

# СВЕРХБЫСТРЫЙ ЛЁД: ОДИН НА ВСЕХ?

Г. Гончарова, Н. Калущих, В. Ларионов, «ГП Холодильно-инженерный центр»

*Прошедший 5–6 февраля 2005 г. в Москве Чемпионат мира по конькобежному спорту в классическом многоборье окончательно убедил руководство Международного союза конькобежцев (ISU), специалистов и тренеров в том, что на современном этапе конькобежный спорт – это в значительной степени соревнование высоких технологий и последних достижений в физико-химических методах подготовки льда.*

Спорт-экспресс, 07.02.2005.

В первый день московского чемпионата было установлено несколько рекордов катка в Крылатском, превышено не одно личное достижение, – например, Анни Фризингер (победительница на ВСЕХ дистанциях – авт.) сделала то, что пообещала накануне в интервью «СЭ», – обновила свой личный рекорд на дистанции 3000 м. Состоялся и мировой рекорд – юниорский: голландка Ирен Вюст пробежала 3 км за 4.08,15».

Советский спорт, 07.02.2005.

«Что касается победителя и призёров мужской части чемпионата, то американцам самой малости не хватило, чтобы оккупировать весь пьедестал. В своих комментариях лидеры сборной США выражали свой восторг по поводу организации чемпионата и особенно – качества льда.»

Анализируя итоги чемпионата мира в Конькобежном центре в Крылатском, прежде всего, следует помнить о том, что высочайшие результаты были показаны спортсменами вопреки трём существенным факторам, которые многие скептики упоминали как негативные и исключающие достижения мирового уровня:

- во-первых, стадион ККЦ был спроектирован и построен в фантастически короткие сроки и функционировал до начала чемпионата не более трёх месяцев;

- во-вторых, в эти же кратчайшие сроки проводились аналитические и экспериментальные исследования в области физики и химии льда, без которых невозможно было проведение на соответствующем уровне соревнований подобного ранга;

- в-третьих, ледовый стадион в Москве – равнинный и в связи с этим находится в заведомо худших условиях по отношению к высокогорным каткам, имеющим значительные преимущества за счёт снижения аэродинамического сопротивления. При этом подавляющее большинство участников соревнований входит в мировую конькобежную элиту и многократно выступали на таких катках, как в Калгари и Солт-Лейк Сити.

В силу этого любой личный рекорд, установленный в Москве, может объективно считаться заслугой не



только самого спортсмена, но и подтверждением особых скоростных свойств льда, в нереально короткие сроки подготовленного к чемпионату мира. **А личные рекорды были у 29,8% всех стартовавших спортсменов!** Иными словами, почти для 30% конькобежек наш лёд оказался самым быстрым в мире, несмотря на его равнинную расположенность.

Именно об этом говорил президент ISU г-н Оттавио Чинкванта, обращая внимание в своих интервью на то, что ведущие мировые конькобежные центры десятилетиями наработывают собственные рецепты быстрого льда, технологии его намораживания и поддержания. В этом смысле ККЦ им расценивается как наиболее перспективная европейская арена, с самого начала заявившая о себе как современнейший спортивный комплекс, активно развивающий свою технологическую и научно-техническую базу!

Дополнительным фактором, осложнившим наморозку эталонного льда уже к этому чемпионату, с уверенностью можно назвать поистине «младенческий» возраст технологической бетонной плиты, внутри которой расположены трубы с теплоносителем, так как с момента бетонирования до момента заливки первого льда прошло не более месяца. Вследствие этого плита активно «дышит». И это «дыхание» проявляется под слоем твёрдого прозрачного льда, намороженного по



новой методике, устраняющей газообразные включения. С течением времени на плите появляются кружевные воздушные пятна, с одной стороны, увеличивающие термическое сопротивление теплообмену между льдом и хладоносителем, а, с другой стороны, снижающие в местах их образования твёрдость всего ледяного массива. Предварительная обработка и мытьё плиты специальными составами, «вытягивающими» на поверхность газовые включения, могут только ослабить этот процесс. Окончательно устранить «дыхательный фон», как показывает многолетний опыт эксплуатации ледовых полей, удаётся не ранее, чем через год эксплуатации.

Естественно, что имели место и другие симптомы стартового периода огромного комплекса, не все инженерные системы и службы контроля, предусмотренные проектом, были полностью освоены и отлажены. Однако несмотря на то, что далеко не весь нарабатываемый научный потенциал удалось воплотить к первому чемпионату, **единодушная оценка льда спортсменами и тренерами сводилась к тому, что в ККЦ – лучший лёд в Европе**, и по результатам он объективно уступает только высокогорным овалам Калгари и Солт-Лейк Сити, где устанавливается наибольшее количество мировых рекордов за счёт существенно меньшего аэродинамического сопротивления. Особенно важен для нас как разработчиков новой двухслойной модели льда тот факт, что значительная часть мировой конькобежной элиты на нашем льду бежала быстрее, чем в Херенвейне (Голландия) – на стадионе, имеющем славу мирового конькобежного центра, который давно и успешно работает со льдом.

С другой стороны, открытое признание того факта, что современные технологии позволяют в значительной степени влиять на качество льда, поставило перед Международным союзом конькобежцев и национальными федерациями серьёзнейшую задачу объективного и независимого контроля за тем, чтобы эти способности влияния на скоростные свойства льда использовались не избирательно для определённой группы спортсменов, а последовательно во все дни данного чемпионата, на всех дистанциях и во всех забегах. Иными словами, ставится задача идентификации свойств льда для всех участников, принимающих старт на конкретной дистанции во всех забегах. Строго говоря, анализ кинематики и динамики скользящего шага показал, что, с точки зрения наименьшего сопротивления скольжению, оптимальные теплофизические параметры льда на спринтерских, средних и стайерских дистанциях различны. Так, например, на коротких дистанциях относительная доля разбега с коротким мощным ударного типа шагом весьма велика, и, как следствие, лёд должен быть более вязким и эластичным. На длинных же дистанциях доля разбега мала, а длина скользящей фазы значительно больше, поэтому лёд должен быть более твёрдым и холодным, минимизируя заглабление в него конька.

Таким образом, во избежание заведомого или случайного создания неидентичных условий скольжения в разных забегах на одной дистанции руководство ISU заинтересовано и уже выступает с инициативой создания специальной независимой технической службы, призванной контролировать равноценность условий для стартующих спортсменов. Вопрос в другом: насколько точно имеющаяся в распоряжении технических служб стадионов измерительная база в состоянии отслеживать такие характеристики? Существуют ли отработанные и достаточно надёжные методики таких

измерений? Как велика продолжительность действия различных растительных и химических микродобавок и присадок к воде, используемой при штатной подготовке льда?

На этих и других актуальных вопросах мы хотели бы подробнее остановиться в настоящей статье.

Кроме температуры, технические службы должны располагать информацией о тепло-влажностных параметрах воздуха непосредственно над льдом и на уровне дыхания бегущих спортсменов.

### Детальный и оперативный контроль температуры беговых ледовых дорожек и состояния воздушной среды

Успех проведения и уровень показанных результатов на первенствах мирового уровня базируется на многих взаимосвязанных компонентах, основными из которых, несомненно, являются подготовка спортсменов и научно-техническое оснащение ледового комплекса.

До сегодняшнего дня основное внимание уделялось первой составляющей, как принято считать, наиболее значимой и очевидной. К сожалению, в большинстве случаев в неудачах, связанных с падениями и травмами, единогласно обвиняют спортсменов и тренеров, забывая о технической стороне вопроса. Сами технические службы спортивного комплекса зачастую становятся заложниками ошибок и нарушений, допущенных ещё на стадии проектирования и строительства. Так, например, наличие локальных неоднородностей по температуре льда (2–3°C) на вираже может привести к падению спортсмена в результате заметного изменения твёрдости и, как следствие, условий скольжения на данном «термическом пятне». Напомним, что российскими СНиПами допускается разность температур между любыми точками на ледовом поле не более 0,5°C. Однако, часто приходится наблюдать, как судьи и тренеры, измерив температуру льда в одной точке, или, еще хуже, оценив ее по выводимому на табло значению, делают заключение о состоянии всей поверхности льда. В данной статье хотелось бы более подробно рассмотреть вопросы, связанные с возможными нарушениями однородности качества ледовой поверхности на этапах проектирования и эксплуатации, а также оперативного определения ее состояния в процессе соревнований.

**Ошибки, допущенные при проектировании и монтаже системы охлаждения бетонной плиты**, приводят к локальным температурным неоднородностям, в ряде случаев значительно превышающим допустимое значение – 0,5 градуса. Их площадь может составлять от единиц квадратных дециметров до десятков квадратных метров. Как уже отмечено, наличие на поверхности льда значительных локальных температурных неоднородностей недопустимо, так как они могут привести к нарушению устойчивости конькобежцев, к появлению у них неуверенности и снижению их скорости, а в ряде случаев способствуют падению спортсменов. После строительства катка устранить недостатки такого характера, не изменяя элементы или конструкцию охлаждаемой плиты в целом, практически невозможно, но и проводить на ней соревнования становится также опасно (организаторам первенства могут быть предъявлены судебные иски, а результаты – опротестованы). Для понимания того, что требуется устранять, перечислим, чем обусловлены температурные локальные неоднородности:

\* величиной кривизны поверхности бетонной плиты, которая приводит к изменению заданного



соотношения толщины льда и бетона и, соответственно, суммарного термического сопротивления в данной локальной точке ледового поля (изменение толщины льда на 3 мм влечёт за собой изменение температуры его поверхности на 0,5 градуса) (рис. 1, 2);

\* различной величиной гидравлического сопротивления отдельных сегментов трубной решётки и, как следствие – интенсивностью теплоотдачи в трубах (рис. 3);

\* неравномерностью толщины слоя бетона над трубами системы охлаждения, что является следствием либо их негоризонтальной укладки, либо «всплытия» на определённых участках во время заливки бетоном (рис. 4);

\* нарушением эквидистантности между трубами в бетонной плите при их механической фиксации и монтаже;

\* использованием некачественного бетона или бетона, различного по составу для отдельных участков поля. На (рис. 5) показан фрагмент бетонного поля, наблюдаемый сквозь слой прозрачного льда.



Рис. 1. Локальное нарушение горизонтальности бетонной плиты

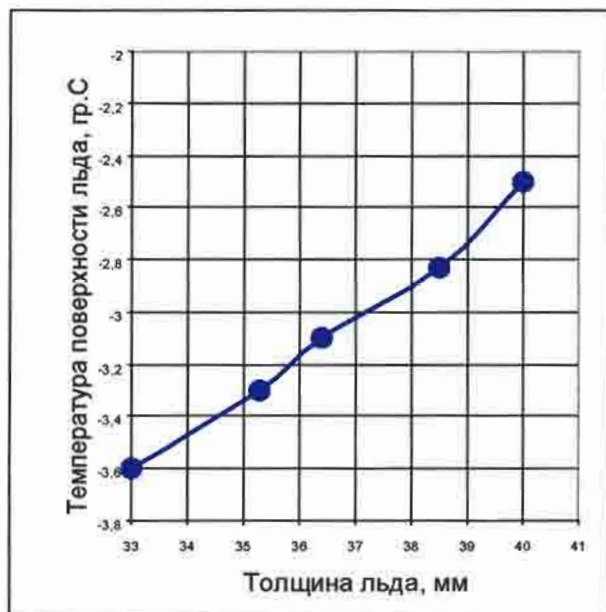


Рис. 2. Экспериментальная зависимость температуры поверхности ледового покрытия от его толщины

Частично снизить влияние ряда этих факторов удастся увеличением толщины намораживаемого льда. Однако дополнительное увеличение толщины льда по отношению к величине, установленной международными правилами, естественно, приводит к росту энер-

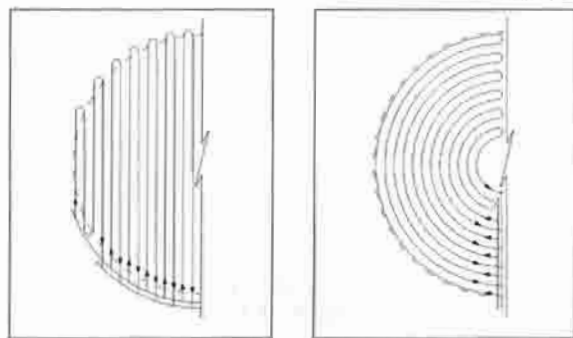


Рис. 3. Различные варианты раскладки трубной системы технологической плиты, иллюстрирующие неравномерное распределение холодоносителя

гозатрат на компенсацию теплопритоков в режиме намораживания и эксплуатации ледового стадиона. Значительный опыт, приобретённый сотрудниками нашего предприятия, начиная с 70-х годов в Союзспортпроекте, при проектировании и анализе практики эксплуатации конькобежных дорожек в Киеве, Коломне,

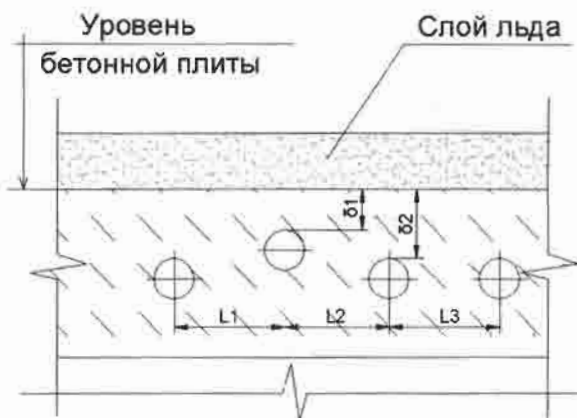


Рис. 4. Примеры отклонения раскладки трубной системы

на Водном стадионе в Москве, показал, что наиболее важно выявить и устранить локальные термические неоднородности на поворотах. При этом необходимо предельно точно определить площадь «пятна» и максимальную разность температур, возникающую на поверхности льда при его номинальной толщине. Выбор конкретного технического решения по его устранению зависит от причины локальной неоднородности, установить которую возможно только в процессе экспертизы.

Не считая методов химического воздействия на свойства поверхности, практически в каждой системе холодоснабжения предусмотрены технические возможности изменения теплофизических параметров льда на беговой дорожке, которые могут избирательно повлиять на результаты забега ряда спортсменов – как положительно, так и отрицательно (увеличивается или, соответственно, уменьшается скорость их скольжения, увеличивается вероятность падения спортсме-





Рис. 5. Фрагмент неоднородностей бетонного поля

нов на виражах и т.д.). Скорость изменения температуры поверхности льда зависит от скорости изменения температуры хладонотителя, от толщины бетонной плиты, от толщины льда и возможностей системы кондиционирования воздуха. В пределах одного этапа соревнований (особенно на длинных дистанциях) можно изменять температуру поверхности льда всей беговой дорожки или её части от долей до единиц градуса, что, в свою очередь, может привести к значительному изменению скользкости льда (более чем на 15%) (рис. 6, 7). С целью проведения экспериментальных исследований по определению влияния различного физико-химического воздействия на суммарную силу сопротивления движению, нами совместно со службами ККЦ был разработан экспериментальный скользяметр, имитирующий реальную нагрузку. С его помощью были проведены соответствующие измерения по определению влияния поверхностной температуры льда на его скользкие свойства (рис. 6, 7).

Выводимые на табло и на экран монитора в диспетчерском пункте значения температуры поверхности льда не в полной мере отражают реальное её значение (рис. 8). Во-первых, температура измеряется конечным числом зафиксированных датчиков, которые

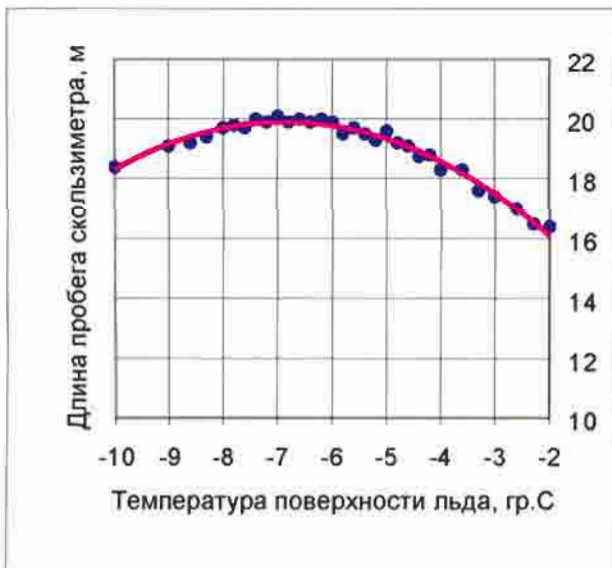


Рис. 6. Влияние температуры поверхности на скользкие свойства льда

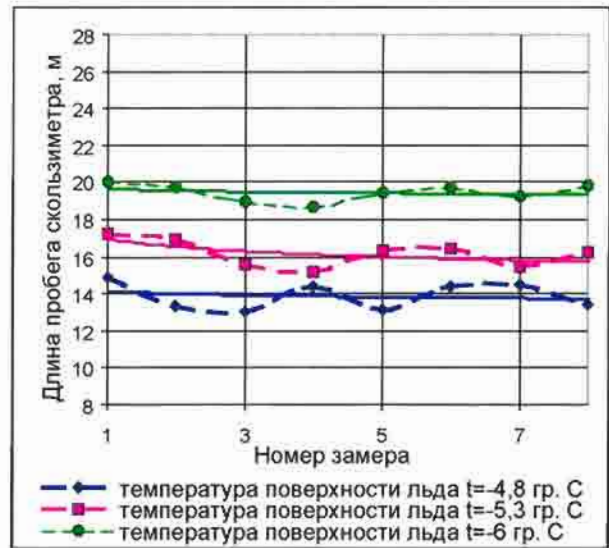
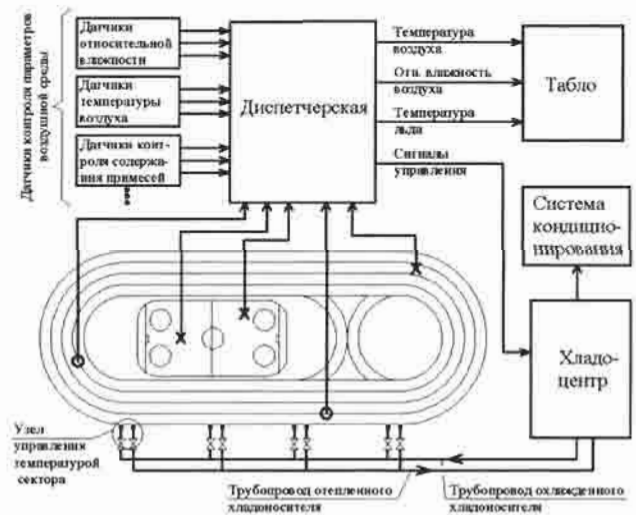


Рис. 7. Изменение скользких свойств льда с течением времени для различных значений температуры поверхности льда

не способны охватить всю площадь ледовых дорожек (несколько тысяч квадратных метров) и выявить температурные неоднородности. Во-вторых, датчики температуры, используемые для дистанционного измерения температуры, имеют по паспорту большую абсолютную погрешность, равную  $\pm 2$  градуса. В-третьих, показания могут быть подведены к нужным значениям путём калибровки каждого датчика или программным способом. В-четвёртых, в силу жёсткого временного регламента проведения международных соревнований не представляется возможным оперативно использовать контактное поверхностное измерение температуры в большом количестве точек. Более того, имеются определённые сложности в трактовке выдаваемых ими значений температуры и сопоставлении



О – датчики температуры бетонной плиты  
Х – датчики поверхностной температуры льда

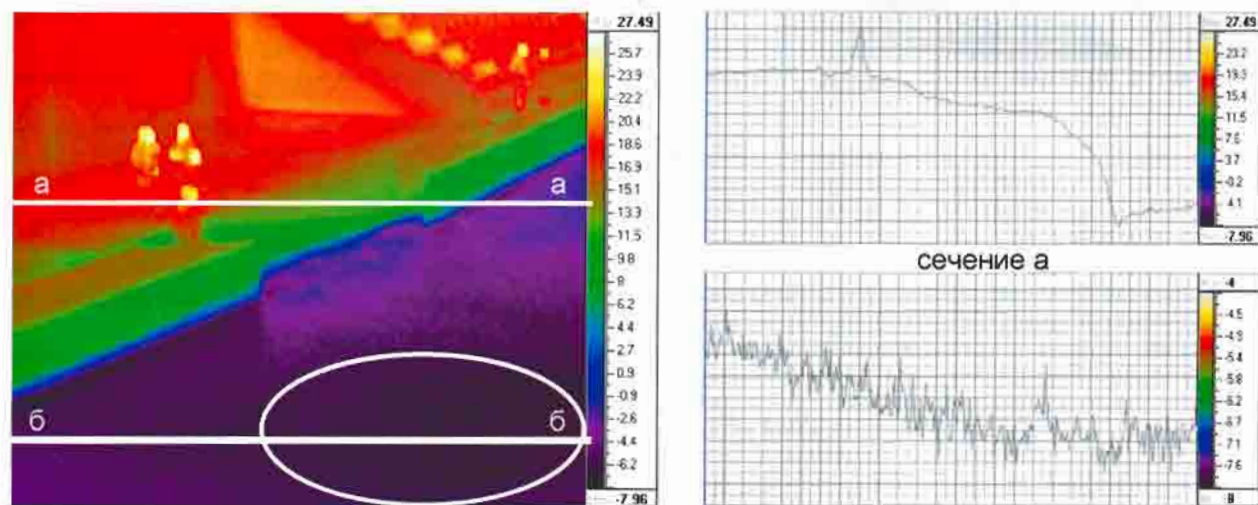
Рис. 8. Типовая схема контроля и управления основными параметрами системы хладообеспечения, кондиционирования и вентиляции



их с данными соответствующих дистанционных измерителей. Одним из наиболее перспективных и интенсивно развивающихся методов контроля распределения температуры по поверхности ледового поля является **метод инфракрасного сканирования**, основанный на собственной излучательной способности объектов. Основным его преимуществом в условиях эксплуатации крупного ледового комплекса является бесконтактность процесса контроля и возможность одновременного охвата большой площади (количества точек) ледовой поверхности. Получаемые с помощью данного метода термограммы представляют собой псевдоцветовое кодирование температуры по

методами визуализации температурных полей будет приведено в следующем номере журнала.

В заключение отметим, что современный спорт уже очень активно берёт на вооружение самые современные научно-технические достижения, что делает его всё более зрелищным и скоростным. С другой стороны, привлечение новейших технологий к созданию ледовой поверхности с программируемыми свойствами, использование специальных присадок и добавок, действие которых ограничено по времени, ставит перед организаторами международных соревнований дополнительные задачи по организации независимого контроля за использованием этих средств и предот-



Зона температурной аномалии поверхности

Увеличение 1:2

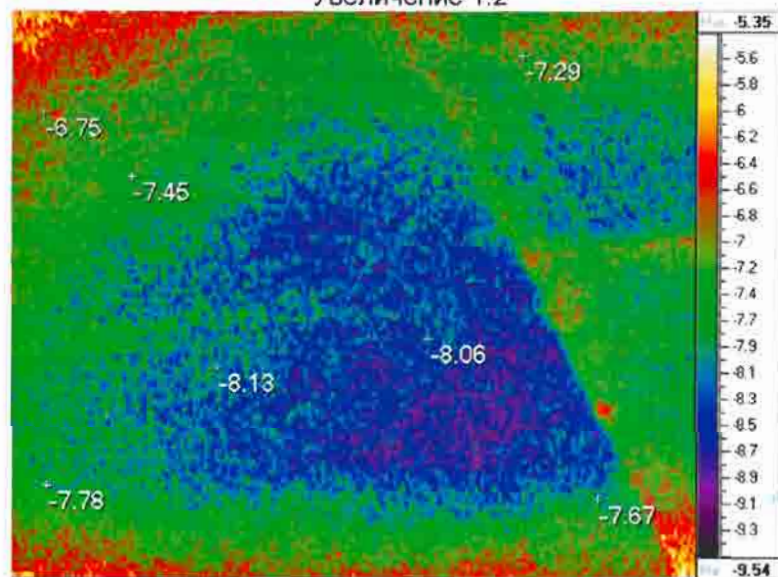


Рис. 10. Фрагмент термограммы, иллюстрирующий температурные аномалии, показанные на рис. 9

верхности льда (рис. 9, 10) и весьма наглядны для выявления существующих температурных аномалий поверхности (зон, перепад температур по которым превышает 0,5°C). Программное обеспечение термографов позволяет также оперативно получать профиль температур в любом сечении (рис. 9) полученного термоизображения. Более подробное описание работы с

Рис. 9. Термограмма ледовой поверхности

вращению избирательности при их применении. Впервые в истории конькобежного спорта президентом ISU Оттавио Чинкванта после завершения сезона 2005 года была высказана инициатива разработки специальных методик, создания технического контрольно-измерительного оборудования и организации специализированной службы, призванной решать вышеобозначенные вопросы.

Руководство ККЦ в Крылатском совместно с рядом научно-технических организаций, в числе которых и наше предприятие, при поддержке федераций ледовых видов спорта также выступили с предложением о создании единого **Ледового центра**, координирующего исследования в области физики и химии льда применительно к требованиям различных видов спорта. Возможность создания такого центра в настоящий момент рассматривается московским правительством. Ледовый центр может также стать базой для разработки единых методик измерения и контроля льда и основой обеспечения спортсменам равных соревновательных условий и получения достоверной технической информации, а также для обучения специалистов по заливке льда для всей России.

Окончание следует



# СВЕРХБЫСТРЫЙ ЛЁД: ОДИН НА ВСЕХ?

Г.Гончарова, Н.Калуцких, В.Ларионов, С.Ясько, "ГП Холодильно-инженерный центр"



Окончание. Начало см. в № 4, 2005

В заставках спортивных передач и репортажах с ледовых арен часто эксплуатируется достаточно острый и динамичный видеоряд: мощно, технично, на предельной скорости идущий конькобежец входит в вираж и, словно срезанный, падает и влетает в ограждение стадиона. Камера порой даже "смакует" подобные кадры и подает их, как правило, с комментариями о недостаточной технической подготовке спортсмена и неумении разумно дозировать скоростной режим. Однако даже очень опытные спортсмены и тренеры не в состоянии достоверно идентифицировать причины таких падений. Они могут быть обусловлены как температурным режимом льда и его теплофизическими особенностями (перемороженность, недостаточная "вязкость" и т.д.), так и наличием локальных неоднородностей температурного поля на ледовой поверхности, особенно опасных именно в зоне виражей.

Выше мы уже говорили о влиянии температуры поверхности льда на его скользящие свойства и о проблемах, связанных с "температурными пятнами". Проводя бег на пределе устойчивости, конькобежец не успевает реагировать на локальные участки перемороженного (колкого) льда, проскальзывает на нём или, наоборот,

вязнет, попадая коньком на пятна более тёплого льда. И то, и другое приводит к неустойчивости, снижению скорости или же падениям, болезненным и травматичным.

Разработка подобной методики контроля температурных полей актуальна не только для крытых конькобежных центров, принимающих у себя первенства мирового ранга. На новый уровень использования современных технических средств выходит и шорт-трек, скоростные достижения и безопасность которого напрямую зависят от прецизионного поддержания всей ледовой площадки на уровне 0°C. Попутно отметим, что до сих пор на соревнованиях зоны виражей с этой целью поливают водой из ведер. Федерация фигурного катания на рuceбеже выхода на прыжки в пять оборотов столкнулась с проблемой получения более "эластичного" и мягкого льда, способного частично компенсировать нагрузку на суставы спортсмена при приземлении. Эта задача, кроме введения соответствующих присадок, также связана с термостатированием всей поверхности льда при определённой температуре.

Техническая сторона вопроса сводится к разработке и применению надёжной методики контроля темпе-

ратурного поля всей ледовой поверхности, локализации имеющихся температурных неоднородностей и своевременному их устранению. Так, согласно международным стандартам, разность температур между любыми точками поверхности льда не должна превышать 0,5°C. Различие в температуре отдельных участков ледовой арены более, чем в 1-2°C, приводит уже к ощутимому различию условий скольжения [1] и может стать причиной сбоя в беге спортсмена. При этом, если наличие подобной температурной аномалии ледовой поверхности будет зафиксировано технической службой одной из команд-участниц, то этот факт может послужить поводом для апелляции национальных сборных команд и аннулирования результатов международных соревнований. Более того, современное международное спортивное право располагает рядом способов получения значительных денежных компенсаций, которые оргкомитеты обязывают выплачивать руководства спортивных комплексов, проводящих соревнования на своем льду. Таким образом, детальный и оперативный контроль температуры поверхности, являясь фактором, обеспечивающим безопасность конькобежцев при прохождении дистанции, сегодня стано-



вится также реальным финансовым инструментом, заставляющим инженерные службы стадионов своевременно принимать меры по устранению опасных температурных неоднородностей ледовой поверхности.

Как правило, минимальный характерный размер возможного "температурного пятна" определяется шагом раскладки в бетонной плите труб с хладоносителем и составляет порядка 10 см. Тем не менее, даже такая незначительная по ширине локальная неоднородность, вытянутая перпендикулярно к вектору движения конькобежца, реально может спровоцировать сбой при прохождении дистанции спортсменом.

Нами был проведен сравнительный анализ множества средств слежения и фиксации температурных полей, в результате которого стало ясно, что к настоящему моменту даже самые современные и технически оснащенные ледовые арены не располагают методами детального и оперативного контроля температуры больших площадей ледовой поверхности. Проблемы при измерении поверхностной температуры контактными способами обусловлены инерционностью и трудоёмкостью процесса. Площадь поверхности беговых дорожек превышает 5000 м<sup>2</sup>, поэтому контактными методами оперативно выявить все температурные аномалии практически невозможно. Расположение в толще льда большого количества датчиков и последующий пересчет получаемых значений к величине температуры поверхности нецелесообразны в силу больших погрешностей метода.

Наиболее перспективным методом контроля поверхностной температуры льда нам представляется **метод теплового неразрушающего контроля (ТНК)**, который не только не связан с необходимостью размещения большого количества датчиков на поверхности ледового поля, но и позволяет получать изображение температурного поля всей поверхности льда.

Метод ТНК основан на взаимодействии теплового поля объекта с термометрическими чувствительными элементами (термопарой, фотоприемником, жидкокристаллическим термоиндикатором и т.д.), на последующем преобразовании его параметров (интенсивности, температурного градиента, контраста лучистости и др.) в параметры электрического поля или другого сигнала и передаче его на регистрирующий прибор.

Суть метода ТНК состоит в регистрации температурного поля поверхности контролируемого объекта теп-

ловизионной аппаратурой и в последующем анализе полученных термограмм. Этот метод контроля практически не имеет альтернативы при **первичной** локализации температурных аномалий для крупных ледовых сооружений, имеющих площадь ледовой поверхности до 10 000-12 000 м<sup>2</sup>. Однако, несмотря на высокую разрешающую способность прибора (0,1°C), метод ТНК не позволяет оперативно получать значения абсолютной температуры поверхности. Поэтому наиболее рациональным, на наш взгляд, является совместное использование тепловизионного прибора и контактных термометров. Это позволяет одновременно добиваться высокой скорости измерения и большой области захвата, а далее, с помощью дополнительных измерений температуры поверхности контактными методами, производить корректировку полученных термоизображений.

Предлагаемый метод позволяет выявить проблемные зоны на стадии приемки ледовых объектов (бетонной плиты до заливки льда) с целью обнаружения и устранения возможных строительных дефектов при укладке и фиксации труб, которые в последствии и являются наиболее вероятной причиной температурных неоднородностей ледовых покрытий.

Научной группой ООО "ГП ХИЦ" была проведена серия экспериментальных исследований температурного поля ледовой поверхности на различных спортивных объектах. Анализ литературных источников [1], [2], [3] и консультации со специализированными организациями, занимающимися разработкой научных основ и комплекса оборудования неразрушающего контроля, показали, что до настоящего момента ещё не создана достаточно достоверная и надёжная методика применения ТНК для низкотемпературных объектов и, в частности, для льда, имеющего ряд принципиальных особенностей. Заметим, что широко рекламируемые рядом зарубежных фирм инфракрасные системы для ледовых арен также не могут обеспечить необходимый контроль изотермичности поверхности льда. Они базируются, как правило, на цепочке пирометров, определяющих поверхностную температуру льда в отдельных точках, и не позволяют составить реальную эпюру распределения температуры по всей ледовой поверхности.

При проведении первого инфракрасного сканирования нам пришлось столкнуться с трудностями, прежде всего, связанными с большим количеством бликов (участков с искаженной температурой поверхности

вследствие "переотражения" света). Различия в окраске, прозрачности льда от участка к участку, наличие газообразных включений в "теле" льда и на поверхности бетонной плиты и т.д. требуют специальных технических решений в плане проведения самой съемки и способов коррекции полученных термограмм. Перечисленные факторы приводили к появлению на полученных термоизображениях **многих неоднородностей температурного поля**. Устранение этих искажений потребовало разработки специальной программы экспериментальных съемок с уточнением этапов и условий проведения тепловизионного сканирования. Лед на катке имеет достаточно низкую для традиционных тепловизоров температуру поверхности (-3...-9°C), что усложняет работу прибора, а, с другой стороны, является своего рода зеркалом, отражающим все тепловые потоки, попадающие на его поверхность. Поэтому на базе предшествующего опыта и обобщения имеющейся информации был разработан ряд методов тепловизионного обследования ледовой арены, позволяющих свести к минимуму погрешности, связанные с влиянием сторонних источников света, коэффициента излучения, угла наблюдения и других факторов.

Измерения и расчеты спектрального коэффициента ослабления излучения атмосферным воздухом позволяют определить спектральные диапазоны, наиболее рациональные для проведения измерений. Причём если влияние этого фактора пренебрежимо мало на расстоянии нескольких метров, то на десятках и сотнях метров он может вносить ощутимые искажения в наблюдаемую картину. Повышенная влажность, в общем случае, оказывает большее влияние на получаемую картину теплового поля в диапазоне 8-12 мкм, тогда как аэрозоли и дымка особенно неблагоприятны для интервала длин волн 3-5 мкм.

С одной стороны, согласно закону Вина, максимальная интенсивность излучения для объектов, имеющих температуру ниже окружающей среды, находится в полосе с центром диапазона при  $\lambda=10$  мкм, а для высокотемпературных объектов ( $T>700$  К) смещается до значений  $\lambda=4$  мкм. Поэтому при тепловом сканировании льда более предпочтительным является диапазон длин волн 8-12 мкм.

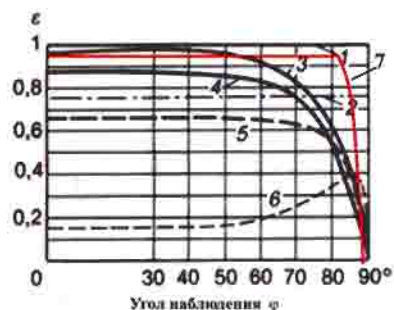
С другой стороны, анализ показал, что для фиксированного перепада температур ( $\Delta T$ ) в окрестности характерной для данных измерений температуры значения тепловых контрастов, во многом определяющих точность и качество получаемых изобра-



жений, в интервале длин волн 3,5-5 мкм заметно превосходят соответствующие величины тепловых контрастов диапазона 8-14 мкм. В связи с этим эксперименты проводились в обоих спектрах съемки (3-5 мкм, 8-12 мкм) с целью реального сопоставления их преимуществ и недостатков.

Особое внимание было уделено площади поверхности единичного кадра. Чем она меньше, тем выше информативность изображения (величина линейного разрешения), но при этом существенно возрастает трудоемкость тепловизионных работ. Следует также предусмотреть необходимое количество реперных точек на поверхности льда, которые позволяют производить последующую "сшивку" многочисленных фрагментов поверхности и анализировать всю картину в целом.

Отдельную задачу представляла собой коррекция изображений, полученных под углом наблюдения, отличным от нормали. Уменьшение коэффициента излучения при больших углах наблюдения вносит существенные искажения в получаемые термоизображения (рис.1). Так, например, при наблюдении по нормали вода близка к абсолютно черному телу, а при наблюдении по касательной становится зеркалом и  $\epsilon = 0$ .

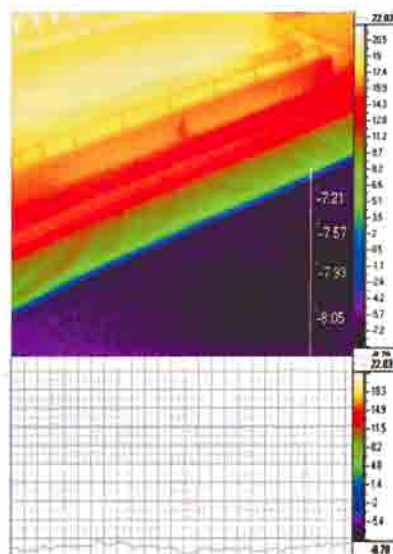


**Рис. 1. Зависимость интегрального коэффициента излучения  $\epsilon$  от угла наблюдения  $\phi$ : 1-черное тело; 2- серое тело; 3-5 - диэлектрики с показателями преломления  $n=1,5$ ; 2 и 4 соответственно; 6-металл; 7- экспериментальная зависимость, полученная авторами для льда**

В ходе экспериментов по съемке под различными углами наблюдения фрагментов поверхности льда, температура которых предварительно измерялась контактными термометрами, нами впервые был получен чрезвычайно важный в методическом плане результат. После необходимой механической подготовки коэффициент излучения льда в диапазоне угла наблюдения от 0 вплоть до 80° практически не меняется (рис. 2). Этот

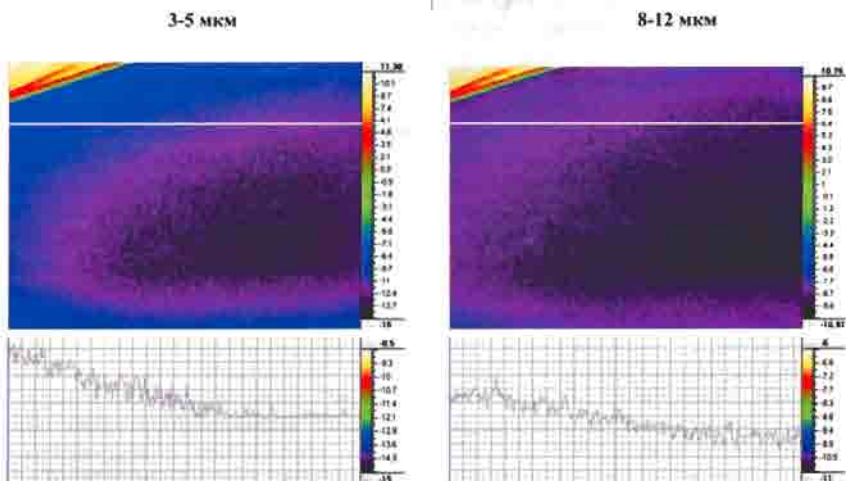
факт позволяет сделать вывод о возможности эффективного использования (без внесения дополнительной погрешности) большого диапазона съемки (0-80°) и, соответственно, существенно снизить трудоемкость тепловизионного обследования больших площадей.

При проведении обследования для получения термограмм поверхности ледового поля использовались две модели тепловизоров: портативный тепловизор "Thermovision 550" фирмы Agema и портативный двух-

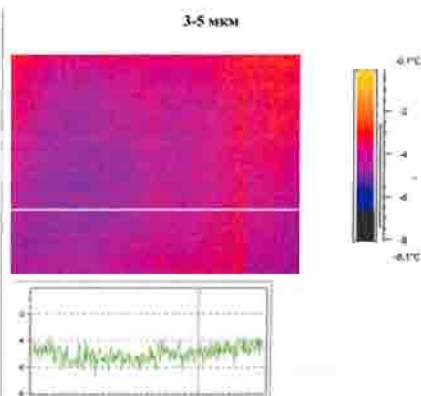


**Рис. 2. Фрагмент термограммы ледовой поверхности, используемый для построения экспериментальной зависимости  $\epsilon = f(\phi)$ , приведенной на рис. 1**

спектральный компьютерный термограф "ИРТИС". На рис.3 и рис.4 представлены изображения ледовой поверхности, полученные, соответственно, с помощью этих тепловизоров.



**Рис. 4. Термограммы поверхности льда, полученные с помощью двухспектрального компьютерного термографа "ИРТИС"**



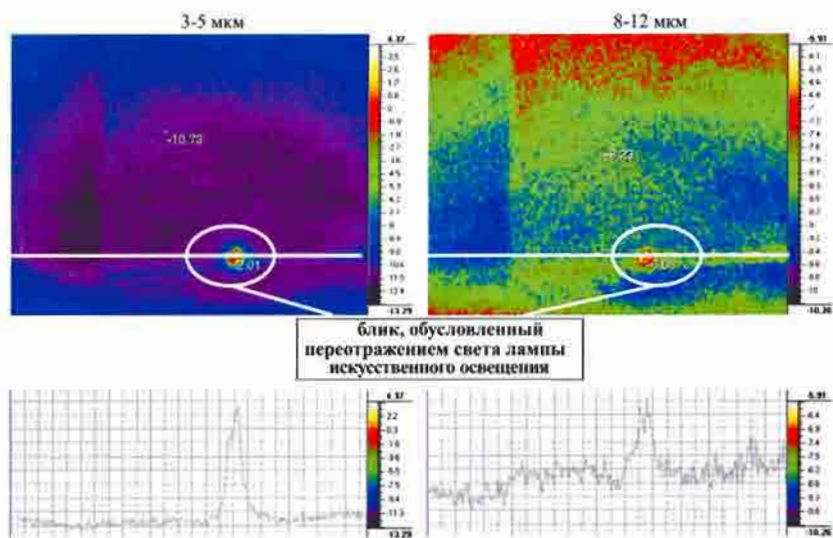
**Рис. 3. Термограмма поверхности льда, полученная тепловизором Thermovision 550**

Фрагмент ледовой дорожки изображен на рис. 4 в двухспектральном диапазоне длин волн: 3-5 и 8-12 мкм. Отметим, что обработка с помощью специализированного программного обеспечения имеющихся двухспектральных термоизображений может практически полностью устранить влияние отражений внешних источников излучений (рис.5), а также позволяет определять абсолютную температуру ледовой поверхности расчетным путем [3].

Программное обеспечение современного тепловизионного оборудования позволяет получать термопрофиль ледовой поверхности (график распределения температуры) по любой прямой (белая линия на рис. 3 и рис.4). С другой стороны, вид термопрофиля характеризует технические параметры термографа и определяет уровень так называемого "шума" - ложного перепада температур в соседних точках ледовой поверхности, обусловленного индивидуальными характеристиками каждого прибора. Кроме того, уровень шума тесно связан с исследуемым интервалом температур и при его понижении резко



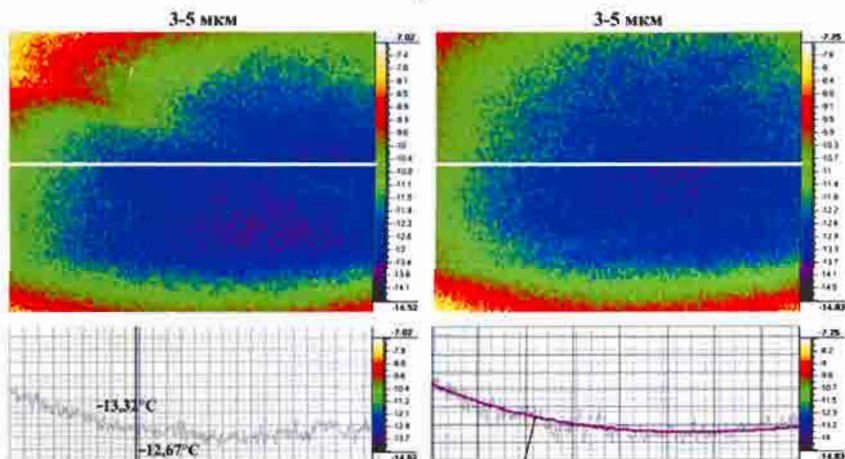




**Рис. 5. Влияние перепотраженного света сторонних источников на получаемую термограмму поверхности в двух спектрах съемки: 3-5 и 8-12 мкм**

возрастает. Хотя уровень шума на термограммах, полученных с помощью двухспектрального компьютерного термографа "ИРТИС" и не превышает  $1^{\circ}\text{C}$  (рис.6), это все равно не обеспечивает требуемой точности измерений ( $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ). Однако существуют различные способы его минимизации, один из которых может быть реализован с помощью режима многократной тепловизионной съемки. В этом случае путем суммирования ряда термограмм одного и того же фрагмента поверхности можно усиливать полезный сигнал, значительно уменьшая уровень шума (рис. 7).

В настоящее время ООО "ГП ХИЦ" продолжает разработку методов коррекции изображений с целью устранения краевых эффектов при "сшивке" отдельных фрагментов, бликов, а также выделения локальных неоднородностей ледового покрытия и своевременного устранения имеющихся дефектов. Проводимые исследования должны послужить основой для определения минимального размера локальных аномалий, способных существенно повлиять на результаты спортсменов, и последующего уточнения площади фрагмента съемки (величины линейного разрешения) с целью минимизации трудоемкости процесса сканирования.



**Рис. 6. Локальный перепад температуры поверхности льда, обусловленный "шумом" прибора**

**Рис. 7. Получение реального профиля температуры (без "шума") путем суммирования кадров**

Руководство Международного союза конькобежцев (ISU) заинтересовано и уже выступает с инициативой создания специальной независимой технической службы, призванной контролировать равенство условий для стартующих спортсменов.

## ВЫВОДЫ

1. В современном большом спорте растут не только результаты, но и существенно поднимается планка технического оснащения и сопровождения мировых первенств.

2. Новейшие технологии и измерительные комплексы оборудования неразрушающего контроля требуют адаптации и доработки применительно к задачам тепловизионного обследования ледовых поверхностей и коррекции получаемых изображений.

3. При единичном или систематических падениях конькобежцев на различных участках дистанции оперативное получение изображения данного участка с помощью тепловизора является практически единственным способом идентификации причины.

4. Для исключения возможных исков и международных разбирательств тепловизионный контроль целесообразно проводить уже на стадии сдачи ледового комплекса, когда большая часть строительных и проектных ошибок ещё может быть устранена.

5. Создание достоверной и экспериментально апробированной методики контроля параметров льда и равенства условий для всех спортсменов уже в настоящий момент востребовано Международным союзом конькобежцев и в ближайшем будущем может стать реальным инструментом сертификации ледовых сооружений для проведения соревнований того или иного ранга.

## Список литературы:

1. Henk Gemser, Jos de Koning, Gerrit Jan van Ingen Schenau. - Handbook of Competitive Speed Skating, 1999, 215 p.
2. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И. и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий. Научно-методическое пособие. - М., Наука, 2002, 472 с.
3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография: основы, техника, применение. - М., Мир, 1988, 416 с.

