

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

Руководитель ОП ВЕЗА-Челябинск

\_\_\_\_\_/Савельев А.С.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_/ Д.В.Ульрих

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Разработка эффективной системы вентиляции ФОК с ледовым  
полем с использованием цифровой модели потоков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

Руководитель работы

доцент

\_\_\_\_\_/ Старкова Л.Г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Автор работы

студент группы АС-228

\_\_\_\_\_/ Новоселов А.В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Нормоконтролер

доцент.

\_\_\_\_\_/Старкова Л.Г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Челябинск 2021

## АННОТАЦИЯ

Новоселов А.В. Разработка принципиальной схемы воздухораспределения в физкультурно-оздоровительном комплексе с ледовым полем в г.Сатка. – Челябинск: ЮУрГУ, АС-228; 2021, 80 с., 26 ил., библиогр. список – 30 наим.

Выпускная квалифицированная работа посвящена разработке схемы воздухораспределения и компоновки приточно-вытяжной системы для помещения ледовой арены.

В ходе работы были выполнены необходимые расчеты, а именно: определены тепло- и влагоизбытки, произведен расчет требуемого воздухообмена для трех режимов работы ледовой арены, подобраны воздухораспределители.

На основе результатов расчета выполнено математическое моделирование движения воздушных потоков в программе SolidWorks, выполнен анализ полученной модели.

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Зав.каф	Ульрих				Разработка эффективной системы вентиляции ФОК с ледовым полем с использованием цифровой модели потоков	Лит.	Лист	Листов
Н.Контр.	Старкова					Д	3	80
Руководит.	Старкова					ЮУрГУ Кафедра ГИСиС		
Консультант	Старкова							
Дипломник	Новоселов							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....	7
1.1 Характеристика объекта .....	7
1.2 Расчетные параметры наружного воздуха .....	7
1.3 Расчетные параметры внутреннего воздуха .....	8
2 ПРОБЛЕМАТИКИ РАБОТЫ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	10
2.1 Анализ отечественной и зарубежной литературы .....	12
2.2 Анализ существующих проектов .....	20
3 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ .....	32
3.1 Определение количества поглощаемой теплоты ледовым полем в теплый период. Расчет мощности холодильной машины .....	32
3.2 Расчет мощности холодильной машины .....	36
3.3 Расчет кол-ва выделяемой влаги .....	37
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВОЗДУХООБМЕНОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ. ....	41
4.1 Теория расчета .....	41
4.2 Расчет параметров процессов обработки воздуха в режиме соревнований .....	44
4.3 Расчет параметров процессов обработки воздуха в режиме массового катания .....	48
4.4 Расчет параметров процессов обработки воздуха в режиме тренировки спортсменов .....	48
5 ПОДБОР МЕТОДА ОСУШЕНИЯ .....	51

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		3

5.1 Сравнение методов осушения .....	51
5.1.1 Ассимиляционный метод .....	51
5.1.2 Конденсационный метод .....	52
5.1.3 Адсорбционный метод.....	53
5.2 Построение процессов подготовки приточного воздуха для подачи в «чашу» ледовой арены.....	55
5.2.1 Конденсационный метод осушения .....	55
5.2.2 Адсорбционный метод осушения.....	58
6 ОПИСАНИЕ ПРИНЯТОЙ СХЕМЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ. ПОДБОР ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ.....	63
6.1 Приточно-вытяжная система над ледовой ареной.....	63
6.2 Приточно вытяжная система над трибунами .....	67
6.3 Подбор сопловых воздухораспределителей. ....	69
7 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАБОТЕ ПРЕДЛОЖЕННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ .....	72
7.1 Построение модели .....	72
7.2 Картины распределения скоростей и температур.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	80

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность

В настоящее время к современным сооружениям массового пребывания людей и физкультурно-оздоровительных центров предъявляются достаточно высокие требования по их архитектурно – эстетическим решениям, интерьера, применяемому оборудованию.

Для поддержания начального архитектурного облика необходимо контролировать параметры воздушной среды, исключать возможность возникновения тумана и выпадение конденсата на поверхностях, данные аспекты контролируются системами кондиционирования воздуха. Это достигается путем поддержания температуры воздуха в рабочей зоне в интервале 8-10 °С при тренировках и соревнованиях и до 15 °С при массовом катании на коньках. К сожалению, выпадение конденсата на строительных конструкциях и образование тумана является наиболее частой проблемой в крытых катках.

Поскольку в нашей стране 3D-моделирование не является популярной работой у проектировщиков, то моделирование воздушных потоков при проектировании крытых ледовых арен осуществляется только при строительстве масштабных олимпийских объектов. Поэтому данный проект будет обладать научной новизной и важностью практических исследований.

### Цель

Заключается в повышении точности эффективности расчета воздушных и температурных полей, путем поддержания тепло-влажностного баланса в зданиях сложной архитектурной формы и сложного теплового режима, а также решение проблемы конденсации влаги на поверхностях ледовых полей.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		5

**Задачи:**

- анализ существующего опыта и определение причин неудовлетворительной работы систем вентиляции;
- теоретический расчет параметров тепловых и воздушных режимов, возникающих при работе ледовых арен;
- выбор схемы распределения воздуха;
- расчет требуемых расходов воздуха;
- подбор и компоновка оборудования;
- построение геометрической 3D модели ледового корта по чертежам;
- построение и визуализация воздушных и тепловых потоков внутри крытого катка, с целью проверки выполнения расчетных параметров.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		6

# 1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

## 1.1 Характеристика объекта

Объектом исследования является физкультурно-оздоровительный комплекс с искусственным льдом, подлежащий новому строительству.

Объект находится в г. Сатка (Челябинская область). Координатное расположение объекта: 55° с.ш., 59° в.д. Главный фасад здания ориентирован на север.

Основное назначение физкультурного комплекса, это проведение спортивных мероприятий и предоставление услуг досуга.

Основным помещением комплекса является ледовая арена площадью 1800 м<sup>2</sup> с трибунами для зрителей, высотой в коньке 9 м. Крытый каток предназначен для проведения тренировок и соревнований по игре в хоккей, а также используется для массового катания людей.

Внутри здания размещены большой и малый тренажерные залы, хореографический класс, 3 комфортабельных раздевальных помещения с санузлами и душевыми, зал общефизической подготовки, кабинет врача.

Крытый ледовый каток вмещает в себя:

- 1) В период соревнований 409 зрителей и 50 спортсменов;
- 2) В период массового катания 100 человек с сеансом в 2 часа;
- 3) В период тренировки спортсменов 50 человек.

Эксплуатация ледового поля – круглогодичная, с возможностью остановки на период от 3 до 30 дней на замену льда и/или профилактический ремонт.

## 1.2 Расчетные параметры наружного воздуха

Выбор расчетных параметров наружного воздуха определяется климатическими условиями местности согласно [1]. В качестве расчетных параметров наружного воздуха для проектирования систем кондиционирования воздуха

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		7

принимаются параметры Б, для проектирования систем вентиляции для теплого периода – параметры А, для холодного – параметры Б.

Расчетные параметры наружного воздуха для г. Сатка представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1– Расчетные параметры наружного воздуха

Параметры	Теплый период		Холодный период	
	А	Б	А	Б
Температура воздуха, $t_n$ , °С	24	27	-21	-32
Удельная энтальпия воздуха, $i_n$ , кДж/кг	48,1	52	-36	-33,5
Скорость ветра, $v_n$ , м/с	3,2	3,2	2,3	2,3
Барометрическое давления 985 гПа				

### 1.3 Расчетные параметры внутреннего воздуха

Ледяная поверхность влияет на микроклимат в зале, а он в свою очередь, на качество льда и расход холода на его поддержание. Следствием этого один из важнейших параметров для помещения катка становится относительная влажность воздуха. Кроме того, увеличение относительной влажности может стать причиной образования слоя воды на поверхности льда, над ней, выпадения конденсата на конструкции и оборудовании зала, что не допустимо. Не менее важным является значение температуры в «рабочей зоне».

Параметры внутреннего воздуха для проектирования вентиляции ледовой арены задаются согласно [13]. Параметры внутреннего воздуха для проектирования вентиляции трибун на ледовой арене задаются согласно [13] для летнего и зимнего периодов.



Таблица 1.2 – Расчетные параметры внутреннего воздуха

	Период года	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$\varphi_{в}, \%$	$v_{в}, \text{м/с}$
Ледовая арена	Раб. зона	10-15	$\leq 70$	0,25
Трибуны	Летний	25	40-60	0,3
	Зимний	21	30-50	0,3

Принимая во внимание тот факт, что требуемые температуры рабочей зоны над ледовым полем и на трибунах значительно различаются, было принято решение принять к проектированию отдельные системы подготовки воздуха для трибун и для ледового поля.

## 2 ПРОБЛЕМАТИКИ РАБОТЫ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Основная проблема, возникающая на ледовых катках, является возникновение тумана над ледовым полем и выпадение конденсата на холодных поверхностях. Повеление тумана связано с ограниченной возможностью воздуха впитывать влагу, при низких температурах и высоком влагосодержании увеличивается относительная влажность воздуха, в следствии чего повышается температура точки россы, что при незначительном понижении температуры воздуха, может привести к появлению тумана и появлению конденсата на поверхностях.

Основными источниками влагоспоступления является влажный наружный воздух, влага, испаряющаяся при заливке льда и влага, выделяемая спортсменами. Температура поверхности льда является постоянно, в отличии от влагосодержания приточного воздуха. Зимний период самый простой в плане подготовки приточного воздуха это связано с тем что низкое влагосодержание исключает физическую возможность появления тумана и возникновение конденсата. Летний период, напротив, является самым сложно в связи с высоким влагосодержанием, что способствует выпадению конденсата на поверхностях.

Туман характерен для весны и осени. Туман образуется в условиях, когда наружный воздух с высокой относительной влажностью, проникнув внутрь катка, встречается с холодным воздухом над поверхностью льда. Поскольку туман возникает в результате охлаждения воздуха данную проблему пытаются решать путем подогрева воздуха над полем, например, с помощью тепловых пушек. Туман мешает зрителям и спортсменам во время тренировок и соревнований.

Холодная поверхность льда охлаждает все здание, главным образом, за счет радиации и, в меньшей степени, за счет конвекции. Больше всего охлаждаются потолок и предметы, находящиеся вблизи ледяного поля. Если их температура опустится ниже точки росы окружающего воздуха, они начнут конденсировать на себе влагу. Образовавшиеся в результате капли воды падают с потолка на зрителей и ледовое поле. Такой «дождь» ухудшает качество ледового покрытия и делает его небезопасным для катания. Капание часто происходит в ночное время,

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		10

из-за чего утром требуется срезание комбайном образовавшихся ледяных сталагмитов. Водяной пар воздуха конденсируется также на самой поверхности льда.

Конденсация влаги сопровождается высвобождением теплоты, нагревающей и размягчающей лед, что делает его «медленным» и менее прочным. Для обеспечения качества покрытия требуется более частая заливка катка. Кроме того, поддержание заданной температуры льда увеличивает нагрузку на холодильную машину. Из-за конденсации на ледовой поверхности происходит нежелательное и неконтролируемое увеличение толщины льда. В результате — ухудшение его качества и увеличенное потребление энергии компрессором холодильного агрегата. Влага может конденсироваться также на остеклении хоккейной коробки, препятствуя наблюдению за игрой.

При относительной влажности выше 60% происходит коррозия стальных и железных конструкций. Высокая влажность (свыше 70%) способствует распространению плесени и других микроорганизмов на поверхностях элементов здания. Высокая влажность в помещении катка приносит ущерб зданию и увеличивает затраты на ремонт. Плесень и коррозия сокращает срок службы строительных элементов и материалов. Конденсат портит окраску, вызывает коррозию крепежных и несущих элементов крыши, увлажняет теплоизоляцию, что приводит к коррозии внешней облицовки. Затраты на косметический ремонт увеличиваются. Но самое главное – это ущерб структурной и тепловой целостности здания, что связано с риском обрушения.

Воздух в неосушаемой арене ощущается как «сырой», «липкий» и некомфортный. Из-за сырости увеличивается риск простудных заболеваний персонала катка и спортсменов.

Определенную сложность представляет поддержание необходимых параметров для теплого периода. Это связано с наличием больших тепло влаго поступлений.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		11

## 2.1 Анализ отечественной и зарубежной литературы

В последние годы в России построены десятки крытых ледовых катков и физкультурно-оздоровительных комплексов с искусственным льдом. Авторитетные компании реализуют сложные проекты, используя последние достижения и накопленный опыт в области климатической техники. В то же время проектировщики испытывают недостаток информации по вопросам, связанным с обеспечением оптимального микроклимата в помещениях ледовых комплексов. В частности, глубокое осушение воздуха и эффективная система воздухообмена способны предотвратить заражение помещений плесенью. Ассимиляция вредных веществ, выделяемых двигателем льдуборочного комбайна, может быть эффективной только при отсутствии застойных областей в помещении. Современные методы моделирования процессов, происходящих внутри помещения ледовой арены, позволяют избежать технических ошибок при строительстве крытых ледовых сооружений.

Требования к оптимальным и допустимым параметрам внутреннего воздуха в России регламентируются ГОСТ 12.1.005-88. Относительно недавно выпущены гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1762-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов-продуцентов, бактериальных препаратов и их компонентов в воздухе рабочей зоны». По сравнению с иностранными стандартами российские нормы зачастую более жесткие. Однако в большинстве случаев жесткость норм компенсируется отсутствием возможностей или недостаточной информированностью проектировщиков о готовых технических решениях.

СКВ современных катков должны удовлетворять специфическим условиям, которые сильно отличаются от параметров обычного здания. Например, для того чтобы исключить появление тумана в зоне льда и конденсации влаги на ограждающих каток бортах, необходимо поддерживать абсолютную влажность воздуха ниже 4 г/кг. Это соответствует температуре точки росы +1 °С. Обеспечить требуемые условия, особенно в зоне катания, можно только при комплексном

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		12

подходе к выбору схемы обработки воздуха. Принимая во внимание сложность процессов тепломассообмена в помещении катка, необходимо, помимо всего прочего, досконально учитывать многочисленные факторы, влияющие на организацию воздухообмена. В ряде статей затрагивались проблемы выбора осушителей для СКВ крытых катков. Коротко можно отметить, что традиционная система кондиционирования, управляемая по датчику температуры, не может справиться с задачей обеспечения требуемого внутреннего влагосодержания.

Холодопроизводительность приточной установки выбирают по максимальной тепловой нагрузке. Если явные теплоизбытки снижаются, а влагопоступления остаются большими, то в сооружениях, не оборудованных дополнительно осушителями воздуха, влажность может стать чрезмерной. Когда теплопритоки малы, то компрессор холодильной установки непосредственного испарения (DX) работает лишь какое-то время, управляемый по датчику температуры.

Исходя из гигиенических и экономических оснований, можно утверждать, что традиционные системы с конденсационными осушителями применимы для условий массового катания и выступлений фигуристов. Для тренировок и соревнований хоккеистов требуется «жесткий лед» с температурой  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Адсорбционные осушители могут обеспечить температуру точки росы ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , работая с наилучшей энергоэффективностью. Адсорбционные установки позволяют круглогодично поддерживать оптимальные параметры микроклимата внутри спортивных ледовых сооружений. Глубокое осушение воздуха в спортивном комплексе даже в условиях жаркого и влажного климата позволяет предотвратить конденсацию влаги на льду и ограждениях при игре в хоккей. В данном случае рассматривается система кондиционирования воздуха в зоне катания. Вопросы, касающиеся вентиляции в зоне трибун и вспомогательных помещений, решаются традиционными способами. Следует учитывать, что рекомендуется обеспечивать небольшой положительный дисбаланс в здании в целях предотвращения подсоса наружного воздуха.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		13

Индустрия ледовых хоккейных и развлекательных комплексов в Северной Америке и Скандинавии развивается уже несколько десятилетий, что позволяет нам воспользоваться чужим опытом в решении сложных задач. Обычно ледовые арены работают при температуре 10-18 °С. По мере того, как наружный воздух становится теплее, может расти влажность внутри помещений. Протекание крыши или водопровода, а также обычная работа душевых в раздевалках также может способствовать увеличению уровня влажности в зданиях. Если не принять во внимание эти факторы, то через некоторое время (через несколько лет) можно столкнуться с серьезными проблемами.

Слишком высокая влажность может вызвать коррозию стальных конструкций, гниение деревянных элементов и потерю теплоизолирующих качеств ограждающих конструкций. Даже в такой стране, как Финляндия, где за последние тридцать лет были возведены сотни катков, некоторые катки с деревянными каркасами столкнулись с проблемами гниения уже через четыре года после завершения строительства. Высокая относительная влажность способствует размножению некоторых типов плесневого грибка. Так, например, крытая хоккейная площадка в городе Вест Сенека (West Seneca), штат Нью-Йорк, была закрыта в мае 2008 г. по причине заражения плесенью. Санация помещений продлится до осени и повлечет расходы, оцениваемые в \$ 188 тыс.

Проблема повышенной влажности и угроза возникновения плесени усложняется повышенной герметичностью ограждающих конструкций крытых ледовых площадок. Минимальная инфильтрация практически исключает неорганизованный воздухообмен. Если в здании есть зоны с недостаточной циркуляцией воздуха, то ассимиляции избыточной влажности осушенным воздухом не происходит. После того, как плесень прочно «внедрилась» в пористые материалы, ее устранение становится почти невозможным.

В настоящее время используются две методики для определения минимально необходимого воздухообмена, достаточного для обеспечения допустимого качества воздуха в помещении:

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		14

**Методика на основе удельных норм воздухообмена**, когда количество наружного воздуха устанавливается в зависимости от назначения помещения и режима его эксплуатации. Эта методика, как правило, применяется для расчета величины воздухообмена в помещениях, назначение которых не предполагается изменять, а значит, величина и характер загрязняющих веществ, поступающих в эти помещения, также не будут меняться в период эксплуатации;

**Методика на основе расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ**, когда необходимое качество воздуха определяется в зависимости от величины и характера загрязняющих веществ в помещении. Эту методику рекомендуется применять для расчета величины воздухообмена в помещениях, которые могут изменять свое назначение и (или) режим работы в период эксплуатации, а также в которых могут присутствовать или появиться интенсивные источники загрязняющих веществ.

Как правило, при проектировании малых и развлекательных катков в техническом задании не учитываются вредности, выделяющиеся двигателями машин. Практика показывает, что расход свежего воздуха рассчитывают исходя из санитарной нормы. При игре в хоккей в зоне ледяного поля одновременно могут находиться до 50 человек. По санитарным нормам для спортсменов и судей необходима подача  $80 \text{ м}^3/(\text{чел} \cdot \text{ч})$  свежего приточного воздуха, что составит  $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$  (кратность меньше  $0,5 \text{ ч}^{-1}$ ).

Эффективность воздухообмена и чистота воздуха в значительной степени зависит от организации воздухораспределения. Преимущественно расположение вытяжных решеток в непосредственной близости от обслуживаемой зоны. Уместно отметить, что многие крытые катки являются многоцелевыми спортивно-развлекательными сооружениями. В большинстве залов многоцелевого назначения принята подача сверху вниз через воздухораспределители плафонного типа. В тех случаях, когда каток используется для массового катания, т.е. бортики отсутствуют, упомянутая схема обеспечивает эффективное удаление выхлопного газа. Если имеется хоккейная

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		15

коробка, то ограждения (в т.ч. прозрачные), достигающие высоты 3,2 м, препятствуют удалению загрязненного воздуха с площадки. С конструктивной точки зрения удобнее всего располагать приточные и вытяжные устройства над ледовой площадкой ближе к кровле. В этом случае важно избежать «короткого замыкания», изображенного на Рисунок 2.1.

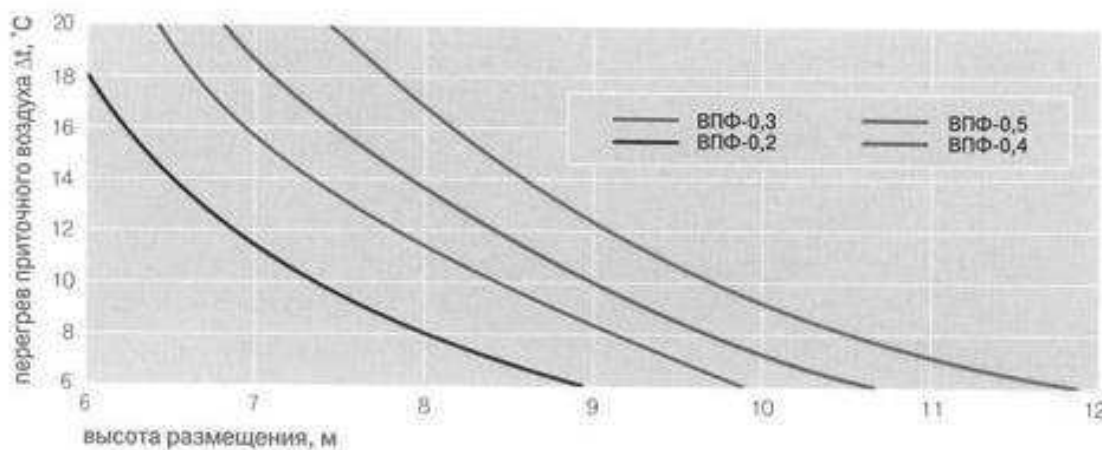


Рисунок 2.1 – Максимальный перегрев приточного воздуха при наклонной подаче (угол выпуска 30°) через сопла

Чтобы компенсировать конвективные теплопотери от воздуха на ледяной плите, приточный воздух должен иметь повышенную температуру. Наилучшие условия для обеспечения, требуемого воздухораспределения достигаются подачей приточного воздуха через сопла. Сопла закрепляют на приточных воздуховодах, располагаемых в зависимости от размеров поля и высоты спортивного зала. В соответствии с нормами подвижность воздуха в рабочей зоне не должна быть больше 0,2 м/с.

Наиболее распространенные способы подачи теплого воздуха:

- горизонтальными струями (сосредоточенная), при таком способе обслуживаемая зона омывается обратным потоком;
- наклонно под углом к горизонту;
- вертикально вниз.

Недостатки первого варианта очевидны (см. рис.10.3). При выборе второго варианта нужно понимать, что организация воздухообмена в помещениях,



которые оборудованы системами вентиляции, совмещенными с воздушным отоплением, сопряжена с рядом трудностей. Под влиянием гравитационных сил может существенно изменяться схема развития струи. Так, струя нагретого воздуха, подаваемого сверху вниз, может всплывать в верхнюю зону помещения, не достигая рабочей зоны. Ситуация может усугубляться значительной высотой здания (в случае спортивных сооружений – до 24 м). Увеличение высоты устройств раздачи воздуха обеспечивает возможность подачи больших расходов в одной точке и уменьшение общего количества воздухораспределителей. На рис. 10.3 приводятся результаты исследования возможности перегрева приточного воздуха при различных вариантах размещения воздухораспределителей с поворотными фланцами ВПФ (диаметр направляющего сопла от 120 до 220 мм). Данные сопла обладают улучшенными акустическими характеристиками и широким диапазоном по расходу.

Разность температур приточного подогретого воздуха и воздуха в рабочей зоне рекомендуется принимать не более:

$$\Delta t = 13 \cdot \left( \frac{m \cdot V_0}{H - h_{p.z.}} \right) \cdot \frac{A_0^{0,5}}{n} \sin^3 \alpha, \quad (2.1)$$

где  $V_0$  – скорость в начальном сечении;

$A_0$  – расчетное выходное сечение воздухораспределителя;

$m = 6,4$  – скоростной коэффициент воздухораспределителя;

$n = 4,8$  – температурный коэффициент воздухораспределителя;

$H$  и  $h_{p.z.}$  – высота оси воздухораспределителя от пола и высота рабочей зоны.

Например, для равномерного перекрытия ледового поля в  $1800 \text{ м}^2$  приточными струями необходимо подавать примерно  $35000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При скорости истечения струи  $12 \text{ м/с}$  для ВПФ-0,3 (Ø120 мм) расход составит  $875 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для компенсации потерь тепла от воздуха ко льду в обслуживаемую зону требуется подводить до  $50 \text{ кВт}$  тепла. Разница температуры воздуха на притоке и в зоне катания может составлять  $8-12 \text{ °С}$ . Расчеты показывают, что струя будет развиваться оптимально при установке воздухораспределителей на отметке  $4-9 \text{ м}$ .

						Лист/л
					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	17
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		

Для размещения воздухораспределителей выше отметки 12 м потребуется перейти к меньшему количеству и соответственно к большим диаметрам направляющих сопел. Расстояние между соседними воздухораспределителями ВПФ-0,5 (0220 мм,  $L = 3500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) станет более 10 м. Для свободной струи угол раскрытия составляет порядка  $11^\circ$ . Уменьшение количества направляющих сопел приведет к ухудшению равномерности распределения воздуха по катку. Недостаток наклонной подачи воздуха заключается еще и в том, что в зависимости от наружных и внутренних микроклиматических параметров требуется варьировать температуру приточного воздуха и, вследствие этого, изменять угол выпуска струи.

Состояние льда в значительной степени зависит от равномерности распределения температуры воздуха на площадке. Локальное повышение температуры приводит к снижению твердости льда, в результате чего при динамических нагрузках спортсмены могут повредить суставы ног. Все варианты компоновки системы воздухораспределения также нужно проверять на соответствие требованиям к подвижности воздуха в обслуживаемой зоне (не более 0,2 м/с). Правильно организованный воздухообмен с точно рассчитанной скоростью потоков должен обеспечивать стабильные и комфортные параметры воздуха на катке. Определение угла выпуска и дальнобойности струи и, следовательно, распределения температур и скоростей воздуха рабочей зоны подразумевает сложные компьютерные расчеты с использованием программ решения задач механики жидкости и газа.

Организация раздачи воздуха закрученной струей с сильной инжекцией позволит избежать сложностей, связанных с многовариантностью второй рассмотренной схемы. Воздух подается вертикально вниз непосредственно в рабочую зону. Подобное решение широко используется для отопления высоких складских и производственных зданий [10]. Воздухораспределитель с сильной инжекцией обеспечивает эффективное распределение приточного воздуха без создания его избыточной подвижности в помещениях от 4 до 13 м при различной

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		18

температуре подаваемого воздуха. Дальнобойность струи обеспечивается обтеканием дискового рассекателя в корне струи. В результате на начальном участке у потока формируется длинная компактная шейка, и угол раскрытия струи оказывается близким к нулю.

Воздушная струя является управляемой благодаря направляющему лопаточному аппарату. Разворот лопаток направляет движение наружных слоев по касательной с соответствующей степенью закручивания струи и уменьшением дальнобойности. При этом длина вертикального участка струи в случае автоматического регулирования постоянно отслеживается в зависимости от внешних динамических воздействий, опуская или приподнимая горизонтально расходящуюся часть струи.

Разворот лопаток осуществляется приводом с помощью ручного потенциометра или автоматически. Управление дальнобойностью и формой струи особенно удобно в многофункциональных спортивно-развлекательных сооружениях. Если комплекс работает в режиме катка, воздухораспределитель направляет в зону льда струю с избыточной температурой. Вариант использования объекта в качестве концертной площадки, особенно в летнее время, подразумевает подачу охлажденного воздуха. Направления действия гравитационной и инерционной силы совпадают при относительно высокой плотности охлажденного воздуха. Во избежание сквозняков воздух нужно подавать в горизонтальном направлении. В этом случае лопатки поворачиваются на максимальный угол и формируют веерную струю, которая в начальной фазе может налипать на покрытие за счет эффекта Коанда.

Повышенная эжекционная способность, интенсивный турбулентный обмен способствуют более быстрому, чем в прямоточной струе затуханию скоростных и температурных параметров воздуха. Благодаря такой технологии подачи воздуха и большой удельной производительности (до 9000 м<sup>3</sup>/ч) обеспечивается покрытие необходимой площади без избыточной подвижности воздуха. Например, для

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		19

равномерного распределения воздуха на стандартной хоккейной площадке требуется 8 инжекционных воздухораспределителей.

## 2.2 Анализ существующих проектов

### *Пример вентиляции Адлер-Арены*

«Адлер-Арена» является современным конькобежным центром с ледовым катком, выполненным согласно новейшим технологиям. В здании комплекса находятся мощное климатическое оборудование и специальная система с текстильными воздуховодами, которую разместили прямо над ледовой площадкой.

Текстильные воздуховоды являются приоритетными по причине:

- небольшой массы;
- легкости установки;
- внешних показателей.

Подобная конструкция является легкой и простой в установке из-за того, что при монтаже текстильных воздуховодов отсутствуют изоляционные материалы. В использовании последних нет необходимости, так как сама ткань является «дышащей» и не дает появляться конденсату.

Если говорить о «теплой» зоне – влага и тепловая энергия, исходящая от зрителей, выводится наружу посредством вентиляционных решеток, расположенных между катальной зоной и трибунным помещением.

За счет вывода тепловой энергии с помощью воздуха «теплая» зона не соединяется с «холодной». Таким образом, не наносится вред ледовой поверхности. Нагнетаемая воздушная масса смешивается с трибунным микроклиматом и направляется в сторону потолочной области, после чего попадает в вытяжную систему вентиляции.

Климатическая система комплекса «Адлер-Арена» проектировалась с участием известного специалиста по ледовым технологиям Бертуса Баттера. Голландскому технологу также пришлось определять необходимые климатические параметры в центре спортивной арены. Текстильные системы

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		20

раздачи воздушного потока выше «холодной» зоны способствовали равномерной подаче холодного воздуха вниз. Расположение текстильных воздуховодов организовано таким образом, чтобы свежий воздух воспрепятствовал проникновению тепла с трибун и в необходимом количестве подавался спортсменам. Благодаря этому воздух, имеющий разные свойства, не смешивается и арена имеет 2 климатические области.

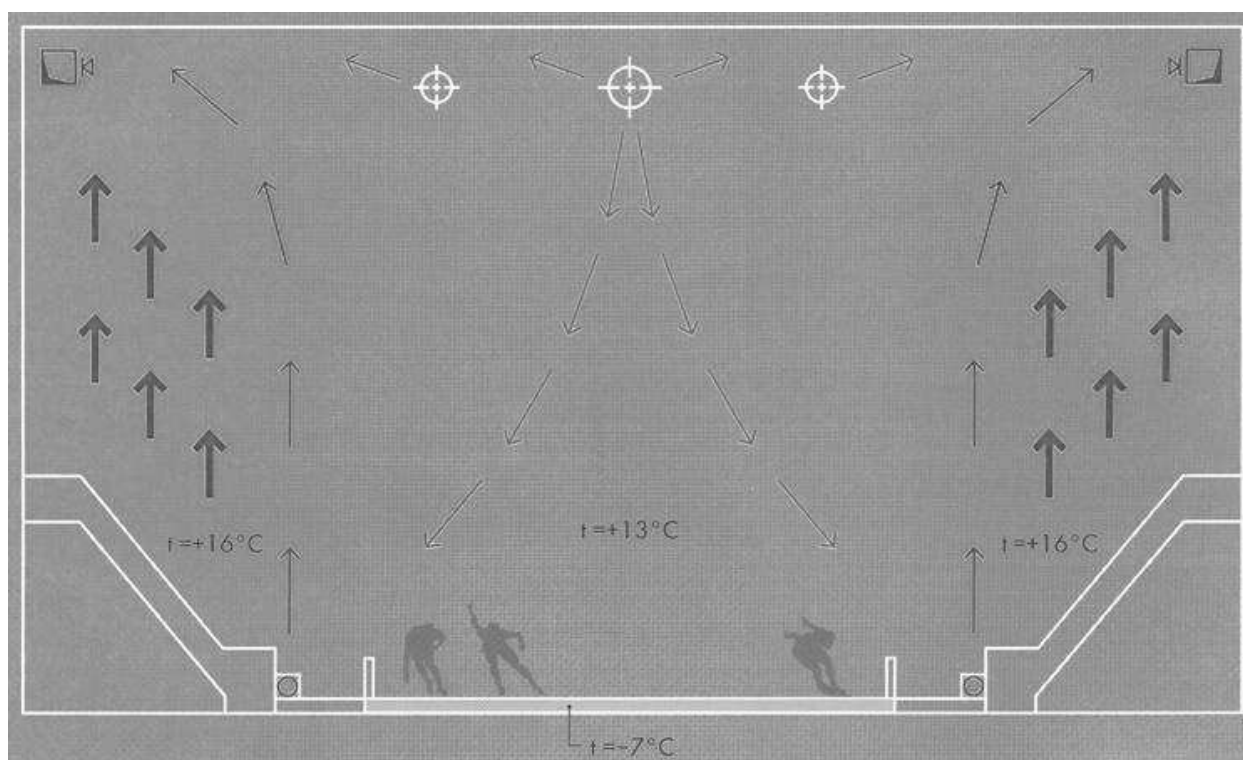


Рисунок 2.2 – Распределение воздуха по пространству ледовой арены

В наше время текстильным системам распределения воздуха удалось занять лидирующую позицию среди систем, с использованием которых создают отдельный микроклимат. Их технология разработки позволяет достичь равномерного распределения воздушного потока по всей поверхности воздуховода. Помимо этого, текстильная вентиляционная система может быть окрашена в любой цвет, поэтому она замечательно сочетается с внутренним дизайном «Адлер- Арены». Подобное технологическое решение не отличается уникальностью, поэтому его можно применять во время создания любого аналогичного спорткомплекса. Бертусу Баттеру приходилось организовывать двухзонный микроклимат, где применялись текстильные воздуховоды, на ледовой

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		21

арене Thialf, в конькобежном центре «Коломна» и других зданиях спортивного назначения.

После завершения Олимпийских игр 2014 года «Адлер-Арену» планируется переделать в самый крупный в южной части России центр для проведения выставок.

### *Экономия материальных средств владельца*

Использование утилизируемого тепла от холодильных машин на технические нужды. В наше время дефицита энергии каждый киловатт, выброшенный в атмосферу, кажется неоправданным расточительством. Внесение в рабочую схему холодильной установки дополнительных опций для рекуперации тепла, конечно, увеличит (не в разы, но все-таки) стоимость агрегата, но эти затраты имеют короткий срок окупаемости. Нетрудно подсчитать экономический эффект от использования 100-300 кВт/ч (в зависимости от модели установки) сохраненной энергии тепла там, где ранее платили за электричество или центральное отопление. Последний по счету, но не по значимости путь экономии средств – полная автоматизация технологического процесса работы системы охлаждения ледового поля. Современные приборы регулирования и контроля позволяют плавно поддерживать производительность холодильной машины и насосного модуля на уровне, необходимом на текущий момент, что в свою очередь сократит потребление электроэнергии установки в целом. Но не только. Штат обслуживающего персонала сократится до минимального необходимого уровня, отпадает необходимость в постоянном присутствии машинистов холодильных установок, а профессиональный сервис можно будет доверить сторонней организации для проведения сезонного технического обслуживания и эпизодических плановых работ.

Яркий пример всему вышеописанному – ледовая арена в торговом-развлекательном центре «ГРАД» в Воронеже. Компания «Простор Л» взяла на

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		22

себя производство и поставку полностью агрегатированного компрессорного и насосного оборудования, проектирование и монтаж системы холодоснабжения и конструкции технологической плиты ледового поля, а также пусконаладку, наморозку ледовой подосновы с вмораживанием рекламных баннеров. На данном объекте были применены все современные технологии. Теплота, утилизируемая от холодильных машин использовалась в системе обогрева грунта и в баке для таяния ледовой стружки. Профессиональные «ледовары» компании составили индивидуальную технологическую карту намораживания льда и обучили местные ледовые службы особенностям поддержания ледового покрытия в надлежащем качестве. Инженеры службы эксплуатации ввели сотрудников катка в курс дела касательно обслуживания холодильного оборудования. В совокупности все это позволило заказчику сократить затраты за строительство и эксплуатацию более чем на 20-25 процентов.

#### *Опыт математического моделирования ледовых арен Сочи*

Инженеры с помощью методов математического моделирования выполнили анализ проектных решений по воздухораспределению таких олимпийских объектов, как Дворец зимнего спорта «Айсберг», Ледовый дворец «Большой» и Ледовая арена «Шайба». Проведенные исследования показали, что исходные проектные решения не обеспечивают необходимые параметры воздушной среды вблизи ледового поля и требуют соответствующей корректировки.



Рисунок 2.3 – Моделирование распределения воздуха по пространству

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		23

## ледовой арены

Одной из основных проблем при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха ледовых арен является необходимость поддержания отличающихся значений параметров внутреннего воздуха вблизи ледовой поверхности и на трибунах. Невыполнение требований к параметрам воздуха у ледовой поверхности приведет к неравномерному подтаиванию льда, искривлению его поверхности, что абсолютно недопустимо для олимпийских объектов. Кроме того, параметры воздушной среды непосредственно влияют на эмоциональное и физическое состояние зрителей и спортсменов.

### *Особенности прогнозирования микроклимата ледовых арен*

Немаловажной задачей при проектировании данных объектов является обеспечение их современной системой вентиляции и кондиционирования воздуха, позволяющей поддерживать параметры воздушной среды в объеме помещения арены. Интервал таких значений должен соответствовать комфортным и технологическим условиям.

<p><b>Описание:</b> единое здание, перекрытое сферическим куполом. В основу концепции арены заложен образ замерзшей капли. Господствующий цвет покрытия купола – серебристый.</p>		
<b>Расположение:</b> Сочи (Россия).		
<b>Генеральный подрядчик:</b> НПО «Мостовик».		
<b>Генеральный проектировщик:</b> проектно-конструкторское бюро «Инфорспроект».		
<b>Архитекторы:</b> А. А. Князев, Н. Д. Цымбал.		
<b>Основное назначение:</b> многофункциональный спортивный, концертный и развлекательный комплекс.	<b>Общая площадь – 85 000 м<sup>2</sup>.</b>	<b>Вместимость – 12 000 зрителей.</b>
	<b>Общая высота – 48 м (шесть уровней, с учетом высоты подземной части).</b>	<b>Строительство объекта: 2009–2012 годы.</b>

Рисунок 2.4 – Ледовый дворец “Большой”

### *Особенности постановки математического моделирования*

- 1) Задание теплоступлений от постановочного освещения.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		24



2) Задание теплоступлений от зрителей.

Использование упрощенных балансовых методов, законов формирования струйных течений и т. п. для достоверного описания поведения потоков воздуха в «чаше» ледовых арен весьма затруднено, а в большинстве случаев практически невозможно. Обусловлено это такими особенностями, как:

- существенная неизотермичность течения по пространству (как по высоте, так и в горизонтальных сечениях);
- взаимодействие вынужденных потоков воздуха (приточные струи от сопел, диффузоров) и интенсивных свободно конвективных течений (потоки теплого воздуха, поднимающиеся от массива зрителей);
- необходимость учета радиационной составляющей на значительной части поверхностей, участвующих в теплообмене (поверхность льда и кровли).

Указанные особенности приводят к необходимости использования методов вычислительной гидродинамики для анализа и последующей корректировки проектных решений по воздухораспределению ледовых арен. Иными словами, требуется привлечение методов, основанных на численном решении системы трехмерных дифференциальных уравнений Навье – Стокса.

*Математическое моделирование ледовых арен*

При анализе проектных решений олимпийские объекты Ледовая арена «Шайба» и Ледовый дворец «Большой» моделировались для режима «хоккейный матч», а Дворец зимнего спорта «Айсберг» – для режимов «фигурное катание» и «шорт-трек».

Зрители являются причиной существенных тепло- и влагопоступлений в объеме арены. Кроме того, в моделях учтены теплоступления от осветительных приборов и информационных экранов. Температура льда варьируется в зависимости от типа проводимого мероприятия. Так, для соревнований по

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		25

фигурному катанию температура льда равна  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для хоккея  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для соревнований по шорт-треку  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Жесткие требования при сдаче ледовых объектов предъявляются к значениям температуры и относительной влажности на отметке 1 м от уровня ледовой поверхности.

Температуру в зоне зрительских трибун следует поддерживать в диапазоне от 18 до  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

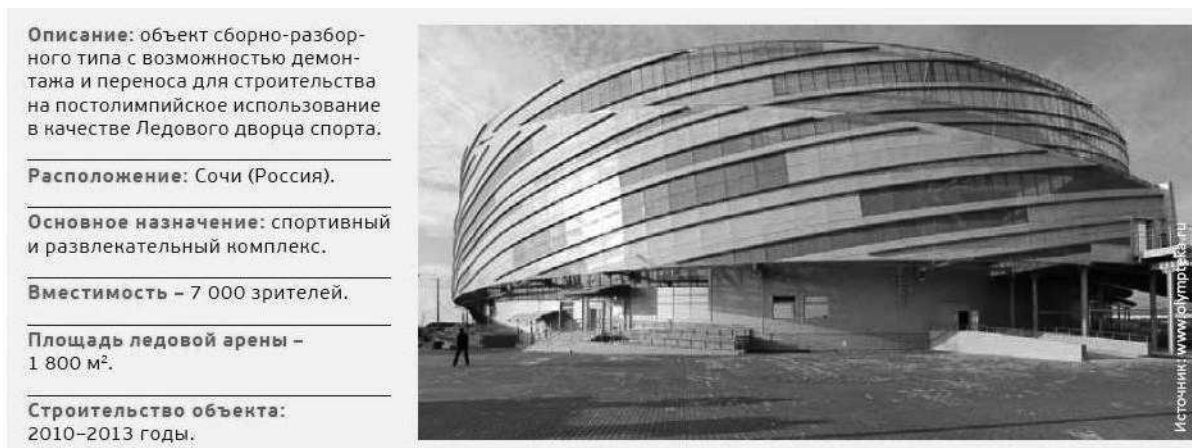


Рисунок 2.5– Ледовая арена “Шайба”

Движение хоккеистов приводит к возникновению интенсивного перемешивания воздушной среды в зоне ледового поля. Последнее ведет к разрушению ламинарного пограничного слоя на ледовой поверхности и, соответственно, к увеличению коэффициента теплоотдачи ледовой поверхности. В совокупности с интенсивным перемешиванием воздушных масс над ледовым полем это приводит к понижению (по сравнению с условиями нахождения неподвижных игроков на поле) температуры воздуха. Для моделирования подобного эффекта была создана математическая модель с внесением в область движения хоккеистов кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации.



Рисунок 2.6– Распределение температуры и картина течения воздуха ледовой арены «Шайба»



Описание: объект сборно-разборного типа с возможностью демонтажа и переноса для строительства на постолимпийское использование в качестве Ледового дворца спорта. Название вызывает ассоциации с архитектурной формой объекта.

Расположение: Сочи (Россия).

Вместимость – 12 000 зрителей.

Основное назначение: спортивный и развлекательный комплекс.

Общая площадь – 67 830 м<sup>2</sup>.

Архитекторы: А. В. Боков и др.

Строительство объекта: 2009-2012 годы.

Рисунок 2.7 – Дворец зимнего спорта «Айсберг»

### *Подача воздуха в зону ледового поля*

Как показали проведенные исследования, наиболее проблемным местом при проектировании оказывается организация подачи воздуха в зону ледового поля. Важная проблема состоит в том, что при выборе оборудования, например сопел, проектировщики в качестве исходных параметров для программ подбора, как правило, закладывают температуру на выходе из сопел и температуру в рабочей зоне, в данном случае вблизи ледового поля. Однако в случае ледовых арен с трибунами для зрителей это оказывается неверным.

Так, если температура приточного воздуха из сопел по проекту 20 °С, а температура на отметке 1 м над поверхностью льда 14 °С, то программа подбора (или по закономерностям распространения струйных течений) рассматривает приточную струю как «теплую», т. е. всплывающую по мере распространения в направлении ледового поля с соответственным снижением ее дальности.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		28

Однако при значительных теплопоступлениях от зрителей (порядка 1 МВт), что характерно для больших объектов, в частности рассматриваемых олимпийских, температура в верхней зоне под кровлей становится выше 25 °С. В этом случае приточная струя от сопел (20 °С) в начале распространяется как «холодная» в окружающем воздухе с температурой выше 25 °С, ускоряясь при этом по отношению к изотермичной струе, и только потом по мере приближения к ледовой поверхности начинает себя вести как «теплая» и всплывает. Таким образом, фактическая дальнотойность струи существенно превышает ту величину, которую рассчитывает программа подбора. Как следствие, на практике струя будет «ударяться» в лед, привнося с собой теплый воздух и вызывая таяние льда. Именно эту ситуацию мы и получили при математическом моделировании исходного проектного решения Дворца зимнего спорта «Айсберг».

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм./И	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		29



Рисунок 2.8 – Математическое моделирование дворца зимнего спорта «Айсберг»

Предугадать распределение температуры воздуха в объеме арены с тем, чтобы учесть его при составлении проектного решения, без привлечения методов

математического моделирования чрезвычайно сложно, а для отдельных случаев и невозможно.

Рассмотренная проблема возникает при расчете не только ледовых арен, но и любых объектов, для которых характерно существенно неравномерное распределение температуры.

В таких случаях методы математического моделирования – необходимый инструмент анализа и корректировки заложенных проектных решений по воздухораспределению.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		31

### 3 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

#### 3.1 Определение количества поглощаемой теплоты ледовым полем в теплый период. Расчет мощности холодильной машины

Помещения с искусственным льдом требуют применения систем кондиционирования воздуха, назначением которых является:

- необходимость исключения появления тумана у поверхности ледового поля;
- избежание выпадения конденсата на ограждающих конструкциях;
- обеспечение санитарно-гигиенических параметров воздушной среды в зонах трибун.

Учитывая эти задачи в помещении ледового катка предпочтительно выбирать схемы в которых проектируются две системы. Первая обслуживает зону ледовой арены, а вторая создает и поддерживает требуемые санитарно-гигиенические параметры воздуха на трибунах.

При расчете потребности в холоде различают два режима работы катка: пусковой (нестационарный) в период намораживания ледяного покрова и эксплуатационный (стационарный) в период поддержания требуемой температуры льда.

При намораживании ледового поля холод расходуется на охлаждение и замораживание воды по данным источник для стандартных режимов подготовки льда для игры в хоккей требуется выработка холода порядка 600 кВт.

В режиме поддержания требуемой температуры на поверхности ледового покрытия  $t_{л}$ , °C холод расходуется на компенсацию тепловых выделений от:

- конвективной теплоотдачи от поверхности льда к воздуху над ареной  $Q_{т.конв}$ ;
- от радиационного теплопритока от поверхности перекрытий  $Q_{т.рад}$ , строительных конструкций, и также от освещения  $Q_{и.о}$ .

Далее приведен расчет озвученных теплопоступления.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		32



## Расчет конвективного притока тепла

Тепловой режим в зоне нахождения людей на ледовом покрытии определяется теплопритоками, прежде всего обусловленными низкими температурами поверхности льда.

Поток конвективного тепла, поступающий к поверхности льда, определяется по формуле:

$$Q_{\text{т.конв}} = F_{\text{л}} \cdot \alpha_{\text{конв}} \cdot (t_{\text{р.з}} - t_{\text{л}}) \quad (3.1)$$

где  $F_{\text{л}}$  – площадь поверхности ледового поля, м<sup>2</sup>;

$t_{\text{р.з.}}$  – температура воздуха в рабочей зоне, °С;

$t_{\text{л}}$  – температура поверхности льда, °С;

$\alpha_{\text{конв}}$  – коэффициент конвективного потока тепла Вт/м<sup>2</sup> · °С, определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{конв}} = 3,41 \cdot 3,55 \cdot V_{\text{л}} \quad (3.2)$$

где  $V_{\text{л}}$  – скорость воздуха над поверхностью льда, м/с.

По рекомендуется скорость воздуха у поверхности ледового покрытия ограничить 0,25 м/с. При определении конвективного потока тепла в расчет не принимается градиент температур между воздухом в рабочей зоне и температурой поверхности льда. Это объясняется незначительным влиянием градиента температур при конвективной передаче тепла к холодной поверхности.

Определение конвективного притока тепла

Площадь ледового покрытия составляет 1800 м<sup>2</sup>.

В теплый и холодный периоды для режима «соревнования» температура в рабочей зоне должна поддерживаться равной  $t_{\text{р.з.}} = +10$  °С. Температура ледовой поверхности равна  $t_{\text{л}} = -6$  °С.

В проекте принимаются рекомендованное значение скорости воздуха над ледяным покровом  $V_{\text{л}} = 0,25$  м/с. Коэффициент конвективного потока тепла определяется согласно формуле (4.2):

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		33

$$\alpha_{\text{конв}} = 3,41 \cdot 3,55 \cdot 0,25 = 4,2 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°С})$$

Поток конвективного тепла от воздуха к ледовому покрытию определяется по формуле (2.1):

$$Q_{\text{т.конв}} = 1800 \cdot 4,2 \cdot (10 + 6) = 120960 \text{ кВт}$$

### **Расчет лучистого тепла, поступающего от ограждающих конструкций**

Лучистое тепло, поступающее от ограждающих конструкций и поверхностей, имеющих более высокую температуру, по сравнению с температурой льда является одной из наиболее важной составляющей притока тепла. Приток лучистого тепла от потолка к поверхности ледового покрытия вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{т.рад}} = F_{\text{пер}} \cdot q_{\text{рад}} \cdot \beta_{\text{отр}} \quad (3.3)$$

где  $F_{\text{пер}}$  – площадь поверхности перекрытия, м<sup>2</sup>;

$q_{\text{рад}}$  – удельный поток лучистого тепла к поверхности ледового поля, Вт/м<sup>2</sup>, определяется по графической зависимости от температуры поверхности льда и температуры ограждающих конструкций.

$\beta_{\text{отр}}$ , - отражающая способность поверхности потолка.

По рисунку 3.4 [13] удельный поток лучистого тепла принимается равным 85 Вт/м<sup>2</sup> при температуре наружных ограждающих конструкций  $t_{\text{нок}} = 22 \text{ °С}$  и температуре поверхности льда  $t_{\text{л}} = -6 \text{ °С}$ . Поверхность потолка покрыта алюминиевой краской, поэтому коэффициент отражения  $\beta_{\text{отр}} = 0,6$ . Приток лучистого тепла от потолка к поверхности льда принимается по формуле (3.3):

$$Q_{\text{т.рад}} = 2520 \cdot 62 \cdot 0,6 = 93\,744 \text{ Вт}$$

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		34

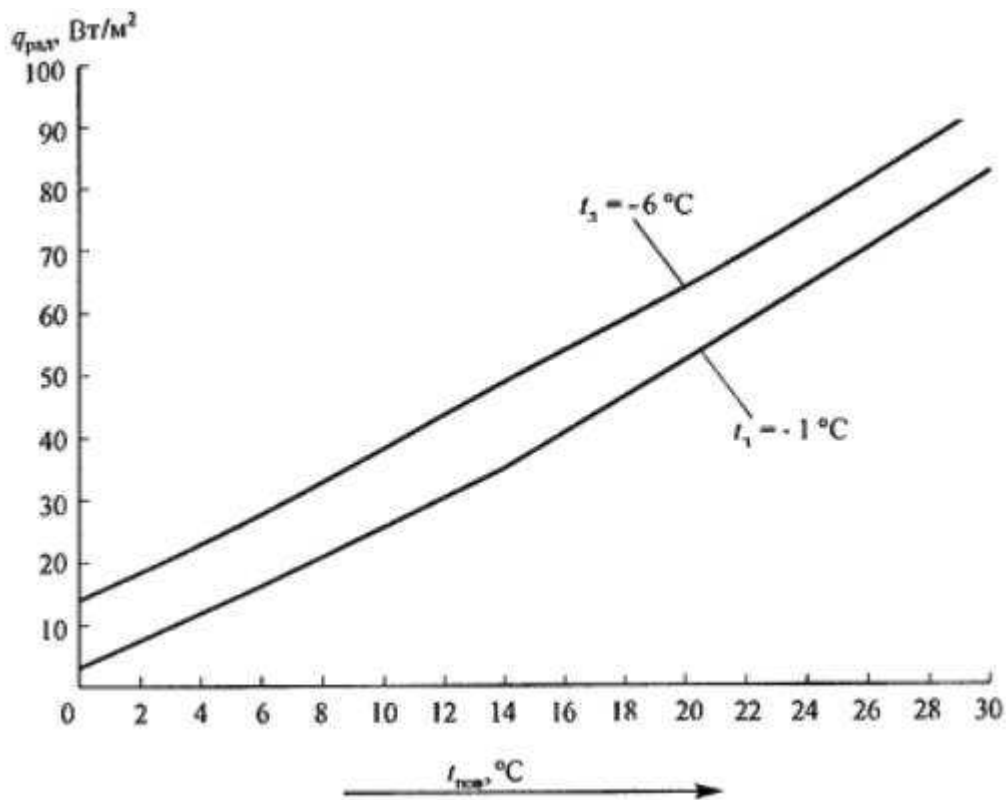


Рисунок 3.1 – Графическая зависимости температуры поверхности льда и температуры ограждающих конструкций

### Тепловыделения от искусственного освещения

Поступающее тепло от освещения определяется по формуле:

$$Q_{\text{ио}} = E \cdot q_{\text{осв}} \cdot \eta \cdot F_{\text{пол}} \quad (3.4)$$

где  $E$  – расчетная освещенность, лк, определяемая по табл.17 [4];

$q_{\text{осв}}$  – удельные тепловыделения от люминесцентных ламп, Вт/(м<sup>2</sup> · лк);

$\eta$  – доля световой энергии, поступающая в помещение;

$F_{\text{пол}}$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>.

*Определение тепловыделений от искусственного освещения в крытом ледовом катке*

Исходя из [15] до 40% выделившейся от светильников тепловой энергии воспринимается вытяжным воздухом в зоне ледовой арены, следовательно, доля световой энергии, поступающей в помещение составляет 0,6.

Согласно [13] удельные тепловыделения от люминесцентных ламп составляют  $q_{\text{осв}} = 0,067$  Вт/(м<sup>2</sup> · лк).

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		35

Теплопритоки ледовому покрытию от приборов освещения вычисляются по формуле (3.4):

$$Q_{\text{ио}} = 500 \cdot 0,067 \cdot 0,6 \cdot 1800 = 36,18$$

### 3.2 Расчет мощности холодильной машины

Произведем расчет холодопроизводительности холодильной установки для режима поддержания требуемой температуры для ледового поля по формуле:

$$Q_{\text{хол}} = Q_{\text{т.конв}} + Q_{\text{т.рад}} + Q_{\text{ио}} \quad (3.5)$$

Поскольку в холодный период поступление тепла от солнечной радиации незначительно, поэтому приток лучистого тепла учитывается только для теплого периода.

Теплый период:

$$Q_{\text{хол}} = 120,96 + 93,744 + 36,18 = 250,884 \text{ кВт}$$

Холодный период:

$$Q_{\text{хол}} = 120,96 + 36,18 = 157,14 \text{ кВт}$$

Вывод: так как стандартная мощность холодильной машины в режиме намораживания льда составляет 600 кВт, а для постоянной компенсации тепlopоступлений требуется 158 кВт, то дополнительных мощностей предусматривать не требуется.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		36

### 3.3 Расчет кол-ва выделяемой влаги

Расчет осуществляется путем составления влажностного баланса.

Основным источником влаги в летний период (при круглогодичной эксплуатации крытых ледовых стадионов) является свежий воздух, подаваемый системами вентиляции. Влагосодержание атмосферного воздуха зависит от географического местоположения объекта. Используя климатические данные по параметрам “Б”, приведенные в [20], производится расчет избыточного влагосодержания приточного воздуха в теплый период года по отношению к точке росы.

Температура поверхности льда  $t_{л} = -6$  °С, это значение определяет количество влаги в граммах, которое необходимо удалить из каждого килограмма воздуха, поступающего внутрь крытого стадиона.

Влагосодержание наружного воздуха в теплый период  $d_{out}$ , г/кг, определяется по формуле:

$$d_{out} = \frac{i - t \cdot c_{pa}}{i_g + t \cdot c_{pv}} \cdot 10^3, \quad (3.6)$$

где  $i$  – удельная энтальпия наружного воздуха в теплый период, кДж/кг;

$t$  – температура наружного воздуха в теплый период, °С;

$c_{pa}$  – удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении при температуре 0 °С (1 кДж/кг·°С);

$c_{pv}$  – удельная энтальпия паров воды при постоянном давлении при температуре 0 °С (1,805 кДж/кг·°С);

$i_g$  – удельная энтальпия насыщенных водяных паров при температуре 0 °С (2501 кДж/кг).

$$d_{out} = \frac{52 - 27 \cdot 1}{2501 + 27 \cdot 1,805} \cdot 10^3 = 9.8 \text{ г/кг}$$

Влагосодержание воздуха непосредственно над поверхностью льда  $d_{in}$ , г/кг, определяется по формуле:

$$d_{in} = \frac{M_V}{M_A} \cdot \frac{P_S}{P - P_S} \cdot 10^3, \quad (3.7)$$

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		37

где  $M_V$  – молекулярная масса воды (0,01802 кг/моль);

$M_A$  – молекулярная масса воздуха (0,02896 кг/моль);

$P$  – атмосферное давление (101330 Па на уровне моря);

$P_S$  – парциальное давление насыщенных паров воды при температуре точки росы  $t_{dp}$ , Па.

Парциальное давление насыщенных паров воды определяется по эмпирической формуле, справедливой в температурном диапазоне от -100 до 0 °С:

$$P_S = \exp\left(\frac{g}{T} + i + k \cdot T + l \cdot T^2 + m \cdot T^3 + n \cdot T^4 + q \cdot \ln(T)\right), \quad (3.8)$$

$$\text{где } g = -5,6745359 \cdot 10^3;$$

$$i = 6,3925247;$$

$$k = -9,677843 \cdot 10^{-3};$$

$$l = 6,22115701 \cdot 10^{-7};$$

$$m = 2,0747825 \cdot 10^{-9};$$

$$n = -9,484024 \cdot 10^{-13};$$

$$q = 4,1635019;$$

$$T = t_{dp} + 237,15 = 5,3 + 273,15 = 278,45 \text{ К.}$$

$$P_S = \exp\left(\frac{-5,6745359 \cdot 10^3}{278,35} + 6,3925247 - 9,677843 \cdot 10^{-3} \cdot 278,45 + 6,22115701 \cdot 10^{-7} \cdot 278,45^2 + 2,0747825 \cdot 10^{-9} \cdot 278,45^3 - 9,484024 \cdot 10^{-13} \cdot 278,45^4 + 4,1635019 \cdot \ln(278,45)\right) = 937 \text{ Па}$$

Необходимый влагосъем от поступающего наружного воздуха в теплый период определяется по формуле:

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		38

$$d_{in} = \frac{0,01802}{0,02896} \cdot \frac{937}{110330 - 937} \cdot 10^3 = 5,3 \text{ г/кг}$$

Необходимый влагосъем от поступающего наружного воздуха в теплый период определяется по формуле:

$$W_{\text{fresh air}} = d \cdot \rho \cdot L \cdot 10^3 \quad (3.9)$$

$$W_{\text{fresh air}} = 5,3 \cdot 1,2 \cdot 4000 \cdot 10^3 = 21,44 \text{ кг/ч}$$

Потребный влагосъем по количеству воды, расходуемой на восстановление поверхности льда, определяется по формуле:

$$D_{\text{reserf}} = \frac{m_{\text{reserf}} \cdot n}{T_{\text{day}}} \quad (3.10)$$

где  $T_{\text{day}}$  – количество часов, в течение которых ледовый стадион эксплуатируется на протяжении суток, час/сутки;

$n$  – количество циклов восстановления поверхности льда на протяжении времени  $T_{\text{day}}$ ;

$m_{\text{reserf}}$  – количество воды, расходуемое при каждом очередном восстановлении поверхности льда, кг, принимается согласно таблице 2[15].

Ледовая площадка эксплуатируется 14 часов в сутки. Восстановление льда проводится 12 раз в сутки. Количество воды, расходуемое при каждом восстановлении поверхности льда в теплый период, составляет 3 кг при температуре воды  $t_{\text{воды}} = 55 \text{ °C}$  и относительной влажности воздуха  $\varphi_{\text{в.л.}} = 70\%$ . В холодный период количество воды расходуемое при каждом восстановлении поверхности льда составляет 10 кг при температуре воды  $t_{\text{воды}} = 55 \text{ °C}$  и относительной влажности воздуха  $\varphi_{\text{в.л.}} = 30\%$ . При этом количество влаги, выделяемое при восстановлении поверхности льда:

В теплый период:

$$W_{\text{resurf}}^T = 3 \cdot \frac{12}{14} = 2,571 \text{ кг/ч}$$

В холодный период:

$$W_{\text{resurf}}^T = 10 \cdot \frac{12}{14} = 8,571 \text{ кг/ч}$$

Потребный влагосъем по удельным выделениям влаги от людей

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		39

определяется по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^2 W_{\text{люд}}^i \cdot p_i \cdot 10^{-3}, \quad (3.11)$$

где  $p_i$  – вместимость ледовой арены по категориям посетителей ( $i=1,2$ ), чел;

$W_{\text{люд}}^i$  – удельные выделения влаги от людей, г/чел, (спортсмены – 135 г/чел, зрители – 36 г/час).

$$W = (135 \cdot 50) \cdot 10^{-3} = 6,75 \text{ кг/ч}$$

Итоговый влажностный баланс определяет потребный влагосъем внутри ледового стадиона, на величину которого подбирается адсорбционный осушитель, определяется по формуле:

$$W = W_{\text{fresh air}} + W_{\text{resurf}} + W_{\text{met}} \quad (3.12)$$

$$W = 21,44 + 8,571 + 6,75 = 36,76 \text{ кг/ч}$$

Таблица 3.1 – Сводная таблица вредных выделений

Период года	Теплопоступления, Вт						Вредные вещества	
	От людей		От освещения	Конв. приток тепла	Лучистое тепло	Всего		
	Явные	Полные				Явные	Полные	W, г/ч
Холодный	10000	14500	36180	154800	93744	294724	299224	36760



## 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВОЗДУХООБМЕНОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.

### 4.1 Теория расчета

Помещение ледовой арены предназначено для проведения тренировок, соревнований по игре в хоккей с шайбой, а также для культурно-массового катания, поэтому помещение с искусственным льдом оборудовано трибунами для зрителей.

Воздух над поверхностью льда имеет температуру  $t_{в.л.}$ , которая зависит от назначения ледового поля, поэтому для разных видов мероприятий рекомендуются следующие температуры льда:

- для игры в хоккей с шайбой и с мячом  $t_{л} = -6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- для фигурного катания  $t_{л} = -4 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $-3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- для керлинга  $t_{л} = -5 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $-4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- для отдыха  $t_{л} = -3 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $-2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;
- для скоростного бега на коньках  $t_{л} = -6 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $-8 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Над поверхностью ледового полотна должно поддерживаться состояние воздуха с температурой  $t_{в.л.} = +10^\circ\text{C}$ , с максимально допустимой влажностью  $\phi = 70\%$ , что соответствует температуре точки росы  $t_{р.в.л.} = 4,8^\circ\text{C}$ , (точка Вл на I-d диаграмме), для чего необходимо глубокое осушение приточного воздуха.

От ледяного покрытия к воздуху над ним поступает, определенный ранее по формуле (2.1), конвективный холод в размере  $Q_{х.кон.} = 120,96 \text{ кВт}$ . Если данный приток холода не компенсировать подогретым приточным воздухом  $L_{пр}$ , то воздух у поверхности льда понизится до температуры точки росы и будет полностью насыщен водяными парами при влажности 100%. Дальнейшее понижение температуры воздуха ниже температуры точки росы приведет к выпадению конденсата на строительных конструкциях, а также к образованию тумана над ледовым полем. Данное стечение обстоятельств недопустимо из условия сохранения качества льда для проведения соревнований и тренировок.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		41

Исходя из этого, поступление холода от льда должно компенсироваться количеством тепла, необходимого на нагрев приточного воздуха  $Q_{т.пр.}$ , Вт, количество которого определяется по формуле:

$$Q_{т.пр} = Q_{х.конв} - Q_{люд}^я \quad (4.1)$$

При проведении различных мероприятий от людей на льду выделяются тепло и влага. Количество удельных выделений тепла  $q_{т.люд}$ , Вт · ч/чел, и влаги  $w_{люд}$ , гр/ч · чел, зависят от температуры и физической нагрузки, выполняемой людьми.

Принято считать, что игроки выполняют тяжелую работу, зрители находятся в состоянии покоя, а отдыхающие при массовом катании выполняют среднюю работу. Значения удельных тепло- влаговыделений определяются по таблице 4.1 [10].

Таблица 4.1 – удельные значения тепло- и влаговыделение от людей

Зона катка	Температура	Характеристика работы		
		Состояние покоя	Работа средней тяжести	Тяжелая работа
Трибуны	+25 °С	$Q_я = 64$ Вт · ч/чел	-	-
		$Q_п = 130$ Вт · ч/чел		
		$W=36$ гр/ч·чел		
Ледовая арена	+10 °С	-	$Q_я = 165$ Вт · ч/чел	-
			$Q_п = 215$ Вт · ч/чел	
			$W=70$ гр/ч·чел	
		-	-	$Q_я = 200$ Вт · ч/чел
				$Q_п = 290$ Вт · ч/чел
				$W=135$ гр/ч·чел

Теплопоступления от людей по явному теплу,  $Q_{люд}^я$ , Вт, вычисляются по формуле:

$$Q_{люд}^я = q_{люд}^я \cdot N \quad (4.2)$$

Теплопоступления от людей по полному теплу,  $Q_{люд}^п$ , Вт, вычисляются по

$$Q_{люд}^п = q_{люд}^п \cdot N \quad (4.3)$$

Количество влаги, выделяемой людьми  $W_{\text{люд}}$ , г/час, определяются по формуле:

$$W_{\text{люд}} = w_{\text{люд}} \cdot N \quad (4.4)$$

Температура приточного воздуха для компенсации необходимого тепла определяется по формуле:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{в.л.}} + \frac{3,6 \cdot Q_{\text{т.пр}}}{L_{\text{пр}} \cdot \rho \cdot c} \quad (4.5)$$

Расход приточного воздуха определяется условиями равномерного распределения воздуха приточными струями по всему ледовому покрытию и созданием условий для понижения температуры по длине струи. Наилучшее выполнения данных условий достигают подачей приточного воздуха сверху вниз через сопловые воздухораспределители. Расход приточного воздуха вычисляется по формуле:

$$L_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{т.пр}}}{\Delta t \cdot \rho \cdot c} \quad (4.6)$$

Перепад температур между приточным воздухом и воздухом у поверхности льда рекомендуется принимать  $\Delta t = 8 - 12$  °С. Поскольку высота ледовой арены в коньке достигает 9 м, а, следовательно, приточные воздуховоды расположены на высоте 4 – 7 м, с целью минимизации расхода приточного воздуха, примем перепад температур  $\Delta t = 10$  °С. Скорость воздуха у поверхности льда рекомендуется принимать не более 0,25 м/с.

По санитарным нормам для людей на льду необходимо обеспечить подачу свежего воздуха в количестве  $80 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{чел.}$

Таким образом, минимальный расход приточного воздуха по санитарной норме  $L_{\text{сн}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , вычисляется по формуле:

$$L_{\text{сн}} = 80 \cdot N \quad (4.7)$$

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		43

Помещение ледовой арены разделено на две различных зоны (ледовое покрытие и зона трибун для зрителей), для которых требуется поддержание различных температурно-влажностных режимов. Каждую из этих зон обслуживают отдельные установки, не связанные между собой.

Исходя из этого расход приточного воздуха для ледовой арены и трибун рассчитывается как отдельные системы кондиционирования воздуха.

#### **4.2 Расчет параметров процессов обработки воздуха в режиме соревнований**

##### **Ледовая арена**

##### *Расчет параметров приточного воздуха*

Во время соревнований на ледовом поле находится 50 человек. По формуле (4.2) определяем величину явного тепла, поступающего от людей:

$$Q_{\text{люд}}^{\text{я}} = 200 \cdot 50 = 10 \text{ кВт.}$$

По формуле (4.3) определяем величину явного тепла, поступающего от людей:

$$Q_{\text{люд}}^{\text{п}} = 290 \cdot 50 = 14,5 \text{ кВт.}$$

По формуле (4.1) определяем количество тепла, необходимого на нагрев приточного воздуха:

$$Q_{\text{т.пр}} = 120,96 - 10 = 110,96 \text{ кВт}$$

По формуле (4.4) определяем количество влаги, выделяемой спортсменами:

$$W_{\text{люд}} = 135 \cdot 50 = 6750 \text{ гр/ч}$$

По формуле (4.6) определяем расход приточного воздуха:

$$L_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 110960}{10 \cdot 1,2041 \cdot 1,005} \approx 33000 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

По формуле (4.7) определим количество воздуха, необходимое согласно санитарным требованиям:

$$L_{\text{сн}} = 80 \cdot 50 = 4000 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

По формуле (4.5) определим температуру приточного воздуха:

$$t_{\text{пр}} = 10 + \frac{3,6 \cdot 110960}{33000 \cdot 1,2041 \cdot 1,005} \approx 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		44

### Расчет параметров удаляемого воздуха

Воздух, достигший ледового поля охладившись до расчетной температуры  $t_{в.л.}=+10^{\circ}\text{C}$ , далее удаляется вытяжной системой, приемники которой расположены под потолком, при этом происходит ассимиляция тепло- и влаговыделений поступающих от светильников (40%), солнечной радиации через покрытие, от людей и испарения влаги с поверхности льда. На I-d диаграмме этот процесс изображен линией Вл-Вуд. Наклон линии определяется путем расчета луча процесса по формуле:

$$E = \frac{Q_{п}^{сум} \cdot 3,6}{W} \quad (4.8)$$

где  $Q_{п}^{сум}$  - полные тепlopоступления, Вт;

$W$  - поступление влаги, г/кг.

$$E = \frac{(14500 + 24120) \cdot 3,6}{36,76} = 5207 \text{кДж/кг}$$

Определим количество влаги, воспринимаемое вытяжным воздухом по формуле:

$$\Delta d_{\text{выт}} = \frac{W \cdot 1000}{L_{в} \cdot 1,2} \quad (4.9)$$

где  $W$  – Суммарные влаговыделения, кг/ч

$L_{в}$  – количество вытяжного воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$$\Delta d_{\text{выт}} = \frac{36,76 \cdot 1000}{33000 \cdot 1,2} \approx 1 \text{г/кг}$$

Далее часть воздуха в состоянии  $V_{уд}$ , направляется на рециркуляцию, смешиваясь с санитарной нормой воздуха, образуя смесь с параметрами т. См.

Смесь воздуха должна быть осушена до допустимых параметров  $t_{в.л.}=+10^{\circ}\text{C}$  и  $\phi=70\%$  (с  $t_{р.в.л.}= 4,9^{\circ}\text{C}$ ), что соответствует влагосодержанию  $d=5,5$  г/кг. Исходя из данных условий подбирается тип и мощность осушителя воздуха (см.разд. 5).

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		45

Психрометрическая I-d диаграмма  
 Адсорбция (Диаграмма Молье)

Атмосферное давление: 98,8 кПа

Макс. Допустимая влажность: 100 %

Температура на поверхности испарителя: 6 °C

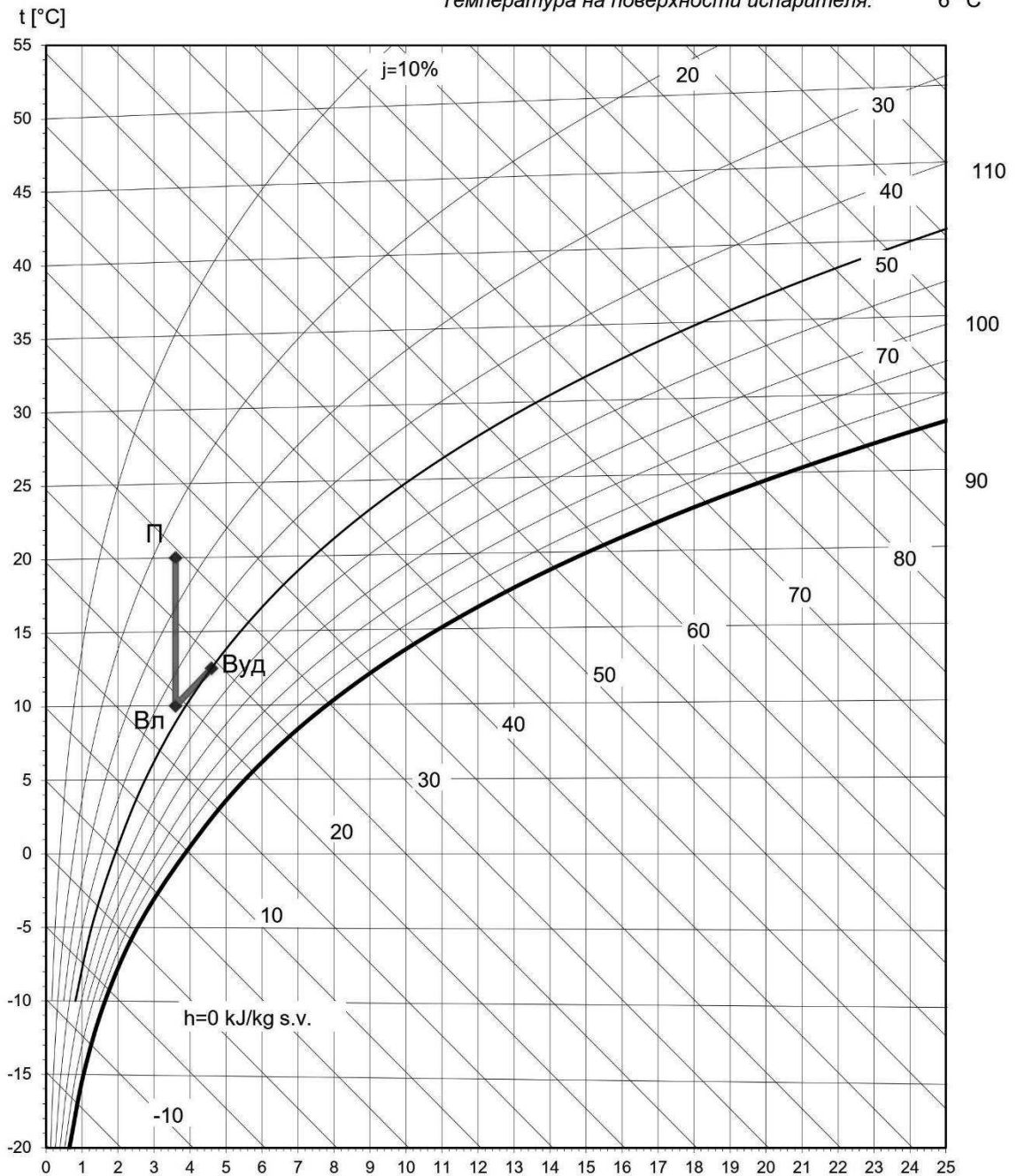


Рисунок 4.1 – id диаграмма, отображающая процесс ассимиляции вредностей приточным воздухом

Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата
-------	------	-----------	---------	------

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

## Зона трибун

Поскольку помещение ледовой арены разделено на две зоны, то расчет расхода приточного воздуха для трибун проводится из условия разбавления и удаления тепlopоступлений от людей.

Во время соревнований на трибунах находится 409 человек.

По формуле (4.2) определяем величину тепlopоступлений от людей:

$$Q_{\text{люду}}^{\text{я}} = 64 \cdot 409 = 26176 \text{ Вт}$$

По формуле (4.4) определяем количество влаги, выделяемой зрителями:

$$W_{\text{люду}} = 36 \cdot 409 = 14724 \text{ гр/ч}$$

По формуле (4.6) определим количество воздуха, необходимое согласно санитарным требованиям:

$$L_{\text{сн}} = 20 \cdot 409 = 8180 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Общий расход воздуха принимается равным  $8200 \text{ м}^3 / \text{ч}$

К зрителям от ледяного поля поступает радиационное охлаждение, которое вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{хр.эр}} = f_{\text{ч}} \cdot L \cdot \lambda_{\text{пов}} \cdot q_p \cdot I_p, \text{ Вт} \quad (4.10)$$

где

$f_{\text{ч}}$  – поверхность взрослого человека,  $\text{м}^2$ ;

$L$  – число людей на трибуне;

$\lambda_{\text{пов}}$  – доля облучаемой поверхности сидящего человека, принимаем 0,6;

$I_p$  – средний угловой коэффициент облучения трибун, принимаем 0,3.

Рассчитаем количество холода, поступающего к зрителям:

$$Q_{\text{хр.эр}} = 1,6 \cdot 409 \cdot 0,6 \cdot 82 \cdot 0,3 = 9\ 659 \text{ Вт}$$

Общие теплоизбытки составят:

$$Q_{\text{т.изб}} = Q_{\text{люду}}^{\text{я}} - Q_{\text{хр.эр}} = 26176 - 9\ 659 = 16517 \text{ Вт}$$

В связи с тем, что тепловыделения от людей превышают тепlopотери то догрева воздуха не требуется, требуется ассимиляция полученных теплоизбытков. Ассимиляция достигается нагревом санитарного кол-ва приточного воздуха до температуры определяется расчетом по формуле (4.5)

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		47

По формуле (4.5) определим температуру приточного воздуха:

$$t_{\text{пр}} = 25 - \frac{3,6 \cdot 16517}{8200 \cdot 1,18 \cdot 1,005} = 18,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### **4.3 Расчет параметров процессов обработки воздуха в режиме массового катания**

Во время массового катания на ледовом поле находится 100 человек.

На трибунах зрителей нет.

По формуле (4.2) определяем величину явного тепла, поступающего от людей:

$$Q_{\text{люд}}^{\text{я}} = 165 \cdot 100 = 16,5 \text{ кВт.}$$

По формуле (4.1) определяем количество тепла, необходимого на нагрев приточного воздуха:

$$Q_{\text{т.пр}} = 120,96 - 16,5 = 104,96 \text{ кВт}$$

По формуле (4.4) определяем количество влаги, выделяемой спортсменами:

$$W_{\text{люд}} = 70 \cdot 100 = 7000 \text{ гр/ч}$$

По формуле (4.7) определим количество воздуха, необходимое согласно санитарным требованиям:

$$L_{\text{сн}} = 40 \cdot 100 = 4000 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

По формуле (4.5) определим температуру приточного воздуха на расход определённый в пункте 3.2.1:

$$t_{\text{пр}} = 10 + \frac{3,6 \cdot 104960}{33000 \cdot 1,2041 \cdot 1,005} \approx 19,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### **4.4 Расчет параметров процессов обработки воздуха в режиме тренировки спортсменов**

Во время соревнований на ледовом поле находится 50 человек. По формуле (4.2) определяем величину явного тепла, поступающего от людей:

$$Q_{\text{люд}}^{\text{я}} = 200 \cdot 50 = 10 \text{ кВт.}$$

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		48



По формуле (4.1) определяем количество тепла, необходимого на нагрев приточного воздуха:

$$Q_{т.пр} = 120,96 - 10 = 110,96 \text{ кВт}$$

По формуле (4.4) определяем количество влаги, выделяемой спортсменами:

$$W_{люд} = 135 \cdot 50 = 6750 \text{ гр/ч}$$

По формуле (4.6) определяем расход приточного воздуха:

$$L_{пр} = \frac{3,6 \cdot 110960}{10 \cdot 1,2041 \cdot 1,005} \approx 33000 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

По формуле (4.7) определим количество воздуха, необходимое согласно санитарным требованиям:

$$L_{сн} = 80 \cdot 50 = 4000 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

По формуле (4.5) определим температуру приточного воздуха:

$$t_{пр} = 10 + \frac{3,6 \cdot 110960}{33000 \cdot 1,2041 \cdot 1,005} \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Таблица 4.2 – итоговые тепло- и влаговыведения от людей.

Режим функционирования арены	Зона	Выделения от людей			Сан. норма	Суммарные показатели		
		$Q_{\text{люд}}^{\text{я}}$ кВт	$Q_{\text{люд}}^{\text{п}}$ кВт	$W_{\text{люд}}$ гр/ч	$L_{\text{сн}}$	$\Sigma Q_{\text{люд}}^{\text{я}}$ кВт	$\Sigma Q_{\text{люд}}^{\text{п}}$ кВт	$\Sigma W_{\text{люд}}$ гр/ч
Режим соревнований	Ледовая арена	10	14,5	6750	4000	36,2	67,67	21474
	Зона трибун	26,2	53,17	14724	8180			
Режим массового катания	Ледовая арена	16,5	21,5	7000	4000	16,5	21,5	7000
	Зона трибун	-	-	-	-			
Режим тренировки	Ледовая арена	10	14,5	6750	4000	10	14,5	6750
	Зона трибун	-	-	-	-			

Как видно из таблицы выше режим соревнования является самым нагруженным, дальней расчет будет производиться на режим соревнований.

Таблица 4.3 – Принятые расходы воздуха и температуры приточного воздуха

Помещение	Расход приточного воздуха, $L_{пр}, \text{м}^3 / \text{ч}$	Расход рециркуляционного воздуха, $L_{рец}, \text{м}^3 / \text{ч}$	Температура приточного воздуха $t_{пр}, \text{°C}$
Ледовое поле	33000	4000	20
Трибуны	8200	-	18,9

## 5 ПОДБОР МЕТОДА ОСУШЕНИЯ

### 5.1 Сравнение методов осушения

Во время эксплуатации ледяного покрова имеет место быть возникновение некоторых проблем, связанных с выпадением конденсата из перенасыщенного воздуха на поверхность льда и на конструктивные элементы здания.

Возникновение тумана и конденсата главным образом вызывает увеличение болезней, обнаруживаемых у игроков, из-за повышенной влажности воздуха, качество намораживаемого льда приходит в негодность, а также выпадение конденсата водяных паров на большинстве строительных конструкция ледовой арены, что является причиной корродирования конструкций, возникновении грибкового налета, к увеличению расходов на ремонт и эксплуатацию комплекса.

Проектировщиками используются три основных метода противостояния избыточному влагосодержанию водяных паров в воздухе внутри зданий и сооружений: ассимиляционный, адсорбционный и конденсационный методы.

#### 5.1.1 Ассимиляционный метод

**Ассимиляционный** метод основан на физической способности теплого воздуха удерживать большое количество водяных паров по сравнению с холодным. Указанный метод реализуется средствами вентиляции с предварительным подогревом свежего воздуха. В настоящее время данный метод применяется редко, так как способность поглощения воздухом водяных паров ограничена и не постоянна, она зависима от времени года, температуры и абсолютной влажности атмосферного воздуха, а также рассматриваемый метод характеризуется повышенным энергопотреблением в связи с наличием безвозвратных потерь явного (расходуемого на подогрев приточного воздуха) и скрытого тепла (содержащегося в удаляемых с воздухом парах воды).

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		51

## 5.1.2 Конденсационный метод

Конденсационный метод основан на принципе конденсации водяных паров, содержащихся в воздухе, при охлаждении его ниже точки росы. Метод реализуется с использованием принципа теплового удара, создаваемого при работе холодильного контура с расположенными непосредственно друг за другом испарителем и конденсатором.

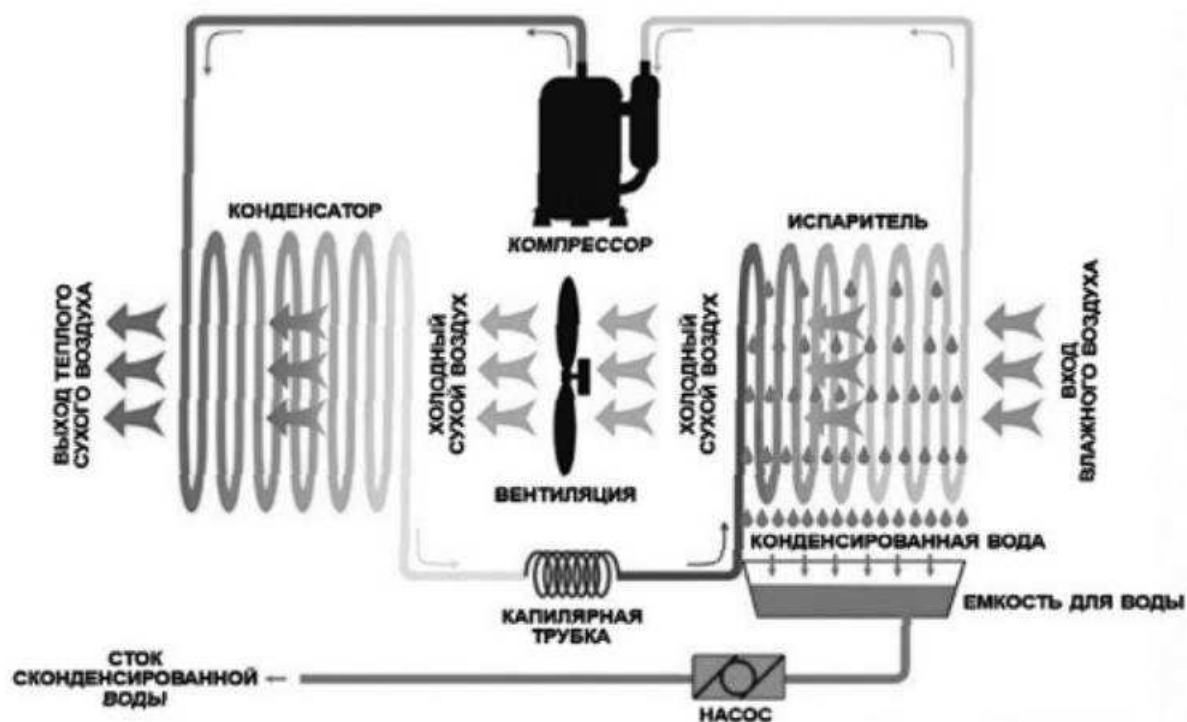


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема работы конденсационного осушителя

Основные плюсы конденсационного осушителя:

- более низкая стоимость относительно адсорбционного осушителя;
- высокая эффективность при температуре от 20 °С и влажности воздуха более 50%;
- бесшумность работы;
- небольшие габариты.

Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

Лист/л

52

### 5.1.3 Адсорбционный метод

**Адсорбционный** метод основан на свойстве некоторых материалов – сорбентов, поглощать влагу из воздуха. Такие материалы эффективно извлекают водяной пар из воздуха благодаря своей пористой структуре. В процессе влагопоглощения адсорбент насыщается и его эффективность снижается, поэтому сорбент необходимо периодически регенерировать, т.е. осушать его горячим сухим воздухом.

Осушенный воздух подается в помещение и ассимилирует тепло и влагу избытки помещения, далее через вытяжной канал поступает обратно в осушитель, процесс повторяется.

Несмотря на повышенное энергопотребление в связи с наличием безвозвратных потерь явного и скрытого тепла, данный метод достаточно экономичен. В отличие от ассимиляции осуществляется нагрев относительно небольшого количества воздуха в регенерирующем плече (около 25-30% от количества воздуха, циркулирующего в основном контуре) до значительно более высоких температур (порядка 150°C). К недостаткам метода относится ограниченный срок службы сорбента.

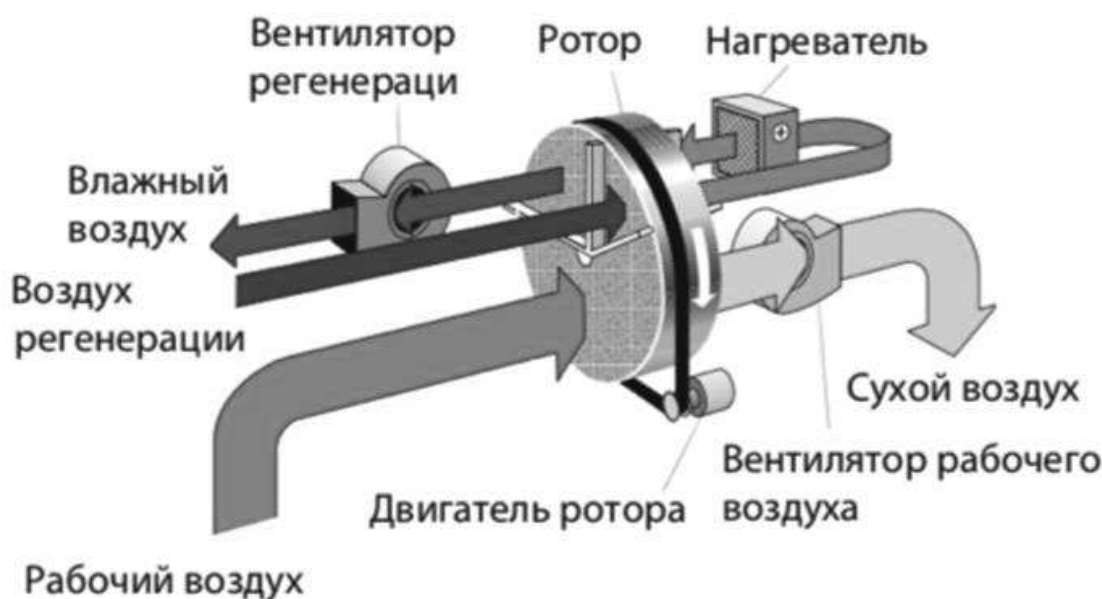


Рисунок 5.2 – Принципиальная схема работы адсорбционного осушителя

Сравнительная характеристика конденсационного и адсорбционного методов осушения наглядно представлена на рисунке ниже.

У конденсационных осушителей с ростом температуры воздуха увеличивается влагосъем на 1кВт потребляемой энергии. У адсорбционных осушителей указанная зависимость является обратной и менее выраженной. Кроме того, эффективность конденсационных осушителей резко падает с уменьшением относительной влажности воздуха, в то время как у адсорбционных осушителей данная зависимость значительно слабее.

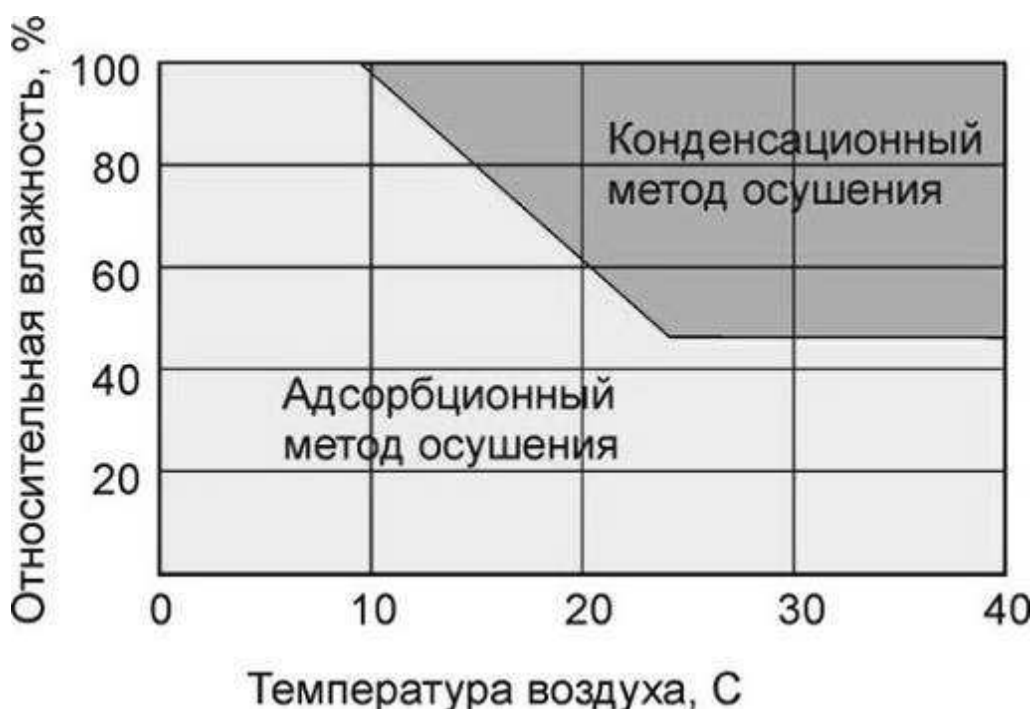


Рисунок 5.3 – график зон наиболее эффективного использования осушителей.

В результате можно четко выделить области преимущественного использования каждого из сопоставляемых типов осушителей.

С экономической точки зрения конденсационный метод более эффективен по сравнению с сорбционным при высоких значениях температуры и относительной влажности. Вместе с тем, адсорбционные осушители способны поддерживать чрезвычайно низкую относительную влажность, вплоть до 2%, при температурах до  $-20$  °C. Применение адсорбционных осушителей является оправданным на

ледовых площадках, молокозаводах, в винных и пивных погребах, охлаждающих туннелях, морозильных камерах, овощехранилищах и т.п.

Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки. Выбор метода требует тщательного анализа и учета опыта. Оба метода достаточно современны далее в данной дипломной работе будет представлено сравнение конденсационного и адсорбционного осушителя с учётом энергопотребления.

## 5.2 Построение процессов подготовки приточного воздуха для подачи в «чашу» ледовой арены

Построим процессы подготовки воздуха на  $i-d$  диаграмме для возможности оценки эффективности работы установки с адсорбционным осушителем и установки, в которой реализован конденсационный метод осушения воздуха.

### 5.2.1 Конденсационный метод осушения

Исходные данные для построения:

Параметры наружного воздуха определяются по параметрам Б:

- температура наружного воздуха  $t_n = 27$  ;
- Влажность наружного воздуха  $\varphi = 68\%$ .

Параметры вытяжного воздуха:

- температура вытяжного воздуха определена построением и составляет  $12,5^\circ\text{C}$
- Влагосодержание вытяжного воздуха определяется как сумма влагосодержания приточного воздуха (в результате предварительного построения определено  $6\text{г/кг}$ ) и  $\Delta d_{\text{выт}}$  определенного выше и равного  $1\text{г/кг}$ .  $x_{\text{выт}} = 6 + 1 = 1\text{г/кг}$

В качестве расхода наружного воздуха был принят расход, для обеспечения минимального санитарного количества.  $L_{\text{сан}} = 4000\text{ м}^3/\text{ч}$ . Расход

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		55

рециркуляционного определен как разница приточного воздуха и наружного

$$L_{\text{рец}} = 33000 - 4000 = 29000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таблица 5.1 – исходные данные для построения процессов.

	t, °C	φ, %	x, г/кг	L, м <sup>3</sup> /ч
Наружный воздух	27	68	-	4000
Рециркуляционный воздух	12,5	-	7	29000

На диаграмме ниже представлены следующие точки:

У – параметры наружного воздуха;

Уд – параметры рециркуляционного воздуха;

См – параметры точки смешения;

Ох – параметры воздуха после охлаждения;

П – параметры воздуха после нагрева до значений приточного воздуха.

Описание процессов:

Уд – У смешение воздуха;

См – Ох охлаждение воздуха;

Ох – П нагрев воздуха до параметров приточного;

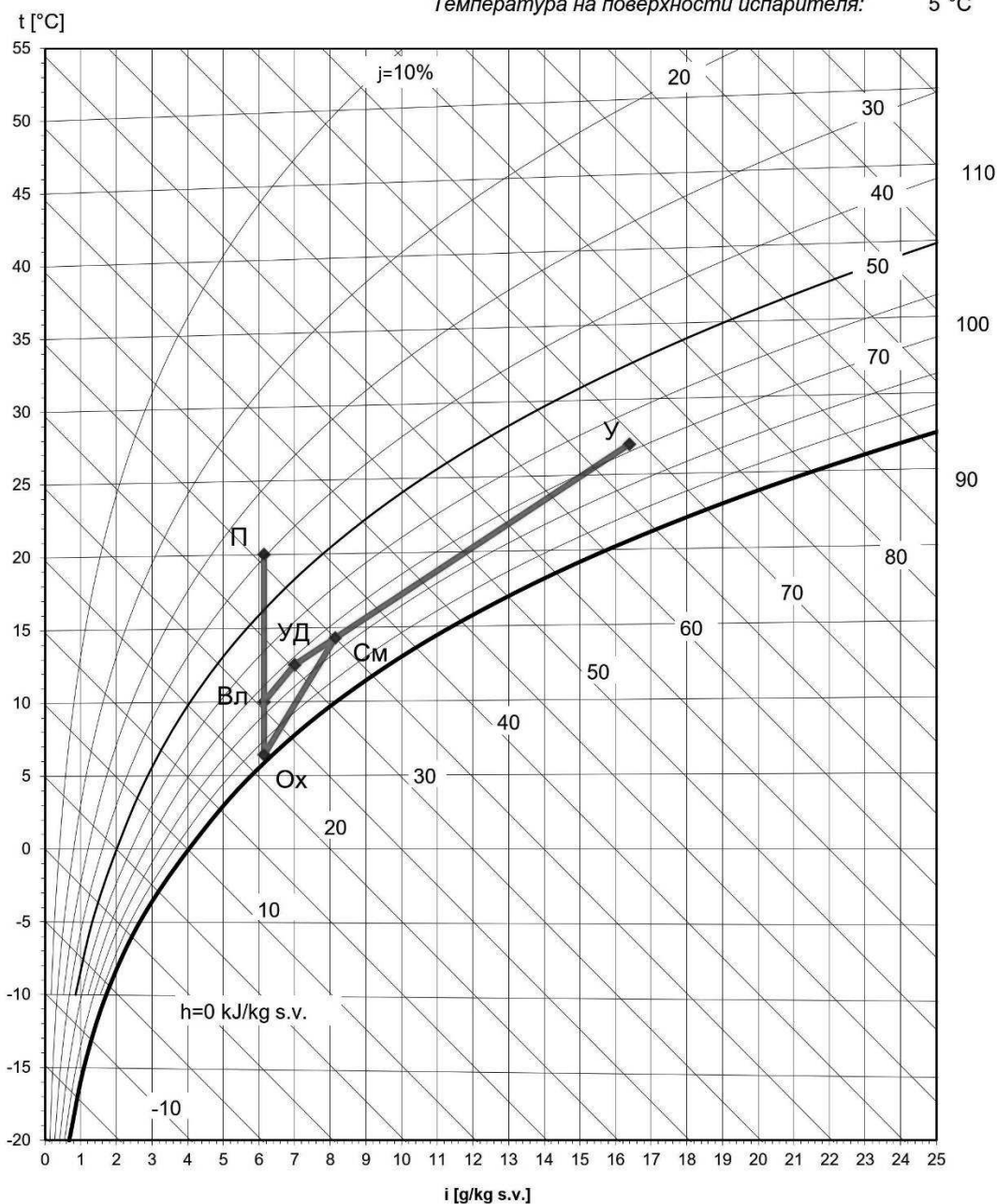
П – Вл – Уд процесс ассимиляции тепло и влагоизбытков в помещении ледовой арены.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		56



Психрометрическая I-d диаграмма  
Конденсация (Диаграмма Моля)

Атмосферное давление: 94,5 кПа  
Макс. Допустимая влажность: 100 %  
Температура на поверхности испарителя: 5 °С



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
			н. возд	рец. Воз	смеш	охл	нагрев						
Температура	t	°C	27,0	12,5	14,3	6,4	20,0	10,0	12,5				
Влажность	φ	%	68%	73%	75%	96%	40%	75%	73%				
Влагосодержание	x	g/kg s.v.	16,4	7,0	8,1	6,1	6,1	6,1	7,0				
Энтальпия	h	kJ/kg s.v.	69,1	30,3	35,0	21,9	35,8	25,6	30,3				
Плотность	ρ	kg/m <sup>3</sup>	1,09	1,15	1,14	1,17	1,12	1,16	1,15				
Темп.влажн.терм	tv	°C	22,3	9,8	11,7	5,9	11,9	7,6	9,8				
Расход	Vs	m <sup>3</sup> /h	4 492	30 538	35 030	33 961	35 614	0	0				
Расход*	Vn	m <sup>3</sup> /h	4 000	29 000	33 000	33 000	33 000	0	0				
Мощность	P	kW				144	152,8		0,0				
Влагоприток	qw	kg/h			0,0	-79,1	0,0		0,0				

Рисунок 5.4— id диаграмма, отражающая конденсационный метод осушения воздуха

Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата
-------	------	-----------	---------	------

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

Лист/л  
57

Таблица 5.2 – энергетические затраты на конденсационный осушитель.

Элементы осушителя	Потребленная холодильная энергия $Q_{хол}, \text{ кВт}$	Потребленная тепловая энергия $Q_{теп.}, \text{ кВт}$	Потребленная электрическая энергия $N, \text{ кВт}$
Испаритель	144	-	-
Конденсатор приточного воздуха	-	152	-
Конденсатор вытяжного воздуха	-	36	-
Компрессор	-	-	44

Как видно из таблицы холодильный контур осушения охладил приточный воздух, забрав у него 144кВт, затем нагрел его на 152 кВт, оставшиеся 36 кВт были сброшены конденсатором в вытяжной воздух. Затраченная на это электрическая энергия составила 44кВт.

### 5.2.2 Адсорбционный метод осушения

Исходные данные для построения:

Параметры наружного воздуха определяются по параметрам Б

- температура наружного воздуха  $t_n = 27$
- Влажность наружного воздуха  $\varphi = 68\%$

Параметры вытяжного воздуха:

- температура вытяжного воздуха определена построением и составляет  $12,5^\circ\text{C}$
- Влагосодержание вытяжного воздуха определяется как сумма влагосодержания приточного воздуха (в результате предварительного построения определено  $3,6\text{г/кг}$ ) и  $\Delta d_{\text{выт}}$  определенного выше и равного  $1\text{г/кг}$ .  $x_{\text{выт}} = 3,6 + 1 = 1\text{г/кг}$

В качестве расхода наружного воздуха был принят расход, для обеспечения минимального санитарного количества.  $L_{\text{сан}} = 4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Расход

рециркуляционного определен как разница приточного воздуха и наружного

$$L_{\text{рец}} = 33000 - 4000 = 29000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таблица 5.3 – исходные данные для построения процессов.

	t, °C	φ, %	x, г/кг	L, м <sup>3</sup> /ч
Наружный воздух	27	68	-	4000
Рециркуляционный воздух	12,5	-	3,6	29000

На диаграмме ниже представлены следующие точки:

У – параметры наружного воздуха;

Уд – параметры рециркуляционного воздуха;

См – параметры точки смешения;

Ос – параметры воздуха после осушения в адсорбционном роторном рекуператоре;

П – параметры воздуха приточного воздуха после доохлаждения.

Описание процессов:

Уд – У смешение воздуха;

См – Ос осушение воздуха в адсорбционном роторном рекуператоре;

Ос – П доохлаждения воздуха до требуемой температуры;

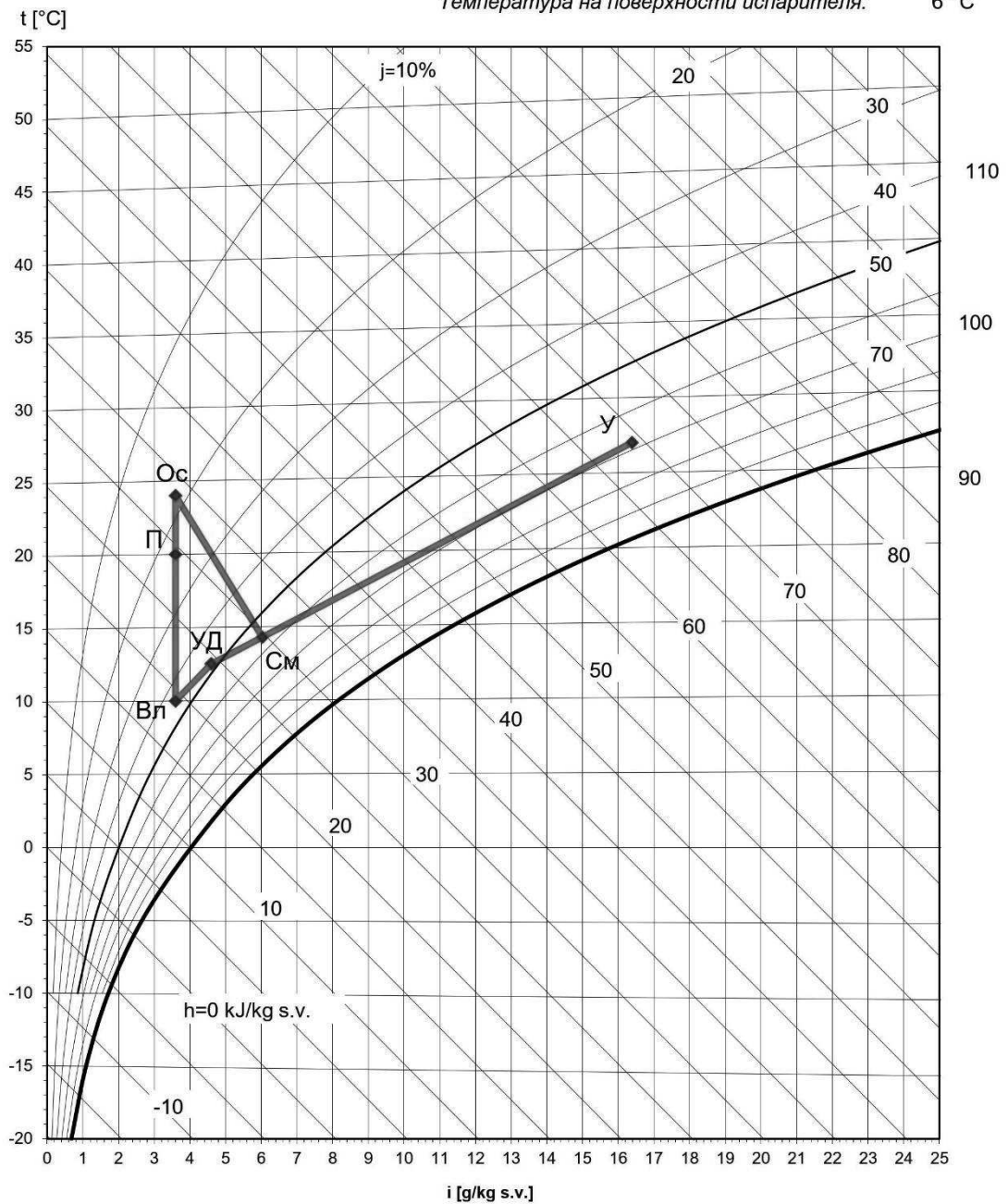
П – Вл – Уд процесс ассимиляции тепло и влагоизбытков в помещении ледовой арены.

Психрометрическая I-d диаграмма  
Адсорбция (Диаграмма Молье)

Атмосферное давление: 94,5 кПа

Макс. Допустимая влажность: 100 %

Температура на поверхности испарителя: 6 °C



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		н. возд	рец. Воз	смеш	осуш	охл	ссим. Холссим влэ				
Температура	t	°C	27,0	12,5	14,3	24,0	20,0	10,0	12,5		
Влажность	φ	%	68%	48%	56%	18%	23%	44%	48%		
Влагосодержание	x	g/kg s.v.	16,4	4,6	6,0	3,6	3,6	3,6	4,6		
Энтальпия	h	kJ/kg s.v.	69,1	24,2	29,7	33,4	29,3	19,2	24,2		
Плотность	ρ	kg/m³	1,09	1,15	1,14	1,11	1,12	1,16	1,15		
Темп. влажн. терм	tv	°C	22,3	7,2	9,6	11,1	9,4	4,8	7,2		
Расход	Vs	m³/h	4 492	30 421	34 914	35 954	35 470	34 260	34 617		
Расход*	Vn	m³/h	4 000	29 000	33 000	33 000	33 000	33 000	33 000		
Мощность	P	kW				41,1	-44,7	-111,8	55,7		
Влагоприток	qw	kg/h			0,0	-96,2	0,0	0,0	39,6		

Рисунок 5.5 – i-d диаграмма, отражающая адсорбционный метод осушения воздуха.

Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата
-------	------	-----------	---------	------

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

Лист/л

60

Таблица 5.4 – энергетические затраты на адсорбционный осушитель.

Элементы осушителя	Потребленная холодильная энергия $Q_{хол}$ , кВт	Потребленная тепловая энергия $Q_{теп.}$ , кВт	Потребленная электрическая энергия $N$ , кВт
Роторный регенератор	-	-	0,5
испаритель	41,1	-	
компрессор	-	-	12,5
конденсатор воздуха регенерации (нагрев до 50°C)	-	53,6	-
Электрический воздухонагреватель воздуха регенерации (до 55°C)	-	-	126,9
Дополнительный вентилятор воздуха регенерации	-	-	7,5

Как мы можем увидеть из таблицы выше теплота, отнятая от приточного воздуха (41,1кВт) была передана воздуху регенерации (53,6кВт), далее воздух регенерации продолжил нагреваться до 55°C в электрическом нагревателе (126,9кВт)

Итоговое потребление электрической энергии:

$$N_{итог} = N_{ротор} + N_{компр.} + N_{эл.к.} + N_{вент} = 0,5 + 12,5 + 126,9 + 7,5 = 147,4 \text{ кВт}$$

Таблица 5.5 – сравнительная таблица конденсационного и адсорбционного осушителя.

Метод осушения	Потребление электрической энергии, кВт	Достигнутая абсолютная влажность приточного воздуха, г/кг	Стоимость осушителя, руб.
Конденсационный	44	6	2 500 000
Адсорбционный	147,4	3,6	5 700 000

**Вывод по пятой главе:** в результате анализа процессов, построенных на Id диаграмме было определено энергопотребление конденсационного осушителя (44кВт) и адсорбционного осушителя (147,4кВт). Энергопотребление адсорбционного осушителя значительно выше энергопотребления конденсационного

Также в ходе анализа процессов, построенных на Id диаграмме, выяснилось, что минимально возможное влагосодержание воздуха после конденсационного осушителя составило 6г/кг, что является недостаточным для помещения ледовым покрытием. При помощи адсорбционного осушителя получилось достичь влагосодержания в 3,6г/кг, что является очень хорошим результатом. Приточный воздух с влагосодержанием 3,6г/кг способен эффективно ассимилировать избыточные влаговыведения в помещении ледовой арены, исключая тем самым возможность появления тумана и выпадения конденсата, т.к. температура точки россы, при данном влагосодержании составляет -1,4 градуса цельсия.

Для дальнейшего проектирования, не смотря на повышенное энергопотребление, выбирается роторный адсорбционный регенератор.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		62

## 6 ОПИСАНИЕ ПРИНЯТОЙ СХЕМЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ. ПОДБОР ЦЕНТРАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ

### 6.1 Приточно-вытяжная система над ледовой ареной

Для пространства над ледовой арены принята схема воздухораспределения согласно рекомендациям Кокорина О.Я., а именно: вытяжные рашетки сконцентрированы по середине ледового поля, приточные сопловые диффузоры расположены по флангам (

Рисунок 6.1). Приточно вытяжная система (ПВ1) рассчитана на расход воздуха 33000 м<sup>3</sup>/ч с температурой воздуха +20°.

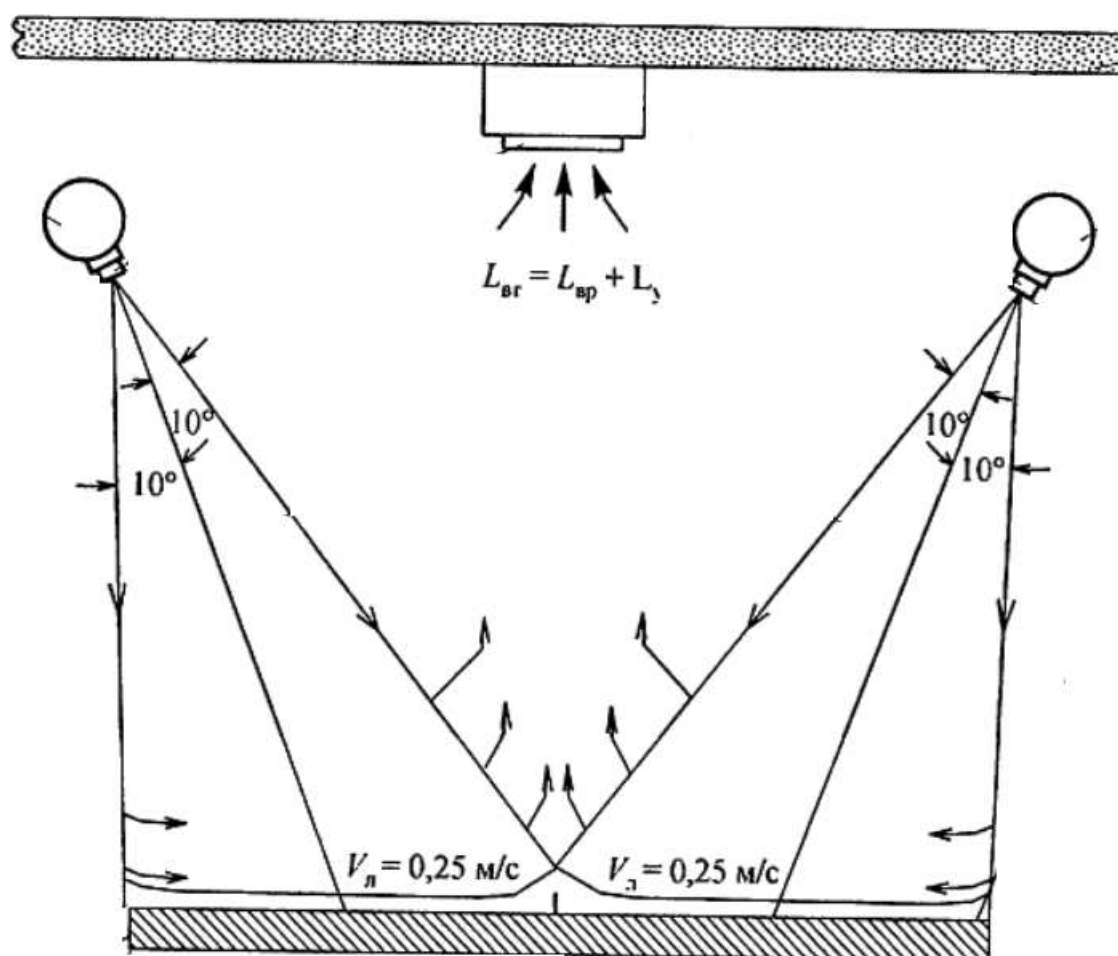


Рисунок 6.1 – Принятая схема воздухораспределения

Данная схема часто критикуется за то, что не удастся поддержать равномерное распределение воздушных потоков по всей площади поля. Однако данная схема является наиболее бюджетной по сравнению с более современными схемами с «воздушным» куполом как по капитальным, так и по эксплуатационным затратам,

									Лист/л
									63
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата	08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР				

а также требует более простых архитектурно-планировочных решений. Поэтому для данного объекта решено было выбрать эту схему, но подвергнуть принятые конструктивные решения проверке на математической модели.

В качестве центрального кондиционера принята установка ВЕРОСА 500 (Рисунок 6.2), в состав которой входит:

Приточный воздух:

- две ступени очистки;
- камера смешения приточного и рециркуляционного воздуха;
- жидкостный воздухонагреватель;
- адсорбционный роторный рекуператор;
- фреоновый охладитель;
- вентилятор;
- шумоглушитель.

Вытяжной воздух:

- шумоглушитель;
- камера смешения приточного и рециркуляционного воздуха;
- вентилятор.

Воздух регенерации:

- две ступени очистки;
- жидкостный воздухонагреватель;
- адсорбционный роторный рекуператор;
- вентилятор.

### **Описание работы установки**

Подготовка воздуха осуществляется в несколько этапов:

1. Смешение в камере рециркуляции. Происходит подмес минимального количества наружного воздуха, для обеспечения санитарных требований, в результате чего происходит повышение температуры и

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/Л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		64



влажносодержания рециркуляционного, за счет подмешивания влажного и теплого наружного воздуха.

2. Осушение воздуха в роторном адсорбционном рекуператоре. в следствии чего повышается температура приточного воздуха и понижение влажносодержания. Процесс близок к адиабатическому.
3. Охлаждение воздуха до требуемой температуры. Понижение температуры воздуха идет без изменения влажносодержания.

В данной установке предусмотрена дополнительная линия регенерационного воздуха для обеспечения максимального КПД роторного регенератора. Регенерационный воздух смешивается с необходимым количеством вытяжного воздуха, далее смесь проходит через первую четверть роторного колеса, после чего нагревается в жидкостном воздухонагревателе и проходит через вторую четверть роторного регенератора.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		65

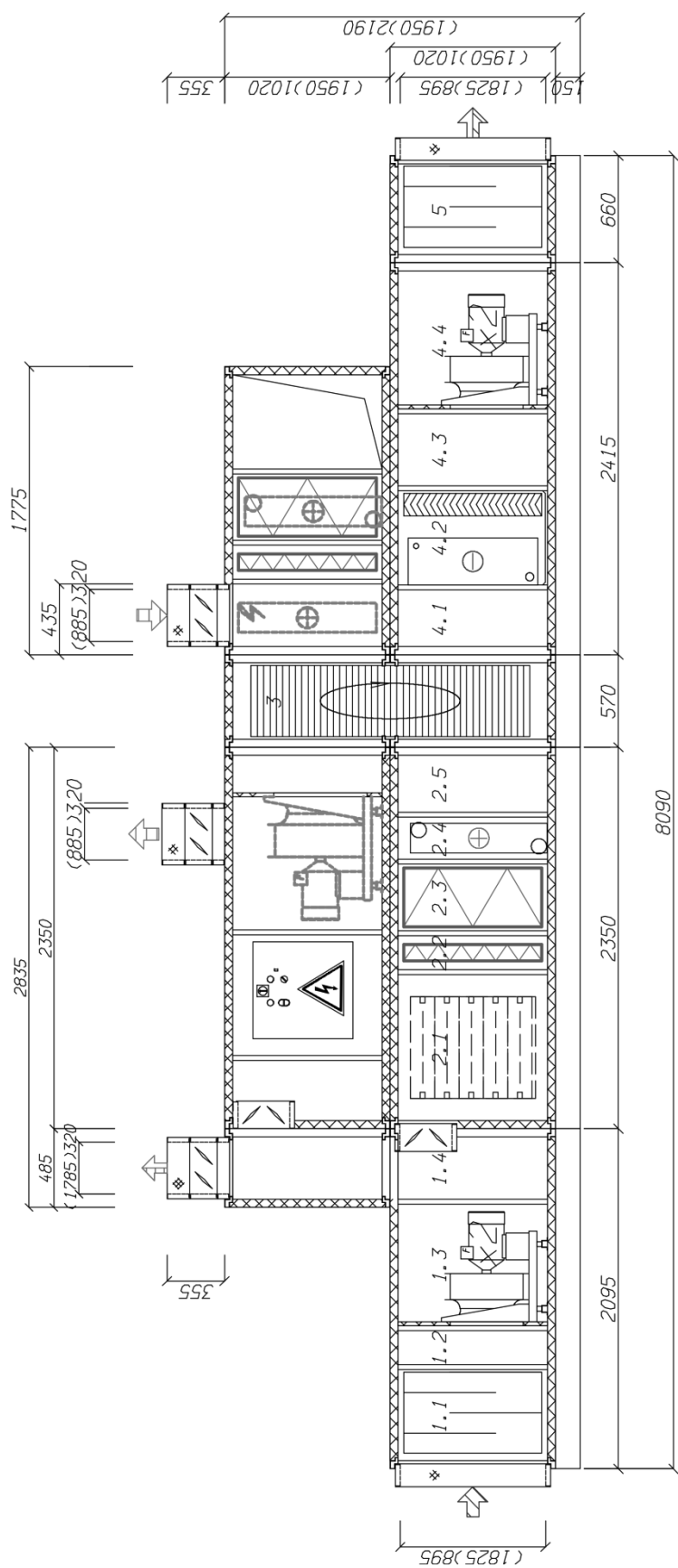


Рисунок 6.2 – Схема центрального кондиционера ПВ1

Изм./Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

## 6.2 Приточно вытяжная система над трибунами

Для зоны трибун принята система вентиляции ПВ2 , воздухообмен организован по схеме сверху-вверх, приточный воздуховод расположен у задней стены трибун, вытяжно перед ограждением хоккейной коробки. Приточная система рассчитана на расход 82000 м<sup>3</sup>/ч с температурой воздуха +12,4°. В качестве центрального кондиционера предусмотрена установка Верса 500 (Рисунок 6.3) со следующим составом:

- двухступенчатая фильтрация воздуха;
- жидкостный воздухонагреватель;
- роторный рекуператор;
- шумоглушители;
- приточный и вытяжной вентиляторы.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		67

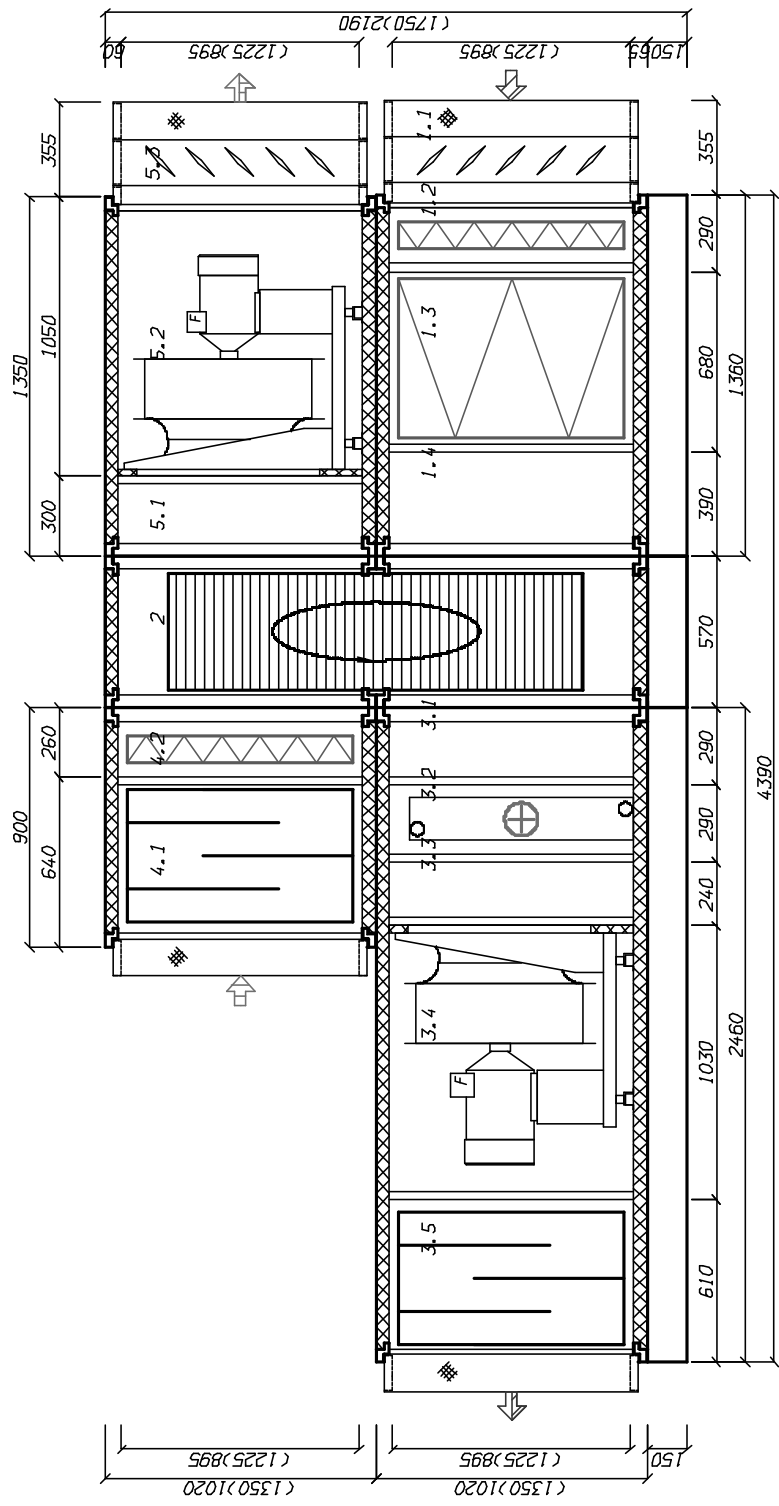


Рисунок 6.3 – Схема центрального кондиционера ПВ2

Изм./Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

### 6.3 Подбор сопловых воздухораспределителей.

От ледового поля в помещение поступает конвективный холод, который необходимо ассимилировать теплым приточным воздухом.

Скорость воздуха в рабочей зоне не должна превышать 0,25м/с. Перепад температуры приточного воздуха и воздуха внутри помещения составил 10°С

Лучший способ подачи воздуха в ледовой арене – это подача воздуха при помощи сопел. Типоразмер сопловых воздухораспределителей подбирается в зависимости от высоты расположения воздухораспределителя, расхода воздуха, подаваемого через один распределитель и требуемой подвижности воздуха. Конечная цель подбора распределителей – это создание необходимой подвижности воздуха в рабочей зоне со скоростью не более 0,25м/с.

К установке приняты круглые сопловые воздухораспределители VŠ-4/R разм.220 фирмы IRicond. Расход, приходящийся на один воздухораспределитель составил 1100м<sup>3</sup>/ч

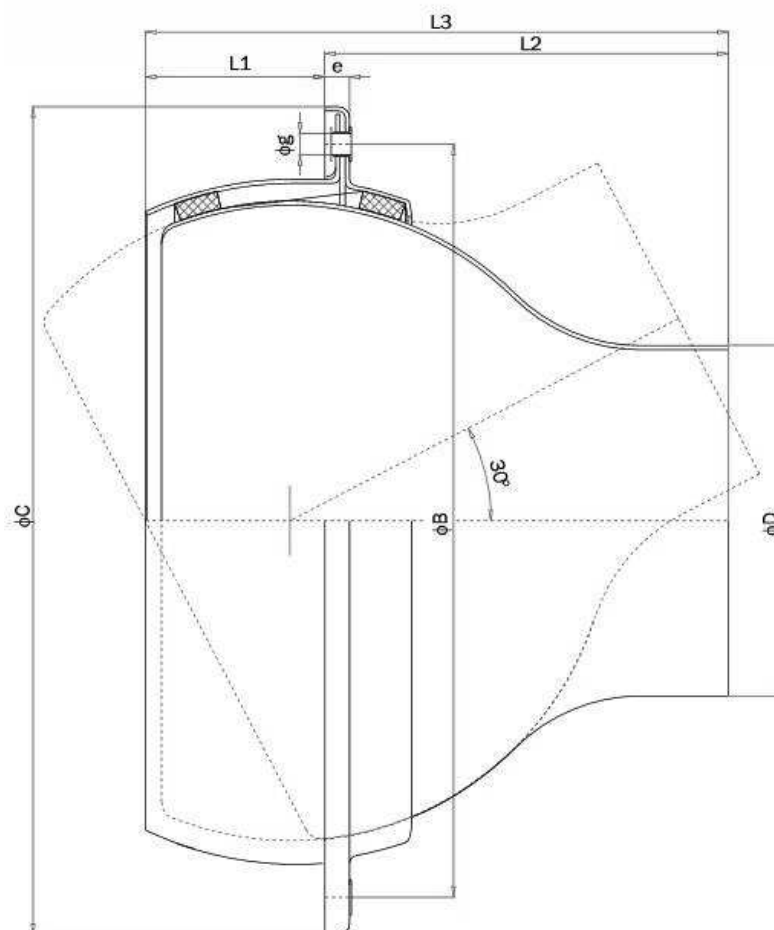
Общее количество сопел составило 30шт. на суммарный расход воздуха 33000 м<sup>3</sup>/ч

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		69



Рисунок 6.4 – Сопловой воздухораспределитель

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		70



Размер	$\phi D$	$\phi B$	$\phi C$	$e$	$L1$	$L2$	$L3$	$\phi g$	$n$	$A_{\text{эф}} (M^2)$
80	80	175	196,5	7	43	96	139	6,5	3	0,004778
100	100	215	236,5	7	51	115	166	6,5	3	0,007543
125	125	265	286,5	7	52	142	194	6,5	3	0,011882
160	160	340	361,5	9	75	180	255	6,5	4	0,019607
220	220	425	446,5	9	95	219	314	6,5	4	0,037325

$n$  – количество отверстий для крепления

Рисунок 6.5 – Габаритные размеры воздухораспределителя

## 7 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАБОТЕ ПРЕДЛОЖЕННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

### 7.1 Построение модели

С целью проверки точности принятых решений построена математическая модель процессов распределения воздуха в помещении. Проверке подвергались следующие решения: правильность выбора расчетного перепада температур и расчетного воздухообмена над ледовым полем и над трибунами, правильность подбора и схемы расстановки воздухораспределителей. Критерием правильности решения являлось: обеспечение равномерности распределения воздуха над ледовым полем, обеспечения расчетной скорости воздуха и расчетных температур в различных зонах арены.

Построение модели осуществляется в программе SolidWorks (Солидворкс). Это легкое в освоении средство позволяет инженерам-проектировщикам быстро отображать свои идеи в эскизе, экспериментировать с элементами и размерами, а также создавать модели и подробные чертежи. Появляется возможность построения 3D-модели, снабженной разнообразной технологической информацией, в результате чего, модель в дальнейшем, используется как основной источник информации. Система позволяет максимально детализировать модель, ведь чем больше технических характеристик можно заложить в 3D-модель, тем более реальным будет конечный результат.

Сначала создаем 3D модель крытого ледового катка, затем рисуем сеть воздуховодов. После того, как эта часть работы будет выполнена, задаем значения температуры, и скорости воздуха на выходе из приточных воздухораспределителей. Задаем значения вытяжных воздухораспределителей (температура забираемой среды, напор).

Расчет ведется для теплого периода года

Задаем температуру воздуха в помещении +10 °С, температура приточного воздуха определена выше и составляет +20 °С.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		72



После этого производим расчет и в качестве результатов получаем визуализированную модель движения воздушных масс, распространения температуры и скорости по высоте – это дает представление об уязвимых местах. После такого анализа принимаем проектные решения, необходимые для устранения проблемы.

## 7.2 Картины распределения скоростей и температур

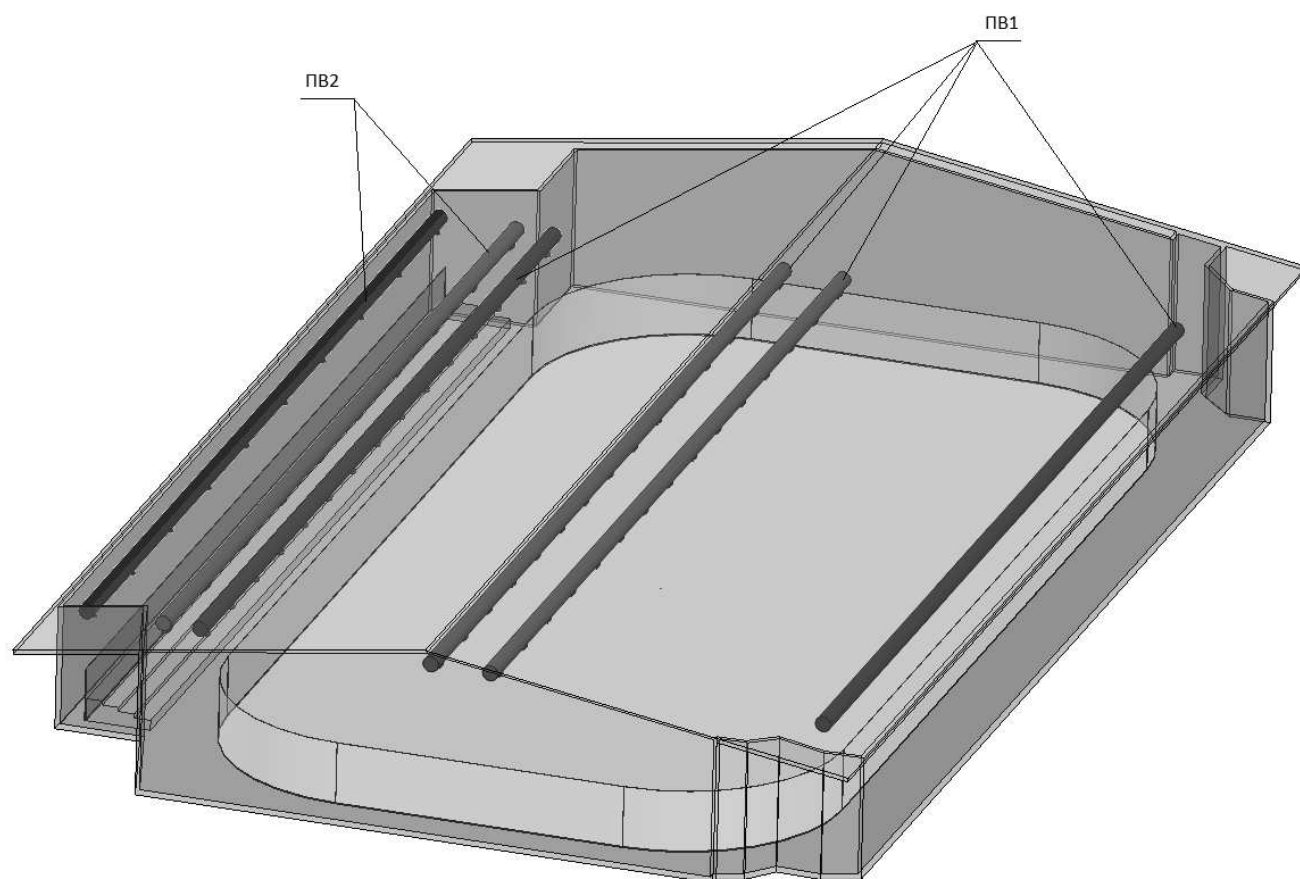


Рисунок 7.1– Общий вид исходной ледовой арены

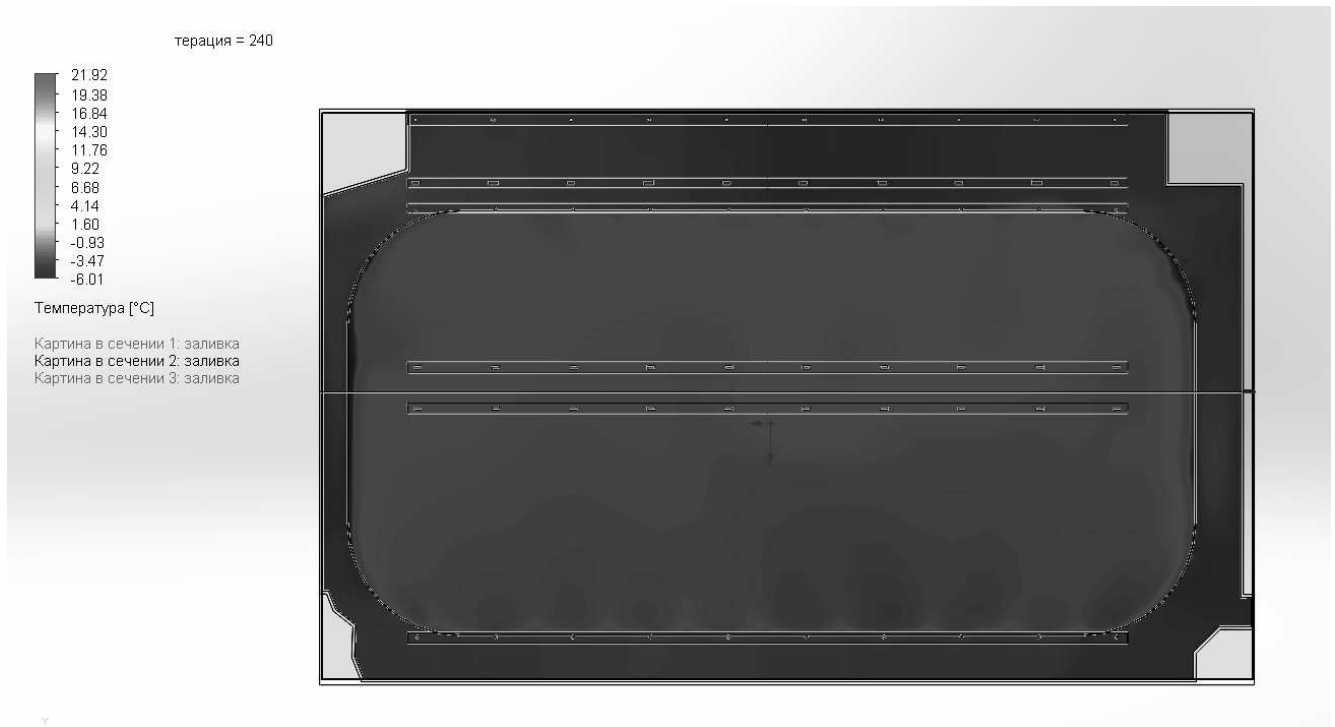


Рисунок 7.2 – Эпюра распределения температур на уровне льда. Вид сверху

На данной картине мы можем видеть достаточно хорошее распределение температуры над ледовым полем, за исключением зон вдоль бортов, где сохраняется низкая температура.

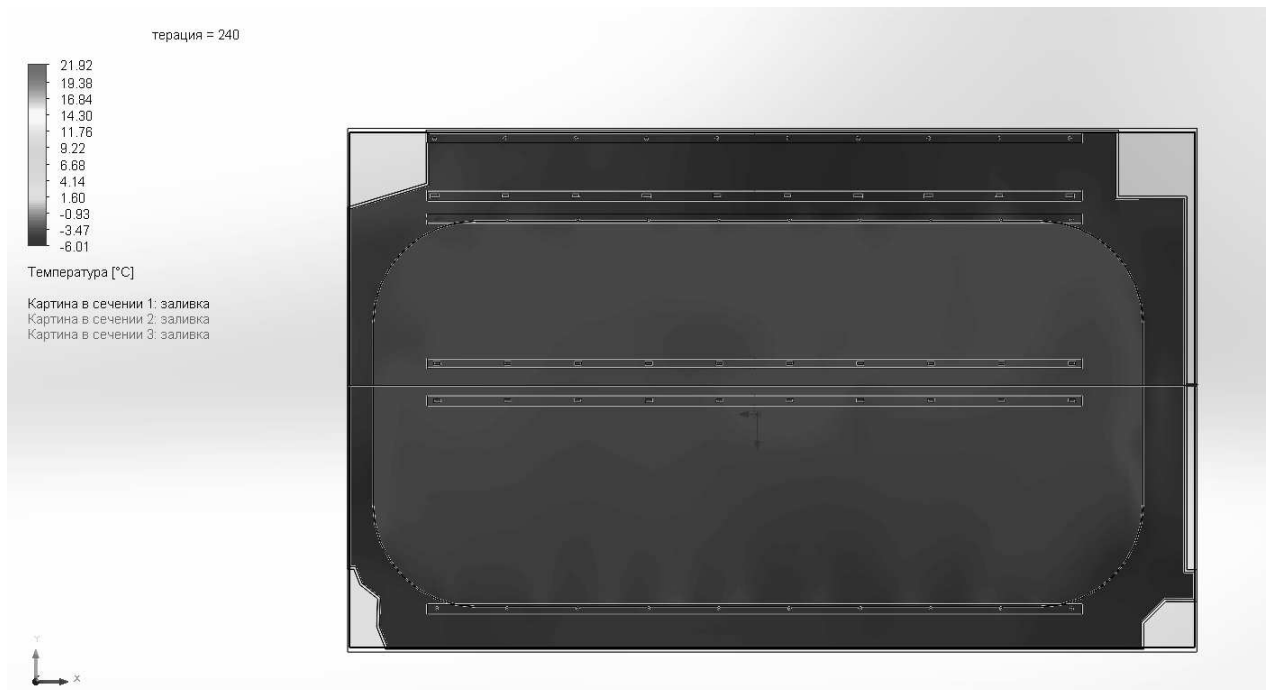


Рисунок 7.3– Картина распределения температур на уровне рабочей зоны. Вид сверху.

На данной картине уже отсутствуют зоны с пониженной температурой, что дает основание утверждать о невозможности выпадения конденсата на поверхности ограждающих барьеров.

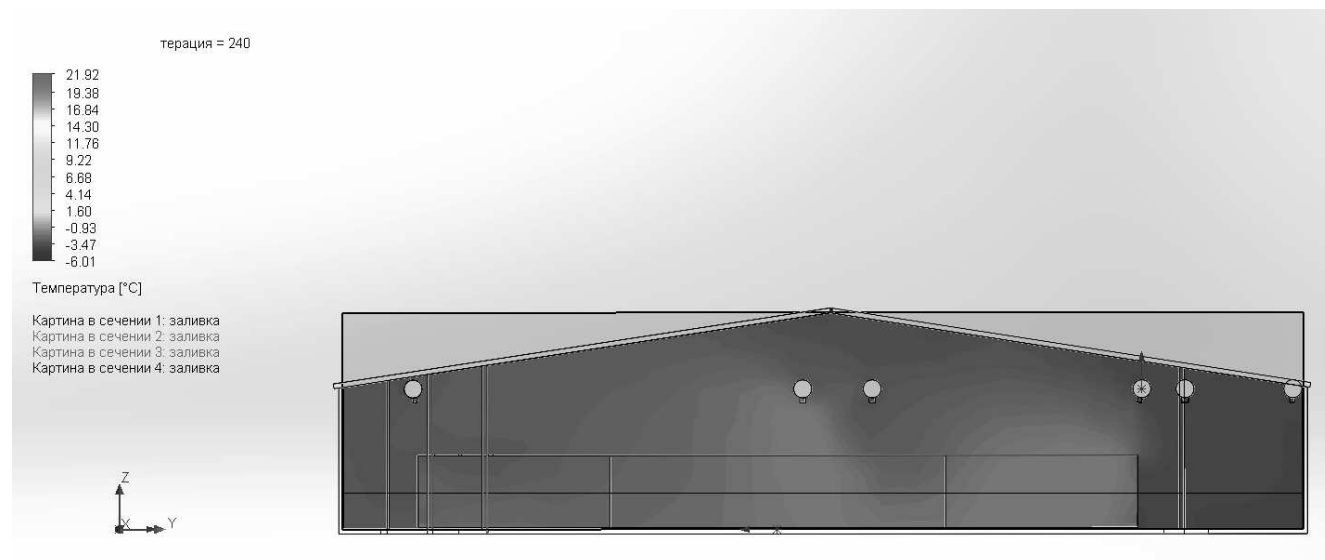


Рисунок 7.4– Картина распределения температур. Вид спереди

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		75

Итерация = 578

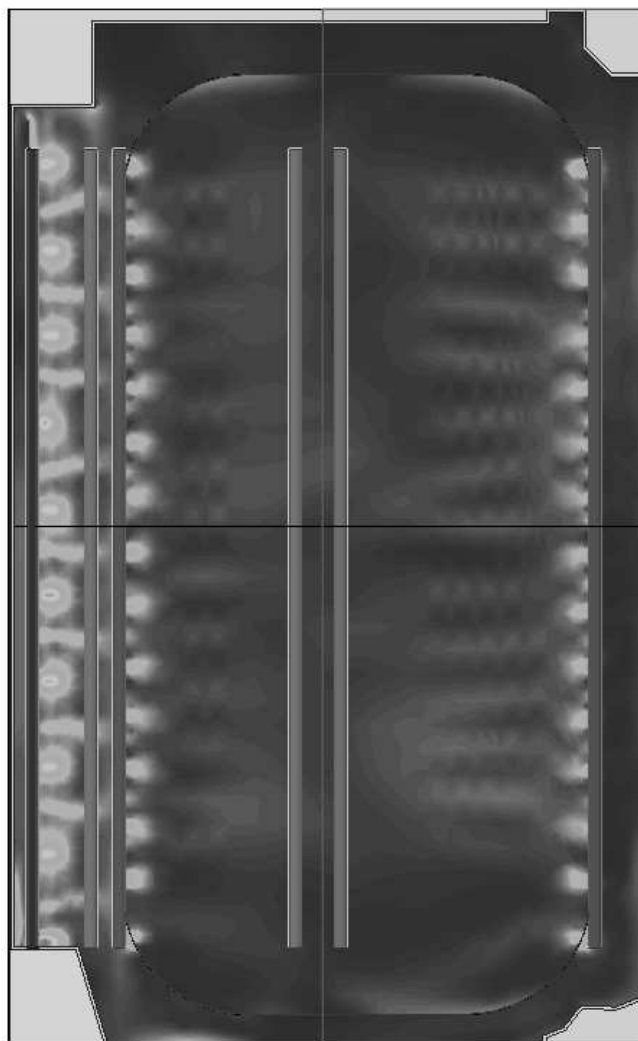
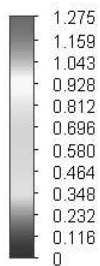


Рисунок 7.5 – Картина распределения скорости движения воздушных масс в рабочей зоне

Итерация = 578



Скорость [m/s]

скорость на поверхности: заливка  
скорость сторца: заливка  
скорость 1,5 метра: заливка

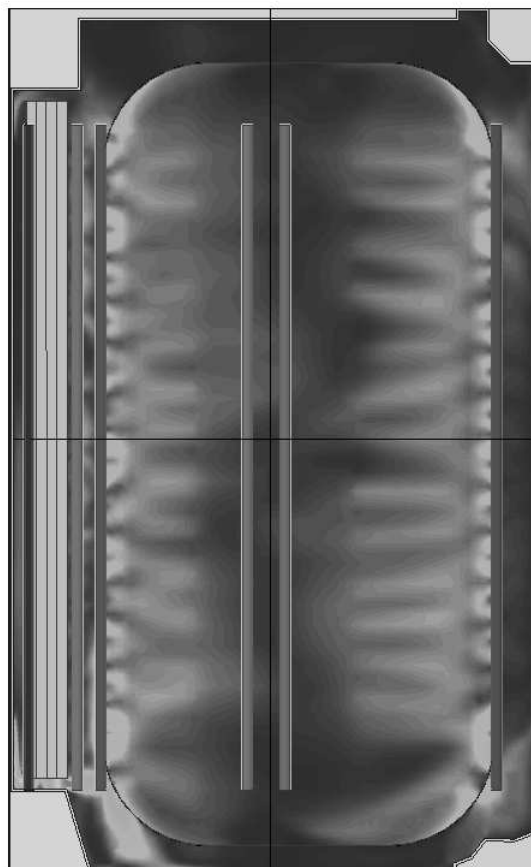
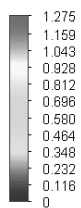


Рисунок 7.6 – Картина распределения скорости движения воздушных масс над поверхностью ледового поля

Итерация = 578



Скорость [m/s]

скорость на поверхности: заливка  
скорость сторца: заливка

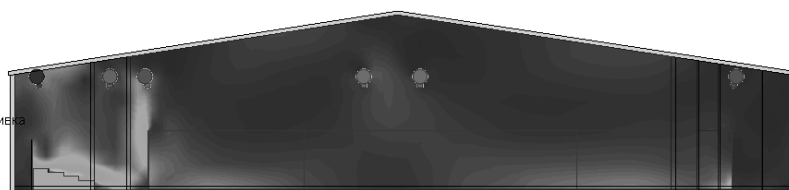


Рисунок 7.7 – Картина распределения скорости движения воздушных масс, вид спереди

Изм.И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата

08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР

Лист/Л

77

Итерация = 578

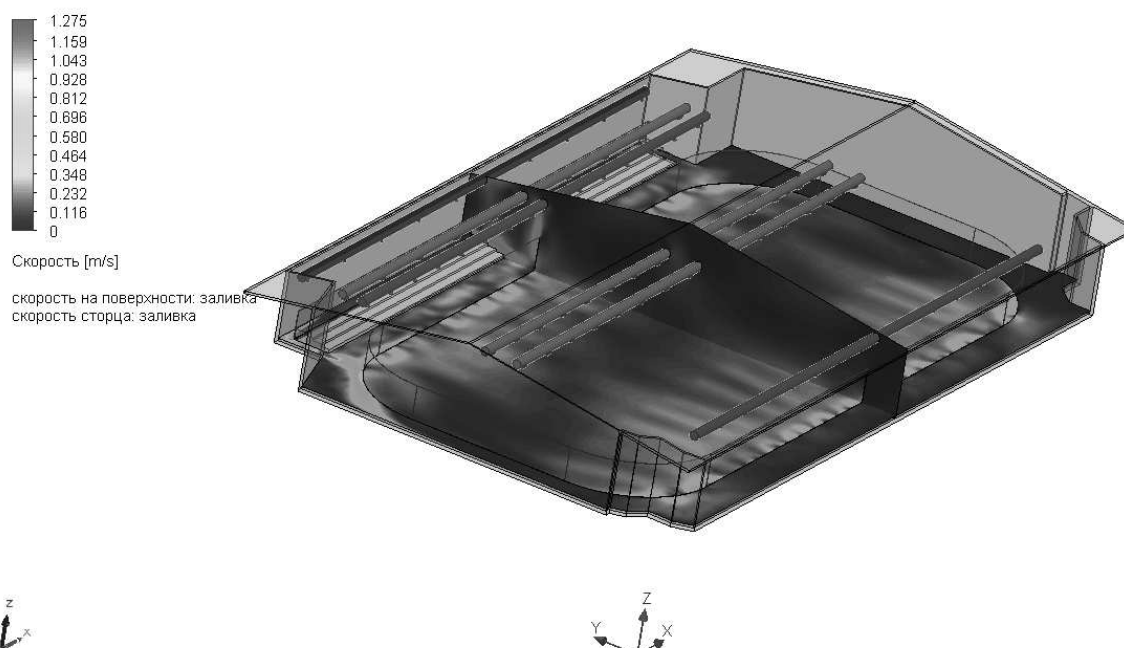


Рисунок 7.8 – Картина распределения скорости движения воздушных масс, изометрия

На основе представленных эпюр распределения скорости воздушных потоков можно сделать вывод, что трассировка воздуховодов и тип подобранных воздухораспределителей оптимальны так как по представленным сечениям можно увидеть, что скорости потоков в рабочей зоне находятся пределах от 0,1 до 0.3 м/с, что является благоприятным как для людей, находящихся на льду так и для благоприятного ассимилирования влагоизбытков.

**Вывод:** построение модели позволило оценить точность выполненных расчетов и проектных решений по устройству систем вентиляции и подбору оборудования для кондиционирования воздуха. Модель наглядно продемонстрировала достижение всех поставленных задач при проектировании объекта.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./И	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		78

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения основной квалификационной работы было проведено исследование с применением методов математического моделирования в результате которого достигнуты результаты, имеющие следующую практическую ценность:

1) апробирована на конкретном объекте современная методика проектирования систем кондиционирования воздуха, рекомендованная отечественными авторами, учитывающая накопленный опыт и последние достижения в области климатизации.

2) предложен метод сопоставления и энергетической оценки возможных способов осушения воздуха, который показал, что применение фреоновых конденсационных осушителей создает высокую вероятность опасности выпадения конденсата на поверхности ледового поля из-за недостаточной глубины осушения. Исключить такую опасность можно только применяя адсорбционный или поверхностно-гликолевый методы осушения.

3) методом математического моделирования было получено наглядное доказательство точности и эффективности принятых решений в области воздухораспределения.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум./№	Подп./По	Дата		79

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Внутренние санитарно-технические устройства. Справочник проектировщика. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / Б. В. Баркалов, Н. Н. Павлов, С. С. Амирджанов и др.; Под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 416с.: ил. – (Справочник проектировщика)
2. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч 3. Книга 1 Вентиляция и кондиционирование воздуха/ Под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера – М.: Стройиздат, 1992. – 321с.: ил. – (Справочник проектировщика)
3. Воздухораспределители компании «Арктос» указания по расчету и практическому применению – издание 5 2008г.
4. ГОСТ 21.602-2003 СПДС Правила выполнения рабочей документации отопления, вентиляции и кондиционирования – М.: Стандартинформ, 2002г.
5. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
6. ГОСТ Р 21.1101-2009 СПДС Основные требования к проектной и рабочей документации – М.: Стандартинформ, 2009г.
7. Вишневский Е.П., Салин М.Ю. Достоинства адсорбционного метода глубокого осушения воздуха крытых ледовых арен // С.О.К. (Москва). – 2008 – № 8.
8. Журнал Sustainable bulding technologies. Здания высоких технологий. Ледовые арены Сочи. Опыт математического моделирования. Лето 2013 г.- 122 с.
9. Кокорин О.Я., Товарас Н.В. Инженерные системы помещений с искусственным льдом или снегом. – М.: КУРС: ИНФРА-М, 2014. – 240с.
10. Кокорин О.Я.. Особенности и технические средства микроклиматической поддержки крытых ледовых стадионов // СОК. Серия «Кондиционирование и вентиляция». - 20014. – Вып. 2. – № 7(14). – С. 23–25
11. Кондиционеры, компрессорно-конденсаторные блоки, мультизональные системы – каталог климатического оборудования – 2015г.
12. Краснов Ю.С. и др. Системы вентиляции и кондиционирования, рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке. - М.:Термокул, 2004г. - 526 с.
13. О.Я. Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.:

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		80



Издательство физико-математической литературы, 2003.– 272 с.

14. Оборудование для зданий и сооружений – отопление, кондиционирование, охлаждение – 13/2014г.

15. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочное пособие. – М. Пантори, 2003.

16. Перевод статьи. ASHRAE Refrideraition Hand book CHAPTER 33. JCE RINKS

17. Пособие по проектированию спортивных залов, помещений для физкультурно-оздоровительных занятий и крытых катков с искусственным льдом. М.: Стройиздат, 1890

18. Различные области применения холода (справочник). Гл. VIII Искусственные ледяные катка. – М.: Агропромиздат, 1985.

19. Системы автоматики и управления САУ – каталог 2007г.

20. Системы канальной вентиляции Канал - каталог 2014г.

21. СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения

22. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. – М.: Госстрой России, 2000

23. СП 31.112.2007 Физкультурно-спортивные залы часть 3

24. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий – М.: Госстрой России, 2012

25. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха

26. СП 73.13330.2016 Внутренние санитарно - технические системы зданий

27. СТО НП АВОК 1.05-2006 Условные графические обозначения в проектах отопление, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплохолодоснабжения – 2006г.

28. СТО НП АВОК 2.1-2008 Здания жилые и общественные – 2008г.

29. Титов, В.П., Сазонов Э. В. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий – М.: Стройиздат 1985г. – 208с.

30. Lewis G. Harriman. Dehumidification Equipment Advances // ASHRAE Journal. – 2002. – August.

Technical guide for the ventilation of Arena, CAN-MET Energy Technology Centre – Varennes, Canada.

					08.04.01.2021.051.04 ПЗ ВКР	Лист/л
Изм./	Лист	№ докум.№	Подп.По	Дата		81