

**Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

**Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь  
УО «Белорусский государственный университет транспорта»  
Кафедра «Экология и рациональное использование водных ресурсов»  
Факультет магистерской подготовки и профориентации**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
ВОДОПОДГОТОВКИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ  
КАЧЕСТВЕННОГО СПОРТИВНОГО ЛЬДА**

**Магистерская диссертация  
на соискание степени магистра технических наук**

**по специальности  
1-70 80 01 – Строительство**

**Выполнила**

студентка второй ступени высшего  
образования (магистратуры)

**Мармалюкова Ирина Александровна**

\_\_\_\_\_  
(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

**Научный руководитель**

доктор техн. наук, профессор

**ФИО**

\_\_\_\_\_  
(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015г.

**Гомель 2015**

## *Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)*

### РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 62 с., 29 рис., 9 табл., 33 источника.

#### ЛЕДОВОЕ ПОКРЫТИЕ, ПАРАМЕТРЫ ЛЬДА, КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ, ТАЛАЯ ВОДА, ОБОРОТНАЯ СИСТЕМА

Объект исследования – система водоподготовки для крытых ледовых арен с последующим использованием воды для заливки катка. Цель работы – совершенствование системы водоподготовки, позволяющей получить качественный спортивный лед. Изучено влияние качества воды на состояние ледовой поверхности, проведен анализ изменения основных характеристик ледового покрытия, разработаны энергосберегающие предложения по водоподготовке для создания качественного ледового покрытия. Результаты работы представлены на VI международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте», а также на Республиканском конкурсе научных работ студентов.

### РЭФЕРАТ

Магістарская дысертацыя 62 с., 29 мал., 9 табл., 33 крыніцы.

#### ЛЯДОВАЕ ПАКРЫЦЦЕ, ПАРАМЕТРЫ ЛЬДА, КАЭФІЦЫЕНТ ТРЭННЯ, АДТАЛАЯ ВАДА, АБАРОТНАЯ СІСТЭМА.

Аб'ект даследавання – сістэма водападрыхтоўкі для крытых лядовых арэн з наступным выкарыстаннем вады для залівання катка. Мэта работы – ўдасканаленне сістэмы водападрыхтоўкі, якая дазваляе атрымаць якасны спартыўны лед. Праведзены ўплыў якасці вады на стан лядовай паверхні, аналіз змены асноўных характарыстык лядовага пакрыцця, распрацоўка энергазберагальных прапаноў па водападрыхтоўцы для стварэння якаснага лядовага пакрыцця. Вынікі працы прадстаўлены на VI міжнароднай навукова-практычнай канферэнцыі «Праблемы бяспекі на транспарце», а таксама на Рэспубліканскім конкурсе навуковых работ студэнтаў.

### ABSTRACT

Master's thesis 62pages, 29 fig., 9 tables, 33 source.

#### ICE COVER, PARAMETERS OF ICE, THE FRICTION COEFFICIENT, MELT WATER, CIRCULATING SYSTEMS.

The object of study is the water treatment system for indoor ice arenas and use the water to fill the rink. The aim is improving the water treatment system, which allows to obtain high-quality sports ice. The tasks are studying the effect of water quality on the condition of the ice surface, the analysis of the essential characteristics of the ice cover, the development of energy-saving proposals for water to create a quality of the ice cover. The schemes of water treatment systems has been investigated for arenas with a standard field and a skating rink. The results of the work presented at the VI International Scientific and Practical Conference "Problems of transport security" and at the Republican contest of scientific works of the students.

**Содержание**

<i>Введение</i> .....	5
<i>1 Основные положения по эксплуатации ледовых арен</i> .....	7
<i>1.1 Влияние качества воды на состояние ледовой поверхности</i> .....	7
<i>1.2 Дифференциация режимов заливки льда для различных видов спорта</i> .....	11
<i>1.3 Характеристика верхнего слоя ледового покрытия</i> .....	14
<i>1.4 Анализ причин возникновения деформации ледовой поверхности</i> .....	17
<i>1.5 Выводы по первой главе</i> .....	20
<i>2 Анализ изменения основных характеристик ледового покрытия</i> .....	21
<i>2.1 Исследование теорий взаимодействия процесса скольжения твердых тел</i> .....	21
<i>2.2 Изменение коэффициента скольжения лезвия по ледовому полю в зависимости от времени эксплуатации</i> .....	36
<i>2.3 Влияние режимов работы системы холодоснабжения на состояние ледового покрытия</i> .....	41
<i>2.4 Выводы по второй главе</i> .....	44
<i>3 Разработка энергосберегающих предложений по водоподготовке для создания качественного ледового покрытия</i> .....	45
<i>3.1 Выбор схемы водоподготовки в зависимости от объема обрабатываемой воды</i> .....	45
<i>3.2 Изменение физико-технических характеристик ледового покрытия</i> ...	50
<i>3.3 Использование избыточного тепла на растапливание ледяной крошки</i> .....	55
<i>3.4 Выводы по третьей главе</i> .....	57
<i>Заключение</i> .....	58
<i>Список используемых источников</i> .....	61

## **Введение**

Возведение спортивных комплексов является приоритетным направлением в архитектурно-строительной деятельности республики. Такие объекты рассчитаны на подготовку профессиональных спортсменов и проведение соревнований всех уровней, включая международные.

Ледовый дворец представляет собой сложное инженерно-техническое сооружение, при эксплуатации которого используется многопрофильное инженерное обеспечение: холодоснабжение и кондиционирование, централизованное водоснабжение, канализация, центральное отопление, естественная и принудительная вентиляция, электроснабжение.

Ледовое покрытие спортивных комплексов имеет очень сложную многослойную структуру. Верхний тончайший слой – сверхмягкий для улучшения скольжения, нижние слои – предельно твердые и прочные для того, чтобы уменьшить деформацию ледового покрытия. Для каждого вида спорта лед имеет определенную температуру, структуру и прочность.

Улучшение скоростных свойств ледового покрытия, что особенно важно в конькобежных видах спорта, достигается путем оптимизации макропараметров льда и тепло-влажностных характеристик воздушной среды.

Однако наибольшее влияние при создании качественного спортивного льда оказывает степень очистки воды. Для заливки необходимо использовать механически очищенную и умягченную воду. Система водоподготовки должна обеспечивать возможность изменения и регулировки жесткости воды, содержания железа и определения значения рН, что влияет на качественные показатели массива льда. Наличие специальной системы водоподготовки определяет статус спортивного сооружения. Совершенствование системы водоподготовки особенно актуально при формировании ледовых покрытий для хоккея и фигурного катания, так как наибольшие проблемы в этих видах спорта связаны с большим количеством ледяной крошки и крупными сколами льда. Создание монокристаллической структуры ледового массива путем удаления твердых, жидких и газообразных включений из заливаемой воды позволит увеличить прочностные характеристики.

Новым подходом при формировании качественного ледового покрытия, обеспечивающего высокие скоростные свойства, является структурирование ледовых покрытий с прогнозируемым комплексом физико-

### *Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)*

механических свойств. Для этого используется молекулярное воздействие на процесс формирования кристаллической структуры льда путем внесения микродоз высокомолекулярных соединений, которые позволяют создавать упорядоченную регулярную структуру. Исследования в области создания методов направленного молекулярного воздействия на свойства льда начаты в конце 90-х годов в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, обобщают многолетний теоретический и экспериментальный материал.

Целью работы является совершенствование системы водоподготовки, позволяющей получить качественный спортивный лед. В соответствии с поставленной целью выделяются следующие задачи:

- изучение влияния качества воды на состояние ледовой поверхности;
- дифференциация режимов заливки льда для различных видов спорта;
- анализ изменения основных характеристик ледового покрытия;
- разработка энергосберегающих предложений по водоподготовке для создания качественного ледового покрытия;
- изменение физико-технических характеристик ледового покрытия.

Изучение различных вариантов воздействия на ледовый массив позволит разработать эффективные мероприятия, обеспечивающие заливку ледовой арены высокоочищенной водой, наиболее эффективный режим кристаллизации. Формирование структурированного монолитного ледового покрытия гарантирует высокие скоростные свойства на протяжении всего времени эксплуатации.

## **1 Основные положения по эксплуатации ледовых арен**

### **1.1 Влияние качества воды на состояние ледовой поверхности**

Основополагающим фактором качественного спортивного льда является вода. Состав воды и соблюдение температурных режимов определяют полученный результат.

Для снижения расходов наиболее часто в качестве источника сырья при производстве льда в ледовых комплексах используется водопроводная вода, так как ее качество поддерживается на соответствующем уровне.

Однако содержание солей, органических соединений и содержание растворенных газов неодинаково в разное время года и даже суток. Поскольку свойства льда зависят от вышеуказанных параметров, а подача качественной воды необходима независимо от внешних факторов, то система водоподготовки должна обеспечивать стабильную степень очистки для создания льда и бесперебойную ее подачу [19].

Включения, перешедшие в лед из замерзающей воды, могут находиться в твердой, жидкой и газообразной фазах и оказывать различное воздействие на состояние льда. Их влияние на качество льда отражено в таблице 1 [16].

Таблица 1 – Примеси в исходной воде и влияние их на качество льда

Примеси	Качество льда
Углекислый кальций	Образует грязный осадок обычно в нижней части и центре блока. Вызывает растрескивание при низких температурах
Углекислый магний	Образует грязный осадок обычно в нижней части и центре блока. Вызывает растрескивание при низких температурах
Оксиды железа	Дает желтые или коричневые осадки. Также окрашивает кальциевый и магниевый осадки
Оксиды алюминия и кремний	Дают грязный осадок
Взвешенные вещества	Дают грязный осадок
Сернокислый натрий, хлористый натрий	Создают белые пятна. Дают большие непрозрачные сердцевинки, где концентрируются, и задерживают замерзание. Не дают осадка

## Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)

Продолжение таблицы 1

Хлористый магний	Часто проявляется в виде белых пятен. Не дает осадка
Двууглекислый натрий (углекислый натрий)	Даже в небольших количествах при температурах ниже минус 9° С часто вызывает растрескивание. Создает белые пятна. Дает большую непрозрачную сердцевину. Осадок не образуется
Хлористый кальций и сернокислый магний	Дают зеленоватый или сероватый налет. Задерживают замерзание и дают большие непрозрачные сердцевинки

Малоатомные соединения (спирты, эфиры, альдегиды и др.), попадающие при заморозке в воду при введении подкрашивающих пигментов краски, приводят к искажению ледовой поверхности (рисунок 1) [8].



Рисунок 1 – Дефекты на поверхности льда

Вода для создания ледового покрытия должна иметь параметры на выходе из водоподготовки не ниже:

- мутность – не более 0,5 мг/л;
- жесткость – не более 1 мг-экв/л;
- содержание кислорода – не более 2 мг/л;
- содержание углекислоты – не более 4 мг/л;
- общая минерализация – не более 1 мг/л;

### **Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

– температура на выходе – плюс 50 °С для заправки ледовых комбайнов.

В таблице 2 приведены характеристики воды, требуемой для изготовления льда, и требования по данным показателям, предъявляемые к водопроводной воде.

Таблица 2 – Параметры воды для формирования льда

Параметры	Единица измерения	Норматив	Требования к воде для формирования льда			
			1 тип	2 тип	3 тип	4 тип
Жесткость	мг-экв/дм <sup>3</sup>	до 7	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5
Сухой остаток	мг/ дм <sup>3</sup>	1000	< 1000	< 10	< 10	< 1
Общее железо	мг/ дм <sup>3</sup>	0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
pH		6–9	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5

Для хоккея, фигурного катания массового катания допустимо применять лед, исходным сырьем для которого является вода 1-го и 2-го типов.

Вода 3-го и 4-го типов – дегазированная и глубоко обессоленная – используется при заливке льда на катках, предназначенных для проведения соревнований по конькобежному спорту.

Диапазон значений основных показателей качества исходного сырья (вода городского водопровода) не выходит за рамки норматива [1]. Общая жесткость за исследуемый период оставалась практически постоянной (рисунок 2).



## Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)

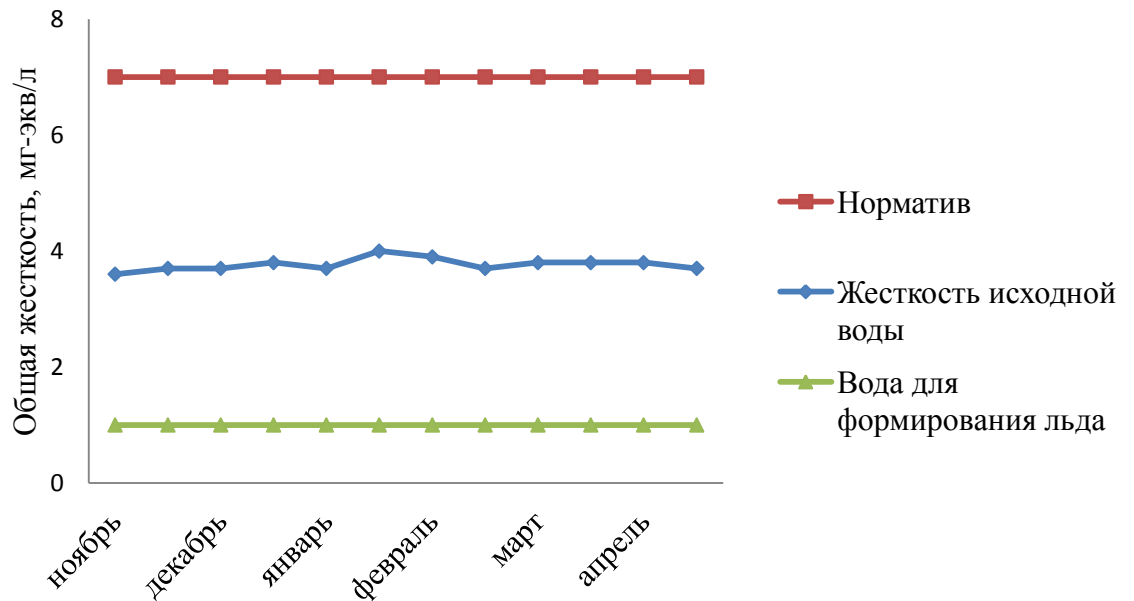


Рисунок 2 – Концентрация солей жесткости

Количество растворенного железа в течении данного срока изменялось, но не превышало предельно допустимых концентраций (рисунок 3).

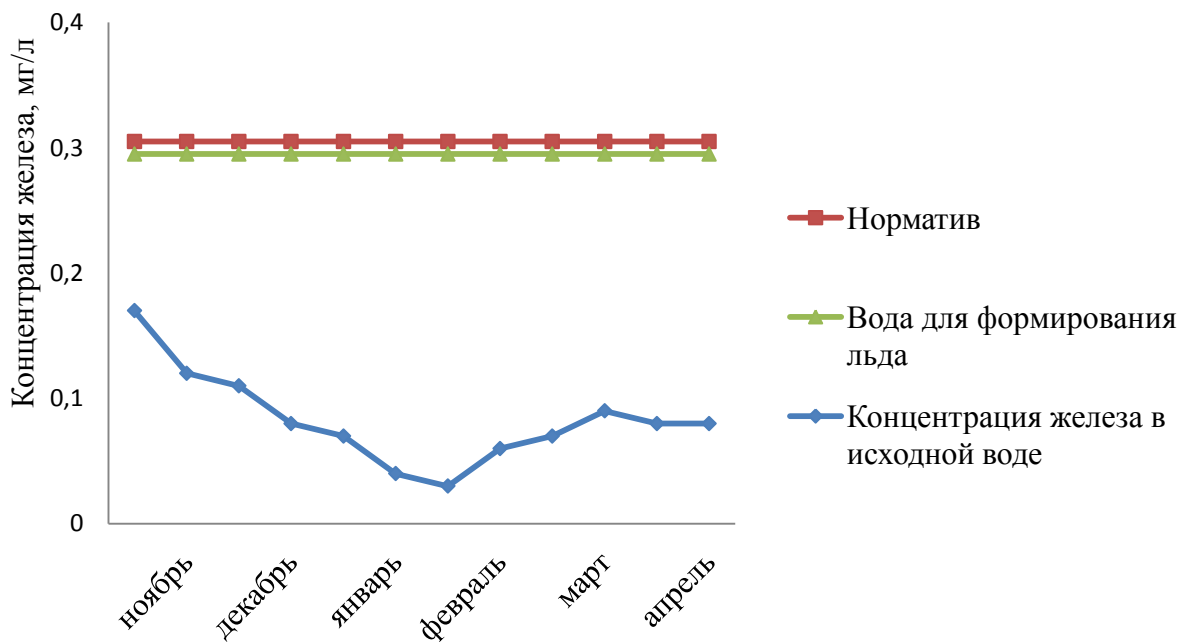


Рисунок 3 – Концентрация растворенного железа

Значения рН изменялись в пределах 5–10 % в течение всего исследуемого периода (рисунок 4).

## Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)

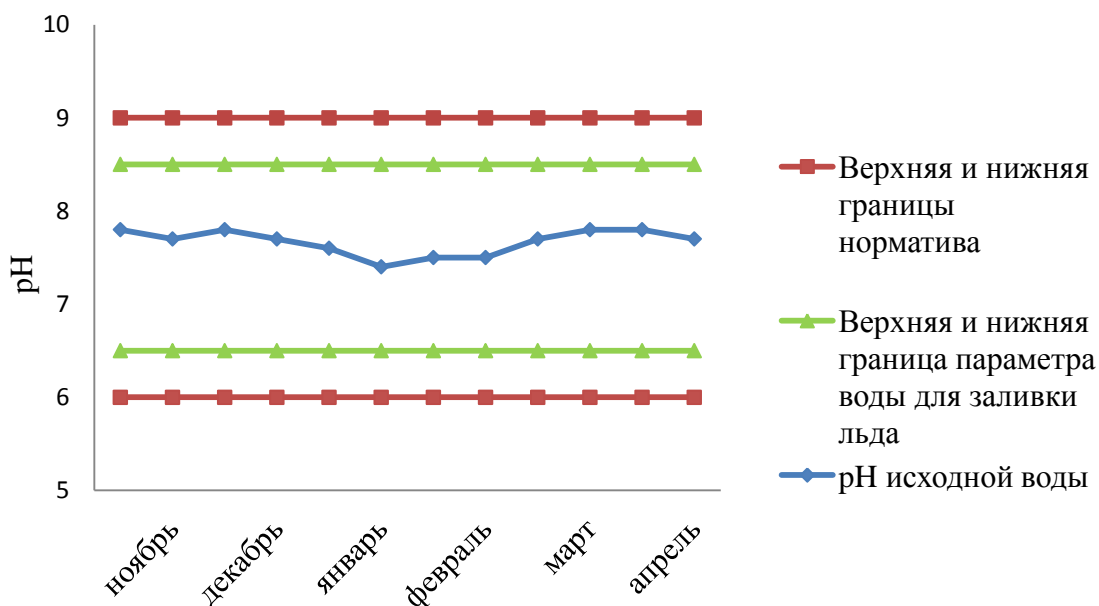


Рисунок 4 – Значения pH

Превышение наблюдается по показателю общей жесткости, поэтому в системе водоподготовки должна быть предусмотрена установка умягчения. Также на качество льда оказывает влияние концентрация свободного и общего хлора в водопроводной воде и наличие растворенных солей, характеризующихся показателем электропроводности воды.

При выполнении нормативов и оценки содержания растворенных веществ современными методами, вода является исключительно качественным сырьем для создания ледовой поверхности спортивного комплекса.

### 1.2 Дифференциация режимов заливки льда для различных видов спорта

Изменение теплофизических параметров заливки льда может быть инструментом для создания необходимых условий скольжения. Новой редакцией правил проведения международных соревнований по конькобежному спорту предусмотрен обязательный контроль со стороны *International Skating Union* (Международный союз конькобежцев) всех теплофизических и режимных параметров процесса заливки льда. Введены требования к качеству льда в зависимости от вида проводимых соревнований. В зависимости от назначения также меняются параметры среды над его поверхностью. В число контролируемых параметров

### **Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

включены: толщина льда, температура поверхности льда, температура воздуха над поверхностью льда (в практике ведущих крытых катков принят учет температуры воздушной среды на отметке 1,5 м) и относительная влажность воздуха на отметке 1,5 м.

В фигурном катании используется сравнительно мягкий лед. Такое качество поверхности обеспечивает легкое и плавное скольжение лезвия конька и выдерживает высокие механические нагрузки при выполнении прыжковых элементов.

\*\*\*\*\*

### **2.3 Влияние режимов работы системы холодоснабжения на состояние ледового покрытия**

Достижение температуры помещения (плиты) ниже температуры окружающей среды осуществляется при работе испарителя станции холодоснабжения. В нем жидкообразный хладагент испаряется, поскольку искусственно поддерживается под низким давлением.

Задачей компрессора является поддержание этого низкого давления в испарителе: пар, образуемый в испарителе, постоянно откачивается. Установка сжимает откачанный пар, давление которого повышается и температура значительно поднимается. Это высокое давление приводит также к более высокой температуре насыщения, при которой пар переходит в жидкообразное состояние. Эта температура превышает температуру окружающей среды.

\*\*\*\*\*

При установившемся режиме холод расходуется на поддержание заданной температуры поверхности льда в пределах минус 6 °С – минус 12 °С в зависимости от вида соревнований. При заливке льда холод расходуется также на охлаждение конструкций поля.

Холодильная установка генерирует при работе избыточное тепло, которое фактически используется только для подогрева воздуха, а излишки выбрасываются в атмосферу через венткамеры (рисунок 23) [5].

\*\*\*\*\*

Ухудшение скользящих свойств поверхности льда (рисунок 8) происходит вследствие попадания на поверхность ледового покрытия

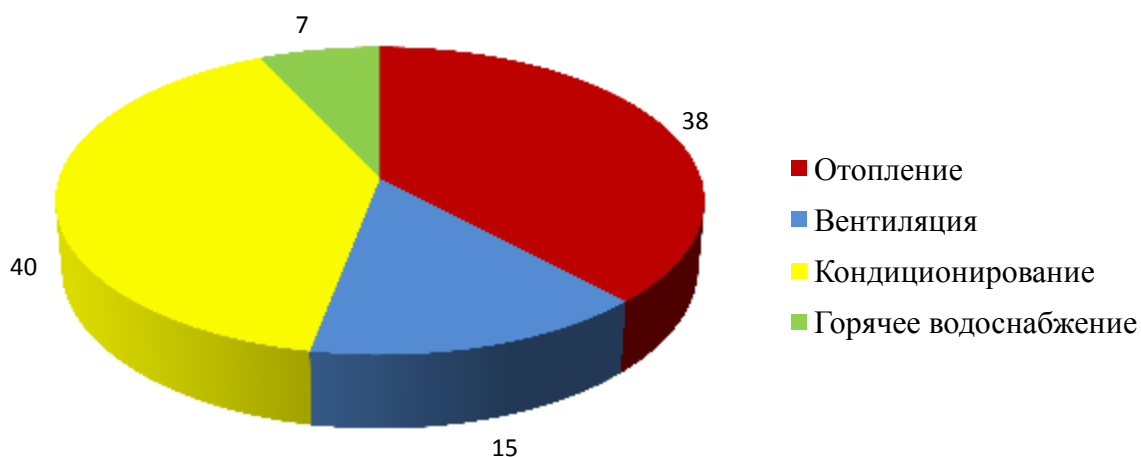
### **Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

осажденных из воздуха твердых механических частиц и конденсата, что приводит к увеличению шероховатости.

Система холодоснабжения должна обеспечивать параметры микроклимата помещения, которые исключают интенсивное осаждение влаги. Холодопроизводительность станции должна компенсировать тепловые притоки из воздуха помещения, через основание поля, от освещения, от зрителей.

Потребности в тепловой энергии складываются из тепловых потребностей вентиляции и инфильтрации воздуха, а также охлаждающего эффекта льда и проводящих тепловых потоков через внешнюю оболочку здания. В зависимости от климатических условий, тепловые потоки могут быть отрицательными и положительными. Тем не менее, охлаждающее действие льда превышает тепловую нагрузку при любых внешних условиях, таким образом, каток необходимо обогревать.

Усредненные годовые расходы тепла на различные нужды ледовой арены представлены на рисунке 24.



**Рисунок 24 – Годовые расходы тепла, %**

Охлаждение льда постоянно производит большое количество тепла, которое может быть использовано для обогрева: непосредственно пространства катка и воздуха, грунта (защита от замерзания), в процессе дегидратации. Энергия конденсационного аппарата помогает сэкономить большую часть расходов на потребление тепловой энергии.

## **2.4 Выводы по второй главе**

Механизм скольжения конька по льду объясняется с помощью нескольких научных теорий, основанных на предположении существования между взаимодействующими поверхностями смазывающей пленки воды (водяного пара, квазижидкого слоя), облегчающих скольжение. Также процесс скольжения описывается, исходя из основных позиций теории адгезии.

Скользкие свойства льда изменяются в течение его эксплуатации. Эта зависимость носит экстремальный характер с непродолжительной зоной максимума скользких свойств. Показателем качества ледового массива является расположение зоны «плато», на которой скользкие свойства льда сохраняются наиболее стабильно. На характер зоны «плато» основное влияние оказывает степень очистки заливаемой воды от примесей.

Анализ скользких свойств льда в зависимости от степени очистки воды показал, что содержание солей в воде способствует формированию примесных дефектов кристаллической структуры льда, приводящих к увеличению сопротивления скольжению конька.

Ухудшению состояния ледовой поверхности способствует осаждение конденсата из воздуха. Работа системы холодоснабжения должна препятствовать интенсивному осаждению влаги.

### **3 Разработка энергосберегающих предложений по водоподготовке для создания качественного ледового покрытия**

#### **3.1 Выбор схемы водоподготовки в зависимости от объема обрабатываемой воды**

Заливка льда должна производиться водой, прошедшей многоуровневую обработку, которая обеспечивает ее очистку от примесей и растворенных газов.

Система водоподготовки должна включать в себя следующие стадии:

1. удаление механических примесей;
2. умягчение;
3. удаление растворенных примесей;
4. удаление растворенных газов;

Механические фильтры в системе водоподготовки для ледовых арен обеспечивают защиту от грубых механических примесей, затрудняющих работу основных узлов водоподготовки. В качестве механического фильтра может использоваться патронный фильтр со сменным картриджем. Также может использоваться кварцевая загрузка различных фракций в составе других фильтров [20].

Умягчение воды предусматривается для удаление катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Жесткость водопроводной воды, используемой для заливки льда, составляет в среднем  $4 \text{ мг/экв-дм}^3$ , при требуемом значении  $1 \text{ мг/экв-дм}^3$ . Способы умягчения и условия наиболее эффективного их применения с краткой характеристикой происходящих процессов, которые приведены в таблице 8.

Таким образом, к проектированию принимается метод Na-катионирования, отвечающий условиям эффективного применения данного способа. Остаточная жесткость составляет  $0,1 \text{ мг/экв-дм}^3$ .

Растворенные примеси, содержащиеся в воде, при кристаллизации снижают твердость ледовой поверхности. Поэтому для улучшения параметров скольжения применяется глубокая деминерализация обратным осмосом, удаляющая до 99,5 % примесей, что улучшает скоростные свойства льда (рисунок 19) [12].

**Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

Таблица 8 – Выбор способа умягчения воды

Способы умягчения воды	Характер процесса умягчения	Назначение способа умягчения	Условия эффективного применения способа умягчения воды			
			мутность исходной воды, мг/дм <sup>3</sup>	жесткость исходной воды, мг-экв/дм <sup>3</sup>	предел возможного снижения жесткости, мг-экв/дм <sup>3</sup>	температура исходной воды, °С
Реагентный (известково-содовый)	В воду вводятся реагенты: для устранения карбонатной жесткости – известь; некарбон. – сода	Для неглубокого умягчения при необходимости одновременного осветления	до 400 – 500	5–35	без подогрева воды 0,5–1	не менее 10–20
					с подогревом 0,2–0,4	80–90
<b>Катионитовый</b>						
Na-катионирование одноступенчатое	Умягчаемая вода пропускается через Na-катионитовые фильтры	Для глубокого умягчения воды с незначительным содержанием взвеси	не более 5–8	до 15	0,05–0,1	При загрузке сульфогуглем 30–40 (рН > 7) и 60 (рН ≤ 7)
Na-катионирование двухступенчатое	Умягчаемая вода пропускается сперва через Na-катионитовые фильтры I ступени, где концентрация солей жесткости снижается на 70–75 %, а затем – через Na-фильтры II ступени	Для весьма глубокого умягчения воды с незначительным содержанием взвеси	5–8	от 8–10 до 14	до 0,01	то же

## Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)

Продолжение таблицы 8

Способы умягчения воды	Характер процесса умягчения	Назначение способа умягчения	Условия эффективного применения способа умягчения воды			
			мутность исходной воды, мг/дм <sup>3</sup>	жесткость исходной воды, мг-экв/дм <sup>3</sup>	предел возможного снижения жесткости, мг-экв/дм <sup>3</sup>	температура исходной воды, °С
<i>Н-На-катионирование</i>	<i>Умягчаемая вода пропускается через Н-катионитовые и На-катионитовые фильтры, после чего оба потока смешиваются</i>	<i>Оба фильтра (щелочной и кислый) смешиваются, происходит нейтрализация</i>	<i>5–8</i>	<i>до 14</i>	<i>0,1–0,3</i>	<i>При загрузке сульфоглём 30–40</i>
<i>Термический</i>	<i>Вода нагревается выше 100 °С, что устраняет карбонатную и часть некарбонатной жесткости</i>	<i>Для умягчения воды, содержащей преимущественно карбонатную жесткость</i>	<i>не более 50</i>	<i>Карбонатная жесткость</i>	<i>Карбонатной жесткости до 0,035 мг-экв/л, гипса до 1200 мг/л</i>	<i>105–120</i>
				<i>Некарбонатная жесткость в виде гипса</i>	<i>То же, гипса до 40–50 мг/л</i>	<i>200–270</i>

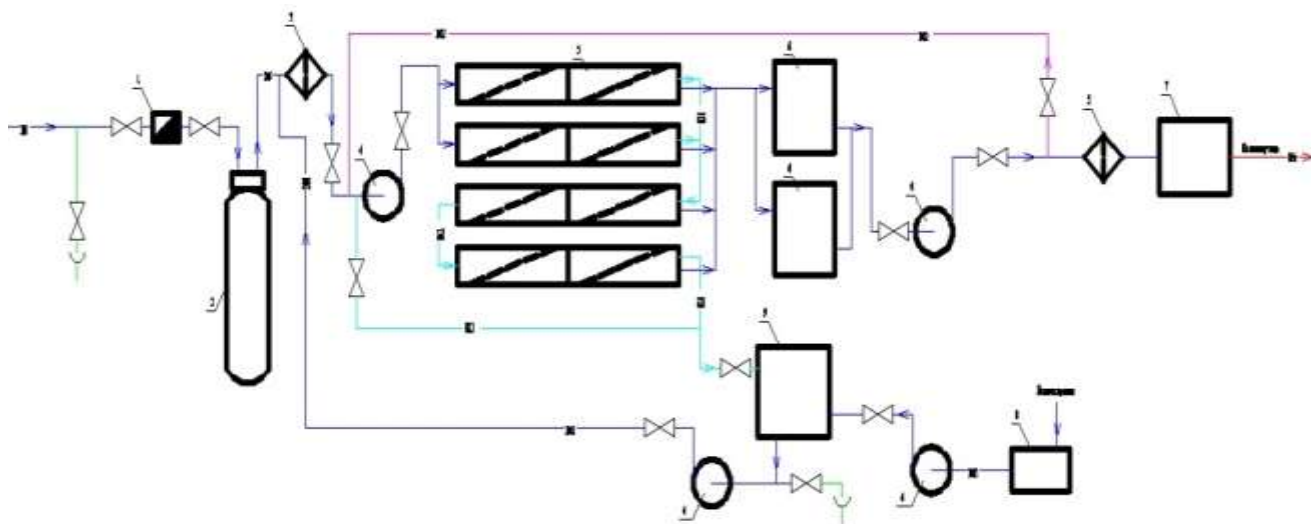
Обеззараживание воды применяется с целью уничтожения имеющихся в ней бактерий. Так как заливка поля осуществляется водопроводной водой, дополнительного блока обеззараживания не требуется.

В работе рассмотрено два варианта технологической схемы водоподготовки.

Вариант 1 с умягчением и деминерализацией обеспечивает удаление солей жесткости и всех растворимых примесей (рисунок 25).



## Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)



1 – расходомер; 2 – установка умягчения; 3 – патронный фильтр; 4 – насос; 5 – узел обратного осмоса; 6 – накопительная емкость; 7 – система поддержания заданной температуры; 8 – приямок; 9 – емкость смешения

**Рисунок 25 – Умягчение с последующей деминерализацией воды**

Водопроводная вода проходит через ионообменный умягчитель, после этого поток через патронный фильтр направляется на установку обратного осмоса. После накопительных емкостей и насосов через патронные фильтры очищенная вода подается в систему поддержания заданной температуры (систему теплообменников), а затем на заливку льда. По мере выработки концентрата на установке обратного осмоса и поступления ледовой стружки в приямок для растапливания, соответствующие потоки направляются в емкость смешения, откуда насосом на узел обратного осмоса поступает поток питания. Фильтрат также применяется для обратной промывки обратноосмотических модулей.

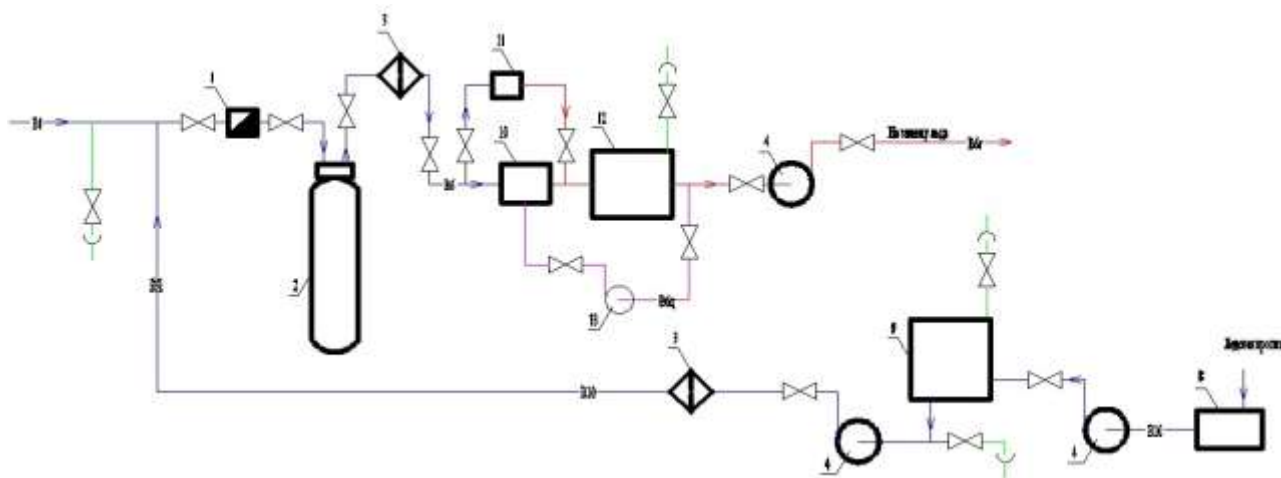
Схема, включающая узел обратного осмоса, обеспечивает высокое качество воды и получаемого ледового покрытия. Но использование этой схемы сопряжено с высокими материальными затратами.

В результате проведенного исследования предложен второй вариант схемы, в которой исключены некоторые элементы водоочистки без существенной потери качества продукта (рисунок 26).

Вода из сети городского водопровода поступает на установку умягчения, затем через патронный фильтр направляется через теплообменник в бак для горячей умягченной воды (циркуляционный поток возвращается в теплообменник). Через насос вода подается на заливку льда. Растопленная в приямке ледовая крошка поступает в емкость смешения и насосом подается в начало системы водоподготовки. Подача воды на заливку

## Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)

льда осуществляется не через теплообменную установку, а непосредственно из бака горячей умягченной воды [3].



1 – расходомер; 2 – установка умягчения; 3 – патронный фильтр; 4 – насос; 8 – прямок;  
9 – накопительная емкость; 10 – теплообменник; 11 – электроводонагреватель; 12 – бак для горячей воды; 13 – циркуляционный насос

**Рисунок 26 – Умягчение воды без установки узла обратного осмоса**

В предложенных схемах основными потребителями электроэнергии являются насосы для подачи воды в различные узлы водоподготовки, а также электроводонагреватели, обеспечивающие поддержание заданной температуры. Наиболее энергоемкие потребители электроэнергии в предложенных схемах представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Основные потребители электроэнергии

<i>Оборудование, потребляющее основную часть электроэнергии</i>	
<i>I схема</i>	<i>II схема</i>
– насос для подачи воды в узел обратного осмоса	– насос, подающий воду на заливку льда
– насос, осуществляющий подачу очищенной воды из накопительной емкости	– циркуляционный насос, обеспечивающий подогрев охлажденной воды
– система поддержания заданной температуры	– теплообменник
– насосы для подачи воды из приемка в накопительную емкость и в начало системы водоподготовки	

### **Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

Выбор используемой схемы водоподготовки целесообразно осуществлять в зависимости от объема обрабатываемой воды и статуса спортивного сооружения, определяющего необходимое качество воды.

Объем воды, с помощью которой осуществляется заливка льда (для стандартных водяных баков составляет  $1000 \text{ дм}^3$  [31]), равен объему воды, получаемой при таянии ледовой крошки. За счет этого поддерживается постоянная толщина ледового покрытия. Площадь спортивной арены, используемой для соревнований и тренировок по хоккею и фигурному катанию составляет  $1860 \text{ м}^2$  (большая арена) и  $1680 \text{ м}^2$  (малая арена), что соответствует размерам поля соответственно  $60 \times 31 \text{ м}$  и  $60 \times 28 \text{ м}$ , определенным стандартами ISU [33]. Для обработки такой поверхности необходимо выполнить один цикл работы льдозаливочной машины. Для проведения спортивных мероприятий необходима очищенная умягченная вода (таблица 3). Схема, включающая узел умягчения без установки обратного осмоса, обеспечивает необходимое качество воды. Меньший объем обрабатываемой воды позволяет упростить систему поддержания заданной температуры. В этой схеме вводится емкость (бак) для горячей воды, откуда не использованная за один цикл заливки вода циркуляционным насосом подается в теплообменник.

На конькобежных аренах требуется наиболее высокая степень очистки заливаемой воды (таблица 3). Площадь конькобежного стадиона составляет 10 тыс.  $\text{м}^2$ , что существенно увеличивает количество обрабатываемой воды. В этом случае целесообразно использование схемы, предусматривающей полную деминерализацию воды.

### **3.2 Изменение физико-технических характеристик ледового покрытия**

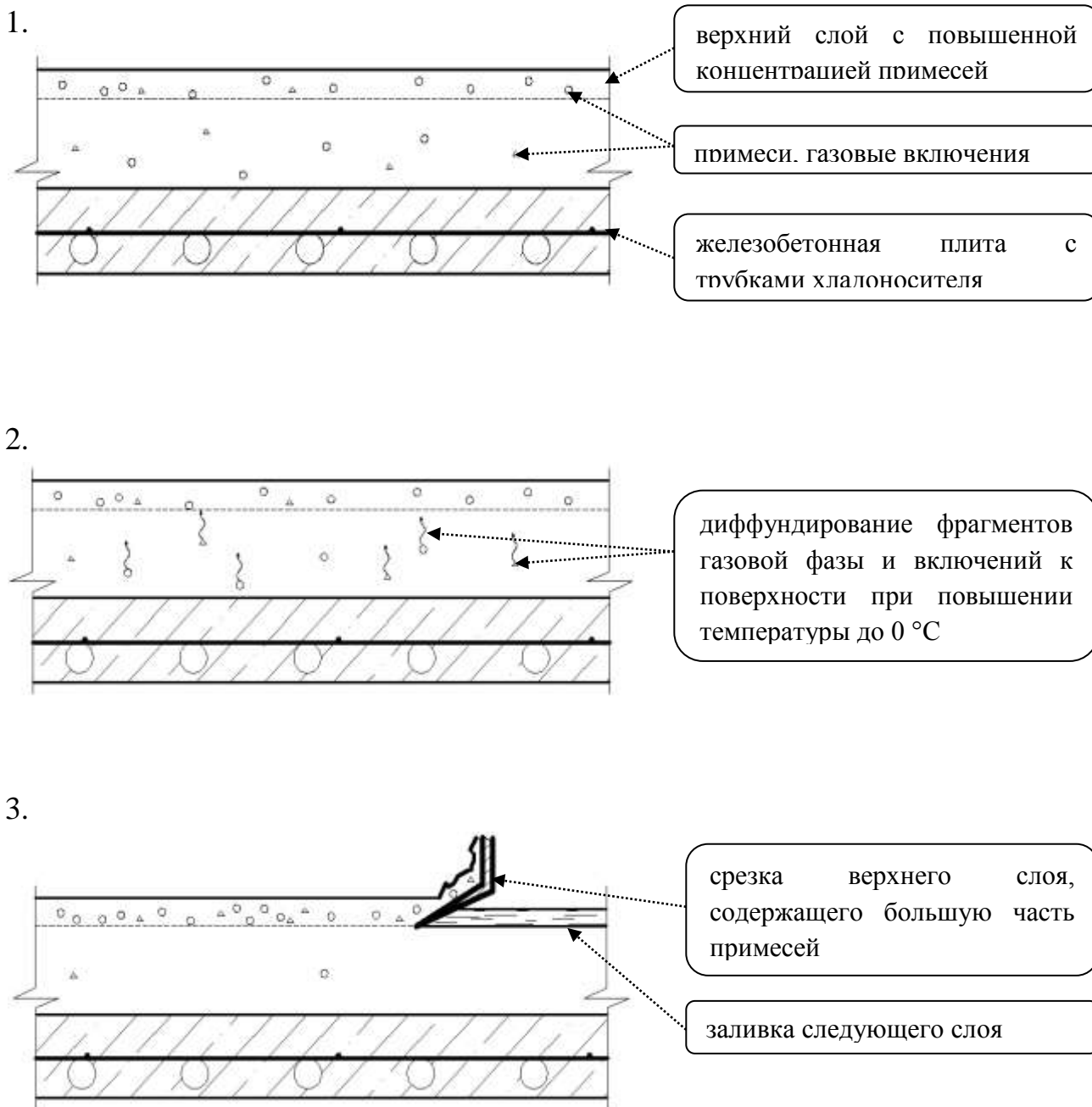
Качество льда характеризуется следующими свойствами [7]:

- по отношению к ледовой поверхности: твердостью и скользящими свойствами;
- по отношению к массиву льда: жесткостью, прочностью, упругопластическими свойствами, оптической прозрачностью.

Для достижения максимальных скоростных результатов должен быть соблюден комплекс технических требований к физико-механическим свойствам льда.

## Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)

\*\*\*\*\*



1 – состояние ледового массива после кристаллизации верхнего слоя;

2 – выдерживание льда при температуре, близкой к температуре плавления;

3 – удаление верхней части массива и последующая заливка

**Рисунок 27 – Механизм выполнения технологической операции «отжиг»**

При скольжении конек пересекает каналы со связанной водой и получает дополнительную смазку при температурах более низких, чем температура замерзания чистой воды.

Вещества и соединения, вводимые в воду для улучшения скольжения, должны удовлетворять ряду основных требований [4]:

### **Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

- химическая инертность;
- хорошая растворимость в воде;
- малая летучесть;
- гидрофобность;
- экологическая чистота и безопасность для организма человека;
- антифрикционные свойства;
- прозрачность, отсутствие запаха и цвета;
- минимальная вязкость, сохраняющаяся во всем диапазоне температур эксплуатации ледового массива;
- низкая температура кристаллизации;
- высокая поверхностная активность;
- высокая молекулярная масса полимера;
- гибкость молекулярной цепи.

Добавление поверхностно-активных веществ (ПАВ) в воду снижает поверхностное натяжение раствора и приводит к уменьшению когезионной прочности как льда, так и жидкой пленки. Поэтому при выборе компонентов присадок на основе органических соединений предпочтение должно отдаваться высокомолекулярным соединениям, расположенным дальше в гомологическом ряду. Кроме того, поверхность жидкой фазы вокруг молекулы растворенного вещества при неизменной массе определяется формой и размером молекулы и пропорциональна ее длине.

Поиск и разработка современных технологий воздействия на физико-механические свойства льда базируется исключительно на использовании микроконцентраций вводимых добавок. При этом следует помнить, что можно значительно ухудшить исходное качество льда той же самой присадкой, но внесенной в несколько большей концентрации [10] (рисунок 28).



**Рисунок 28 – Поверхностные дефекты ледовой поверхности при увеличении дозы вводимых соединений**





### **Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)**

емкость. Предусмотрен аварийный сброс талой воды в систему дождевой канализации [2].

\*\*\*\*\*

#### **3.4 Выводы по третьей главе**

Умягчение воды, используемой для заливки льда, целесообразно выполнять на Na-катионитовых фильтрах, обеспечивающих снижение жесткости до 0,05–0,1 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Для глубокого обессоливания используется обратный осмос, как эффективный метод удаления всех растворенных солей путем дегидратации ионов.

Для крупных ледовых арен, включающих конькобежный стадион (площадь 10 тыс. м<sup>2</sup>), целесообразно использование схемы водоподготовки с установкой для умягчения и последующей деминерализацией.

Водоподготовка ледовых арен для проведения соревнований и тренировок по хоккею, фигурному и массовому катанию (площадь 1860 м<sup>2</sup>), может осуществляться по упрощенной схеме с использованием установки умягчения.

Качество ледового массива определяет соблюдение комплекса технических требований к физико-механическим свойствам льда. Наиболее существенное влияние оказывают следующие факторы:

- температура заливаемой воды;
- динамика изменения толщины заливаемого слоя;
- температура хладоносителя;

Понижение скорости кристаллизации и выполнение технологической операции «отжиг» способствует получению монокристаллической структуры льда.

Улучшение скользящие свойства верхнего слоя ледового массива осуществляется с помощью введения микродоз высокомолекулярных соединений.

При использовании схемы оборотного водоснабжения срезанная ледовая крошка растапливается под действием избыточного тепла холодильной установки и возвращается на узел водоподготовки.

## **Заключение**

В работе предложена усовершенствованная система водоподготовки, которая позволяет получить качественное ледовое покрытие, обладающие высокими скоростными свойствами.

Проведен анализ качества воды на значение скользящих свойств ледовой поверхности в зависимости от химических и режимных параметров,.

Результаты анализа водопроводной воды, используемой для заливки льда показали превышение по показателю общей жесткости: жесткость водопроводной воды составляет в среднем 4 мг-экв/л, в то время как жесткость воды, используемой для формирования льда, не должна превышать 1 мг-экв/л. Концентрация растворенного железа, и водородный показатель находятся в пределах допустимых значений. Растворенные соли оказывают влияние на процесс кристаллизации при любой концентрации.

Согласно анализу качества исходной воды в системе водоподготовки необходимо предусмотреть установки умягчения и обессоливания.

Выполнена дифференциация режимов заливки льда для различных видов спорта. В зависимости от вида проводимых соревнований изменяется необходимая степень очистки заливаемой воды, а также параметры среды над поверхностью ледового массива.

Многоступенчатая система водоподготовки обеспечивает высокое качество ледового массива, при котором в ходе эксплуатации травмируются только верхние слои, срезаемые при корректировке верхнего слоя. Это условие должно быть соблюдено, так как основная часть ледового массива (более 35 мм) является основой для поверхностных слоев и обновляется не чаще, чем 1 раз в год. При проникновении газонаполненных областей в нижние слои высокие скользящие свойства можно будет получить только при полной перезаливке поля.

Рассмотрено явление квазижидкого слоя на поверхности льда, обладающего свойствами льда и воды одновременно, а также теории таяния от давления и трения, смазки водяными парами и теория адгезии, объясняющими процесс скольжения конька по льду.

Выполнена оценка коэффициента трения в зависимости от времени эксплуатации. При увеличении времени эксплуатации льда от начала заливки коэффициент трения увеличивается, наименьшим трением обладает свежезалитый лед с модифицирующими добавками в заливочной воде.

Проведен анализ скользящих свойства льда в течение его эксплуатации.



### *Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)*

Показателем качества ледового массива является расположение зоны «плато», на которой скользящие свойства льда сохраняются наиболее стабильно. На характер зоны «плато» основное влияние оказывает степень очистки заливаемой воды от примесей.

Анализ исходной воды показал, что основными ступенями системы водоподготовки являются механическая очистка, умягчение и обессоливание воды. Для защиты от грубых примесей предусмотрены механические патронные фильтры со сменным картриджем.

Рассмотрены основные способы умягчения воды, используемой для заливки льда. Умягчение целесообразно выполнять на Na-катионитовых одноступенчатых фильтрах. Установка таких фильтров обеспечивает снижение жесткости до 0,05–0,1 мг-экв/дм<sup>3</sup> и не требует высоких эксплуатационных затрат.

Предложены два варианта технологической схемы водоподготовки. Для крупных ледовых арен, включающих конькобежный стадион, и арены для проведения других спортивных соревнований, целесообразно использование схемы водоподготовки с установкой для умягчения и последующей деминерализацией.

Водоподготовка ледовых арен для проведения соревнований и тренировок по хоккею, фигурному и массовому катанию, может осуществляться по упрощенной схеме с использованием установки умягчения. Меньший объем обрабатываемой воды позволяет упростить систему поддержания заданной температуры.

Для формирования структурированного жесткого ледового массива необходимо не только использовать многоуровневую обработку воды, но также выполнять определенные технологические операции: соблюдение низких скоростей кристаллизации позволяет увеличить прочностные свойства ледового массива; проведение «отжига» с последующей срезкой верхней части при последней заливке льда позволяет значительно снизить содержание примесей и фрагментов газовой фазы в толще льда.

Формирование кристаллической структуры льда осуществляется путем внесения микродоз высокомолекулярных соединений, которые приводят к снижению сопротивления трения конька о ледовую поверхность.

Предложенная обратная система использования ледовой крошки (а также концентрата при установке узла обратного осмоса) позволяет снизить потребление водопроводной воды, снижает нагрузку на дождевую сеть, а также повышает надежность система.

**Список использованных источников**

1. СНБ 4.01.01-03. Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2004. – 23 с.
2. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Москва: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1986. – 137 с.
3. ТКП 45-1.03-85-2007. Внутренние инженерные системы зданий и сооружений. Правила монтажа. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. – 33 с.
4. Архаров, И.А. Экспериментальное исследование ледовых структур, модифицированных полимерами / И.А. Архаров, Г.Ю. Гончарова // Холодильная техника. 2010. – № 11. – С. 2–6
5. Архитектурный проект. Решения по водоснабжению, канализации, отоплению и кондиционированию воздуха. Дворец спорта в микрорайоне № 16 г. Гомеля. – Мн., 1998.
6. Бульенков, Н.А. Периодические дисперсионно-модульные алмазоподобные структуры связанной воды – возможные конструкции, определяющие конформацию биополимеров в структурах их гидратов // Кристаллография, 1988. Т. 33, № 2. С. 424–444.
7. Гончарова, Г.Ю. Влияние теплофизических параметров заливки на скоростные свойства льда // Международный Конгресс Союза конькобежцев (ISU). – Будапешт, 2006. – С. 18–21.
8. Гончарова, Г.Ю. Создание новых ледовых покрытий спортивного назначения методом молекулярного воздействия и исследование их свойств: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.03 / Г.Ю. Гончарова. – М., 2011. – 347 с.
9. Гончарова, Г.Ю. Тайны ледового дворца / Г.Ю. Гончарова, С.И. Нефедкин // Холодильная техника. 2005. № 5. С. 10–13.
10. Гончарова, Г.Ю. Физические основы создания льда с заданными свойствами / Г.Ю. Гончарова, Г.А. Белозеров, М.В. Загайнов, Г.М. Панов // International Congress of refrigeration Beijing: тез. докл. – China, 2007.
11. Гончарова, Г.Ю. Хроники первых побед на льду / Г.Ю. Гончарова, С.И. Нефедкин // Холодильная техника. 2005. № 6. С. 6–8.
12. Гребенюк, В.Д. Обессоливание воды ионитами / В.Д. Гребенюк, А.А. Мазо – М.: Химия, 1980. – 256 с.

### *Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)*

13. Ершов, С.А. Усовершенствование технологии очистки воды для получения льда в крытых спортивных комплексах: автореф. дис... канд. техн. наук: 15.02.11 / С.А. Ершов; РХТУ им. Д.И. Менделеева. – М., 2011. – 21 с.
14. Кафаров, В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В.В. Кафаров, Глебов М.Б. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
15. Кобаяси К. Саката Ютака. Хёга дзидай-о минаосу: пер. с яп. / Агентство переводов «Калита», 2005. С. 554–578.
16. Кузнецов, Б.А. Ледоварение: физика и практика / Б.А. Кузнецов, Г.Ю. Гончарова, Х. Леппянен // Холодильная техника. 2003. – № 11. – С. 36–39.
17. Невзорова, А.Б. Использование талой воды для формирования ледового поркытия / А.Б. Невзорова, И.А. Мармалюкова // Тезисы для сборника студенческих работ. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С. 296–297.
18. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / А. В. Чичинадзе [и др] // М.: Машиностроение, 2001. – 644 с.
19. Рабочая документация. Водоподготовка. Технология производства. Ледовый дворец спорта на Ходынском поле. – М., 2006.
20. Сакаш, Г.В. Технико-экономическая эффективность применения для осветления воды патронных фильтров. // Энергосбережение и водоподготовка. 2007. – № 2. – С. 23–24
21. Фейзиев, Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. – М.: Энергоатом-издат, 1988. – 192 с.
22. Чернов, А.А. Образование кристаллов. Современная кристаллография / А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С.Багдасаров // М.: Наука, 1980. – 407 с.
23. Шавлов, А.В. Задача получения «сверхскользящего» льда в ККЦ в Крылатском / А.В. Шавлов, А.Д. Писарев, Г.Ю. Гончарова // Приоритетные направления в изучении криосферы Земли: Международная конференция РАН, Пущино, 2005. – С. 102–103.
24. Barnes, P. Friction and creep of poly crystalline ice / P. Barnes, D. Tabor, J. Walker // Proc. Royal Soc. London, 1971. Vol. 324. P. 127–155.
25. Bowden, F.P. Friction and Lubrication / P. Barnes, D. Tabor // Methuen. London: John Wiley & Sons, 1956. P.150–165.
26. Bowden, F.P. Friction on snow and ice // Proc. Roy. Soc. London, 1953. Vol. A 217. P. 462–478.
27. Bowden, F.P. Nature // Proc. Roy. Soc. London, 1955. Vol. A 226. P. 346–385.

*Пример оформления диссертации (сокращенный вариант)*

28. Bowden, F.P. The mechanism of sliding on ice and snow / F.P. Bowden, T.P. Hughes // Proc. Roy. Soc. London, 1939. Vol. A 172. P. 280–298.
29. Fletcher, N.H. Surface structure of water and ice. A revised model // Philosophical Mag. (London), 1968. Vol. 18. P. 287–300.
30. Raraty, L.E. The adhesion and strength properties of ice / L.E. Raraty, D. Tabor // Proc. Royal Soc. London, 1958. Vol. A 245. P. 184–201.
31. Профессиональная льдозаливочная техника Zamboni [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sk-arena.ru/index.php?id=103>. – дата доступа: 05.04.2013.
32. Сайт КП «Спортивный комплекс «Крылатское» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://skating-palace.ru/about/fakt/ice/>. – дата доступа: 05.04.2013.
33. International Skating Union. Special Regulations and Technical Rules [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.isu.org/vsite/vnavsite/page/directory/0,10853,4844-153889-171105-nav-list,00.html>. – дата доступа: 20.04.2013.