

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
 Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
 Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Анализ влияния конструктивных особенностей башенных и вентиляторных градирен на их тепловую эффективность и показатели энергоблоков

УДК 621.175:621.311.2.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ4В	Третьякова Ксения Борисовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Голдаев Сергей Васильевич	д. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский М.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Теоретической и промышленной теплотехники	Кузнецов Г.В.	профессор, д.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 159 страниц, 37 рисунков, 4 таблицы, 103 источника, 5 приложений.

Ключевые слова: градирня, башенная, вентиляторная, вихревая камера, ороситель, оборотная вода, эффективность.

Объектами исследования являются различные конструкции градирен энергетических и промышленных предприятий.

Цель работы – на основе параметрического анализа различных градирен, выполненного по усовершенствованным методикам, выявить влияния конструктивных особенностей различных градирен на их эффективность и показатели энергоблоков.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Совершенствование и автоматизация методик расчета теплотехнических характеристик башенных градирен.
- Совершенствование и автоматизация методик расчета теплотехнических характеристик вентиляторных градирен.
- Совершенствование и автоматизация методики расчета теплотехнических характеристик вихревой камеры.
- Проведение параметрического анализа по полученным результатам расчетов.

В процессе выполнения темы создано усовершенствованное методическое обеспечение для расчетов эффективности охлаждения градирен различных типов, позволяющее сократить сроки и снизить затраты на разработку эффективных вариантов, которое может использоваться инженерами по эксплуатации энергетического оборудования для его диагностирования.

Тестирование составленных программ осуществлено сравнением результатов с известными решениями, полученными ранее.

Актуальность работы подтверждается необходимостью реконструкции градирен для повышения эффективности, так как полностью менять охлаждающее

устройство не целесообразно с экономической точки зрения. Нужно осуществить выбор способа совершенствования градирен с целью повышения эффективности охлаждения оборотной воды на предприятиях. Успешность во многом зависит от точности и автоматизации методик расчета характеристик водоохладителей. В последнее время участились публикации по усовершенствованию градирен.

Практическая значимость работы заключается в том, что использование созданного методического обеспечения для определения эффективности охлаждения градирен позволит сократить сроки и снизить затраты на разработку эффективных проектов.

Предложенные автоматизированные методики оценки эффективности и градирен могут использоваться инженерами по эксплуатации энергетического оборудования для его диагностирования. Внедрение автоматизированных методик в учебный процесс позволит студентам сократить время на «ручные» вычисления, повысит их точность и даст возможность выполнять параметрический анализ.

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением результатов параметрического анализа, проведенного с использованием составленных программ, с данными, полученными ранее другими исследователями.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на:

- международной молодежной научной школе-семинаре «Теплофизические проблемы энергетических технологий» (ТПУ, 2015).
- VI Всероссийской научной конференции с международным участием «Теплофизические основы энергетических технологий» (ТПУ, 2015).
- Международной молодежной научной конференции «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического оборудования» (ТПУ, 2016).

Обозначения и сокращения

БИГ – башенная испарительная градирня;	ОВ – обратная вода;
ВГ – вентиляторная градирня;	КУ – каплеуловители;
ВК – вихревая камера;	ЭОВ – эффективность охлаждения воды;
РЗ – рабочая зона аппарата;	ИПР – импульсно-периодический режим орошения;
ТМО – тепломассообмен;	ИРО – импульсный режим орошения;
ОДУ – обыкновенные дифференциальные уравнения;	ПР – периодический режим;
СЕР – число единиц переноса;	ТЭ – тепловая эффективность;
ИО – испарительное охлаждения;	ЭБ – энергоблок;
ПС – паровоздушная смесь;	ПВЩ – поворотных вертикальных щитов;
НП – надоросительное пространство;	ЖУ – жалюзийные устройства;
ПП – подоросительное пространство;	СТВ – система технического водоснабжения;
СР – стационарный режим;	НИР – научно-исследовательская работа;
ПМ – перфорированные модули;	ТЭО – технико-экономическое обоснование;
ТМУ – тепломассообменные установки;	КПД – коэффициент полезного действия.
ТА – тепломассообменные аппараты;	
ВО – водоохладитель;	

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	14
1	КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАДИРЕН.....	17
1.1	Типы градирен.....	17
1.2	Принцип действия башенной градирни.....	18
1.3	Принцип действия вентиляторной градирни.....	19
1.4	Принцип действия пленочных и капельных оросителей.....	21
1.5	Принцип действия вихревой камеры.....	24
2	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК ПРИБЛИЖЕННОГО РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В ГРАДИРНЯХ.....	26
2.1	Физико-математическая модель процесса тепло-и массообмена в пленочной градирне.....	26
2.2	Приближенные методы расчета пленочных оросителей	29
2.2.1	Приближенный метод Б.В. Проскурякова	29
2.2.2	Приближенный метод В.А. Гладкова	30
2.2.3	Параметрический анализ результатов расчетов характеристик пленочных оросителей.....	34
2.3	Расчет вентиляторной градирни с капельным орошением.....	37
2.4	Физико-математическое моделирование процессов в испарительных градирнях башенного типа	43
2.5	Математическое моделирование охлаждения капельных и пленочных течений воды в башенных испарительных градирнях... ..	48
2.6	Охлаждение оборотной воды в вихревой камере.....	54
2.6.1	Параметрический анализ результатов расчетов характеристик вихревой камеры.....	62
2.7	Вакуумно-испарительное охлаждение оборотной воды в градирне без насадки.....	66
2.8	Тепломассообменные устройства градирен в виде	

	перфорированных модулей из пластмассы на основе полимеров....	67
2.9	Применение регулярных насадок.....	72
3	СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГРАДИРЕН.....	76
3.1	Способы интенсификации процессов теплообмена в градирнях.....	76
3.2	Тепловая эффективность испарительных градирен башенного типа.....	78
3.3	Анализ работы башенной испарительной градирни с импульсно- периодическим режимом орошения.....	82
3.4	Режимы работы и энергетические показатели энергоблоков при повышении охладительного эффекта градирен.....	91
4	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	95
4.1	Технико-экономическое обоснование НИР.....	95
4.2	Затраты на проект.....	97
4.3	Оценка научно-технического уровня НИР.....	99
4.4	Экономическая эффективность проекта.....	99
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	102
5.1	Профессиональная социальная безопасность.....	103
5.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	103
5.1.1.1	Состояние воздушной среды.....	104
5.1.1.2	Освещенность рабочей зоны	104
5.1.1.3	Шум в помещении.....	105
5.1.1.4	Электромагнитное излучение в производственном помещении.....	106
5.1.1.5	Электробезопасность.....	107
5.1.1.6	Пожаробезопасность.....	108
5.1.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия	

	опасных и вредных факторов.....	109
5.1.3	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.....	112
5.2	Экологическая безопасность.....	113
5.2.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	113
5.2.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	114
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	115
5.3.1	Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут при проведении исследований.....	115
5.3.2	Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут при эксплуатации объекта исследования.....	116
5.3.3	Обоснование мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций и разработка порядка действия в случае их возникновения	117
5.4	Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	117
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	130
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	145
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	149
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	156
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	159

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование энергетических и промышленных предприятий сопровождается выделением большого количества теплоты от технологических процессов в эксплуатируемом оборудовании. Эту теплоту необходимо отводить для поддержания рабочего режима и заданного темпа изготовления продукции. В большинстве предприятий для этих целей используется оборотная вода.

В связи с тем, что на комбинатах, заводах происходит изменение режимов работы, и стоимость воды увеличивается, необходимо принимать меры по повышению рентабельности производств. Нужно стремиться к снижению производительных расходов и уменьшению себестоимости продукции. Для улучшения экономических показателей следует совершенствовать схемы водоиспользования, уменьшать потребление воды, которая отбирается из систем водопроводов. Водооборотные охлаждающие системы являются рациональной схемой водоиспользования. Здесь охлаждающим оборудованием является градирня – устройство для охлаждения большого количества воды направленным потоком атмосферного воздуха. Иногда градирни называют также охладительными башнями.

Градирни применяют в основном тогда, когда отсутствует возможность использовать для охлаждения большие водоёмы (озёра, реки), а также для глубокого устойчивого охлаждения воды при высоких удельных гидравлических нагрузках. В условиях растущей концентрации промышленных производств, повышения их энерговооруженности применение градирен – перспективный метод рассеивания низкопотенциальной тепловой энергии в атмосферу.

В теплоэнергетике после охлаждения на градирнях оборотной воды происходит конденсация отработанного пара и газообразных продуктов, охлаждение жидкости, а также оборудования и механизмов для предохранения их от быстрого разрушения под влиянием высоких температур. В ряде публикаций утверждается, что от эффективной работы градирен зависит производительность технологического оборудования, качество и себестоимость вырабатываемой продукции, удельных расходов сырья, топлива и

электроэнергии. Сделан вывод, что на сегодняшний день отвод низкопотенциальной теплоты от промышленных аппаратов с помощью градирен – самый дешевый способ, позволяющий, сэкономить не менее 95% свежей воды из сети. Охлаждение воды в градирнях происходит в основном за счет эффекта испарения части воды в воздух и механизма конвекции в системе «вода-воздух». Из исследований Л.Д. Бермана известно, что испарение 1% воды понижает ее температуру примерно на 6°С

По принципу подачи атмосферного воздуха градирни делят на открытые, башенные, вентиляторные, эжекционные. Охлаждение воды в градирнях осуществляется в пленочных течениях, обволакивающих щиты оросителя, а также в капельных, капельно-пленочных течениях, образующихся при распылении воды разбрызгивающими соплами (форсунками) и при стекании воды со щитов оросителя.

Улучшить экологическую обстановку позволяет применение градирен совместно с фильтрами, обеспечивая использование воды в замкнутом технологическом цикле.

Для повышения тепловой эффективности градирен применяются различные технические решения: специальные завихрители, импульсно-периодические контакты воды и воздуха и др.

Разработано несколько приближенных методик расчета градирен, с помощью которых выявляются эффективные режимы их функционирования по различным критериям. Исследуется влияние выбросов градирен на прилегающую территорию.

Сложность гидродинамических процессов взаимодействия воды с воздухом внутри пространства градирен затрудняет создание достоверных математических моделей, выявления плюсов и минусов пленочных и капельных режимов орошения с экономической точки зрения и энергозатрат.

Отсутствие надежных методов расчета тепло-массообменного процесса в оросителях градирен вынуждает использовать расчетные формулы и рекомендации, полученные опытным путем. Для полного анализа и выявления

эффективной работы градирни требуется математическая модель процесса тепломассообмена протекающего в оросителе и проведение параметрических расчетов.

В наше время осуществляется автоматизация инженерных расчетов, используются методы математического моделирования. Распространенные методики расчета характеристик градирен представляют собой громоздкие выражения, в которых используются табличные значения теплофизических свойств или специальных функций, вместо решения трансцендентных уравнений привлекаются номограммы и т. п., это влияет на точность окончательных результатов с негативной точки зрения. Основное время тратится на запись промежуточных результатов при вычислениях на микрокалькуляторах. Многовариантные расчеты необходимо выполнять для выявления эффективных характеристик градирен. Поэтому требуется использование программных средств, установленных на персональном компьютере.

Цель работы – на основе параметрического анализа различных градирен, выполненного по усовершенствованным методикам, выявить влияния конструктивных особенностей градирен на их эффективность и показатели энергоблоков.

ГЛАВА 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАДИРЕН

Градирни применяются, как правило, в системах оборотного водоснабжения для глубокого и устойчивого охлаждения воды при высоких тепловых и удельных гидравлических нагрузках.

1.1. Типы градирен

Все водоохладительные установки различаются по типу орошения, то есть способу поступления в них охлаждаемой жидкости.

- **Пленочные** – вода тонкой пленкой стекает по стенкам башенной градирни.
- **Капельные и брызгальные** – предусматривают оросители и форсунки для разбрызгивания воды.
- **Сухие** – никакой открытой воды, только направленные потоки наружного воздуха, обдувающие теплообменник, в котором циркулирует рабочая жидкость.

Есть и другие принципиальные отличия. Например, способы подачи воздуха. По этому параметру градирни классифицируют на следующие типы:

- **Башенные.** Подача воздуха обеспечивается за счет естественной тяги, создаваемой башней специальной конструкции. Требуют большой площади, но гораздо меньших затрат на содержание по сравнению с прочими типами. Охлаждение производится медленно, но стабильно.
- **Вентиляторные.** Нагнетание воздуха осуществляется при помощи вентиляторов. Позволяют регулировать режим работы за счет отключения или добавления вентиляторов. В отличие от прочих типов требуют больших энергозатрат, но характеризуются высокой производительностью. Их температурный порог чуть ниже остальных типов, что позволяет более эффективно и быстро охлаждать воду.
- **Открытые.** Работают за счет силы ветра и движения атмосферных масс. Использовать их в полном объеме позволяет специально сконструированная башня. Требуют большого пространства, медленно охлаждают воду всего на десяток градусов, но выгодны с точки зрения содержания – никаких дополнительных энергозатрат.
- **Эжекционные.** Используются для нагнетания нужного объема воздуха для разбрызгивания воды под напором. В результате этого процесса происходит

захват воздуха, используемого для охлаждения. Высоко эффективны, низкий уровень шума и вибрации, высокие энергозатраты [1].

Есть еще одно существенное отличие – направление движения воды и воздуха. В зависимости от этого параметра градирни бывают противоточными, перекрестными и смешанными.

В работе рассматриваются башенные и вентиляторные градирни с использованием различных конструктивных особенностей.

1.2 Принцип действия башенной градирни

Схема башенной испарительной градирни (БИГ) приведена на рисунке 1.1. Основным элементом такой установки является вытяжная башня, из которой естественным путем вытесняется воздух при стекании воды по большим поверхностям, устанавливаемым внутри башни. При этом вода, воздух движутся навстречу друг другу, происходит теплообмен.

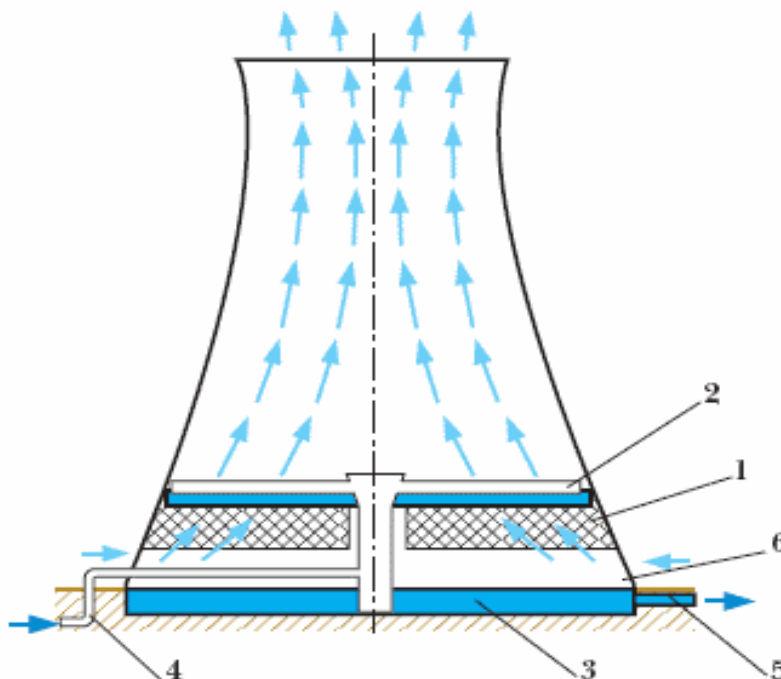


Рисунок 1.1 - Схема башенной градирни:

1 – ороситель; 2 – водораспределитель; 3 – резервуар (бассейн); 4 – подвод горячей воды; 5 – отвод охлажденной воды; 6 – подача воздуха

Этот метод подходит для производств, связанных с большим потреблением охлажденной технической воды (химические заводы, атомные станции). Они располагаются непосредственно на производственной территории, снабжая все цеха предприятия. Перерабатывают огромное количество жидкости, не требуя больших материальных, энергетических затрат.

Однако строят только на крупных предприятиях, так как возвести такую конструкцию непросто, требуется сложная строительная техника, материалы, большие расходы на само строительство. Высота таких башенных конструкций может достигать 200 м, а площадь испарения до 10000 м². Башни изготавливаются из сверхпрочного бетона.

1.3 Принцип действия вентиляторной градирни

Теплая вода попадает в главный коллектор водораспределителя. Далее происходит транспорт через систему труб к форсункам, которые распыляют струи воды на ороситель, создавая экран воды с большой поверхностью контакта. Вода, отрывающаяся от нижних краев элементов стока оросителя, опадает в форме дождя в поддон, находящийся под градирней, откуда нагнетается обратно в охлаждающее устройство (Рисунок 1.2).

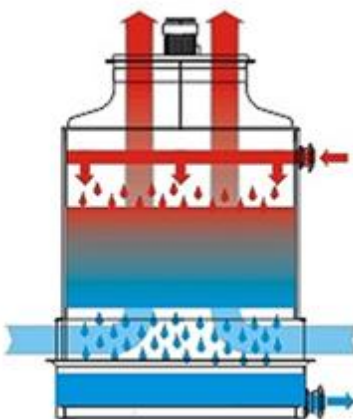


Рисунок 1.2- Схема вентиляторной градирни

Процесс охлаждения воды проходит, в основном мере, за счет испарения в протекающую струю воздуха (транспорт массы), с использованием теплоты фазового перехода (теплоты испарения), получаемой от водной струи, а также в меньшей мере за счет конвективного теплообмена между водой и воздухом.

Противоточное течение воздуха в градирни вызывается вытяжным воздействием осевого вентилятора, производительность которого подобрана к требуемым параметрам охлаждения. Вентилятор установлен внутри корпуса, на перекрытии отсека градирни.

Воздух втягивается внутрь отсека через входные окна, оснащенные жалюзи, которые предохраняют от попадания твердых тел из окружающей среды, например листьев, а также от разбрызгивания охлаждаемой воды вне градирни. Далее втянутый воздух проходит через зону дождя под оросителями, через оросительное заполнение, в зону разбрызгивания воды над оросителем, а далее происходит захват капель водоуловителем, который уменьшает потерю воды из-за уноса капель. Подогретый и увлажненный воздух протекает через вентилятор, после чего через верхний разрез корпуса вентилятора выдувается, в окружающую среду.

Степень охлаждения воды в мокрой градирне зависит от температуры термометра влажного воздуха, втягиваемого снаружи, объема воздуха (производительности вентилятора) и технических решений самой градирни.

Градирни проектируются для получения ожидаемого эффекта охлаждения в наиболее неблагоприятных условиях и с учетом необходимости вывода максимального количества теплоты из воды. Под аналогичные условия подбирается также мощность вентилятора. При понижении температуры окружающей среды, или количества теплоты, которое следует отводить, установленная мощность становится излишней.

Для снижения эксплуатационных расходов, а также для улучшения безопасности эксплуатации, в приводах вентилятора могут быть установлены двухскоростные двигатели. В таких случаях, обороты вентиляторов, а, следовательно, и расход электроэнергии, устанавливаются в зависимости от температуры охлажденной воды.

1.4. Принцип действия пленочных и капельных оросителей

Основным конструктивным элементом плёночной или капельно-плёночной градирни является ороситель, предназначенный для дробления стекающей по его поверхности пленки потока воды и обеспечения максимального эффекта за счет контакта с охлаждающим воздухом и длительного времени взаимодействия. Тем самым достигается при оптимальном аэродинамическом сопротивлении требуемое снижение температуры воды [1].

Оросители классифицируют в зависимости от характера преобладающей поверхности охлаждения на: пленочные, капельные, комбинированные и брызгальные.

Пленочный тип оросителей является основным, который обеспечивает наиболее высокий эффект охлаждения. Недостатком его является чувствительность к наличию в стекающей воде взвешенных веществ, нефтепродуктов, и многих других примесей, которые могут привести к зарастанию зазоров между элементами оросителя.

Ороситель пленочного типа – это система плоско-параллельных каналов [1] для взаимодействия жидкости, которая движется вниз по оросителю в виде пленки, и поднимающегося в противоточном или поперечно-точном направлении потока воздуха (рисунок 1.3,а).

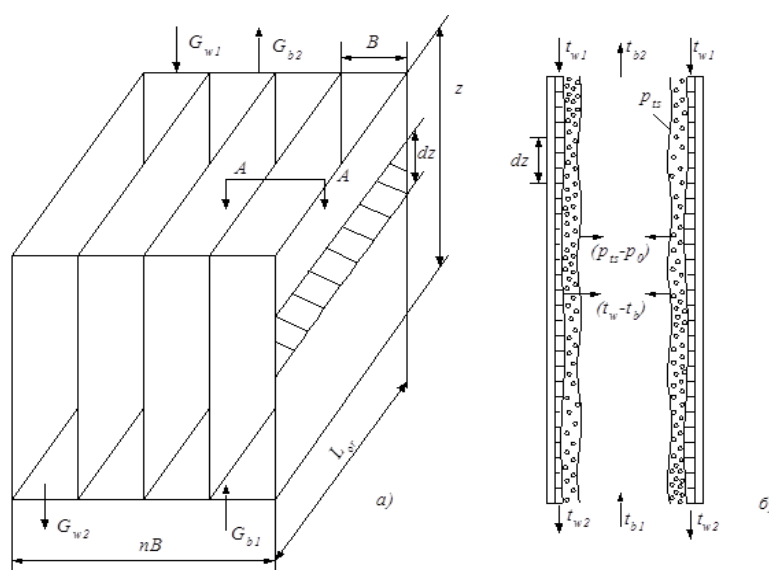


Рисунок 1.3 - Схема пленочного оросителя противоточной градирни

Предполагается, что горячая вода поступает на ороситель в количестве G_{w1} с температурой t_{w1} и вытекает в количестве G_{w2} с температурой t_{w2} . Противотоком в градирню поступает влажный воздух с параметрами t_{b1}, f_{i1}, x_1, h_1 в количестве G_{b1} . На выходе из оросителя влажный воздух имеет следующие параметры t_{b2}, f_{i2}, x_2, h_2 .

В пленочном оросителе при взаимодействии потоков происходит перенос теплоты и массы вещества через границу раздела газообразной и жидкой фаз (рисунок 1.3,б).

В последнее время нашли применение пленочные оросители листовой и ячеистой конструкции. В данных оросителях количество капель исключается или минимально. Решетки и щиты изготавливаются из дерева, асбестоцемента, пластмассы.

Ороситель капельной градирни состоит из решетки в виде горизонтально расположенных деревянных реек треугольного или прямоугольного расположения.

Свободная поверхность воды в решетнике складывается из трех основных частей (рисунок 1.4):

- водяной пленки, возникающей на элементах решетки во время обтекания их водой, падающей сверху;
- крупных капель, которые образуются на нижних краях каждого яруса элементов решетки и падающих затем вниз;
- мелких капель или брызг, образование которых происходит при соударении крупных капель о верхние плоскости ниже расположенных элементов.

Размеры и форма капель образовавшихся при стекании с решетки воды зависят от: внешних сил, которые действуют на жидкость, условия равновесия сил поверхностного натяжения, а также расположения, формы, угла наклона элементов.

В решетнике вследствие неравномерности растекания воды по элементу при одной и той же гидравлической нагрузке наблюдается как образование капель непосредственно на нижней кромке поверхности элемента, так и стекание распадающихся затем струек. Срывающиеся с нижней кромки решетки капли падают в основном вертикально вниз.

Недостатки оросителей, изготовленных из дерева: древесина чувствительна к биологическому воздействию и химическому, вследствие разрушения и коробления древесины, которое происходит при вымывании водой из нее лигнина, планки оросителей должны быть не тоньше 10 мм. В итоге остается только целлюлоза, связывающая клетки в древесине, но и она становится достаточно непрочной. На интенсивность процесса делигнификации влияет содержание в воде активного хлора в значительном количестве и высокие значения pH [1].

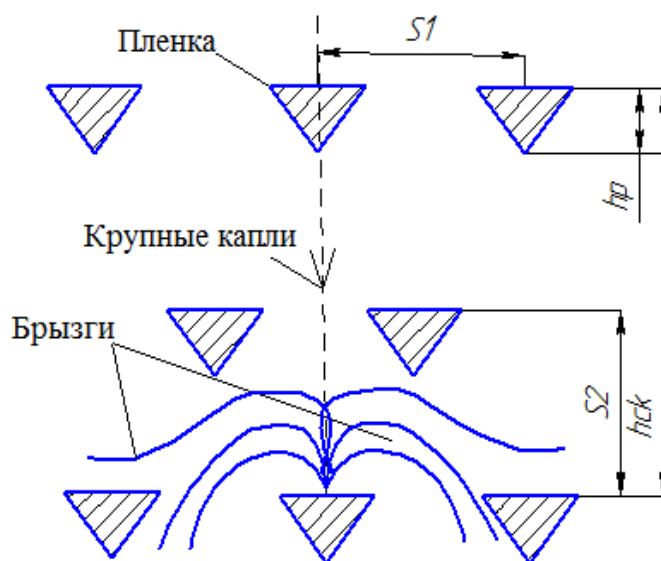


Рисунок 1.4 – Схема капельного орошения

Асбестоцементные оросители изготавливаются из стандартных плоских или волнистых листов. Асбестоцемент имеет следующие положительные особенности: хорошая смачиваемость водой, гигроскопичность, впитываемость до 12% собственной массы в себя воду. Эти качества обеспечивают хорошее растекание воды в виде пленки по его листам, что важно для улучшения охлаждающего эффекта [1].

Недостатки асбестоцементных оросителей: концентрированные свойства, сравнительно большая масса на единицу площади, вызывающая утяжеление несущих конструкций, склонен к зарастанию солями карбоната поверхности листов [1].

Пластмассовые пленочные оросители одни из наиболее распространённых и перспективных типов. Ее выгодное отличие от древесины заключается в том, что она может противостоять химическому влиянию многих растворов, солей, щелочей, кислот.

Градирни относятся к категории теплообменных аппаратов, в которых теплоноситель отдает теплоту охлаждающему агенту путем непосредственного контакта [2].

Поверхность теплообмена представляет общую поверхность всех капель и пленок воды, поступающих в соприкосновение с воздухом. Однако невозможно с достаточной точностью учесть размеры и количество капель и струек воды при различных конструкциях водораспределителей и оросителей и разных скоростях движения воздуха. Для пленочных градирен имеет место допущение: боковая поверхность щитов оросителя принимается в качестве поверхности теплообмена и она составляет наибольшую долю [3].

1.5 Принцип действия вихревой камеры

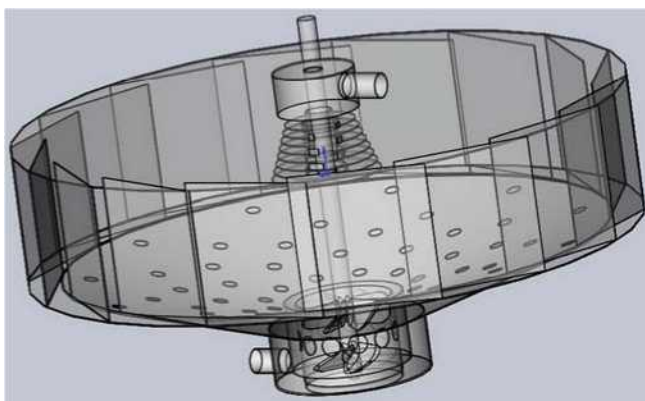


Рисунок 1.5 - Вихревая камера с дисковым распылителем и прозрачными стенками

Горячая вода входит в ВК (рисунке 1.5, 1.6) через патрубок 1, затем в распылитель 2, который закреплен на валу, откуда распространяется по дискам разных диаметров. При вращении вала жидкость срывается с дисков распылителя в виде капель, отбрасывается в разные стороны, при этом образуется объемный факел распыла. Имея разный диаметр, диски вращаются с одинаковой угловой скоростью, и образуют полидисперсный капельный распыл, благодаря чему рабочая зона (РЗ) аппарата равномерно заполняется, не

происходит образование застойных зон, что увеличивает теплообменную (ТМО) эффективность процесса [4].

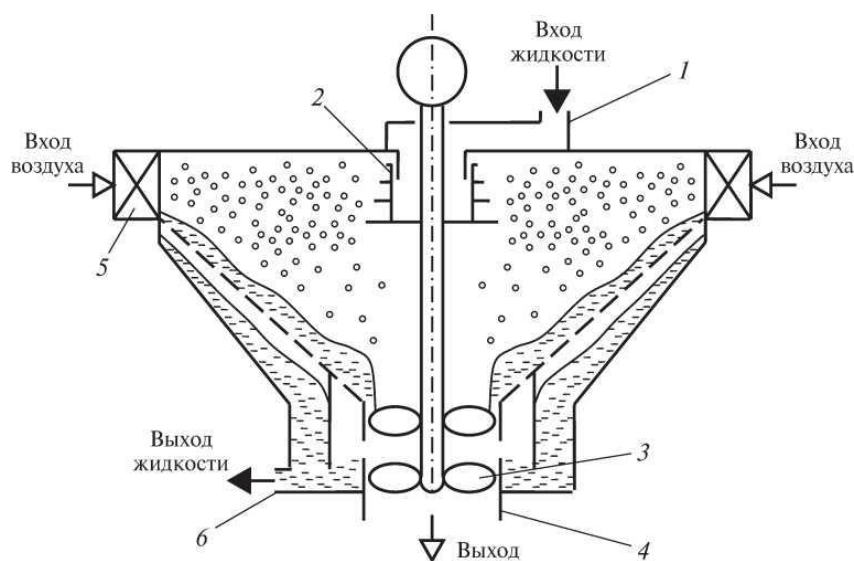


Рисунок 1.6 – Схема вихревой камеры с дисковым распылителем:

- 1 – Патрубок для входа горячей воды; 2 – дисковый распылитель;
- 3 – лопасти; 4 – патрубок для выхода воздуха; 5 – тангенциально-лопаточный завихритель; 6 – патрубок для выхода охлажденной воды.

Лопастями 3 закреплены на валу. Располагаются в патрубке 4 на некотором расстоянии друг от друга в несколько рядов для выхода воздуха, что позволяет уменьшить диаметр выходного патрубка, это позволяет увеличить объем рабочей зоны ВК. При вращении лопастей создается пониженное давление в патрубке 4, что обеспечивает тягу воздуха в камеру через тангенциально-лопаточный завихритель 5. Воздух приобретает вращательное движение, перемещаясь к центру аппарата, и капли вовлекаются в совместное вращательное движение. При взаимодействии капель воды и воздуха образуется в РЗ аппарата мелкодисперсного вращающегося капельного слоя, что способствует увеличению поверхности межфазного взаимодействия и интенсивности протекания ТМО процесса. Через патрубок 6 охлажденная вода выходит из ВК [4].

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела работы является технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ (НИР). Оно проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию НИР, а также уровня научно-технической результативности НИР.

В рамках данной работы НИР включают в себя автоматизацию и модернизацию процесса расчета башенных и вентиляторных градирен путем создания программного комплекса. При создании комплекса использовалась среда программирования Turbo Pascal. На основе НИР оформлена диссертационная работа в пакете программ Microsoft Office.

4.1 Технико-экономическое обоснование НИР

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) – это комплект расчетно-аналитических документов, содержащих как исходные данные, так и основные технические и организационные решения, расчетно-сметные, оценочные и другие показатели, позволяющие рассматривать целесообразность и эффективность инвестиционного проекта. Задачей составления ТЭО является оценка затрат на проект и его результатов, анализ срока окупаемости проекта.

В работе проводился анализ характеристик башенных и вентиляторных градирен таблица 4.1. Был проведен анализ рынка градирен в России.

В таблицах Г.1-Г.2 представлены характеристики вентиляторных градирен разных фирм производителей, которые являются наиболее распространенными на рынке, с расходом охлажденной воды 400 и 120 м³/ч.

Градирни фирмы «БАЛТЭНЕРГОМАШ» марки «Град» выполняются только по одновентиляторной схеме с нижним расположением вентилятора, т.к. градирни с несколькими вентиляторами суммарно потребляют больше электроэнергии и при выходе из строя одного вентилятора происходит неконтролируемый унос капель. Также возможно применение специального

частотного привода регулирования оборотов вращения вентиляторов, что обеспечивает более чем двукратную экономию потребления электроэнергии.

Достоинством градирни «Росинка» является то, что они адаптированы к работе в зимних условиях в любых регионах России, достигается за счет того, что вентиляторная установка расположена внутри корпуса градирни и постоянно обогревается падающий вниз, теплой водой. Это препятствует образованию льда. Но при таком использовании могут быть аварийные ситуации. Во избежание аварий фирма «ЕВРОМАШ» изготавливает градирни с вынесенным из корпуса вентилятором и соединенным с корпусом градирни посредством диффузора.

На самом деле у каждой из данных марок градирен есть свои плюсы и минусы. Например, все фирмы используют полимерные материалы для оросителей, что в свою очередь улучшает работу градирни.

Все во многом зависит от того, какой расход охлаждаемой воды, нам нужен и какая температура на входе, а также какой площадью располагаем для размещения градирни. Например, если сравнивать по температуре которая может быть на входе, то будет выбрана градирня марки «Вента», но если смотреть по габаритам, то «Ниагара» на у нее максимальная температура на входе всего 40 °С.

Таблица 4.1 – Срок эксплуатации градирен башенного и вентиляторного типа

	Башенная	Вентиляторная
Срок эксплуатации, лет	60 (оборудования 25-30)	15-30

Башенные градирни широко распространены на крупных промышленных предприятиях и ТЭЦ. Они позволяют охладить большой объем воды без затрат электроэнергии, однако, при всей простоте конструкции башенные градирни требуют регулярного ремонта и обновления. Поэтому мало фирм занимаются их производством, в основном на сегодняшний день занимаются их реконструкциями, внедрением применения различных насадок, завихрителей, замена деревянных оросителей на полимерные и т.п.

4.2 Затраты на проект

Выполнение работы предполагает 4 основных этапа:

- 1) Обзор литературы для уточнения направления исследования.
- 2) Исследование различных видов градирен.
- 3) Математическое моделирование процессов теплообмена в градирнях. Совершенствование процесса расчета характеристик градирен башенного и вентильного типов.
- 4) Формирование выводов.

В проекте задействованы 2 сотрудника: НР – научный руководитель, И – инженер. Перечень работ с указанием исполнителя и трудоемкости представлен в таблице Г.3.

Рассчитаем смету затрат на разработку математической модели процессов теплообмена в градирне. Затраты на реализацию проекта складываются из следующих элементов:

- 1) Материальные затраты.
- 2) Амортизация.
- 3) Заработная плата.
- 4) Социальные отчисления.
- 5) Прочие затраты.
- 6) Накладные расходы.

Затраты на разработку проекта:

Расчетные формулы с (4.1) по (4.10) взяты из пособия [93].

$$K_{\text{проект.}} = u_{\text{мат}} + u_{\text{ам}} + u_{\text{з.п}} + u_{\text{с.о}} + u_{\text{пр}} + u_{\text{накл}} \quad (4.1)$$

Стоимость расходных материалов на канцелярию составила 1300 рублей. Данные приведены в таблице Г.4 данные о стоимости используемого оборудования представлены в таблице Г.5 [94].

Основную заработную плату лиц, участвующих в разработке проекта рассчитываем по формуле

$$ЗП = (ЗП_0 \cdot k_1 + Д) \cdot k_2, \quad (4.3)$$

где $ЗП_0$, руб. – месячный оклад, руб.;

$k_1=1,1$ – коэффициент, учитывающий неотработанное время (отпуск);

D , руб. – доплата за ученую степень;

$k_1=1,3$ – районный коэффициент;

Рассчитаем заработную плату для научного руководителя (ЗП1) 15–го разряда и инженера (ЗП2) 10 – го разряда.

$$ЗП_1 = (23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3 = 36179 \text{ руб.},$$

$$ЗП_2 = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20735 \text{ руб.}$$

Рассчитаем заработную плату на выполнение всей работы:

$$ЗП^\phi = (ЗП_i / 21) \cdot n, \text{ руб.}, \quad (4.4)$$

где n – количество отработанных дней по факту.

Заработная плата научного руководителя 15 разряда составит

$$ЗП_1^\phi = (ЗП_1 / 21) \cdot n = (36179 / 21) \cdot 18 = 31010,6 \text{ руб.}$$

Заработная плата инженера 10 разряда составит

$$ЗП_2^\phi = (ЗП_2 / 21) \cdot n = (20735 / 21) \cdot 101 = 99725 \text{ руб.}$$

Рассчитаем заработную плату участников разработки проекта:

$$И_{ЗП} = ЗП_1^\phi + ЗП_2^\phi = 31010,6 + 99725 = 130735,6 \text{ руб.} \quad (4.5)$$

В настоящий момент в соответствии с законом №212–ФЗ величина отчислений во внебюджетные фонды составляет 27 % от заработной платы сотрудника. Тогда издержки на отчисления по проекту составят:

$$И_{с.о.} = 0,27 \cdot И_{ЗП} = 0,27 \cdot 130735,6 = 35298,6 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

Непредвиденные затраты и затраты относят к прочим и условно принимают равными 10% от суммы всех издержек по проекту:

$$И_{np} = 0,1 \cdot (И_{mat} + И_{ам} + И_{зн} + И_{с.о.}), \quad (4.7)$$

$$И_{np.} = 0,1 \cdot (28300 + 130735,6 + 35298,6) = 194334,2 \text{ руб.}$$

Управленческие и коммерческие издержки, а также прочие накладные расходы, калькулируются и разносятся по различным видам продукции в соответствии с принятым методом. Для определения бюджета проекта

допускается принять накладные расходы в размере 200% от фонда заработной платы основного персонала. В нашем случае, это составит:

$$I_{\text{накл}} = 2 \cdot I_{\text{ЗП}} = 2 \cdot 130735,6 = 261471,2 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

Затраты на разработку проекта составляют:

$$K_{\text{проект}} = 28300 + 130735,6 + 35298,6 + 194334,2 + 261471,2 = 650139,6 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Сведем все составляющие затрат на проект в таблицу Г.6.

4.3 Оценка научно-технического уровня НИР

При оценке научно-технического уровня НИР используются различные факторы, влияющие на ее количественную оценку. В качестве факторов при оценке научной результативности данной работы приняты: новизна полученных результатов, глубина научной проработки, степень вероятности успеха.

В таблице Г.7 приведены факторы и признаки, характеризующие научную результативность, а также числовые значения $K_{\text{ду}}$ и $K_{\text{зн}}$.

Рассчитаем коэффициент научной результативности по формуле 1:

$$K_{\text{нр}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{зн}} \cdot K_{\text{ду}}, \quad (4.10)$$

$$K_{\text{нр}} = 0,5 \cdot 0,7 + 0,35 \cdot 1,0 + 0,15 \cdot 1,0 = 0,85.$$

4.4 Экономическая эффективность проекта

Охлаждение воды заданного расхода до необходимой температуры обеспечивается на градирнях разных конструкций и типов с неодинаковыми затратами трудовых и материальных ресурсов и при неодинаковых дополнительных нагрузках на окружающую среду. Поэтому при разработке новых и привязке существующих проектов градирен к местным условиям строительства и эксплуатации следует производить экономические расчеты возможных вариантов градирен для оценки и выбора наиболее рационального в каждом конкретном случае.

Возможные вариантные решения назначаются на основании технологических расчетов, которые обеспечивают требования технологии

производства по расходу оборотной воды и температуре, но отличаются типом и конструкцией градирен. Градирни, которые работают совместно в одном оборотном цикле, должны быть однотипными.

Критерием выбора варианта является минимум затрат, рассчитываемых с учетом фактора времени, или максимум народнохозяйственного эффекта.

Разность приведенных затрат является показателем экономической эффективности при сравнении технически осуществимых вариантов градирен.

Приведенные затраты это сумма ежегодных эксплуатационных расходов при одновременных капитальных вложениях, которые приведены к годовым единицам измерения с помощью нормативного коэффициента сравнительной экономической эффективности.

Чтобы определить наиболее экономичные размеры градирен приведенные затраты должны определяться для 3 – 4 переменных размеров элементов при разных конструкциях технологического, нескольких вариантах систем распределения воды и противообледенительных устройств, а также вентиляторного оборудования. С режимом работы производств с оценкой производительности увязан каждый вариант градирни.

Приведенные затраты рассчитывают при 3 – 4 вариантах, отличающихся типом градирен, их размерами и размещением, чтобы определить наиболее экономичной системы охлаждения, который требует по расходу воды применения группы однотипных градирен. Сравнение стоимости удобно производить по суммарным затратам, отнесенным к 1 м^3 воды годовой производительности градирни, т. е. по удельным приведенным затратам. Значение затрат является обобщающим показателем экономической эффективности работы сооружения и выступает в качестве результативного признака. Обычно выявляют зависимость затрат от суточной производительности удельных приведенных затрат, коп/($\text{м}^3 \cdot \text{год}$), в ценах до 01.01.91 г. при сравнении сухих градирен с мокрыми.

Себестоимость охлаждения это другой удобный показатель для сравнения экономической эффективности работы сооружений систем водоснабжения и

водоотведения является 1 м^3 воды, которая представляет собой отношение общих эксплуатационных издержек производства за год к годовой производительности сооружения.

Выводы к главе.

Разработанный программный комплекс направлен на автоматизацию процесса расчета характеристик градирен.

Технико-экономическое обоснование НИР свидетельствует о том, что в случае внедрения программного комплекса происходит снижение времени на расчет рассмотренных методик расчета характеристик градирен.

В работе мы использовали компьютерную модель градирен, что является гораздо менее затратным по отношению к созданию реальной модели и создания реальных условий работы для получения нужных нам данных. Также экономически выгодным является легкое варьирование геометрических и входных параметров модели, в другом случае каждую модель пришлось бы создавать снова, что привело бы к новым затратам на производство. Такое производство увеличит затраты на проект в сотни раз, т.к. за время работы было рассчитано большое количество разных моделей. Также оценка научно-технического уровня НИР показала высокую значимость проведенного исследования.

Список публикаций

За время обучения в магистратуре, была опубликована следующие работы:

1. Третьякова К.Б. Анализ конструктивных особенностей испарительных градирен башенного типа на их тепловую эффективность // VI Всероссийская научная конференция с международным участием «Теплофизические основы энергетических технологий» / Томский Политехнический Университет. – Томск, – 2015.
2. Голдаев С.В., Третьякова К.Б. Анализ характеристик вихревых камер для охлаждения горячей воды // Международная молодежная научная конференция «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования» / Томский Политехнический Университет. – Томск, – 2016.