

Особенности работы технологической вентиляции помещения арены современного крытого катка

Один из важнейших вопросов эксплуатации крытых ледовых арен и, особенно, при проведении Зимних Олимпийских Игр по ледовым видам спорта является возможность залить и сохранить на крытых катках высокоскоростной массив спортивного льда для спорта высших достижений. Высокоскоростной лёд позволяет спортсменам, в ходе выступлений, экономить силы на перемещениях по ледовой арене, улучшая результат спортсмена.

Скоростные свойства массива льда обеспечивает технология заливки и обслуживания льда, качество очистки использованной воды и параметры воздушной среды над ледовым полем или беговыми дорожками. Следует отметить существенное влияние величины относительной влажности воздуха на скоростные свойства поверхностных слоёв массива льда. Конденсат влаги воздуха, выпадающий в виде инея на поверхности массива льда, увеличивает коэффициент трения металла (лезвия конька) по льду. Скоростные свойства льда ухудшаются. Как говорят спортсмены – лёд не катит. Для сохранения скоростных свойств льда следует выдерживать величину относительной влажности воздушной среды арены на уровне, при котором процес-

сы образования конденсата на поверхности массива льда не развиваются достаточно интенсивно, чтобы повлиять на увеличение величины коэффициента трения (обычно около 35%). Поясним этот тезис. Парообразная влага, содержащаяся в воздухе над поверхностью массива льда, конденсируется и выпадает инеем на поверхности льда. Коэффициент трения стали (лезвия конька) по поверхности выпавшего на лёд инея существенно выше коэффициента трения стали по льду, приготовленному по технологии заливки скоростного льда. Спортсмен чувствует увеличение затрат энергии на перемещение по льду. Процесс выпадения конденсата прекратится, если температура поверхности массива льда будет выше температуры точки росы воздушной массы над поверхностью массива льда. А это произойдёт в реальных условиях арены катка только при опуске температуры воздушной массы, например, до 10°C (на отметке 1,5 м) и относительной влажности до 30%. В этом случае температура точки росы опустится до -6,7°C, т.е. ниже температуры поверхности льда (в среднем, -6°C). Воздух с такими параметрами считается сухим. Пребывание спортсмена в соревновательном или тренировочном процессе в такой среде лишается

комфорта. Но в зависимости от степени влияния на спортивный результат процесса конденсации влаги воздуха к такому режиму воздушной среды следует приближаться, подбирая оптимальные условия на грани комфорта воздушной среды на арене для дыхания спортсмена и максимальных скоростных свойств массива льда.

Технологическая вентиляция крытого катка решает задачи вентиляции и кондиционирования воздушной среды помещения арены, совмещая с решением задачи воздушного отопления помещения арены. Задачи вентиляции и кондиционирования воздушной среды помещения арены следует подразделить на две: задачу создания кондиционных условий в зоне трибун для зрителей и задачу поддержания оптимальных, исходя из специфики вида ледового спорта, параметров воздушной среды над ледовым массивом – в зоне пребывания спортсменов. Технологическая вентиляция крытого катка должна проектироваться по результатам расчёта теплового баланса помещения арены, учитывающего теплопритоки к воздушной среде арены и массиву льда, а также с учётом специфики вида спорта и конструктивных особенностей помещения арены. Технологическая вентиляция

должна поддерживать задаваемые параметры воздушной среды в зоне пребывания зрителей и в зоне пребывания спортсменов, и эти параметры существенно различаются. В число регулируемых параметров включают температуру воздуха, относительную влажность, содержание CO. Поэтому кондиционеры технологической вентиляции должны иметь:

- оборудование удаления отработанного воздуха (вытяжную часть);
- оборудование забора свежего воздуха;
- оборудование возврата части или всего объема отработанного воздуха для повторного использования (зоны регулируемого смешения свежего воздуха с отработанным, отфильтрованным – миксзоны);
- секции I и II подогрева воздуха;
- фильтрующее оборудование (фильтры) для очистки воздуха от пыли и оборудование для подавления шума, создаваемого работой кондиционера;
- оборудование для охлаждения воздуха (зоны охлаждения), в варианте конденсационной осушки, совмещаемое с зоной осушки обрабатываемого воздуха;
- специализированное оборудование для осушки обрабатываемого воздуха в варианте адсорбционной осушки;
- оборудование для доувлажнения (используется в зимний период) обрабатываемого кондиционером воздуха;
- пластинчатый (перьевого) каплеуловитель (устанавливается по ходу воздуха после зон охлаждения и доувлажнения) для сепарации капельной влаги, образующейся в воздушном потоке при конденсации при конденсационной осушке или доувлажнении;
- циркуляционные вентиляторы кондиционеров, обеспечивающие подачу обрабатываемого кондиционером приточного воздуха к системам раздачи в помещении арены.

Кроме того, в связи с повышенной энергоёмкостью крытых катков, технологическую вентиляцию целесообразно комплектовать системами утилизации тепла отработанного воздуха, что существенно влияет на энергоэффективность технологии крытого катка.

Схема типового кондиционера системы технологической вентиляции представлена на **рис. 1**. На схеме показано конструктивное решение кондиционера: двухуровневое размеще-

ние оборудования кондиционера. На верхнем уровне смонтирована вытяжная часть, включающая (по ходу обрабатываемого воздуха справа налево) фильтры очистки отработанного воздуха от пыли, шумогасители (оборудование для подавления шума подаваемого воздуха), вытяжной вентилятор, жалюзийный клапан передачи отработанного воздуха в нижний уровень кондиционера, рекуператор (утилизатор тепла отработанного воздуха) и жалюзийный клапан передачи отработанного воздуха в потолочном щите кондиционера в выбросной воздухопровод для удаления в окружающую среду. Нижний уровень кондиционера (слева направо по ходу обрабатываемого воздуха) содержит: приёмный жалюзийный клапан свежего воздуха, фильтры очистки свежего воздуха от пыли, теплообменник зоны I первого подогрева, рекуператор (утилизатор тепла отработанного воздуха), миксзону с жалюзийным клапаном в потолочном щите приёмки рециркуляционного воздуха из вытяжной части, зону охлаждения воздуха с сепаратором – каплеуловителем, зону

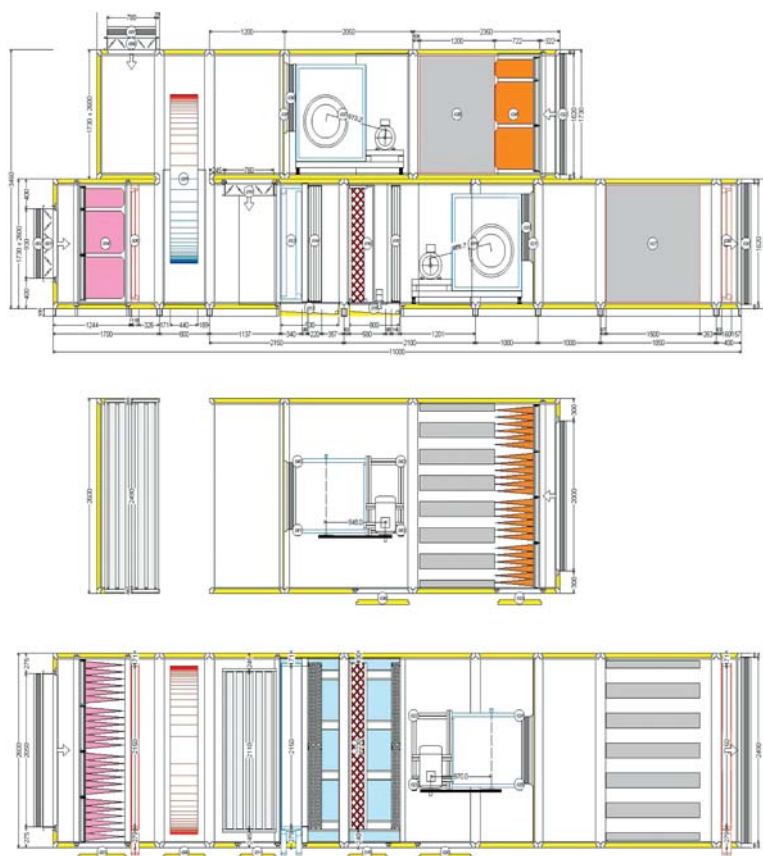


Рис. 1. Схема типового кондиционера системы технологической вентиляции

доувлажнения воздуха с сепаратором – каплеуловителем, циркуляционный вентилятор кондиционера, шумогаситель и зона II подогрева. Далее обработанный воздух, как приточный по воздуховоду, подаётся к устройствам распределения воздуха в объёме помещения арены.

Задача поддержания оптимальных (исходя из специфики вида ледового спорта) параметров воздушной среды над ледовым массивом решается системами технологической вентиляции ведущих отечественных катков в период тренировочного процесса достаточно просто. В ходе соревновательного процесса (международных соревнований с прямой трансляцией телевидения) технологическая задача поддержания режимных параметров массива льда и воздушной среды над массивом существенно усложняется. Опыт эксплуатации ведущих отечественных крытых катков ДС «Мегаспорт» и СК «Крылатское» показал, что с момента начала соревнований, предусматривающих режим освещения помещения арены с учётом требований прямой трансляции телевидения, температура поверхности массива льда имеет тенденцию к повышению. Включение в период соревнований режима освещения для прямой трансляции телевидения увеличивает приток лучистого тепла к поверхности массива льда до ~ 169 кВт для арен, на которых проводят матчи по хоккею с шайбой или соревнования по фигурному катанию и до ~ 450 кВт для арен, на которых проводят соревнования конько-

бежцев или матчи по хоккею с мячом. Кроме изменения режима освещения в соответствии с регламентом соревнований, изменяется график обслуживания льда. Растут теплопритоки и влаговыделения в воздушную среду от зрителей на трибунах. Часто временной интервал между обслуживанием массива льда в сравнении с тренировочным процессом существенно сокращается. Такая дополнительная нагрузка на систему хладоснабжения поля и систему технологической вентиляции требует своевременной корректировки режима хладоснабжения с целью исключить возможность роста температуры поверхности массива льда, если система хладоснабжения поля имеет соответствующие резервы. Реально за период дневного соревновательного процесса только от увеличения световой нагрузки температура поверхности массива льда возрастает на 1–2°C в первые 2–3 часа соревнований. Сокращение временного интервала обслуживания массива льда до 35–45 минут способно повысить температуру поверхности массива льда за 4–5 часов на 2–3°C. Данное повышение температуры поверхности массива льда при проведении соревновательного процесса подтверждают, например, замеры температуры поверхности массива льда, выполненные в ходе проведения международных соревнований этапа Гран-При по фигурному катанию на коньках в условиях ДС «Мегаспорт». На рис. 2. приведены данные замеров температуры поверхности массива льда в течение одного дня соревнований (23.10.09 г.) с момента включения режима освещения №1 – «Проведение соревнований по хоккею с шайбой, фигурного катания и гимнастики с трансляцией телевидения» при выполнении всех возможных технологических мероприятий для стабилизации температуры поверхности массива льда.

В соответствии с данными рис. 2, при включении режима № 1 освещения арены в 9:00 начинается отепление поверхности массива льда. Одновременное воздействие лучистого теплопритока к поверхности массива льда от светильников и теплопритока от обслуживания льда в 11:00 приводит к росту температуры поверхности массива льда. Температура повысилась почти на 2°С. Рост температуры поверхности массива льда продолжался, несмотря на принимаемые меры, до 18:00 часов. После



Рис. 2. Данные замеров температуры поверхности массива льда в течение одного дня соревнований



Рис. 3. Общий вид арены крытого катка «Адлер-Арена»

увеличения временного интервала между обслуживанием льда отмечено снижение температуры поверхности массива льда.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что реальная холодопроизводительность системы хладоснабжения поля остаётся ниже требуемого уровня. Закладываемая в проект технологических систем катка холодопроизводительность системы хладоснабжения поля и возможность охлаждения воздуха в секциях охлаждения и конденсационной осушки технологических кондиционеров арены должны позволять компенсацию указанных выше теплопритоков и влаговыделений при минимальных изменениях параметров воздушной среды и температуры поверхности льда поля. Из отечественных крытых катков, на наш взгляд, такие возможности имеет «Адлер-Арена». У катка «Адлер-Арена» наиболее удачное конструктивное решение системы технологической вентиляции помещения арены. «Адлер-Арена» проектировалась для проведения Зимней Олимпиады 2014 года в условиях субтропического климата. Поэтому в технологические инженерные системы арены на стадии проекта были включены необходимые запасы мощностей системы хладоснабжения поля, системы хладоснабжения кондиционеров, зон охлаждения и осушки обрабатываемого приточного воздуха технологических кондиционеров. Обоснование включения запасов мощностей сделано по результатам расчёта теплового баланса помещения арены, выполненного ООО «ГП ХИЦ» для климатического режима олим-

пийского периода и для климатических условий летнего периода.

Технологические системы катка проектировались под влиянием конструкции катка в Херенвене (Голландия), крытых катков городов Коломны и Астаны. Общий вид арены крытого катка «Адлер-Арена» приведен на рис. 3. Проектирование системы технологической вентиляции, поставку кондиционеров, их шеф-монтаж и пуск выполнила фирма Баукенс ICS BV (Нидерланды). Авторы данной работы курировали все этапы создания систем технологической вентиляции и хладоснабжения поля «Адлер-Арены» и вели эксплуатацию катка.

Система технологической вентиляции помещения арены конструктивно похожа на системы ККЦ Коломны и Астаны. Система состоит из двух подсистем: подсистемы вентиляции поля и трибун с нижней раздачей приточного воздуха и подсистемы вентиляции верхней зоны арены с раздачей приточного воздуха через матерчатые воздухопроводы catwalk с соплами. Принципиальная схема технологической вентиляции представлена на рис. 4.

Общая производительность системы технологической вентиляции по обрабатываемому воздуху составляет: 280000 м³/ч подсистемы вентиляции поля и трибун, и 35000 м³/ч подсистемы вентиляции верхней зоны арены. Общая производительность системы технологической

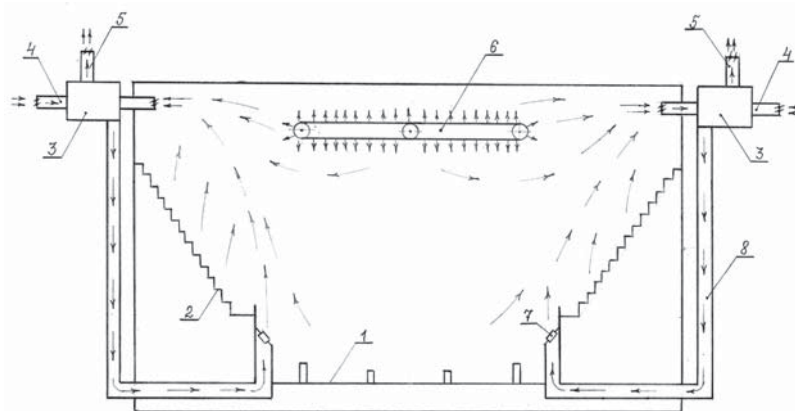


Рис. 4. Принципиальная схема технологической вентиляции: 1 – ледовые дорожки помещения арены; 2 – трибуны для размещения зрителей; 3 – венткамеры с технологическими кондиционерами; 4 – воздухопроводы забора свежего воздуха технологических кондиционеров; 5 – воздухопроводы удаления отработанного воздуха технологических кондиционеров; 6 – матерчатые воздухопроводы catwalk с соплами; 7 – распределяющие решётки нижней раздачи притока; 8 – воздухопроводы подачи приточного воздуха от технологических кондиционеров к распределяющим решёткам нижней раздачи притока.



Рис. 5. Распределяющие решётки нижней раздачи притока

вентиляции обеспечивает кратность воздухообмена в помещении арены, равную 1. Распределяющие решётки нижней раздачи притока показаны на **рис. 5**.

В соответствии с проектом системы технологической вентиляции по обрабатываемому воздуху обслуживают:

- а) подсистемы вентиляции поля и трибун – 8 кондиционеров КВ1-8;
- б) подсистемы вентиляции верхней зоны арены – 2 кондиционера КВ9-10.

В отличие от проекта технологической вентиляции арены конькобежного центра «Колонна» проект технологической вентиляции «Адлер-Арена» предполагал комплектацию систем кондиционерами с достаточной мощностью по нагреву, осушке, охлаждению обрабатываемого приточного воздуха даже для климатических условий субтропического города Сочи. Единственно, что отсутствовало в конструкции кондиционеров – система доувлажнения обрабатываемого притока. Опыт проведения Зимней Олимпиады 2014 года показал, что в отдельные дни наличие таких зон доувлажнения в ходе тренировочных процессов могло бы оказать помощь в оптимизации параметров влажности воздушной среды на арене. В ходе соревновательных процессов отсутствие зон доувлажнения кондиционеров компенсировалось влаговыделением зрителей практически всегда полных трибун.

Технологическая схема кондиционеров КВ1-10 технологической вентиляции помещения арены «Адлер-Арена» приведена на примере КВ5 на **рис. 6**.

Кондиционер имеет двухярусное исполнение. В верхнем ярусе по ходу воздуха смонти-

рованы: клапан впуска свежего реакционного воздуха для восстановления работоспособности рабочей насадки барабанного адсорбционного осушителя притока, фильтры очистки реакционного воздуха, теплообменник нагрева реакционного воздуха, реакторная часть барабанного адсорбционного осушителя притока, и циркуляционный вентилятор, подающий реакционный воздух. Далее отработанный реакционный воздух удаляется по воздуховодам отработанного (выбросного) воздуха в окружающую среду. В нижнем ярусе по ходу воздуха смонтированы: циркуляционный вентилятор отработанного воздуха, миксерное устройство ЕА(РА) отработанного воздуха с клапанами передачи части отработанного воздуха в верхний ярус и передачи части отработанного воздуха на подготовку к рециркуляции, миксерное устройство ГА свежего воздуха для смешения с отработанным воздухом, фильтры очистки обрабатываемого приточного воздуха. Далее установлены: теплообменник охлаждения обрабатываемого приточного воздуха с перьевым каплеуловителем и байпасным устройством для перепуска части воздуха, минуя теплообменник охлаждения, основная часть барабанного адсорбционного осушителя обрабатываемого приточного воздуха, циркуляционный вентилятор подачи притока в зону арены и теплообменник нагрева приточного воздуха. Далее подготовленный приточный воздух поступает по воздуховодам к распределительным устройствам на арене.

Для технологических кондиционеров КВ1-8 через воздуховод подачи приточного воздуха к кондиционеру подаётся по необходимости от 0 до 40000 м³/ч свежего воздуха, из объёма которого 0 – 18500 м³/ч поступает в верхний ярус кондиционера, а 0 – 21500 м³/ч через миксерное устройство ГА подаётся в нижний ярус кондиционера. Из верхней зоны помещения арены по воздуховоду за счёт разряжения, создаваемого циркуляционным вентилятором отработанного воздуха, подаётся 0 – 37500 м³/ч отработанного воздуха. Из этого объёма 0 – 21500 м³/ч воздуха удаляется по воздуховодам как выбросной в окружающую среду, а остальное количество воздуха через миксерное устройство ЕА(РА) отработанного воздуха, через клапан передачи части отработанного воздуха поступает в верхний ярус кондиционера. Весь объём воздуха, обрабатываемого в верхнем ярусе конди-

нера, проходит очистку от пыли карманными фильтрами. Далее следует нагрев до требуемой температуры для восстановления рабочих возможностей барабанной насадки адсорбционного осушителя. После подготовки воздух обрабатывает в реакторной части воздухоосушителя насадку барабана для восстановления потенциала осушки последней и удаляется как отработанный. Объём обрабатываемого приточного воздуха, образованный при смешении свежего и отработанного воздуха миксерными устройствами FA и EA, проходит очистку от пыли за счёт фильтрации карманными фильтрами, охлаждение и предварительную осушку конденсационным методом в теплообменнике охлаждения. Вынос капельной влаги из зоны охлаждения кондиционера ограничивает первой каплеотделитель. Далее воздух проходит основную осушку в адсорбционном барабанном устройстве, нагрев до заданной температуры и циркуляционным вентилятором подаётся по воздуховодам для использования на арене в качестве приточного воздуха.

Для технологических кондиционеров KB9-10 технологический процесс подготовки притока тот же, но производительность по воздуху систем кондиционера в два раза ниже аналогичных величин для кондиционеров KB1-8.

Конструктивные возможности системы технологической вентиляции помещения арены в сочетании с достаточной холодопроизводительностью системы холодоснабжения ледового поля позволили в течение Зимних Олимпийских Игр 2014 года выдерживать температуру

поверхности массива льда и параметры воздушной среды над ледовыми дорожками с достаточно высокой точностью. Такая точность не доступна другим отечественным крытым конькобежным центрам в период соревнований с прямой трансляцией телевидения. По результатам работы «Адлер-Арена» в период Зимней Олимпиады можно сделать заключение:

а) при самых неблагоприятных условиях за один тренировочный и соревновательный день с освещением арены по режиму прямой трансляции телевидения и регламенту обслуживания льда для соревнований изменение температуры поверхности льда не превысило $1,5^{\circ}\text{C}$;

б) при самых неблагоприятных условиях за один тренировочный и соревновательный день с освещением арены по режиму прямой трансляции телевидения и регламенту обслуживания льда для соревнований изменение температуры воздушной среды не превысило 2°C ;

в) изменение величины относительной влажности над ледовыми дорожками оставалось в пределах 10% при однократном отклонении 19%. Величина относительной влажности не превысила 35-39%, что соответствовало данным регламента соревнований.

Измерение подвижности воздушной среды над ледовыми дорожками показало, что нижняя раздача притока по применённому варианту обеспечивает минимальное движение воздуха в направлении бега спортсменов в диапазоне $0,19 - 0,22$ м/сек, что сопоставимо с величиной погрешности измерительного прибора и меньше величины технического задания на проектирование арены ($0,25$ м/сек). Измерения выполнены термоанемометром testo 435.1 с зондом нагреваемая струна. Точность измерения скорости воздуха не менее $\pm 0,1$ м/сек.

Напомним, что за один соревновательный день с работой освещения по режиму прямой трансляции телевидения и графику обслуживания льда по регламенту соревнований температура поверхности льда на арене СК «Крылатское» может вырасти до 3°C . А на арене ДС «Мегаспорт» температура поверхности льда может вырасти до $2,5-3,0^{\circ}\text{C}$ и подключение максимальной производительности по холодоснабжению арены не приносит желаемого результата. По данной причине на арене СК «Крылатское» приходилось держать температуру воздушной среды не выше $12-13^{\circ}\text{C}$.

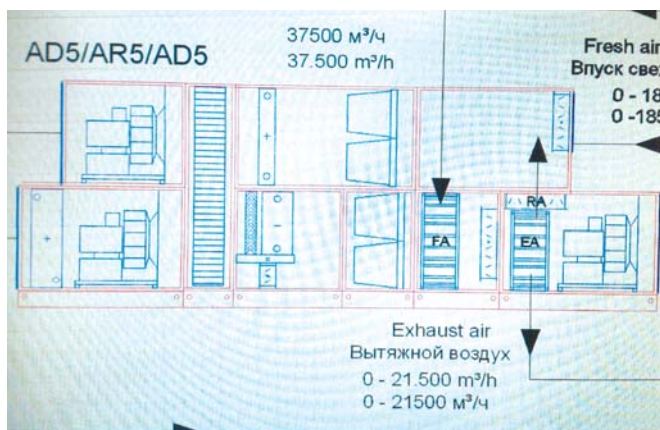


Рис. 6. Технологическая схема кондиционеров KB1-10 технологической вентиляции помещения арены «Адлер-Арена» (на примере KB5)

Отдельно надо остановиться на операции осушки, обрабатываемого в кондиционерах воздуха. И конденсационный метод, и адсорбционный метод осушки приточного воздуха для технологических задач эксплуатации крытого катка имеют право на жизнь. Сравнительный анализ возможных проектных решений оборудования осушки приточного воздуха, например, для систем технологической вентиляции ККЦ «Адлер-Арена» города Сочи показал, что классическое исполнение конденсационного метода в сравнении с классическим адсорбционным более энергоёмко. Если принять необходимый расход энергии на реализацию процесса осушки притока классическим конденсационным методом указанного проекта за 100%, то расход энергии на реализацию того же процесса осушки адсорбционным методом составит только 74,7%. Экономия энергии на реализацию составит более 25%. Из 100% энергозатрат на реализацию процесса осушки притока классическим конденсационным методом 48% приходится на энергозатраты охлаждения воздуха и 52% - на энергозатраты процесса нагрева воздуха в системе II подогрева. Однако современные конструктивные решения оборудования для осушки воздуха, использованные, например, ЗАО «Джонсон Контролс» для реализации процессов конденсационной осушки притока в системе технологической вентиляции СК «Крылатское» и ДС «Мегаспорт», показали, что по величине энергоёмкости оборудование осушки по конденсационному методу может выдерживать конкуренцию с оборудованием осушки по адсорбционному методу. Указанное конструктивное решение конденсационной осушки притока кондиционеров технологической вентиляции имеет холодильные машины хладоснабжения кондиционеров, агрегированные с кондиционерами. Холодильные машины смонтированы в венткамерах в непосредственной близости от кондиционеров. При этом, испарителем холодильной машины служит теплообменник охлаждения приточного воздуха зоны осушки кондиционера. Конденсаторным блоком холодильной машины служит теплообменник нагрева приточного воздуха зоны II подогрева. В этом случае тепло конденсации холодильной машины

не выбрасывается в окружающую среду конденсаторными блоками хладоцентра, как при классическом исполнении конструкции оборудования осушки воздуха, а полезно используется на подготовку притока в зоне II подогрева, что существенно снижает энергоёмкость процесса осушки.

Кондиционеры системы технологической вентиляции «Адлер-Арены», поставленные фирмой Баукенс ICS BV (Нидерланды) имеют существенный конструкционный недостаток. Насадка адсорбционного барабана-осушителя обрабатываемого воздуха пропитана хлористым литием – веществом адсорбирующим влагу воздуха. Такая конструкция не допускает насыщения насадки влагой. В системе автоматического регулирования кондиционеров должна быть защита от насыщения насадки влагой, предусматривающая либо перевод реакторной части барабана в более производительный режим по осушке насадки и удалению испаренной влаги в окружающую атмосферу, либо останов зоны адсорбционной осушки кондиционера. Такая защита отсутствует. Отсутствие такой защиты при насыщении насадки барабана влагой, например, из-за снижения интенсивности осушки насадки или попадания капельной влаги, которую не отделили перьевые каплеуловители, вызывает протекание внутри насадки (барабана адсорбционного осушителя воздуха технологического кондиционера) реакции диссоциации. Реагируют удерживаемая насадкой влага, накопленная при обработке приточного воздуха, и адсорбирующая среда – хлористый литий, с образованием анионов соляной кислоты и сложных катионов, состоящих из металла лития и гидроксильной группы. В результате насадка выделяет неприятный запах, захватываемый обрабатываемым воздухом. Запах начинает ощущаться на арене, на поверхности льда может появляться микрорельеф. Для устранения явления приходилось переводить кондиционеры арены в режим проветривания, и в ручную повышать интенсивность работы реакционного теплообменника адсорбционного осушителя.

Г.П. Яковлев, В.Н. Горелов

ООО «Инженерные технологии спорта»