



«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», приглашаемого 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 возрос 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 хладагента и суммарной поверхности труб, а также взаиморасположение последних, позволяющие за требуемый отрезок времени отвести количество теплоты, необходимое для замораживания плиты и намораживания слоя льда.

Рекомендуемый и используемый нами теплофизический расчет сводится к решению многокритериальной 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.

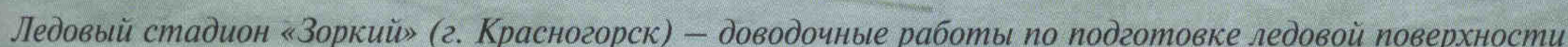
- минимум материальных затрат на трубную систему катка (суммарная длина труб, как правило, составляет десятки километров);

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:

- определение диапазона скоростей хладоносителя, в котором достигается необходимая интенсивность теплоотдачи при минимально возможных энергозатратах на циркуляционную систему.

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

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 сказывается на долговременной прочности льда, способствует его упругой и пластической деформации.



ции, а также снижает способность к режеляции, 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

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-

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!**

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;
- захлаживание 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-

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
Серноислый натрий, хлористый натрий и серноислый кальций	Создают белые пятна, концентрируются в сердцевине. Дают большие непрозрачные сердцевинки и задерживают замерзание. Не дают осадков	Не изменяются
Хлористый кальций и серноислый магний	Дают зеленоватый или сероватый налет; концентрируются в сердцевине; задерживают замерзание и дают большие непрозрачные сердцевинки	Превращаются в серноислый 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. Дает большую непрозрачную сердцевину. Осадок не образуется	Превращается в углекислый натрий. Вид льда немного улучшается

