вещества	То же	Устраняются
Сернокислый натрий, хлористый натрий и сернокислый кальций	Создают белые пятна, концентрируются в сердцевине. Дают большие непрозрачные сердцевины и задерживают замерзание. Не дают осадков	Не изменяются
Хлористый кальций и сернокислый магний	Дают зеленоватый или сероватый налет; концентрируются в сердцевине; задерживают замерзание и дают большие непрозрачные сердцевины	Превращаются в сернокислый кальций
Хлористый магний	Часто проявляется в виде белых пятен. Не дает осадка	Превращается в хлористый кальций
Двууглекислый натрий	Даже в небольших количествах при температурах ниже -9°C часто вызывает растрескивание. Создает белые пятна, концентрируется в сердцевине, задерживает замерзание. Даёт большую непрозрачную сердцевину. Осадка не образуется	Превращается в углекислый натрий. Вид льда немного улучшается

тивных объектов с искусственным льдом начинается в конце сентября – первой половине октября, когда максимальная суточная температура окружающего воздуха не превышает 10 °С. Очевидно, что одним из основных факторов, влияющих на процесс намораживания льда открытых катков для хоккея с мячом, является квалификация службы эксплуатации ледового сооружения. Не менее важное значение при создании ледового покрытия при положительной температуре окружающего воздуха имеет правильный выбор ковра с искусственной травой, укладываемого на поверхность засыпной охлаждаемой технологической плиты. Помимо высокой теплопроводности составляющих ковер материалов он должен свободно пропускать воздух и воду сквозь свою основу, быть эластичным т.е. заполнять все неровности и пазухи в поверхности технологической плиты. **При неправильно выбранном ковровом покрытии добиться качественного ледового покрытия невозможно!**

Всего покрытий невозможно.
В настоящее время, по мнению специалистов, лучшими перфорированными коврами с искусственной травой для ледовых сооружений являются ковровые покрытия финской фирмы *Saltex*, включаемые нами в проекты.

Намораживание и поддержание искусственного льда на ледовых полях с искусственным травяным покрытием проводится в несколько этапов:

- обильная пропитка гравийного основания водой;
 - захолаживание влажного основания;
 - намораживание тонкого слоя льда отдельно на каждом участке поля;
 - намораживание льда по всей поверхности поля и его поддержание.

На первом этапе выполнение работ зависит от погодных условий. При температуре воздуха, превышающей расчетную тем-

пературу поддержания искусственной ледовой поверхности (особенно в солнечную погоду), орошение поля следует производить из максимально возможного количества шлангов, чтобы исключить его высыхание. Большое значение имеет достоверный прогноз погодных условий. Учитывая природные осадки, можно с максимальной экономией воды спланировать работы по пропитке основания поля.

Пропитка поверхности поля водой выполняется без специальных насадок и в зависимости от погодных условий требует около 2 сут. В процессе пропитки необходимо ручным катком постоянно уплотнять гравийную структуру технологической плиты через ковровое покрытие.

Второй этап – захолаживание влажного основания поля – начинается с включения в работу системы холоснабжения ледового поля. Понижение температуры хладоносителя в процессе захолаживания должно производиться постепенно, не более чем на 1...2 °C в час. Захолаживание целесообразно начинать вечером. Оно продолжается до появления устойчивого инея на поверхности искусственного травяного покрытия и длится также около 2 сут.

Цель третьего этапа – получение по всей поверхности поля устойчивого качественного льда толщиной 40...50 мм. Из-за большой трудоемкости этот процесс выполняется в течение 4–5 сут. Он разделяется на несколько стадий, первой из которых является намораживание «чернового» льда. Вода наносится на охлажденную поверхность поля уже через специальные насадки – распылители, подсоединяемые к шлангам. Мелкодисперсное распыление воды обеспечивает ее быстрое схватывание с охлажденной поверхностью. При этом рекомендуется применять позонную заливку льда. По достижении по всей поверхности поля толщины льда 6–10 мм ледовое покрытие рекомендуется раскрошить

(поломать) для придания структуре ледового покрытия большей прочности и устойчивости к температурным деформациям, приводящим к образованию крупных трещин при понижении температуры окружающего воздуха до -12 °C. Крошить льда выполняют с помощью ручного асфальтового катка или легкого садового мотоблока. После ломки процесс намораживания «чернового льда» осуществляется слоями толщиной не более 1–2 мм по всей поверхности поля одновременно. Таким образом, давая каждому слою возможность замерзнуть, толщину «чернового» ледового покрытия доводят до 30 мм, после чего производят грубое шлифование льда с помощью льдозаливочных машин типа «Олимпия» и разметку поля.

Рабочее ледовое покрытие («товарный лед») получают с помощью льдозаливочных машин, послойно заливающих теплую умягченную воду с температурой не ниже 40 °C.

Контролируемая толщина ледового покрытия в период эксплуатации катка должна постоянно поддерживаться в пределах 40...50 мм, температура поверхности льда должна составлять -5 °C. При понижении температуры окружающего воздуха ниже -8 °C холодильные машины выключаются, ледовое покрытие поддерживается за счет естественного холода.

Включение холодильных машин в зимний период осуществляется только при резких отепелях, чтобы исключить таяние ледовой поверхности.

При резком понижении температуры воздуха, когда поверхность льда охлаждается до -12 °C, целесообразно по возможности подводить к ледовой поверхности тепло путем периодического включения циркуляци-



Мелкодисперсное разбрзгивание воды – создание «товарного льда»

онных насосов без включения холодильных машин.

Для систем холоснабжения ледовых полей в климатических зонах, где температура воздуха в зимний период года может резко колебаться, целесообразно предусмотреть систему подогрева и поддержания заданной температуры хладоносителя в трубной системе ледового поля. Это позволит исключить как появление крупных трещин на ледовой поверхности, так и ее перемораживание, мешающее спортивным тренировкам.

В заключение отметим, что в данной статье изложены общие принципы и подходы к расчету, проектированию и заливке ледовых полей. Для каждого конкретного заказчика авторами выполняется индивидуальный комплекс инженерных расчетов и технологических рекомендаций в зависимости от назначения объекта, климатических условий и особенностей эксплуатации. Наш опыт проектирования ледовых сооружений показал, что такой подход одинаково важен и экономически оправдан как для крупных ледовых арен Дворцов спорта, так и для малых тренировочных катков, строящихся, как правило, при весьма скромном финансировании.

ООО «ГП Холодильно-инженерный центр»
Россия, 127422, г. Москва,
ул. Костякова, 12, офис 113.
тел./факс (095) 979-1593, 210-7681,
E-mail: hiz-consortium@mtu-net.ru