

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Повышение эффективности водооборотного цикла теплообменных установок
производства СКИ

Обучающийся

Н.С. Гурьев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Чариков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Название выпускной квалификационной работы: «Повышение эффективности водооборотного цикла теплообменных установок производства СКИ».

Выпускная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, 2 таблиц, 14 рисунков, список используемых источников.

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос оптимизации конструкции блока градирен водооборотного цикла производства синтетического изопренового каучука.

Целью работы является повышение эффективности работы градирен водооборотного цикла производства синтетического изопренового каучука.

Объектом исследования является водооборотный цикл производства СКИ ООО «Тольяттикаучук».

Во введении описывается проблема, ставится цель и формулируются задачи работы.

В первом разделе рассматривается влияние работы водооборотного цикла на технологический процесс, выявляются проблемы и рассматриваются пути их решения.

Во втором разделе анализируется существующая схема водооборотного цикла, конструкция его градирен, проводится анализ литературных данных и патентной информации и предлагаются технические решения по усовершенствованию.

В третьем разделе расчетным путем происходит сравнение двух конструкций.

В заключении делаются выводы о техническом эффекте оптимизации.

Abstract

Title of the graduate qualification work: "Improving the efficiency of water circulation cycle of heat exchange units of SKI production".

Graduate work consists of the introduction, three sections, conclusion, 2 tables, 12 figures, list of references.

The issue of optimization of water circulation cycle cooling tower unit design of synthetic isoprene rubber production is considered in the graduate qualification work.

The aim of the work is to increase the efficiency of cooling towers of water circulation cycle of synthetic isoprene rubber production.

The object of research is water circulation cycle of production of SKI LLC "Togliattikauchuk".

In the introduction the problem is presented, the aim is set and the tasks of work are formulated.

The first section considers the impact of water cycle operation on the technological process, identifies problems and considers ways to solve them.

The second section analyzes the existing scheme of the water circulation cycle, the design of its cooling towers, analyzes the literature and patent information, and proposes technical solutions for improvement.

In the third section, the two designs are compared by calculation.

In the conclusion conclusions are made about the technical effect of optimization.

Содержание

Введение.....	5
1 Аналитическая часть.....	7
1.1 Свойства и применение изопреновых каучуков.....	7
1.2 Применение водно-оборотного цикла для охлаждения технологических потоков.....	10
1.3 Проблемы эксплуатации промышленных водооборотных циклов.....	12
1.4 Способы интенсификации процессов теплообмена открытых градирен.....	16
2 Технологическая часть.....	18
2.1 Описание технологической схемы водооборотного цикла производства СКИ.....	18
2.2 Техническое предложение по изменению конструкции градирен производства СКИ.....	25
3 Расчетная часть.....	32
3.1 Расчет гидромеханических параметров градирни.....	32
3.2 Моделирование структуры потоков.....	43
3.3 Расчет эффективности теплообмена на основе решения дифференциальных уравнений переноса.....	47
Заключение.....	51
Список используемой литературы и используемых источников.....	52

Введение

Современные промышленные процессы требуют постоянного повышения эффективности и оптимизации ресурсного использования. В частности, производство изопренового каучука, являющегося важным сырьевым материалом для производства широкого спектра изделий, сталкивается с рядом вызовов, связанных с неэффективным использованием водооборотных циклов в теплообменных установках. Недостаточная эффективность водооборотного цикла приводит к избыточным расходам воды, энергии и других ресурсов, а также негативно влияет на экологическую обстановку. Решение этих проблем является актуальной технической задачей.

В промышленном производстве водооборотные циклы играют важную роль, обеспечивая эффективное использование водных ресурсов и оптимизацию производственных процессов. Эти циклы представляют собой системы, в которых вода циркулирует и повторно используется для различных технологических нужд. От эффективности работы водооборотных циклов зависят как энергозатраты так и качество производимой продукции

Существует несколько технологий и методов, используемых в водооборотных циклах промышленного производства. Одним из распространенных является система водоохлаждения, в которой вода используется для охлаждения оборудования, машин, участвующих в технологическом процессе. Для эффективного охлаждения могут применяться различные устройства, такие как градирни, охладители и конденсаторы. Важнейшим показателем работы водооборотного цикла является максимальная температура прямой оборотной воды. К ней предъявляются достаточно жесткие требования – обычно не выше 30°C в летний, наиболее жаркий период при разности температур прямой и обратной воды не менее 10°C. Превышение этой температуры может повлечь за собой потери по производительности основной продукции и снижению ее качества.

Также важным аспектом водооборотных циклов является обработка и очистка использованной воды. В качестве основного оборудования, в этих процессах, могут использоваться фильтры, обеззараживающие системы и другие технологические аппараты, которые позволяют удалить загрязнения и восстановить качество воды для повторного использования.

Современные тенденции в оптимизации работы водооборотных циклов связаны с улучшением эффективности использования водных ресурсов и снижением потребления пресной воды. В этом направлении разрабатываются инновационные методы очистки и переработки использованной воды, а также системы рециркуляции и повторного использования отходящих сточных вод. Кроме того, внедрение современных технологий управления и мониторинга позволяет более точно контролировать и оптимизировать работу водооборотных систем в режиме реального времени.

В целом, оптимизация работы водооборотных циклов в промышленном производстве имеет важное значение для снижения потребления водных ресурсов, сокращения затрат на воду и энергию, а также для соблюдения экологических стандартов и охраны окружающей среды. Это является важным шагом в направлении устойчивого развития и эффективного использования ресурсов в промышленности.

Целью работы является повышение эффективности работы градирен водооборотного цикла производства синтетического изопренового каучука

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить технологические основы работы водооборотных циклов;
- проанализировать существующую технологию;
- выявить возможность повышения эффективности работы установки и предложить техническое решение;
- произвести технологические расчеты оборудования.

1 Аналитическая часть

1.1 Свойства и применение изопреновых каучуков

«История создания синтетических каучуков началась в 1909 году, когда Германский химик Фридрих Фогельманн получил первый синтетический каучук на основе полимеризации изопрена. Однако, на тот момент его получение было нерентабельным и не имело промышленного значения» [16].

В 1930-е годы Американский химик Уоллес Каражер изобрел катализатор для синтеза полимеров на основе изопрена и стал первым, кто получил каучук с рентабельными характеристиками. Этот каучук получил название "натуральный синтетический каучук", так как его свойства были близки к свойствам натурального каучука.

Однако, вторая мировая война привела к существенному сокращению поставок натурального каучука из Азии в США и Европу. Это стало причиной бурного развития производства синтетических каучуков. В 1940-х годах были разработаны новые катализаторы, что позволило получать каучук с высокими показателями прочности, устойчивости к разрыву, истиранию и другим механическим воздействиям. Кроме того, были созданы каучуки с особыми свойствами, которые позволили использовать их в самых различных отраслях промышленности.

Изопреновый каучук был одним из первых синтетических каучуков, который стал получать промышленное значение. С момента его получения в 1909 году, были проведены многочисленные исследования в области его синтеза, свойств и применения. В настоящее время изопреновый каучук широко используется в производстве шин для автомобилей, кабелей, уплотнителей, изоляционных материалов, клеев, лент и других изделий.

Изопрен, или 2-метил-1,3-бутадиен, был впервые выделен в чистом виде в 1910 году немецким химиком Отто Ререром. Он получил изопрен путем дистилляции горячей латексной сыворотки, которая выделяется из деревьев

семейства вересковых, в частности, из шишек дерева хлопьевидного(гуттаперча).

В промышленном масштабе изопрен начали получать в 1930-х годах в США и Германии с использованием нефтяных продуктов. Изопрен получают из С4-фракции нефти, в которой содержатся бутadiен, изобутилен и изопрен. Разделение компонентов осуществляется путем фракционирования, а затем изопрен получают методом дистилляции.

Сегодня, изопрен является одним из наиболее распространенных синтетических каучуков, и его производство проводится во многих странах мира, включая Россию.

Искусственные изопреновые каучуки представляют собой синтетические полимеры, которые получают из изопрена, содержащегося в нефти и газе. Они широко используются в различных отраслях промышленности, включая производство автомобильных шин, резиновых изделий, электроизоляционных материалов, медицинских изделий и т.д.

Одним из наиболее известных и широко используемых изопреновых каучуков является каучук с маркировкой, также известный как натуральный или синтетический каучук. Однако, помимо него существует ряд других искусственных изопреновых каучуков, которые обладают своими уникальными свойствами и применениями.

Искусственные изопреновые каучуки характеризуются высокой устойчивостью к растяжению, разрыву, абразии и воздействию различных химических веществ. Они также обладают высокой устойчивостью к высоким и низким температурам, сохраняя свои свойства и гибкость при эксплуатации в широком диапазоне температур. Кроме того, изопреновые каучуки обладают высокой устойчивостью к радиации, что делает их особенно востребованными в космической и ядерной промышленности.

Важным свойством изопреновых каучуков является их способность к вулканизации, то есть процессу изменения их химических свойств с помощью нагрева и добавления специальных реагентов. В результате вулканизации

происходит увеличение прочности, упругости, термостойкости и других свойств каучуков, что делает их более устойчивыми к воздействию внешних факторов.

Таким образом, искусственные изопреновые каучуки обладают уникальными свойствами, которые позволяют широко использовать их в различных отраслях промышленности и повседневной жизни.

Марка СКИ-3 относится к изопреновому каучуку средней структуры, который производится на основе технологии с использованием катализатора на основе триизобутилалюминия.

Основными свойствами каучука марки СКИ-3 являются:

- высокая устойчивость к высоким температурам (до 150 градусов Цельсия);

- хорошая устойчивость к воздействию кислот, щелочей и растворителей;

- хорошая устойчивость к истиранию и рывковому растяжению;

- возможность использования в качестве загустителя и модификатора других видов каучуков.

Марка СКИ-3 широко используется в различных отраслях промышленности, включая автомобильную, электротехническую и строительную.

«Многие технологические процессы производства изопренового каучука потребляют оборотную воду для охлаждения различных сред. К ним относится конденсация паровой фазы ректификационных колонн, установки дегазации полимеризата, охлаждение потоков сточных вод, сбрасываемых в канализационные сети, предварительное охлаждение шихты, охлаждение масла динамического оборудования. Таким образом температура оборотной воды влияет на эффективность работы установки в целом, путем сочетанного воздействия на работу отдельных агрегатов» [16].

1.2 Применение водно-оборотного цикла для охлаждения технологических потоков

Производство синтетического каучука является сложным и энергоемким процессом, требующим эффективных методов охлаждения для обеспечения оптимальных условий реакции и качества продукции. В данном контексте применение водно-оборотного цикла для охлаждения технологических потоков становится важным фактором в обеспечении эффективности и устойчивости производства синтетического каучука.

«Водно-оборотный цикл играет ключевую роль в процессе производства синтетического каучука, особенно в отношении охлаждения технологических потоков. Он обеспечивает стабильные и контролируемые условия теплообмена, которые необходимы для эффективной работы реакторов и другого оборудования. Вода, используемая в цикле, позволяет эффективно отводить избыточное тепло и поддерживать требуемые температурные режимы в процессе производства» [1].

«Применение водно-оборотного цикла для охлаждения технологических потоков в производстве синтетического каучука включает использование различного оборудования и технологий. Одним из ключевых компонентов являются охладители, такие как градирни, которые создают поверхность воды для ее охлаждения путем контакта с воздухом. Кроме того, системы фильтрации, обеззараживания и рециркуляции играют важную роль в обеспечении качества и устойчивости воды в цикле» [39].

«Тепло технологического процесса теплообменного оборудования передается обратной воде, которая контактирует с воздухом в градирне, где происходит ее частичное испарение и охлаждение. Испаренная вода компенсируется подпиткой. Холодная или прямая обратная вода направляется в теплообменное оборудование циркуляционным насосом» [21].

Особенностями работы обратной системы водоснабжения являются:

- зависимость работы большинства охлаждающих устройств от метеорологических условий (температура и относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра);

- необходимость восполнения потерь воды в охлаждающих устройствах.

Принципиальная схема водооборотного цикла представлена на рисунке 1.

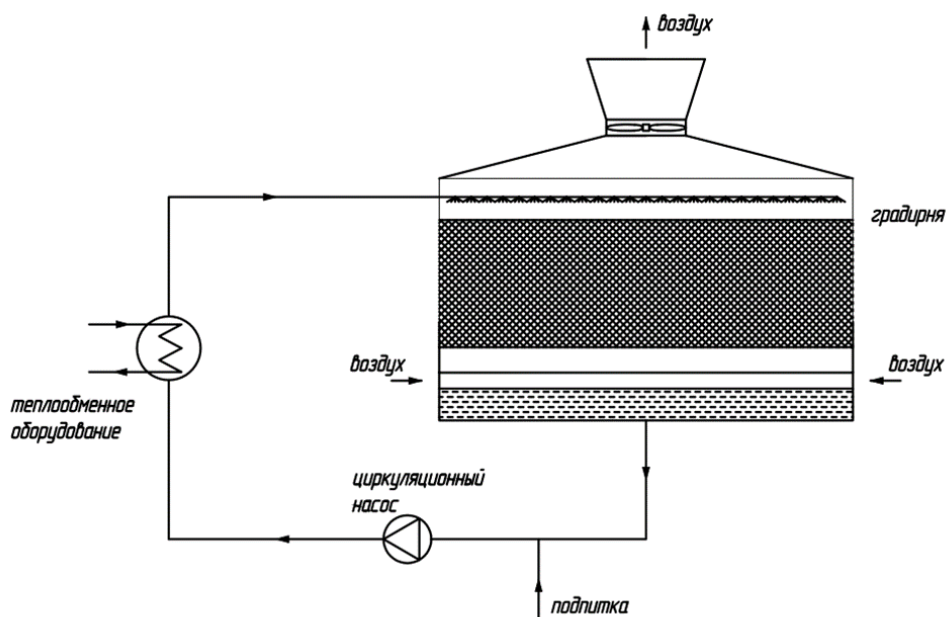


Рисунок 1 - Принципиальная схема водооборотного цикла

«Применение водно-оборотного цикла для охлаждения технологических потоков в производстве синтетического каучука предоставляет ряд значительных преимуществ. Во-первых, это позволяет снизить потребление пресной воды, так как большая часть воды может быть повторно использована в цикле. Во-вторых, оптимальное охлаждение способствует улучшению производительности и качества продукции, а также сокращению времени производственного цикла» [5].

«Современные тенденции в применении водно-оборотного цикла в производстве синтетического каучука связаны с повышением

энергоэффективности и устойчивости процесса. Оптимизация системы водооборота, включая применение передовых технологий фильтрации, рециркуляции и контроля, помогает снизить потребление энергии и воды, а также минимизировать воздействие на окружающую среду» [17].

Применение водно-оборотного цикла для охлаждения технологических потоков в производстве синтетического каучука является важным фактором в обеспечении эффективности и устойчивости производства. Оно позволяет достичь оптимальных условий теплообмена, снизить потребление пресной воды и энергии, а также повысить производительность и качество продукции. Применение передовых технологий и тенденций в оптимизации водно-оборотного цикла становится важным шагом в направлении устойчивого развития промышленности синтетического каучука.

1.3 Проблемы эксплуатации промышленных водооборотных циклов

«Водооборотные циклы играют важную роль в промышленности, обеспечивая охлаждение, транспортировку и обработку воды, используемой в различных производственных процессах. Однако, в ходе эксплуатации таких циклов возникают некоторые проблемы, которые требуют особого внимания и решения» [8].

Водооборотные системы подвержены образованию отложений и накоплению загрязнений. Это может происходить из-за наличия растворенных минералов и других веществ в воде, а также из-за проникновения частиц и органических веществ в систему. Накопление отложений и загрязнений приводит к снижению эффективности теплообмена, ухудшению качества воды и повышенным расходам на обслуживание и ремонт оборудования.

«Присутствие кислорода и других агрессивных химических веществ в воде может вызывать коррозию металлических поверхностей водооборотной системы. Коррозия приводит к повреждению трубопроводов, оборудования и

компонентов, а также может вызывать снижение эффективности системы. Необходимо принимать меры по защите от коррозии, например, использовать антикоррозионные покрытия или добавлять ингибиторы коррозии в воду» [29].

«Водооборотные системы могут стать средой для развития бактерий, водорослей и других микроорганизмов. Биологическое загрязнение может привести к образованию биологических отложений, пленок и запахов, а также вызвать засорение фильтров и трубопроводов. Регулярная очистка, обеззараживание и поддержание правильного уровня хлорирования в системе помогут предотвратить биологическое загрязнение» [37].

«Недостаточная изоляция трубопроводов и оборудования, неправильная гидравлическая настройка и другие факторы могут приводить к энергетическим потерям в водооборотной системе. Это приводит к повышенным энергозатратам и снижению эффективности системы. Оптимизация гидравлических условий, применение энергоэффективного оборудования и правильная изоляция помогут уменьшить энергетические потери» [6].

«Эксплуатация промышленных водооборотных циклов сопряжена с рядом проблем, которые требуют внимания и эффективных решений. Правильное обслуживание, регулярная очистка, применение защитных мер и оптимизация системы помогут снизить воздействие этих проблем и обеспечить более эффективную и устойчивую работу водооборотных циклов в промышленности» [35].

Энергетические потери являются серьезной проблемой при эксплуатации промышленных водооборотных циклов. Несоответствие гидравлических параметров, неправильная гидравлическая настройка и недостаточная изоляция трубопроводов и оборудования приводят к ненужным энергозатратам и снижению эффективности системы. Рассмотрим некоторые из основных аспектов, связанных с энергетическими потерями в водооборотных циклах.

«Неправильная гидравлическая настройка системы может вызвать излишнее сопротивление в потоке воды. Это приводит к дополнительным потерям давления и энергии. Такие потери могут быть связаны с неправильным выбором диаметров труб, неправильным расположением арматуры или излишним количеством изгибов и поворотов. Необходимо правильно спроектировать систему с учетом оптимальных гидравлических условий и провести регулярную проверку и настройку системы для минимизации гидравлических потерь» [32].

«Недостаточная изоляция трубопроводов и оборудования приводит к тепловым потерям в водооборотной системе. Тепло, передаваемое в окружающую среду, требует дополнительной энергии для поддержания необходимой температуры в системе. Изоляция трубопроводов и оборудования должна быть выполнена с учетом требований по сохранению тепла и минимизации тепловых потерь. Использование высококачественных теплоизоляционных материалов и регулярная проверка состояния изоляции помогут снизить энергетические потери» [24].

«Некачественное и устаревшее оборудование может быть причиной энергетических потерь в водооборотных циклах. Например, насосы с низким КПД или плохо работающие системы контроля и регулирования могут потреблять больше энергии, чем необходимо. Замена устаревшего оборудования на энергоэффективные аналоги и регулярное обслуживание помогут снизить энергетические потери и повысить эффективность системы» [3].

«Неправильный выбор режима работы водооборотного цикла может приводить к избыточному потреблению энергии. Например, неправильная настройка насосов или неправильное расписание работы оборудования могут приводить к работе системы при неполной загрузке или высоких энергозатратах. Необходимо проводить анализ и оптимизацию режима работы системы с целью снижения энергетических потерь и повышения эффективности» [22].

«Оптимизация работы промышленных водооборотных циклов является важной задачей, направленной на сокращение энергетических потерь и повышение эффективности системы. Правильное проектирование системы, регулярное обслуживание, использование энергоэффективного оборудования и оптимальный выбор режима работы позволят минимизировать энергетические потери и обеспечить более эффективную эксплуатацию водооборотных циклов в промышленности» [38].

«Проблема повышения температуры воды водооборотного цикла в летний период является серьезной и требует специального внимания при эксплуатации промышленных систем. В условиях высоких температур окружающей среды и увеличенного потребления охлаждающей воды возникают следующие проблемы» [9]:

В результате воздействия высоких температур окружающей среды на систему водооборотного цикла, температура воды в системе может превышать допустимые значения. Перегретая вода может негативно влиять на работу оборудования, особенно на системы охлаждения, и приводить к снижению эффективности процессов производства.

«Повышение температуры воды в водооборотном цикле может вызывать снижение эффективности теплообмена между охлаждающей средой и процессами производства. Это может привести к ухудшению производительности и эффективности оборудования, увеличению времени процессов и потреблению большего количества энергии для достижения желаемых результатов» [20].

«Также повышение температуры воды может привести к риску повреждения оборудования, особенно систем охлаждения, таких как насосы, трубопроводы, градирни и теплообменники. Высокие температуры могут вызывать перегрузку оборудования и приводить к его износу, коррозии, утечкам и возможным авариям» [30].

«В условиях повышенной температуры воды, испарение и потери воды в системе могут увеличиваться. Это может привести к необходимости частого

пополнения воды в системе и увеличению расходов на водоснабжение и водоподготовку» [7].

«Для решения проблемы повышения температуры воды водооборотного цикла в летний период необходимо принять соответствующие меры. Это может включать использование дополнительных систем охлаждения, установку дополнительной изоляции на трубопроводах и оборудовании, регулярное контролирование и настройку системы, а также использование специальных химических добавок для снижения температуры воды. Кроме того, важно проводить анализ и планирование работы системы, учитывая климатические условия и потребности производства, чтобы предотвратить возможные проблемы, связанные с повышением температуры воды водооборотного цикла в летний период» [31].

1.4 Способы интенсификации процессов теплообмена открытых градирен

«Открытые градирни широко применяются для охлаждения технологических потоков в различных отраслях, включая энергетику, химическую промышленность и производство стали. Оптимизация процессов теплообмена в градирнях имеет решающее значение для обеспечения эффективности производства, снижения энергозатрат и повышения экологической устойчивости. Рассмотрим различные способы интенсификации процессов теплообмена в открытых градирнях и их применение в промышленности» [4].

«Одним из способов интенсификации процессов теплообмена в открытых градирнях является оптимизация гидравлических условий. Это включает правильное проектирование градирных установок, оптимизацию распределения воды по градирне и использование специальных распылителей и насадок для обеспечения равномерного распределения воды и максимального контакта с воздухом. Это позволяет повысить эффективность теплоотдачи и улучшить процесс охлаждения технологических потоков» [2].

«Другим способом интенсификации процессов теплообмена в открытых градирнях является применение специальных насадок, сочетающих высокую удельную поверхность и низкое гидравлическое сопротивление. Они обеспечивают большую площадь контакта между водой и воздухом, что способствует более эффективному теплообмену. Они могут иметь сложную геометрию и специально разработанные формы поверхности для улучшения перемешивания воды и воздуха, а также создания турбулентного потока. Применение таких заполнителей позволяет увеличить эффективность градирни и снизить потребление воды» [42].

«Для интенсификации процессов теплообмена в открытых градирнях также можно использовать специальные добавки. Эти добавки улучшают теплопередачу между водой и воздухом, увеличивая коэффициент теплоотдачи. Они могут включать поверхностно-активные вещества, полимерные присадки и химические реагенты, которые улучшают смачиваемость поверхности заполнителей и повышают эффективность теплообмена. Использование таких добавок может значительно повысить эффективность градирни и снизить энергетические потери» [34].

Исходя из информации, приведенной в разделе можно сделать следующие выводы.

Для эффективной работы открытых градирен необходимо регулярное обслуживание и контроль параметров. Регулярная очистка и промывка градирных установок позволяют избежать образования накипи и загрязнений, которые могут снизить эффективность теплообмена. Оптимизация гидродинамических условий контакта фаз, Применение высокоэффективной насадки, использование поверхностно-активных веществ позволяют повысить эффективность теплообмена и снизить энергетические потери.

2 Технологическая часть

2.1 Описание технологической схемы водооборотного цикла производства СКИ

Насосная станция и градирни блока №127-127а предназначены для обеспечения оборотной водой заданных параметров технологического теплообменного оборудования установок производства СКИ (ИП-3, ИП-4, ИП-5, ИП-6).

Охлажденная в градирнях вода подается насосами из насосной станции №127 в технологические установки производства СКИ, где в теплообменных аппаратах происходит передача тепла от технологических продуктов воде, и за счет избыточного давления по сетям отработанной воды поступает на градирни для охлаждения. Из чаш градирен вода самотеком поступает во всасывающие трубопроводы насосов. Процесс является замкнутым.

Основным аппаратом цикла является градирня. Градирня - сооружение, предназначенное для охлаждения отработанной воды перед ее повторным использованием. Вода охлаждается путем передачи тепла атмосферному воздуху в результате увеличения поверхности соприкосновения воды с воздухом. Вода и воздух движутся противотоком. Для более интенсивного отвода тепла, градирни оборудованы осевыми вентиляторами с верхним расположением привода вентилятора.

Основные характеристики и технические параметры градирни представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Основные характеристики применяемых градирен

Наименование показателей	Единица измерения	Значение		
		Градирни 1,3	Градирня 2	Градирня 4
Габаритные размеры градирни	мм	23000·23000·15845	23000·23000·15845	23000·23000·15845
Площадь орошения	м ²	392	400	392
Гидравлическая нагрузка, расчетная	м ³ /час	3000	3000	3000
Тепловая нагрузка на градирню	°С	30	30	30
Расчетная площадь орошения	м ³ /час* м ²	7,65	7,5	7,65
Производительность вентилятора по воздуху	тыс.м ³ /час	720-2700		
Объем чаши	м ³	600		
Капельный унос	%	0,02 не более		
Потери на испарение	%	0,9		
Тип вентилятора		WO 10363	WO 10395-5-(5)	WO 10363
Высота оросителя	м	1,425	1,575	1,425
Отметка ВРС от основания градирни		4,5	5,65	4,5

Принципиальное устройство градирен №1, 2, 3, 4 схоже.

В состав градирни входят:

- железобетонные фундаменты под оборудование;
- железобетонный бассейн;
- опорный металлический постамент;
- градирня вентиляторная;
- градирня парообразующая;
- помещение насосной.

Железобетонный бассейн под градирню и железобетонные фундаменты под оборудование. Металлический опорный постамент состоит из труб $\varnothing 350$ мм. Опоры помещения насосной – спаренные уголки 160x10, вертикальные связи - спаренные уголки 120x10, 120x8.

Ограждение вентиляторной градирни состоит из металлического профлиста, оросительное устройство из ПВХ.

Ограждение парообразующей градирни состоит из металлических

профилированных листов, оросительное устройство из полипропилена, вытяжная башня из металлического каркаса.

Для обслуживания градирен предусмотрена металлическая площадка из просечного листа с лестницей.

Железобетонный бассейн глубиной 2м имеет форму восьмигранника со стороной 9,0м.

Опоры металлического постаменты металлические трубы диаметром 350 мм, которые одновременно являются водосборными трубами, опираются на монолитные железобетонные тумбы размером 0,6х0,6м, высотой 0,1-0,3м. Опоры каркаса ограждения Ст-1 из 2х металлических уголков 120х10 по осям 1-8 опираются на железобетонные опоры Оп-1 сечением 0,6х0,6м, высотой 2,0м. По периметру бассейна расположены железобетонные пилястры сечением 0,6х0,3м, высотой 2,0м. Далее нагрузка распределяется на монолитную железобетонную плиту диаметром 9м $t=0,2$ м, являющуюся ростверком для восьми железобетонных колонн. Отметка помещения насосной +10,000. За отметку 0,000 принят уровень земли. Отметка дна бассейна -2,000.

Пространственная жесткость обеспечивается жестким защемлением колонн с фундаментом, а также совместной работы металлического постаменты с монолитной железобетонной плитой. План расположения несущих конструкций представлен на рисунке 2.

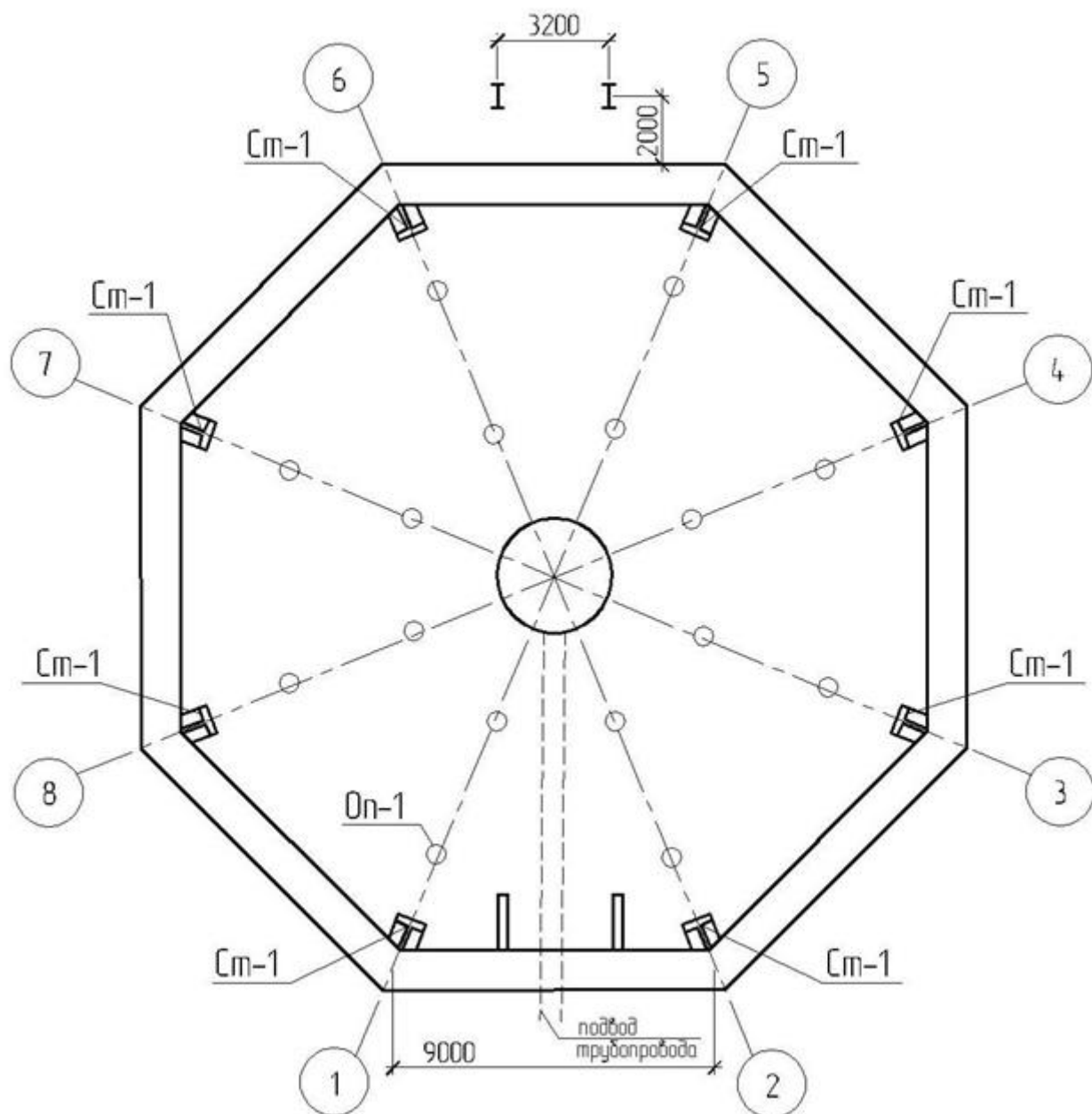


Рисунок 2 – План расположения силовых конструкций градирни

Отработанная вода подается в градирни через 2 водоподающие трубы - диаметром 500 мм, отходящие от общего коллектора отработанной воды диаметром 1400мм.

Водораспределительное устройство - предназначена для равномерного распределения воды по площади оросительного устройства, напорная – раструбные сопла (градирни 1,3,4); напорная эвольвентные сопла (градирня №2).

Водоуловитель - предназначен для предотвращения уноса капель воды воздухом, проходящим через градирню. Состоит из блока полимерных досок, закрепленных под углом 45 °С,

Пленочный ороситель - предназначен для увеличения площади контакта воздуха и воды, за счет создания водяной пленки толщиной 0,3-0,5 мм. Пленочный ороситель полуволна полимерный (градирни № 1,3,4); блоки на основе перфорированных модулей «насадка ИК-110М» (градирня № 2).

Водосборный бассейн или чаша – емкость для сбора охлажденной воды, расположена под градирней. В чаше имеется приямок для ввода всасывающей трубы.

Сородерживающие сетки установлены на прямке всасывающей трубы и препятствуют попаданию посторонних предметов в коллектор всаса. Выполнены из нержавеющей сетки с ячейкой 25x25 мм. При останове могут подниматься из чаши градирни для чистки и ремонта.

Переливная труба – установлена в камере всаса и предназначена для сброса излишка воды в ливневую канализацию. Для исключения попадания посторонних предметов входное отверстие переливной трубы закрыто решеткой.

Камера всаса с запорной арматурой предназначена для отключения градирни от всасывающего коллектора, опорожнения чаши градирни и стояка водоподающей трубы.

Машзал градирен предназначен для установки привода вентилятора, приборов КИПиА и электрооборудования.

Обшивка вертикальной части градирни предназначена для предотвращения подсоса воздуха и растекания воды по периметру градирни. Выполнена из оцинкованного профлиста.

Конфузор – сужающаяся часть градирни (по ходу воздуха) - предназначен для плавного подвода отсасываемого воздуха к крыльчатке вентилятора градирни. Выполнен из металла.

Диффузор – расширяющаяся часть градирни (по ходу воздуха) -

предназначен для установки в нем крыльчатки вентилятора и направления потока воздуха на выходе из вентилятора. Выполнен из стеклопластика.

Осевой вентилятор с верхним приводом предназначен для создания движения воздуха внутри градирни с целью равномерного и быстрого охлаждения воды до заданной температуры при движении воды и воздуха противотоком.

Отработанная вода от установок производства СКИ подается на ВРС №№1, 2, 3, 4.

Подача отработанной воды производится следующим образом:

От насосной станции №3 установки ИП-4, установки МТБЭ ИП-3 – по наземному трубопроводу Ду-500 мм к трубопроводу Ду-900 мм в районе градирни № 5;

От установок ИП-3, ИП-4, ИП-5, ИП-6 по трубопроводу Ду–800 ~ 1400 мм.

В зимнее время, при низких температурах отработанной и охлажденной воды предусмотрена подача воды в чаши градирен №1, 2, 3, 4, 8 по обводным трубопроводам.

Вода, охлажденная на градирнях, самотеком, через задвижки ОХ-1, ОХ-2, ОХ-3, ОХ-4, ОХ-5, ОХ-6, ОХ-8, расположенных в камерах у соответствующих градирен по подземным трубопроводам, поступают на всасы насосов Н-1, Н-2, Н-3, Н-4.

Насосы Н-1, Н-2, Н-3, Н-4 подают охлажденную воду в трубопровод Ду-1400 мм. Подача воды на насосную №3 установки ИП-4, установку МТБЭ ИП-3 осуществляется через задвижку ОХ-9 (расположенной у напорного коллектора Ду-1400 мм), задвижку ОХ-10 (расположенной у эстакады) по трубопроводу Ду-500 мм.

Подпитка системы оборотного водоснабжения осуществляется речной водой через регулирующий клапан типа «ВЗ», смонтированный на трубопроводе Ду-400 мм в машинном зале, во всасывающий коллектор охлажденной воды.

В случае остановки водовода РВ-1, подпитка системы осуществляется по водоводу РВ-2, без учета расхода речной воды.

При подаче речной воды по водоводу РВ-1, задвижка №1 в камере 1а открыта; Р-5, Р-7, Р-8, Р-9 в машинном зале открыты; задвижки Р-4, Р-6 закрыты. На водоводе РВ-2 задвижки Р-1, Р-2, Р-3 закрыты.

Удаление дренажных вод из приемка машинного зала производится дренажным насосом Н-7. В аварийных ситуациях откачка воды из приемка машзала насосной станции осуществляется с помощью насоса Н-3. Для этого необходимо:

Слив избыточной воды из системы, при повышении уровней в чашах градирен, осуществляется через переливные воронки или линии опорожнения чаш градирен.

Приборы по замеру давления и температуры охлажденной воды установлены в машинном зале на трубопроводе насосов. Показания приборов выведены на щит в операторной.

Приборы по замеру давления и температуры отработанной воды установлены на наземном трубопроводе Ду-1400 мм в районе градирни №3.

Водооборотный блок оснащен системой мониторинга состояния технологического оборудования. Показания приборов выведены на автоматизированное рабочее место (АРМ) машиниста.

Системы контроля работы градирен располагаются в отдельных шкафах и обеспечивают контроль состояния оборудования, сигнализацию при достижении предаварийных параметров работы оборудования, останов вентилятора при достижении критических параметров работы оборудования.

При некорректной работе систем мониторинга и контроля работы ВОБ необходимо сообщить начальнику смены и вызвать обслуживающий персонал для устранения неисправностей.

Электродвигатели насосов 24 НДС (Н-1, Н-2, Н-3, Н-4) напряжением 6000В запитаны от подстанции № 35. Н-3, Н-4 - от секции №1; Н-1, Н-2 от секции № 2.

Общая компоновка блока градирен представлена на рисунке 3

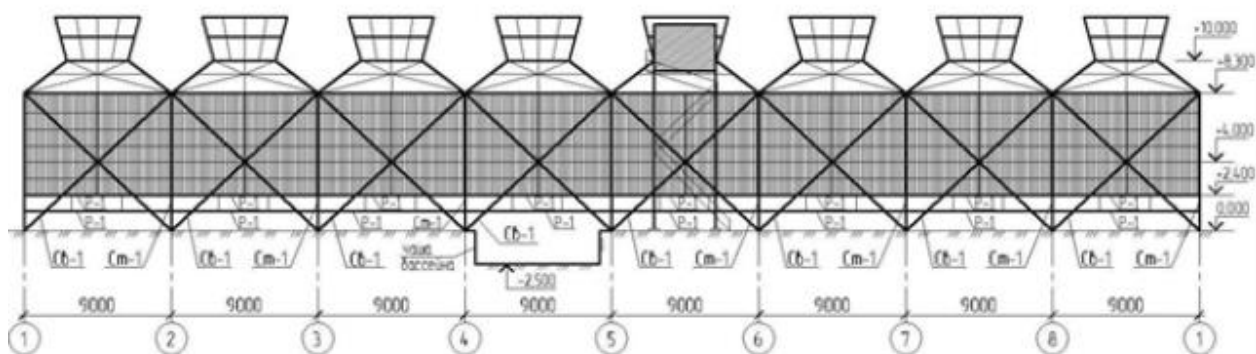


Рисунок 3 – Общий вид блока градирен

Приводы электродвигателей на всасывающих и напорных трубопроводах насосов напряжением 380В запитаны с подстанции № 35. Здание насосной станции совмещено с подстанцией № 35.

Машинный зал насосной станции заглублен более 3 м.

2.2 Техническое предложение по изменению конструкции градирен производства СКИ

«Описана градирня, особенностью конструкции которой является наличие корпуса с воздухопускными окнами по периферии в нижней ее части с расположенными в ней водораспределительными коллекторами, установленными на отстойке и подключенными к водораспределительной системе, форсунки, смонтированные на коллекторах, и водосборный бассейн. При этом воздухопускные окна разделены перегородками, выступающими за внешние обводы корпуса, а в верхней части окон расположен козырек, выступающий за внешние обводы корпуса, образуя с отстойкой и перегородками воздухоходной конфузор. Описанная конструкция предполагает снижение бокового капельного уноса стекающей с насадки воды и исключение обледенения элементов градирни в зимний период эксплуатации» [7].

«Описана градирня, содержащая вытяжную башню с ветровым козырьком и верхним кольцом жесткости, на котором установлена вращающаяся осесимметричная платформа, снабженная ветродвигателями, хвостовым оперением и отсасывающим вентилятором. Узлы платформы связаны кинематически. Данная конструкция обеспечивает повышение эффективности охлаждения оборотной воды путем уменьшения влияния ветра на тягу градирни» [15].

«Известна градирня, содержащая корпус с воздухоходными окнами в его нижней части, устройство для закрутки входящего в градирню воздушного потока, выполненное в виде тангенциальных каналов, образованных установленными в указанных окнах вертикальными поворотными щитами, а также водосборный бассейн, над которыми установлены оросительное устройство и водоразбрызгивающая система, отличающаяся тем, что содержит адаптивную автоматическую систему управления углом поворота щитов, содержащую датчики измерения температуры воды на входе в градирню, температуры воды на выходе водосборного бассейна, удельного объемного расхода воды, протекающей через градирню за единицу времени, температуры окружающего градирню воздуха, относительной влажности окружающего градирню воздуха и скорости приземного ветра непосредственно вблизи градирни соответственно, соединенные выходами с контроллером на базе микропроцессора, выполненного с возможностью расчета перепада температур воды в модели градирни без устройства закрутки. Таким образом система управления создает оптимальные гидродинамические условия распределения воздуха по объему насадки. Таким образом обеспечивается увеличение эффективности охлаждения воды в градирне» [41].

«Описана градирня, содержащая вытяжную башню, образованную щитами с воздухоходными окнами, в которых установлены наклонные жалюзи, напорный трубопровод с водораспределительной разбрызгивающей форсункой для увлажнения воздуха и резервуар для сбора охлажденной воды,

отличающаяся тем, что она снабжена водоотражательным элементом в виде обечайки, установленной с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения и образованной треугольной призмой с жестко прикрепленной к основанию вертикальной штангой и боковыми открылками с водоотражательным коллиматорным экраном. Использование градирни существенно снижает энергоемкость теплообмена благодаря возможности увеличения площади контактируемой поверхности и времени конвективного теплообмена, что повышает эффективность теплообмена в широком диапазоне температур» [33].

Известна градирня, содержащая башню с воздухоходными окнами, расположенными над бассейном для сбора охлажденной воды, водораспределительное устройство с разбрызгивателями, поярусно установленными в полости градирни, разбрызгиватели выполнены в виде многофорсуночных головок со шнековыми центробежными форсунками, а башня градирни сверху закрыта крышкой, сквозь которую проходит вытяжная колонна в виде полого цилиндра с верхним и нижним торцами, стенки которой перфорированы в той ее части, которая находится в рабочей зоне градирни, причем степень перфорации растет по высоте вытяжной колонны, внутри которой, выше зоны ее перфорации, установлена решетка, на которую засыпаны кольца Рашига, а нижний торец вытяжной колонны снабжен крышкой с отверстием для слива сконденсировавшейся влаги в бассейн для сбора охлажденной воды. Верхний торец вытяжной колонны закрыт крышкой, выполненной в виде конфузоров, на которой установлены струйные водяные насосы с камерами смешения, кроме того, вверху градирня снабжена накопительными емкостями, в которые поступает использованная эжекторная вода из камер смешения струйных водяных насосов, накопительные емкости снабжены трубопроводами, выведенными в полость градирни над воздухоходными окнами, на трубопроводах установлены раздаточные трубы с разбрызгивателями в виде многофорсуночных головок с центробежными шнековыми форсунками. «В вытяжной колонне над кольцами Рашига

установлен отсасывающий вентилятор. Изобретение позволяет интенсифицировать тепломассообмен, в результате чего увеличивается не только температурный диапазон охлаждения воды, но и уменьшается капельный унос воды в атмосферу» [19].

Существующая градирня содержит корпус с воздухоходными окнами в нижней части и установленные вверху водораспределитель и ороситель. При этом тепломассообмен происходит при противоточном движении потоков воды и воздуха: вода стекает в виде пленки по элементам оросителя, воздух проходит через градирню снизу-вверх. Схема работы градирни приведена на рисунке 4.

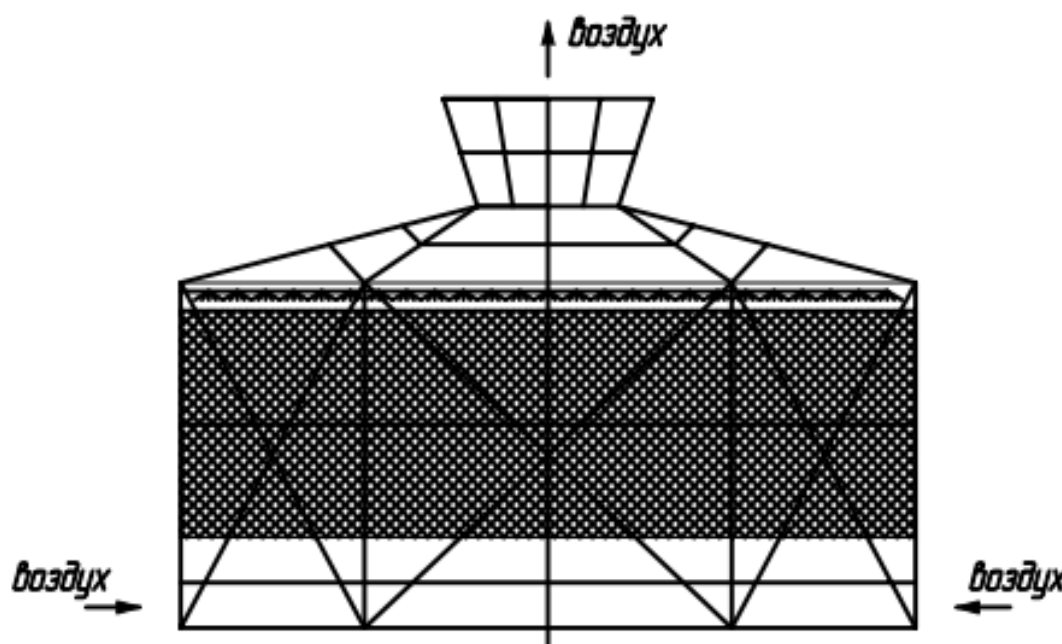


Рисунок 4 – Принципиальная схема работы градирни

«Недостатками градирни является низкая эффективность тепломассообмена (так как воздух, проходящий по каналам насадки оросителя, быстро насыщается влагой) и увеличивающийся с повышением скорости воздуха капельный унос» [36].

Интенсификация тепломассообмена и улучшение распределения воздуха по сечению насадки может быть достигнута благодаря тому, что в

верхней части корпуса располагаются воздух входные окна по центру градирни, располагается воздухоотводящая труба.

Предлагаемая конструкции градирни на рисунке 5.

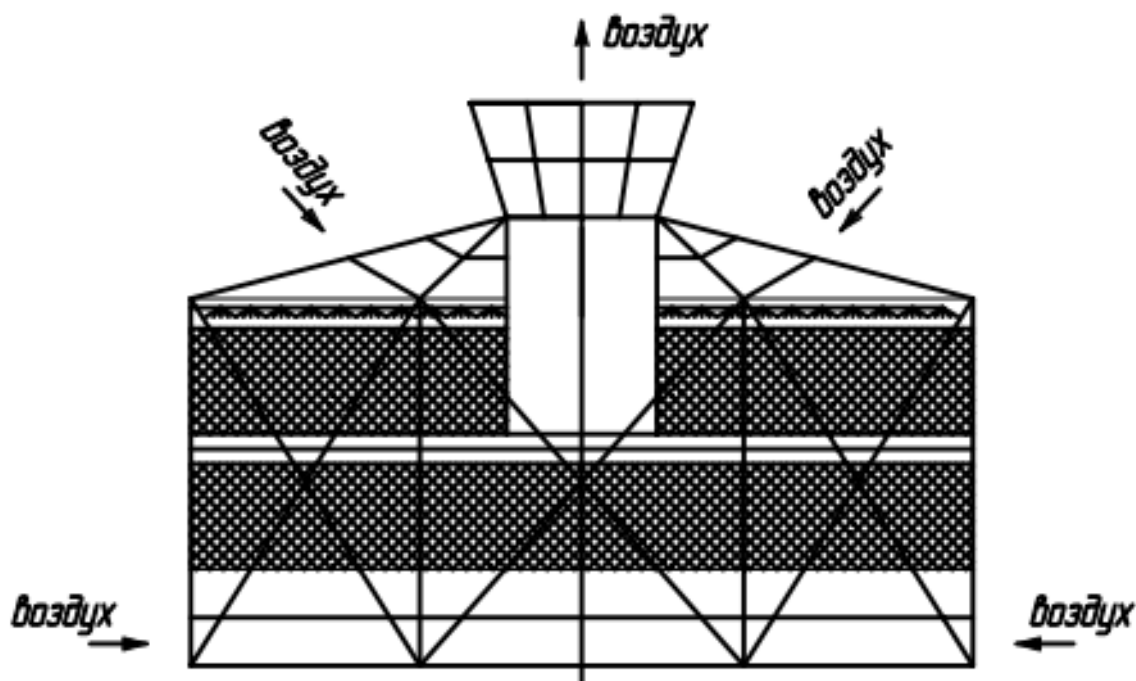


Рисунок 5 – Предлагаемая конструкция градирни

Градирня содержит корпус с размещенными в нем первой ступенью (в верхней части) и второй ступенью (в нижней части) оросителя, водораспределителем и сепаратором капельной влаги. Воздуховходные окна расположены над первой ступенью, как показано на рисунке 6, также воздух поступает во вторую ступень снизу. Для сбора и отвода охлажденной воды служит поддон. Воздухоотводная труба сообщена с пространством между ступенями и соединена с вентилятором. Труба может быть установлена в центре градирни, а ступени оросителя закреплены на ней.

«Градирня работает следующим образом. Вода из водораспределителя подается в первую ступень оросителя, где охлаждается потоком воздуха, поступающим через окна в условиях нисходящего прямотока и затем в виде дождя, стекает на нижерасположенную ступень оросителя. Воздух в ступень поступает через окна противоточно движению воды. Отработанные потоки

воздуха после ступеней и отводят из межступенчатого пространства. Таким образом, вода сохраняет неизменное направление по высоте градирни, последовательно охлаждаясь в ступенях оросителя, а потоки воздуха имеют встречное направление. Поскольку аэродинамическое сопротивление насадки в условиях нисходящего прямотока невелико, по сравнению с противотоком, скорость воздуха в верхней ступени может быть принята более высокой, чем в нижней ступени (оптимальными для условий нисходящего прямотока являются скорости воздуха 10-20 м/сек для условий противотока - 3-4 м/сек), что может быть достигнуто как за счет изменения высоты насадки, так и за счет изменения эквивалентного геометрического диаметра ее каналов. Такое выполнение градирни повышает ее эффективность, так как в каждой ступени вода вступает в контакт с неувлажненным воздухом, а благодаря пространству между ступенями происходит перераспределение воды при перетоке ее из одной ступени в другую. При выполнении градирни с центральной воздухоотводящей трубой существенно повышается жесткость конструкции, так как труба в этом случае используется как основная несущая конструкция. принципиальная конструкция» [14].

«Помимо изменения схемы ввода воздуха предполагается изменение расположения насадки в верхней части градирни. По данным исследований» [13], более эффективным является в условиях прямотока воздуха является использование горизонтально уложенной сетчатой насадки, по сравнению с вертикальным ее расположением.

Расположение блока жалюзи представлен на рисунке 6.

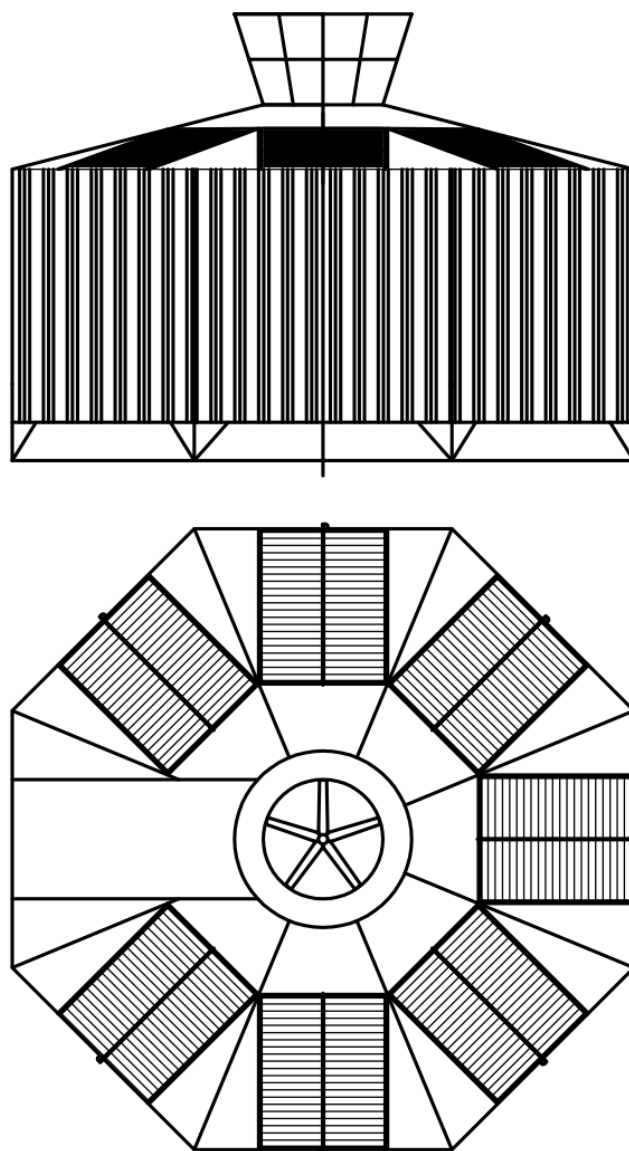


Рисунок 6 – Расположение блока жалюзи

Таким образом, можно сделать вывод о наименее затратных и эффективных путях оптимизации работы градирни существующего водооборотного цикла, которые и положены в основу предлагаемой оптимизации. Изменение направления ввода воздуха приведет к сокращению уноса воды, замена насадки приведет к увеличению коэффициентов массотдачи, а, следовательно, повысит тепловую эффективность градирни и снизит унос капельной влаги.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет гидромеханических параметров градирни

«Оптимизация процесса заключается в изменении конструктивного устройства градирни и не затрагивает изменение материальных потоков по охлаждающей воде и воздуху. Для сравнения эффективности двух конструктивных исполнений воспользуемся параметром энергетического коэффициента вычисляемому по формуле (1)» [33]:

$$E = \frac{\beta_{VX}}{\Delta P/F} \quad (1)$$

Найдем соответствующие величины для существующей и предлагаемой конструкций градирни и сравним их. Из литературных источников [11], [13] известно, что тепловой КПД вентиляторных градирен при работе в летний период составляет 10-20%, а в зимний - 50-70%. Поэтому расчеты будем вести для наименее эффективного летнего режима. Примем расчетную температуру воздуха +20 °С, воды +40 °С, относительная влажность 60%.

Найдем скорость входа воздуха в корпус градирни по формуле (2):

$$W_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{F} \quad (2)$$

где V_{Γ} - расход воздуха (примем 228м³/с, по данным регламента)

F – площадь входных окон градирни

Для предлагаемой конструкции по формуле (2):

$$W_{\Gamma 2} = \frac{278}{172,8} = 1,6 \text{ м/с}$$

Для существующей градирни по формуле (2):

$$W_{r1} = \frac{278}{196} = 1,41 \text{ м/с}$$

«Зависимость характеризующая коэффициент массоотдачи при горизонтальном расположении полимерных сеток в блоке насадки вычисляется по формуле (3)» [18]:

$$\beta_{V_x} = 1,04 \cdot \Gamma^{1,04} \cdot \lambda^{0,79} \quad (3)$$

где Γ -плотность орошения, $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$

λ -отношение массовых расходов воздуха к воде.

Параметр λ находится по формуле (4):

$$\lambda = \frac{G}{L_{\text{ж}}} \quad (4)$$

Найдем параметр λ по формуле (4):

$$\lambda = \frac{278}{0,83} = 335$$

Найдем коэффициент масс отдачи по формуле (3) для предлагаемой конструкции:

$$\beta_{V_{x1}} = 1,04 \cdot 0,003^{1,04} \cdot 335^{0,79} = 0,25 \text{ кг}/(\text{м}^3\text{с})$$

При вертикальном расположении полимерных сеток в блоке насадки по формуле (3):

$$\beta_{V_x} = 0,93 \cdot 0,002^{1,02} \cdot 335^{0,79} = 0,16 \text{ кг}/(\text{м}^3\text{с})$$

Критерий Пекле по воздуху находится по формуле (6):

$$Pe_{\Gamma} = 2,01 \cdot Re_{d\Gamma}^{-0,245} 10^{0,00072 \cdot Re_{дж}} \quad (6)$$

Критерии Рейнольдса для воздушного потока определим по формулам (7), (8):

$$Re_{d\Gamma} = \frac{W_{\Gamma} \cdot d_{нас}}{v_{\Gamma}} \quad (7)$$

$$Re_{дж} = \frac{\Gamma \cdot d_{нас}}{v_{ж}} \quad (8)$$

Для предлагаемой конструкции найдем значения критериев Рейнольдса по формулам (7), (8):

$$Re_{d\Gamma 1} = \frac{1,6 \cdot 0,026}{0,0000016} = 26000$$

$$Re_{дж 1} = \frac{0,003 \cdot 0,026}{0,0000008} = 97,5$$

Для существующей конструкции найдем значения критериев Рейнольдса по формулам (7), (8):

$$Re_{d\Gamma 2} = \frac{1,4 \cdot 0,026}{0,0000016} = 22922$$

$$Re_{дж 2} = \frac{0,002 \cdot 0,026}{0,0000008} = 65$$

Соотношение критериальных параметров и теплофизических величин для водного потока характеризуется соотношением (9):

$$Pe_{ж} = 0,122 \cdot Re_{ж}^{2,0354} \cdot Ga^{-0,674} \cdot (a_v \cdot h_{нас})^{0,598} \quad (9)$$

Критерий Рейнольдса находится по формуле (10):

$$Re_{ж} = \frac{4\Gamma}{a_v v_{ж}} \quad (10)$$

Найдем критерий Рейнольдса для предлагаемой конструкции по формуле (10)

$$Re_{ж1} = \frac{4 \cdot 0,003}{140 \cdot 0,0000008} = 107$$

Найдем критерий Рейнольдса для существующей конструкции по формуле (10)

$$Re_{ж2} = \frac{4 \cdot 0,002}{140 \cdot 0,0000008} = 72$$

Критерий Галилея находится по формуле (11):

$$Ga = (a_v \cdot \theta_{прив})^{-3} \quad (11)$$

Найдем приведенную толщину стенки по формуле (12):

$$\theta_{прив} = \left(\frac{v_{ж}^2}{g} \right)^{1/3} \quad (12)$$

Результаты расчета по формуле (12):

$$\theta_{прив} = \left(\frac{0,0000008^2}{9,81} \right)^{1/3} = 0,00004\text{м}$$

Найдем критерий Галилея по формуле (11)

$$Ga = (140 \cdot \theta_{\text{прив}})^{-3} = 7,1$$

Найдем значения критерия Пекле для предлагаемой конструкции граи по формуле (9)

$$Re_{ж1} = 0,122 \cdot 107^{2,0354} \cdot 7,1^{-0,674} \cdot (140 \cdot 8)^{0,598} = 29335$$

Найдем значения критерия Пекле для существующей конструкции граи по формуле (9):

$$Re_{ж2} = 0,122 \cdot 72^{2,0354} \cdot 7,1^{-0,674} \cdot (140 \cdot 8)^{0,598} = 13097$$

Приведенное гидравлическое сопротивление слоя сухой насадки можно вычислить по уравнению (13):

$$\frac{\Delta P_0}{h_{\text{нас}}} = \lambda_0 \frac{\alpha_v}{V_{\text{св}}^3} \frac{W_{\Gamma}^2}{2} \rho_{\Gamma} \frac{1}{f_s} \quad (13)$$

где λ_0 - коэффициент сопротивления сухого слоя насадки;

f_s - фактор стенки;

$h_{\text{нас}}$ - высота слоя насадки, м.

Для учета влияния смоченной поверхности насадки используется формула (14):

$$\frac{\Delta P_{\text{ор}}}{\Delta P_0} = \frac{\lambda_{ж}}{\lambda_0} \left(\frac{V_{\text{св}}}{V_{\text{св}} - \varepsilon_{ж}} \right)^3 \quad (14)$$

Фактор стенки может быть найден из уравнения (15):

$$\frac{1}{f_s} = 1 + \frac{4}{\alpha_v D} \quad (15)$$

Из уравнения (16) фактор стенки будет равен $f_s=0,98$

Коэффициент сопротивления находится по формуле (16):

$$\lambda_0 = C_p \left(\frac{64}{Re_r} + \frac{1,8}{Re_r^{0,08}} \right) \quad (16)$$

Критерий Рейнольдса учитывающий смоченность насадки определяется по формуле (17):

$$Re_r = \frac{w_r d_p \rho_r}{(1-\varepsilon)\mu_r} f_s \quad (17)$$

Практический диаметр каналов находится по формуле (18):

$$d_p = 6 \frac{(1-V_{CB})}{\alpha_v} \quad (18)$$

Результаты расчета по формуле (18):

$$d_p = 6 \frac{(1 - 0,895)}{140} = 0,0045 \text{ м}$$

Найдем критерий Рейнольдса для предлагаемой конструкции по формуле (18):

$$Re_{r1} = \frac{1,6 \cdot 0,0045 \cdot 1,165}{(1 - 0,95) \cdot 0,00018} 0,98 = 48$$

Найдем критерий Рейнольдса для предлагаемой конструкции по формуле (18):

$$Re_{r1} = \frac{1,4 \cdot 0,0045 \cdot 1,165}{(1 - 0,95) \cdot 0,00018} 0,98 = 42$$

Коэффициент сопротивления в двухфазном потоке может быть найден по формуле (19):

$$\lambda_{ж} = C_p w \left(\frac{64}{Re_r} + \frac{1,8}{Re_r^{0,08}} \right) \left(\frac{V_{св} - \varepsilon_{ж}}{V_{св}} \right)^{1,5} \quad (19)$$

Степень смоченности насадки определяется по формуле (20):

$$w = \left[\exp \left(\frac{Re_{ж}}{200} \right) \right] \left(\frac{\varepsilon_{ж}}{\varepsilon_{ж,б}} \right)^{0,3} \quad (20)$$

где $\varepsilon_{ж,б}$ - удерживающая способность по жидкости в точке подвисяния.

Критерий Рейнольдса для жидкости рассчитываем по формуле (21):

$$Re_{ж} = \frac{U_{ж} \rho_{ж}}{\alpha_v \mu_{ж}} \quad (21)$$

Найдем критерий Рейнольдса для жидкости в предлагаемой конструкции градирни по формуле (21):

$$Re_{ж1} = \frac{0,022 \cdot 995}{140 \cdot 0,0008} = 195$$

Найдем критерий Рейнольдса для жидкости в существующей конструкции градирни по формуле (21):

$$Re_{ж2} = \frac{0,02 \cdot 995}{140 \cdot 0,0008} = 178$$

Найдем степень смоченности насадки в предлагаемой конструкции градирни по формуле (20):

$$w_1 = \left[\exp\left(\frac{195}{200}\right) \right] \left(\frac{0,8}{1}\right)^{0,3} = 2,47$$

Найдем степень смоченности насадки в предлагаемой конструкции градирни по формуле (20):

$$w_2 = \left[\exp\left(\frac{178}{200}\right) \right] \left(\frac{0,8}{1}\right)^{0,3} = 2,27$$

Найдем коэффициент сопротивления в двухфазном потоке для предлагаемой конструкции по формуле (19):

$$\lambda_{ж1} = 0,122 \cdot 2,47 \left(\frac{64}{48} + \frac{1,8}{48^{0,08}}\right) \left(\frac{0,895 - 0,8}{0,895}\right)^{1,5} = 0,028$$

Найдем коэффициент сопротивления в двухфазном потоке для предлагаемой конструкции по формуле (19):

$$\lambda_{ж2} = 0,122 \cdot 2,47 \left(\frac{64}{42} + \frac{1,8}{42^{0,08}}\right) \left(\frac{0,895 - 0,8}{0,895}\right)^{1,5} = 0,03$$

Коэффициент сопротивления сухой насадки для предлагаемой конструкции найдем по формуле (16):

$$\lambda_{01} = 0,122 \left(\frac{64}{48} + \frac{1,8}{48^{0,08}}\right) = 0,32$$

Коэффициент сопротивления сухой насадки для существующей конструкции найдем по формуле (16):

$$\lambda_{02} = 0,122 \left(\frac{64}{42} + \frac{1,8}{42^{0,08}} \right) = 0,35$$

Гидравлическое сопротивление слоя сухой насадки для предлагаемой конструкции найдем по уравнению (13):

$$\Delta P_{01} = 0,32 \frac{140}{0,895^3} \frac{1,6^2}{2} 1,165 \frac{1}{0,98} 8 = 764 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление слоя сухой насадки для существующей конструкции найдем по уравнению (13):

$$\Delta P_{02} = 0,32 \frac{140}{0,895^3} \frac{1,4^2}{2} 1,165 \frac{1}{0,98} 8 = 585 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление слоя смоченной насадки для предлагаемой конструкции найдем по уравнению (13):

$$\Delta P_{op1} = 764 \frac{0,028}{0,32} \left(\frac{0,895}{0,895 - 0,8} \right)^3 = 5898 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление слоя смоченной насадки для предлагаемой конструкции найдем по уравнению (13):

$$\Delta P_{op1} = 585 \frac{0,03}{0,32} \left(\frac{0,895}{0,895 - 0,8} \right)^3 = 4585 \text{ Па}$$

Зависимости и значения параметров будут использованы в расчетах поля температур и скоростей по методике, описанной в разделе 3.2.

Сравним значения энергетических коэффициентов для двух конструкций градирни, найденных по формуле (1):

$$E_1 = \frac{0,25}{5898/342} = 0,0145$$

$$E_2 = \frac{0,16}{4585/392} = 0,0137$$

Значение энергетического коэффициента для предлагаемой конструкции выше на 6%. Что свидетельствует о повышенной эффективности предлагаемой конструкции.

Оценим капельный унос жидкости

Максимальный радиус устойчивой капли находится по формуле (22):

$$R_{max} = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_{ж} - \rho_{г})}} \quad (22)$$

Найдем максимальный радиус устойчивой капли находится по формуле (22):

$$R_{max} = \sqrt{\frac{0,07}{9,81(995 - 1,165)}} = 0,002\text{м}$$

По литературным данным [18] средний радиус капли меньше в два раза максимального. Примем $R=0,001\text{м}$

Средняя скорость капли в условиях противоточного движения определяется по формуле (23):

$$W_K = \sqrt{\frac{2 \cdot g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}})V_K}{\xi \cdot F_K \cdot \rho_{\text{г}}}} \quad (23)$$

где V_K – средний объем капли, м³;

F_K – площадь поперечного сечения капли, м²;

ξ – коэффициент сопротивления, $\xi = 0,44$

Найдем скорость капли по формуле (23):

$$W_K = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (995 - 1,165) \cdot 4 \cdot 10^{-9}}{1,1 \cdot 0,000003 \cdot 1,165}} = 4,6 \text{ м/с}$$

Среднее время пребывания капли в аппарате определяется по формуле (24):

$$\tau = \frac{h}{W_K} \quad (24)$$

Среднее время пребывания капли в центральной трубе предлагаемой конструкции по формуле (24):

$$\tau_1 = \frac{6}{4,6} = 1,3 \text{ с}$$

Найдем данное значения для существующей конструкции по формуле (24):

$$\tau_1 = \frac{1,425}{4,6} = 0,3 \text{ с}$$

Среднее время пребывания капли в центральной подъемной трубе значительно превышает время пребывания капли в верхней части градирни существующей конструкции. Учитывая коалесценцию капель при движении в

потоке можно сделать вывод о снижении капельного уноса при применении центральной трубы.

3.2 Моделирование структуры потоков

«В градирнях для создания поверхности контакта фаз чаще всего используются блоки с упорядоченными насадками. движение жидкости и газа в упорядоченной насадке характеризуется малым поперечным перемешиванием, так как структурированные насадочные элементы препятствуют турбулентной диффузии в поперечном направлении. Поэтому такие насадки можно представить, как совокупность параллельных каналов (характерных областей) в которых в основном происходит перемешивание в вертикальном направлении и отсутствует перемешивание в поперечном между каналами. Это позволяет использовать для моделирования процесса однопараметрическую модель разбив градирню на характерный области. В каждой области принимается равномерное распределение фаз» [30].

Разобьем градирню на n характерных областей, как показано на рисунке. В каждой области принимается равномерное распределение фаз

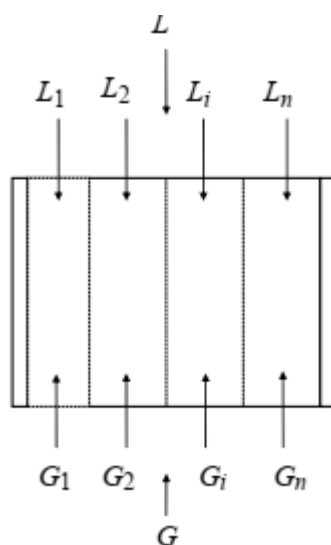


Рисунок 7 - Разбиение объема градирни на области

«Основной причиной, вызывающей неравномерность распределения фаз в аппарате, являются различные сопротивления блоков насадки по сечению аппарата.

«Поток газа перераспределяется таким образом, что основная часть его проходит около стенок, где меньше сопротивление. Известно, что в результате неравномерного распределения потоков эффективность теплообмена падает» [14].

Система одномерных дифференциальных уравнений для описания процессов теплопереноса при испарительном охлаждении при равномерном распределении фаз в i - зоне имеет вид следующего уравнения (25):

$$\begin{cases} -S \rho_{\text{ж}} \varepsilon_{\text{ж}} D_{n\text{ж}i} \frac{d^2 T_{\text{ж}i}}{dX^2} + L_i \frac{dT_{\text{ж}i}}{dX} = -S \alpha_{V_i} (T_{\text{ж}i} - T_{\Gamma_i}) \frac{1}{C_{\text{ж}}} \\ -S \rho_{\Gamma} (V_{\text{св}} - \varepsilon_{\text{ж}}) D_{n\Gamma_i} \frac{d^2 T_{\Gamma_i}}{dX^2} + G_i \frac{dT_{\Gamma_i}}{dX} = S \alpha_{V_i} (T_{\text{ж}i} - T_{\Gamma_i}) \frac{1}{C_{\Gamma}} \\ -S \rho_{\Gamma} (V_{\text{св}} - \varepsilon_{\text{ж}}) D_{n\Gamma_i} \frac{d^2 c_{\Gamma_i}}{dX^2} + G_i \frac{dc_{\Gamma_i}}{dX} = S \beta_{V_x} (c_{\Gamma_p} - c_{\text{ядро}}) \end{cases} \quad (25)$$

где G_{Γ} – массовый расход воздуха, кг/с;

L – массовый расход воды, кг/с;

S – площадь поперечного сечения градирни, м²;

$V_{\text{св}}$ – удельный свободный объем насадки, м³/м³;

$\varepsilon_{\text{ж}}$ – удерживающая способность по жидкости;

$D_{\text{п}}$ – коэффициент продольного перемешивания, м²/с;

αV – объемный коэффициент теплопередачи, (Вт·м/К);

C – теплоемкость, Дж/кг·К;

$T_{\text{ж}i}$, T_{Γ_i} – температура воды и воздуха;

βV_x – объемный коэффициент массоотдачи, кг/м³·с.

Граничные условия по формулам (26) и (27):

$$X = h; T_i = T_i + \frac{\varepsilon_{\text{ж}} S \rho_{\text{ж}} D_{n\text{ж}i}}{L_{\text{ж}i}} \frac{dT_{\text{ж}i}}{dX} \quad (26)$$

$$X = 0; T_i = T_i + \frac{S\rho_r(\varepsilon_{св}-\varepsilon_{ж})D_{nri}}{L_{ri}} \frac{dT_{ri}}{dX} \quad (27)$$

Схема движения потоков в i -ой зоне представлена на рисунке 8.

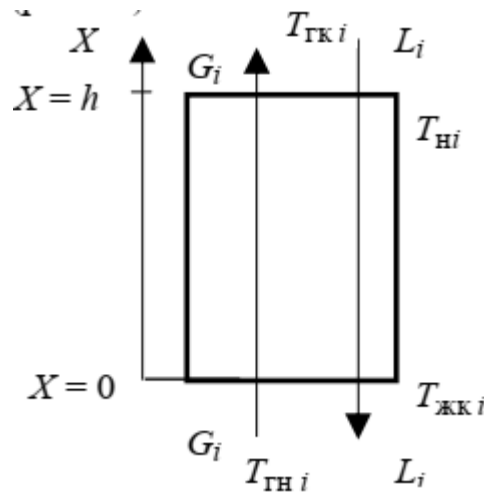


Рисунок 8 – Схема движения воздушно-водяных потоков

В работе [28] получено соотношение, связывающее распределение скорости газа в сечении аппарата с сопротивлением зон по формуле (28):

$$\frac{W_{ri}}{W_{r(i+1)}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{i+1} + \Delta P_i}{\Delta P_i}} \quad (28)$$

Сопротивление i -ой зоны по формуле (29):

$$\Delta P_i = \xi_i \frac{h_{наци} \rho_r W_{ri}^2}{d_i} \quad (29)$$

Уравнение (30) неразрывности для данного случая:

$$\sum_{i=1}^n S_i W_{ri} = W_0 F_0 \quad (30)$$

где W_0 – скорость воздуха на входе в градирню, м/с;

F_0 – площадь поперечного сечения входной области градирни;

S_i – площадь поперечного сечения i – области градирни.

Профиль скорости газа на входе в слой насадки рассчитывается из совместного решения уравнений (29), (30), (31). Отсюда находится массовый расход воздуха G_i в каждой зоне по формуле (31):

$$G_i = W_{гi} \rho_{г} S_i \quad (31)$$

Массовый расход воды задается равномерным по всем зонам, так как предполагается, что распределители жидкости (форсунки) обеспечивают равномерное орошение.

Алгоритм расчета профилей температуры газа и жидкости по высоте колонны следующий [25]:

- рассчитываются физико-химические свойства влажного воздуха и воды;
- задается распределение порозности насадочного слоя;
- задается начальное приближение профиля скорости;
- рассчитываются объемные коэффициенты тепло- и масс отдачи, турбулентного перемешивания в жидкой и газовой фазах, удерживающая способность, сопротивление сухой и орошаемой насадки;
- уточняется профиль скорости по (31), (32), (33);
- сравниваются скорости газа на различных итерациях. Если погрешность расчета меньше допустимой, данное распределение скорости газа используется для расчета профилей температур. Если нет, то возврат на пункт 4;
- рассчитывается профили температур и влагосодержания.

«Для расчета истинной движущей силы массообменного процесса на основе диффузионной модели необходимо знать коэффициенты продольного перемешивания в газовой и жидкостной фазах» [40].

«Перемешивание жидкости при пленочном течении происходит вследствие существования градиента скоростей по толщине пленки, наличия волн на поверхности пленки (которые вызывают также перемешивание в поперечном направлении), а также за счет молекулярной диффузии. В насадочных колоннах перемешивание происходит также в результате перераспределения жидкости в точках контакта насадочных тел. Перемешивание жидкости при пленочном течении происходит вследствие существования градиента скоростей по толщине пленки, наличия волн на поверхности пленки (которые вызывают также перемешивание в поперечном направлении), а также за счет молекулярной диффузии. В насадочных колоннах перемешивание происходит также в результате перераспределения жидкости в точках контакта насадочных тел» [40].

3.3 Расчет эффективности теплообмена на основе решения дифференциальных уравнений переноса

«Выполнен тепловой расчет работы градирни по данным проекта с различными типами блоков оросителей. В таблице 2 даны результаты моделирования охлаждающей способности промышленной градирни с разными видами пластмассовой насадки. Расчеты проводились при равных гидравлических нагрузках, скорости воздуха, температуре нагретой воды и метеорологических факторах. Чем меньше требующаяся высота насадки, тем выше ее тепловая нагрузка. Начальная температура воды принималась 35°C, температура воздуха 19°C, параметры конструкции брались для существующей градирни» [23].

Таблица 2 – Данные по высоте блока слоя для различных типов насадки

Тип насадки	Расчетная температура воды на выходе из градирни, °С	Высота слоя блоков насадки, м	Тепловой КПД по жидкой фазе, %
ПР50	29,6	1,05	53,1
Бальке-Дюрр	28,9	1,29	53,1
ТПВВ	29,3	1,4	53,1
Гофрированные трубы диаметр 44мм	29,2	1,84	53,1
Деревянные капельно-пленочные	29,1	3,09	53,1
Асбестоцементные	29,2	1,82	53,1

По методике, описанной в разделе 3.2 при помощи программного обеспечения MathCAD были получены данные по полям температур для существующей и предлагаемой конструкций градирни.

Расчетные параметры потоков на входе в градирню: высота слоя насадки 1,8; скорость воздуха 0,8 м/с; плотность орошения $7 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$; температура газа на входе $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$; относительная влажность воздуха 57 %; температура воды на входе $40,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура на выходе расчетная $28,2^\circ\text{C}$

На рисунках 9-10 представлены результаты расчета поля температур потоков по методике, описанной в разделе 3.2.

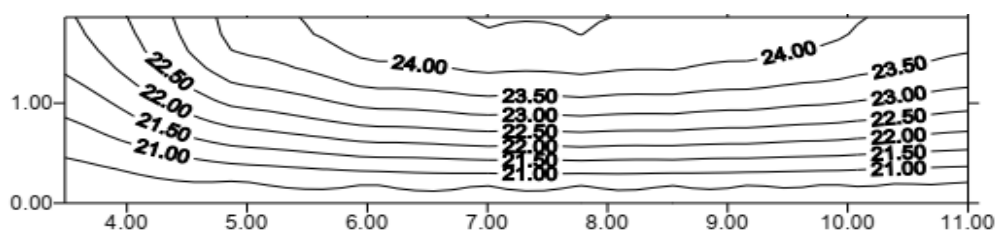


Рисунок 9 – Поле температур воздуха по слою насадки существующей градирни

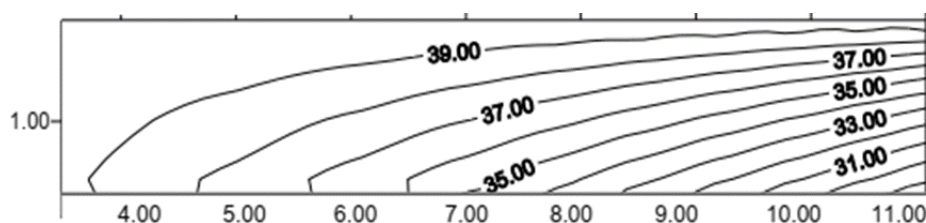


Рисунок 10 – Поле температур воды по слою насадки существующей градирни

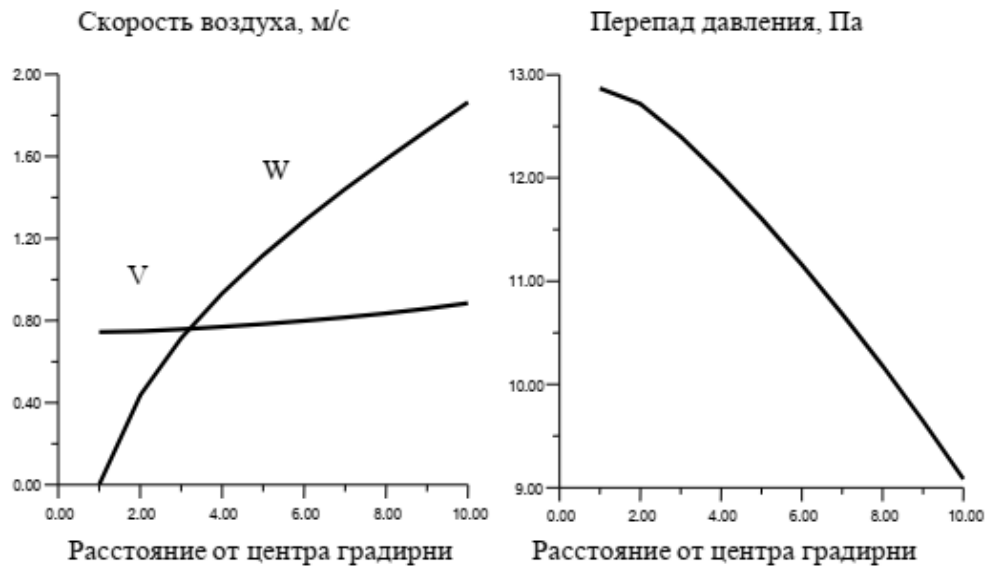


Рисунок 11 - Скорости потоков и перепад давления по слою насадки существующей градирни

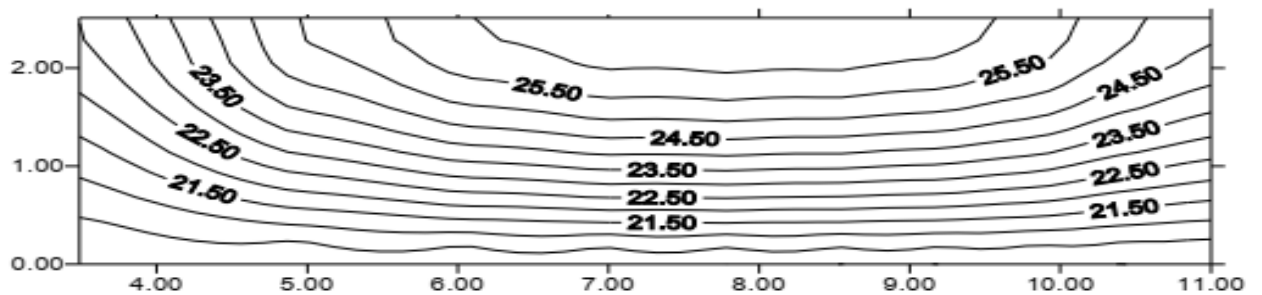


Рисунок 12 – Поле температур воздуха по слою насадки градирни предлагаемой конструкции

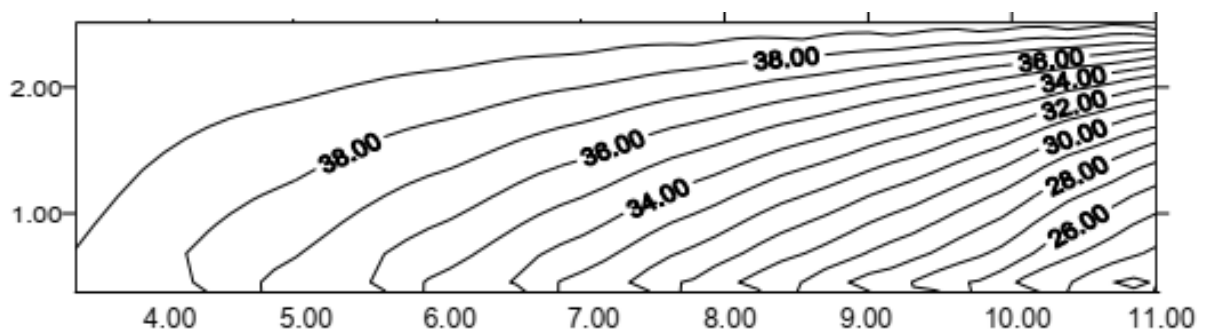


Рисунок 13 – Поле температур воды по слою насадки градирни предлагаемой конструкции

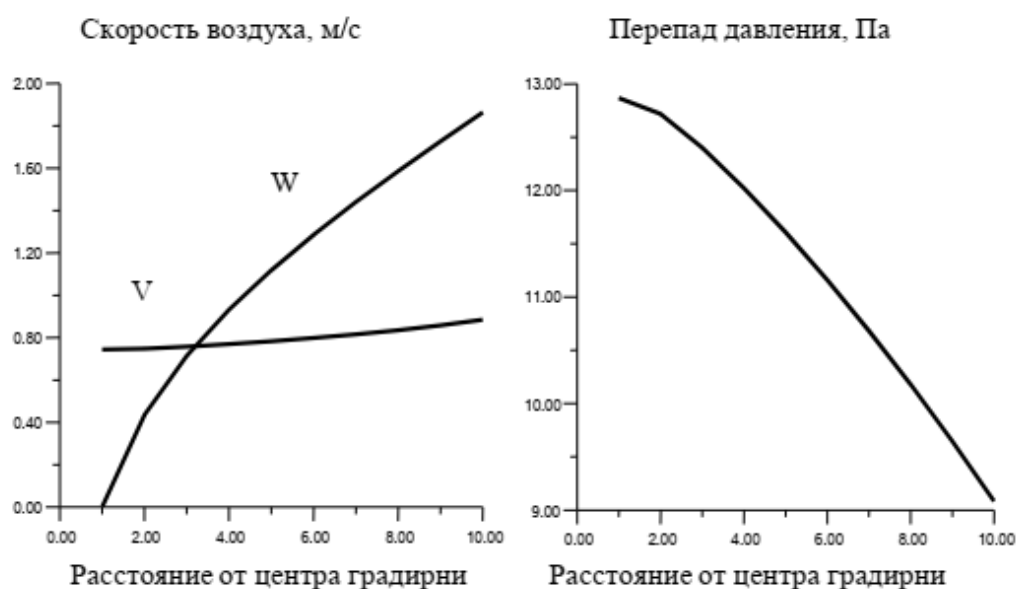


Рисунок 14 - Скорости потоков и перепад давления по слою насадки градирни предлагаемой конструкции

Анализ распределения газового потока в слое насадки промышленных градирен показывает, что существует неравномерность распределения профиля скорости по сечению градирни, что приводит к снижению испарительного охлаждения.

Использование сетчатой насадки позволяет получить более однородное поле температур и достичь высоких коэффициентов массоотдачи водяного потока. Конечная температура воды при одинаковых начальных условиях значительно ниже и составляет 26°C против 31°C для градирни с листовой насадкой.

Градирня предлагаемой конструкции обеспечивает большую разность температур между прямой и обратной охлаждающей водой по сравнению с существующей. Также внедрение новой конструкции обеспечивает снижение капельного уноса влаги.

Заключение

Анализ технологии получения синтетического каучука показал, что эффективность ряда стадий технологического процесса, такие как конденсация паровой фазы ректификационных колонн, установки дегазации полимеризата, охлаждение потоков сточных вод, сбрасываемых в канализационные сети, предварительное охлаждение шихты, охлаждение масла динамического оборудования зависит от температуры охлаждающей воды водооборотного цикла. При этом тепловой коэффициент полезного действия водооборотного цикла зависит от внешних факторов и определяется временем года и погодными условиями. Основными аппаратами определяющим параметры оборотной воды являются открытые вентиляторные градирни. Их работа зависит от гидродинамического режима движения сред во внутреннем объеме. Анализ литературных источников и патентной информации позволил предложить технические решения, позволяющие интенсифицировать работу градирен за счет изменения внутренних элементов конструкции.

Предложенное изменение конструкции градирни, заключающееся в дополнении точек ввода и частичном изменении направления движения воздушных потоков, замене насадки в верхней части градирни на горизонтально расположенные сетчатые элементы, установке воздухотводящей трубы позволяет повысить коэффициент теплообмена при испарительном охлаждении на 11%. Снизится гидравлическое сопротивление насадки. Тепловая эффективность градирни вырастет, что позволит получить более низкие температуры охлаждающей воды, идущей на технологические нужды производства синтетического изопренового каучука СКИ-3 и тем самым не допустить отклонение технологического режима работы установки при неблагоприятных условиях работы водооборотного цикла. Также снизятся потери воды за счет капельного уноса потоком отработанного воздуха.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Аверко-Антонович Л.А. и др. Химия и технология синтетического каучука. – М.: Химия, КолосС, 2008 – 357 с.
2. Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. К вопросу эффективности брызгальных градирен // Водоснабжение и санитарная техника. 1992. №2. С. 7.
3. Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. Водораспределительные устройства градирен Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 2. С. 14.
4. Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. К вопросу эффективности брызгальных градирен Водоснабжение и санитарная техника. 1992 №2. С. 7.
5. Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. Пластмассовые водоуловители градирен // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. №10. С. 8.
6. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1982.
7. Брагинский Л.Н. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. – Л.: Химия, 1984 – 336с.
8. Бергман Д. Испарительные градирни: современные конструкции и преимущества реконструкции // Энергетик: спецвыпуск. 2000. С.15-21.
9. Ведьгаева И.А. Математическое моделирование, исследование и повышение эффективности работы промышленных градирен: Дис. канд. техн. наук. Казань: КГЭУ, 2003.
10. ИТС 32-2017. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых. М. Бюро НТД. 2017. - 398 с.
11. Калинин Е.В. Энергетические балансы и планирование энергоресурсов на промышленных предприятиях. М.: МДНТП, 1980.
12. Лаптев А.Г., Данилов В.А., Вишнякова И.В. Математическое моделирование профиля температуры в вентиляторной градирне Массообменные процессы и аппараты химической технологии: Межвуз. сб. науч. трудов. Казань. 1997.

13. Лаптев А.Г., Данилов В.А., Ведьгаева И.А. Математическая модель процесса испарительного охлаждения воды в вентиляторной градирне Тез. докл. Третьего форума молодых ученых и специалистов. Казань. 2001. С.15.
14. Масштабный переход в химической технологии: разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования Розен А.М., Мартюшин Е.И., Олевский В.М. и др.; Под ред. А.М. Розена. М.: Химия, 1980.
15. Николадзе Г.И. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1989.
16. Николаева О.С. Теплотехнические расчеты вентиляторных градирен Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2017. Т. 283. С. 82-87.
17. Отчет о НИР «Комплексные гидротермические испытания башенных градирен Казанской ТЭЦ-2, реконструируемой по брызгальному типу»ВНИИГ ВОДГЕО, 1994 г.
18. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Оросители и водоуловители градирен. Водоснабжение и санитарная техника. 1994 №2. С. 7.
19. Пономаренко В.С. Оценка надежности градирен Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 6.
20. Прохоров Е.И., Барменкова И.П. Новые малогабаритные градирни Водоснабжение и санитарная техника. 1999. №2. С. 20-22.
21. Пономаренко В.С. О реконструкции вентиляторных градирен Химическая промышленность. 1996. № 7. С. 45.
22. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Оросители и водоуловители градирен // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. №2. С. 7.29.
23. Пономаренко В.С. Технологическое оборудование градирен // Электрические станции. 1996. №11. С. 19-28.
24. Результаты тепловых и аэродинамических испытаний оросителей из гофротруб для градирен. Спецкаучукремстрой, х/д № 17777, 1989 г.

25. Рамм В.М. Абсорбция газов. - 2-е изд. М.: Химия, 1976.
44. Дьяконов С.Г., Елизаров В.И., Лаптев А.Г. Теоретические основы и моделирование процессов разделения веществ. Казань: Изд-во Казанского университета. 1993.
26. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987.
27. Рахманов Н.М., Муртазаев К.М. Технологическое оборудование градирен и методы интенсификации тепломассообменных процессов. Международная научно-техническая конференция "Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетики". Сб. докладов, г.Ош, 2008 г. стр. 120-121.
28. Ayoub A., Gjorgiev B., Sansavini G. Cooling towers performance in a changing climate: Techno-economic modeling and design optimization Energy. 2018. V. 160. P. 1133-1143.
29. Deen N.G., Solberg T., Hjertager B.H. Numerical Simulation of the GasLiquid Flow in a Cross-sectioned Bubble Column 14th Int. Congr. of Chem. and Process Eng. Praha, Aug. 27. 2000. P. 1-18.
30. Duniam S. et al. Comparison of direct and indirect natural draft dry cooling tower cooling of the sCO₂ Brayton cycle for concentrated solar power plants Applied Thermal Engineering. 2018. V. 130. P. 1070-1080.
31. Fan X., Lu X., Nie H., Zhu H. et al. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling tower based on M-cycle Applied Thermal Engineering. 2021. V. 190. P. 116839.
32. Fan X. et al. An experimental study of a novel dew point evaporative cooling tower based on M-cycle Applied Thermal Engineering. 2021. V. 190. P. 116839. EDN: RKNQUF.
33. Guerras L.S., Martín M. On the water footprint in power production: Sustainable design of wet cooling towers Applied Energy. 2020. V. 263. P. 114620.
34. Ghoddousi S., Anderson A., Rezaie B. Advancing water conservation in cooling towers through energy-water nexus Eur. J. Sustain. Dev. Res. 2021.

35. Israel Zuniga-Conzalez Vodelling heat and mass transfer in cooling towers with natural convection/ Summary of dissertation. Czech Technical University in Prague, faculty of mechanical engineering. Prgue. 2005. 23S.
36. John C. Hensley: Cooling Tower Fundamentals, SPX Cooling Technologies, Inc., Overland Park, Kansas, USA, 2009.
37. Kröger D.G. Air-Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers. New York. 1998.
38. Pandelidis D. et al. Comparative analysis between traditional and M-Cycle based cooling tower International Journal of Heat and Mass Transfer. 2020. V. 159. P. 120124.
39. Pandelidis D. Numerical study and performance evaluation of the Maisotsenko cycle cooling tower Energy Conversion and Management. 2020. V. 210. P. 112735. EDN: TLHMPF.
40. Rubio-Castro E. et al. Synthesis of cooling water systems with multiple cooling towers Applied Thermal Engineering. 2013. V. 50. №. 1. P. 957-974.
41. Shublaq M., Sleiti A. K. Experimental analysis of water evaporation losses in cooling towers using filters Applied Thermal Engineering. 2020. V. 175. P. 115418.
42. Van Limpt B., Van Der Wal A. Water and chemical savings in cooling towers by using membrane capacitive deionization Desalination. 2014. V. 342. P. 148-155.