

УДК 621.565
ГРНТИ 55.39.41

На правах рукописи

Спритнюк Сергей Владимирович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В
БЕЗНАСАДОЧНОЙ ГРАДИРНЕ УСТАНОВОК РАЗНОВЫСОТНОГО
РАСПОЛОЖЕНИЯ**

Специальность 05.04.03 – Машины и аппараты, процессы холодильной и
криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2015

Работа выполнена в московском государственном машиностроительном университете (МАМИ) на кафедре техники низких температур им. П.Л. Капицы.

Научный руководитель: **Маринюк Борис Тимофеевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Галимова Лариса Васильевна**
доктор технических наук, профессор.
«Астраханский государственный
технический университет», профессор
кафедры холодильных машин.
Камзолов Сергей Михайлович
кандидат технических наук, доцент.
Сотрудник ООО «СМАРТ»

Ведущая организация: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности» (ВНИХИ)

Защита диссертации состоится «__» октября 2015 г. в __ часов __ минут на заседании диссертационного совета Д 212.141.16 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, Лефортовская набережная, д. 1.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направить по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.16.

С текстом диссертации можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru

Телефон для справок 8(499)267-09-63

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,
к.т.н. доцент



Колосов М.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Работа предприятий промышленного комплекса сопровождается выделением большого количества тепла от технологических процессов в эксплуатируемом оборудовании, которое необходимо отводить для поддержания рабочего режима и заданного темпа изготовления продукции. Подавляющее большинство предприятий для этих целей использует оборотную воду.

В холодильной технике на установках средней и большой производительности и в системах централизованного кондиционирования с помощью оборотной воды снимается тепловая нагрузка конденсатора.

В промышленности и энергетике охлажденной на градирнях оборотной водой осуществляется конденсация отработавшего пара и газообразных продуктов, охлаждение жидких продуктов, а также оборудования и механизмов в целях предохранения их от быстрого разрушения под влиянием высоких температур. От эффективности работы градирен зависит производительность технологического оборудования, качество и себестоимость вырабатываемой продукции, удельных расход сырья, топлива и электроэнергии. На сегодняшний день отвод низкопотенциального тепла от промышленных аппаратов с помощью градирен – самый дешевый способ, позволяющий сэкономить не менее 95% свежей воды.

Охлаждение воды в градирнях происходит в основном за счет эффекта испарения ее части в воздух и механизма конвекции в системе «вода-воздух». Испарение 1% воды понижает ее температуру примерно на 6°C. В холодильных установках большей частью применяют вентиляторные градирни. Они обеспечивают более глубокое и устойчивое охлаждение воды и допускают большие удельные нагрузки, позволяют вести регулирование в широком диапазоне расходов энергоносителей, в минимальной степени зависят от места размещения.

Тематика научных трудов по водоохлаждающим устройствам в основном связана с улучшением и разработкой новых типов оросительных насадок, водоуловителей и общей конструкции градирен. Анализ научной литературы показал, что объем информации по безнасадочным

водоохладителям, работающим в среде разреженного воздуха, мал. Акцент работы направлен на изучение процессов, протекающих в безнасадочной вентиляторной градирне, работающей в среде разреженного воздуха. В условиях низкого вакуума, который возникает при размещении градирни на высоте, поток воздуха встречает большое сопротивление, преодолевая ороситель с малым эквивалентным диаметром, что отрицательно влияет на эффективность процесса тепло и массопереноса. Безнасадочная градирня по капитальным, энергетическим и эксплуатационным затратам оказывается конкурентоспособной, а в отдельных случаях выгоднее аналога с оросительной насадкой. Это связано с дороговизной оросительной насадки, необходимостью преодолевать воздушному потоку сопротивление слоя насадки, что в свою очередь приводит к дополнительным затратам электроэнергии на привод вентилятора. Затрудняет эксплуатацию проблема обледенения насадок в зимнее время. Кроме того, насадку необходимо периодически чистить от отложений, что увеличивает эксплуатационные расходы и снижает производительность оборудования из-за остановки градирни на время очистки.

Цель работы:

1. Повышение интенсивности процесса охлаждения оборотной воды в безнасадочных градирнях.
2. Создание эффективного водоохлаждающего устройства, способного работать в условиях разреженного воздуха.

Основные задачи работы:

1. Разработка расчетно-аналитического описания процесса тепломассообмена при охлаждении воды в градирне с учетом влияния разреженного воздуха.
2. Получение экспериментальных данных в условиях рабочих режимов на созданном стенде вакуумной безнасадочной градирни.
3. Сопоставление экспериментальных данных с разработанной аналитической моделью.

4. Создание методики расчетного проектирования безнасадочной градирни, учитывающей разрежение воздуха.

Научная новизна:

1. Разработано аналитическое описание процесса охлаждения капель воды встречным потоком воздуха с учетом развития внутреннего теплообмена в сферическом объеме капли и наличия разности температур на поверхности раздела и в ядре.

2. Рассмотрены режимы тепло- и массопереноса в устройствах водоохлаждения при наличии разреженного потока воздуха.

Практическая значимость.

Разработана конструктивная схема безнасадочной градирни работающей в условиях разреженного воздуха с возможностью промежуточного ввода свежего потока воздуха в проточную зону. Предложена методика теплового конструктивного расчета безнасадочной градирни с учетом разреженного состояния воздуха.

Личный вклад соискателя.

Участие в постановке задачи моделирования процесса тепломассообмена в градирне с учетом пониженного давления воздуха. Численная реализация модели. Создание экспериментальных стендов вакуумной безнасадочной градирни. Сопоставление результатов расчетов с опытными данными, полученными на стенде.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур» 14-16 декабря 2011 г., (Москва, 2011); V научно-практической конференции с международным участием «Проблемы совершенствования холодильной техники и технологии», март 2012 г, МГУПП, (Москва, 2012); Всероссийской конференции «Зеленые технологии – путь решения проблем изменения климата и сохранения окружающей среды» 8-9 ноября 2012 г., Министерство энергетики РФ, (Москва, 2012);

Международной конференции «Индустрия холода для продовольственной, энергетической и экологической безопасности» в рамках выставки «Chillventa Rossija 2013», 5-8 февраля 2013 г., (Москва, 2013); Научно-практической конференции, посвященной Л.А. Костандова, ноябрь 2013 г., Университет машиностроения, (Москва, 2013); Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур» 10-12 декабря 2013 г., (Москва, 2013).

Публикации.

По теме диссертационного исследования опубликовано 8 научных статей, объемом 1,65 п.л., в том числе: 4 статьи в научных журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ; 4 статьи в сборниках трудов региональных, международных и всероссийских конференций. В списке публикаций автореферата приведен перечень основных работ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, приложения, списка использованных источников из 94 наименований. Объем диссертации составляет 99 страниц, включающих 43 рисунка и 3 таблицы.

Основное содержание работы.

В введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформированы цели и задачи выполненных исследований, определены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава содержит краткий литературный обзор по вопросам охлаждения воды в вентиляторных градирнях.

По теме процессов, протекающих в градирнях, в разное время опубликованы труды таких авторов как Пономаренко В.С., Берман Л.Д., Мандрыкин Г.П. Из ныне действующих исследователей известными являются работы Кулова Н.Н., Лаврова Н.А., Лагуткина М.Г., Гельфанд Р.Е., Фролова Ю.Д., Пушнова А.С.

Анализ литературы по исследуемой тематике показал, что основой для большинства методик расчета градирен является модель Меркеля,

предложенная впервые в 1925 г. Несмотря на то, что модель базируется на ряде допущений, она долгое время использовалась и используется в настоящее время проектными организациями.

Последним нормативным документом по вентиляторным и башенным градирням является пособие по проектированию градирен к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», вышедшее в 1989 г. На данный момент можно сказать, что пособие по проектированию градирен практически исчерпало себя. За время, прошедшее с момента издания пособия появились новые технологии, накоплены обширные данные по градирням, разработаны новые типы и модификации градирен. В то же время, многие конструкции градирен устарели, на смену древесине и асбестоцементу, как основного строительного материала, пришли современные технологии и материалы из более легких и долговечных компонентов.

В существующих методиках расчета принимаются допущения, что температура поверхности раздела фаз считается равной среднемассовой температуре воды, а процесс охлаждения ведется только при атмосферном давлении на уровне 750 мм рт.ст.

В известной литературе не рассмотрен вопрос работы водоохлаждающих устройств при высотном расположении в горной местности, где учет пониженного давления атмосферного воздуха должен является обязательным условием при расчете водоохлаждающего устройства.

Анализ существующих подходов к моделированию процессов тепломассообмена в градирнях показал, что разработка математической модели, пригодной для инженерных расчетов является актуальной задачей.

Во второй главе дается описание процесса охлаждения воды в безнасадочной градирне.

Расчет процесса тепло- и массообмена между водой и воздухом должен учитывать два механизма: конвективную теплоотдачу от нагретой воды к воздуху, проходящему в проточной части охладителя и теплообмен за счет массопереноса испаряющейся воды в поток воздуха.

Анализ предполагает расчет по средним параметрам, которые устанавливаются в аппарате при стационарном режиме. При этом исходными допущениями являются:

1. Теплофизические свойства воды и воздуха постоянны;
2. Распределение капель по всему объему считать равномерным;
3. Между каплями отсутствует взаимодействие;
4. Отсутствует распределение значений параметров воздуха по радиусу градирни;
5. Процесс стационарный с постоянной поверхностью теплообмена;
6. Соблюдается аналогия между процессами тепло- и массопереноса;
7. Воздух на выходе из градирни полностью насыщается влагой;
8. Отсутствует механический унос капель.

Основными исходными параметрами для составления математической модели являются: массовый расход G_w и температура T_w^H воды на входе в градирню; массовый расход воздуха G_e и параметры атмосферного воздуха: атмосферное давление $P_{атм}$, остаточное давление воздуха P_0 , его температура T_e^H и относительная влажность на входе φ^H ; геометрические параметры градирни: диаметр D_z , высота рабочей зоны H_z .

В результате численного расчета по модели определяются: температура воды на выходе T_w^K ; средняя температура насыщенного влагой воздуха у поверхности воды T_w'' ; температура воздуха на выходе T_e^K .

Предложенный анализ предполагает возможность нахождения не только конечной температуры воды, но и площади теплопередающей поверхности, если степень охлаждения воды задана.

Схема взаимодействия между охлаждаемой водой и воздухом представлена на Рисунке 1. Падающие капли воды взаимодействуют со встречным потоком воздуха, просасываемого через градирню вакуумным насос-компрессором. В диффузионном пограничном слое капли идет интенсивное испарение влаги с поверхности и переход ее в поток воздуха, при этом влагосодержание воздуха повышается. Чем ниже исходное

влажностное содержание воздуха, тем больше влаги из капельного потока попадает в него и уносится в атмосферу.

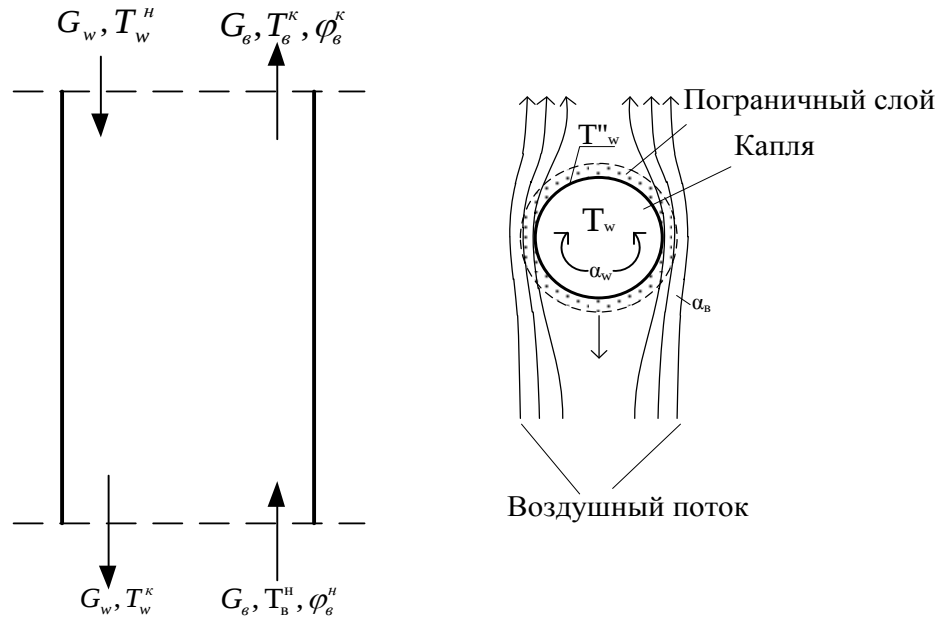


Рисунок 1. Схема взаимодействия между охлаждаемой водой и воздухом.

В итоге, балансовые соотношения, устанавливающие взаимосвязи параметров потока воды и воздуха выглядят как система из трех уравнений:

$$\alpha_w F(\bar{T}_w - \bar{T}_w'') = \alpha_v F(\bar{T}_v - \bar{T}_w'') + G_v r(d_v^K - d_v^H); \quad (1)$$

$$G_w C_{pw}(T_w^H - T_w^K) = G_v (i_v^K - i_v^H) + \frac{\alpha_v}{C_{pv}} Fr(\bar{d}'' - \bar{d}_v); \quad (2)$$

$$\bar{T}_w'' = \bar{T}_w - \frac{\alpha_v \xi_u (\bar{T}_v - \bar{T}_w'')}{\alpha_w}, \quad (3)$$

где ξ_u – коэффициент испарения воды в воздух: $\xi_u = 1 + \frac{r(\bar{d}'' - \bar{d}_v)}{C_{pv}(\bar{T}_v - \bar{T}_w'')}$

Уравнение (1) устанавливает соотношение интенсивностей теплоотдачи со стороны обменивающихся энергией потоков с учетом массообмена. Уравнение (2) выражает балансовое соотношение обменивающихся энергией потоков с учетом эффекта испарительного охлаждения. Уравнение (3) вытекает из уравнения стационарной теплопередачи от воздуха к массе воды, содержащейся в каплях и совершающей конвективное движение внутри оболочки капли, имеющей нулевое термическое сопротивление.

В безнасадочной градирне поверхностью взаимодействия потоков является суммарная площадь капель, находящихся в рабочей зоне градирни.

Для ее нахождения необходимо определить средний размер капель, который определяли экспериментально по методу скоростного фотографирования и улавливания капель в слое машинного масла. Для условий опытов средний размер капель составляет 0,5–1 мм. С помощью этого же метода подтверждается закон нормального распределения размера капель.

Скорость вылета капель из сопла форсунки определялась по уравнению Бернулли:

$$w_{\kappa\phi} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_w}} \quad (4)$$

Скорость капли меняется при ее перемещении в пространстве градирни от начальной до конечной при падении в сборник холодной воды, поэтому в расчетах используется средняя скорость капель w_{κ} , м/с.

Зная высоту рабочей зоны градирни H_c и среднюю скорость падения капель w_{κ} , определяли объем капель, который проходил проточную часть градирни за время τ .

Площадь, объем одной капли, число капель в потоке и площадь поверхности находили по соответствующим уравнениям, предполагая сферическую форму капель.

Число Нуссельта для воздуха определялось по уравнению Дрейка:

$$Nu_g = 2 + 0,459 Re_g^{0,55} Pr_g^{0,33} \quad (5)$$

Число Нуссельта для определения коэффициента теплоотдачи от конвекции массы воды внутри объема капли определим по уравнению, опубликованному в справочнике Куличенко В.Р.:

$$Nu_w = 0,098 Ra^{0,345}, \quad (6)$$

Решение системы уравнений может быть выполнено по средним параметрам потоков в проточной части аппарата (Рисунок 2). Более точного решения можно добиться путем условного деления проточной части аппарата на зоны (Рисунок 3). В случае зонального деления проточной части градирни по высоте расчет системы выполняется для каждой зоны с получением выходных параметров. Они же являются исходными для

вышестоящего участка. По второму методу целесообразно вести расчет с нижней части аппарата, критерием правильности расчета является совпадение значений температуры подаваемой на охлаждение воды с полученной ее величиной на входе в верхнюю зону.

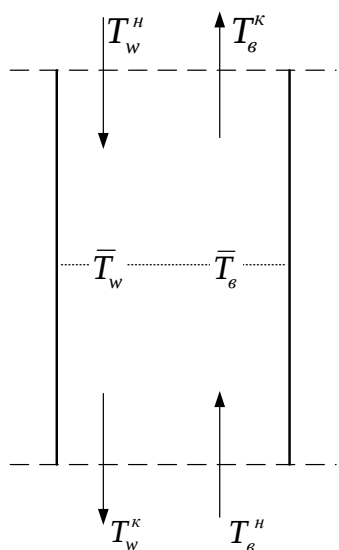


Рисунок 2. Расчет системы уравнений по средним параметрам.

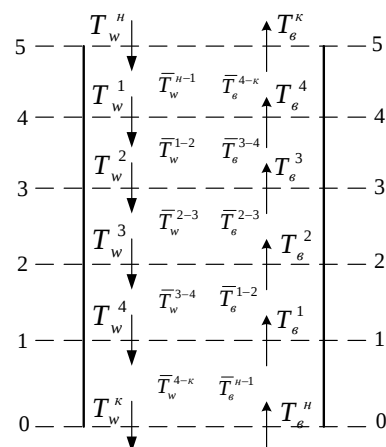


Рисунок 3. Расчет системы уравнений делением проточной части на зоны.

Система уравнений (1, 2, 3) позволяет провести расчет градирни с промежуточной подачей свежего воздуха. Расчет проводится в два этапа: расчет по средним параметрам с определением выходных значений температуры воды T_w^K , воздуха $T_ε^K$ и влажности воздуха $φ^K$ (Рисунок 4). После этого проводится расчет градирни снизу-вверх, но уже с делением градирни на два участка с промежуточной подачей воздуха в рабочую зону (Рисунок 5). Для этого градирня условно делится на две части. В нижней части в процессе участвует только половина расхода воздуха, и половина площади капель. Искомыми параметрами является температура воды на входе в нижнюю часть, температура и влажность воздуха на выходе из нее. Значения температуры на входе в нижнюю часть служат выходным значением для верхней части. В верхнюю зону подается вторая половина свежего воздуха, который смешивается с выходящим из нижней части градирни. За счет этого во вторую часть поступает более холодный и сухой воздух. Искомым параметром второй части расчета является получение температуры воды на входе в градирню. При отсутствии совпадения результата необходимо скорректировать температуру воды на выходе из нижней части градирни и

делать перерасчет до получения заданной температуры воды на входе в градирню.

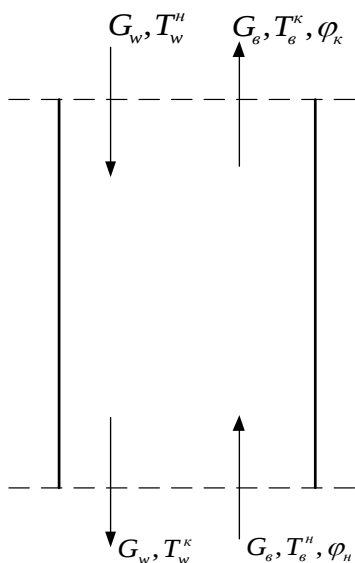


Рисунок 4. Схема расчета градирни с одиночной подачей воздуха

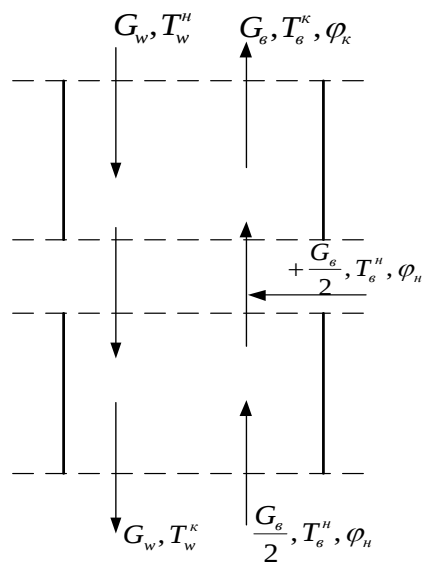


Рисунок 5. Схема расчета градирни с промежуточной подачей воздуха

Результаты расчетов представлены в виде графиков ниже. График на Рисунке 6 показывает значение предельной температуры воды при повторении циклов пропускания объема воды через проточную часть аппарата в зависимости от давления воздуха и температуру охлажденной воды за один цикл охлаждения в зависимости от давления воздуха. Начальная температура воды составляла 38-40°C. Температура воздуха на входе 24-25°C и влажность 50-65%.

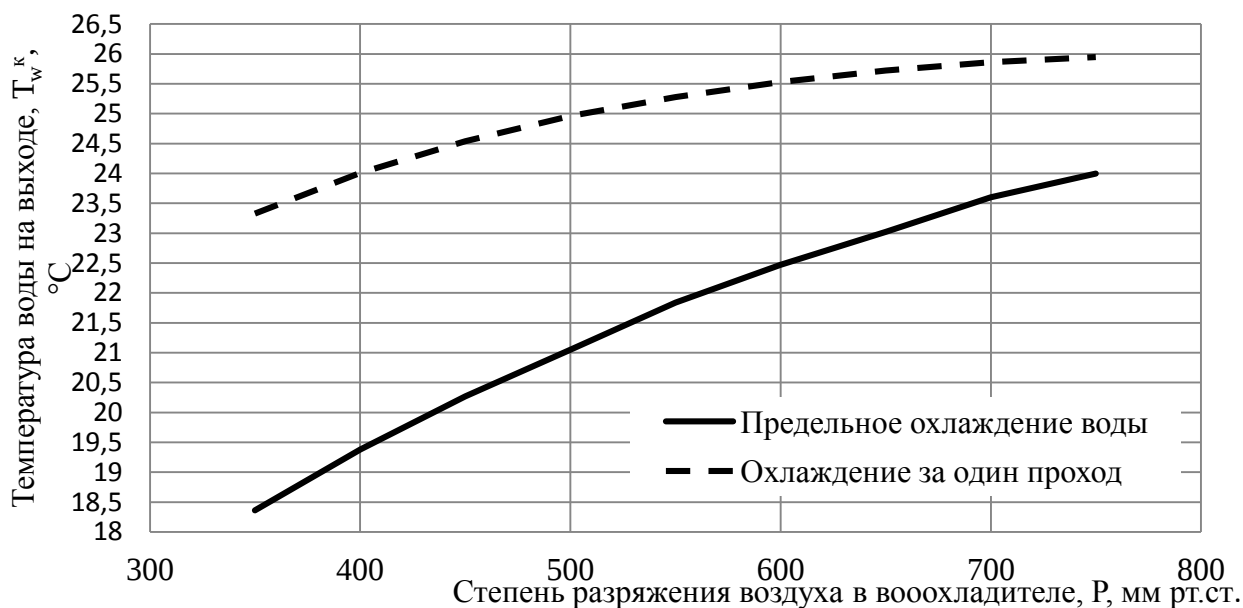


Рисунок 6. График зависимости конечной температуры воды на выходе из водоохладителя от степени разрежения воздуха.

Анализ показателей работы градирни в условиях высокогорного размещения с градирней работающей на высоте уровня моря представлены графиком ниже. Расчет проводился для диапазона высот 0 до 3000 метров, что соответствует давлению воздуха в пределах 760 – 535 мм рт.ст. Параметры расчетов для двух вариантов оставались неизменными: температура воды на входе в градирню $T_w^H=40^{\circ}\text{C}$, температура воздуха на входе в градирню $T_g^H=25,6^{\circ}\text{C}$, влажность воздуха $\phi^H=60\%$. В ходе расчета принято, что температура и влажность воздуха с ростом высоты не меняется.

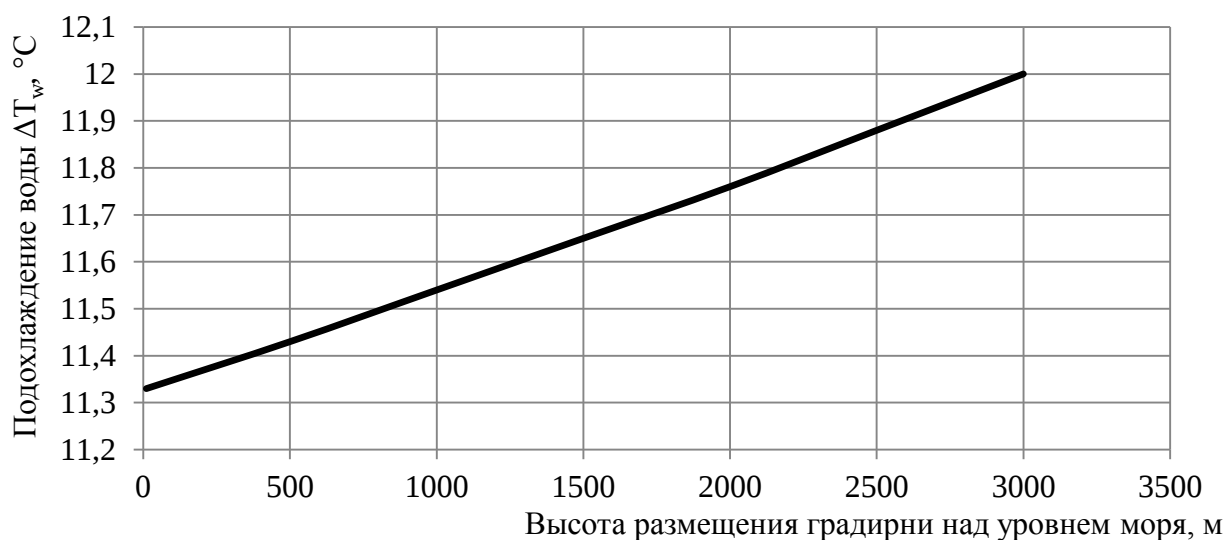
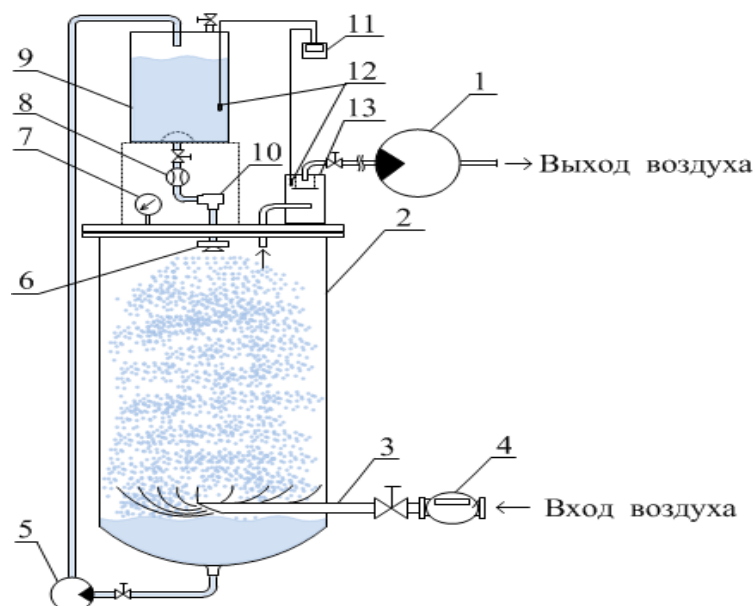


Рисунок 7. Зависимость показателя глубины подохлаждения воды в градирни от высоты размещения над уровнем моря.

Если сравнивать градирню, размещенную на уровне моря, с градирней, размещенной на высоте 3000 м и работающей при тех же параметрах, то при высотном размещении тепловой к.п.д. градирни увеличится на 3,9%. Последнее эквивалентно уменьшению площади оросителя на 12 %.

В третьей главе приводится описание экспериментальных установок и методики проведения испытаний. Дается оценка погрешности измерительных приборов.

Основная задача созданной установки (Рисунок 8) – исследование процесса охлаждения оборотной воды в безнасадочной градирне под воздействием «мягкого» вакуума и определения параметров, влияющих на интенсивность процесса.



- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Вакуумный насос-компрессор | 8. Счетчик расхода воды |
| 2. Водоохладитель | 9. Бак для сбора воды |
| 3. Воздуховод | 10. Дополнительный водяной насос |
| 4. Счетчик расхода воздуха | 11. Цифровой приемник-преобразователь термопар |
| 5. Вихревой водяной насос | 12. Термопарный датчик температур |
| 6. Форсунка | 13. Отделитель влаги |
| 7. Вакуумметр | |

Рисунок 8. Схема экспериментальной установки.

Установка состоит из водоохладителя 2, представляющего собой цилиндрический сосуд с внутренним диаметром 400 мм и емкостью 150 литров, выполненный из алюминия. Высота рабочей зоны водоохладителя 1 м. Днище водоохладителя эллиптическое, оснащено сливным отверстием для отвода охлажденной воды, в нижней части боковой поверхности предусмотрено отверстие для воздуховода 3. Водоохладитель через резиновую прокладку герметично закрывается прозрачной крышкой из органического стекла, в которую встроена форсунка 6, вакуумметр 7. В крышке предусмотрен патрубок для откачки воздуха из водоохладителя. К патрубку через запорный вентиль присоединяется вакуумный насос-компрессор 1. Приборы и датчики, установленные в различных частях установки, позволяют проводить необходимые измерения, такие как температура воды на входе и выходе из аппарата, температура воздуха, влажность воздуха.

В процессе работы и анализа полученных результатов, стенд был модернизирован до варианта, представленного на Рисунке 9. К стенду были

добавлены дополнительный воздуховод, регулирующий вентиль и счетчик расхода воздуха. Положение воздуховода в градирни регулируется по высоте относительного первого воздуховода. По умолчанию подача свежего воздуха производится посередине рабочей зоны.

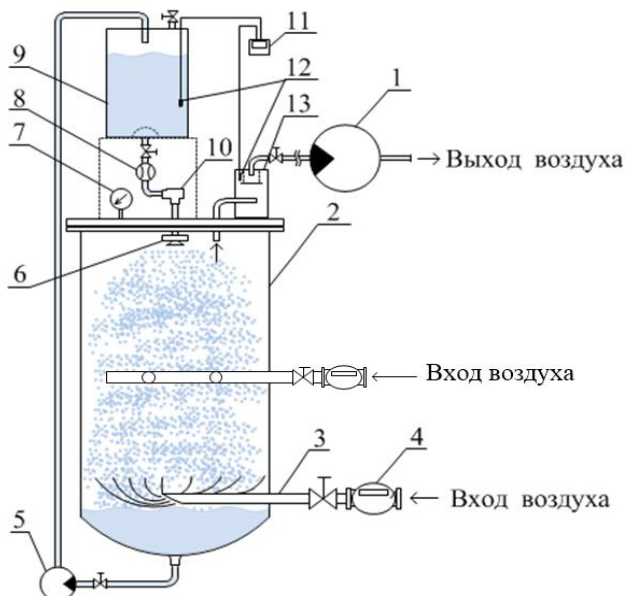


Рисунок 9. Модернизированный стенд безнасадочной градирни с промежуточной подачей воздуха.

Модернизация была проведена для проведения серии опытов с промежуточной подачей свежего воздуха в рабочую зону градирни. Начальные условия всех параметров сохранялись для обеих схем ведения процесса охлаждения воды. Суммарный расход воздуха делился на два потока в равном количестве, один из них шел через нижний патрубок, вторая часть через промежуточный воздуховод. Данный метод позволяет увеличить теплосъем от воды за счет эффекта «освежения» воздуха.

Вероятность появления предельных погрешностей показаний приборов составляет около 5%. Случайные погрешности минимизировались путем многократного повторения каждого эксперимента.

Четвертая глава посвящена сопоставлению экспериментальных и расчетных данных и описанию методики расчета безнасадочной градирне.

Первая часть опытов заключалась в проверке уровня предельного охлаждения воды при давлениях воздуха от 750 до 300 мм рт.ст. График на Рисунке 10 построен для следующих входных параметров: $T_w^H=40^\circ\text{C}$; $T_g^H=24\div 26^\circ\text{C}$; $\varphi_H=50\div 65\%$; $G_w=0,06\div 0,08$ кг/с; $G_g=0,007\div 0,014$ кг/с; $\lambda=0,1\div 0,3$.

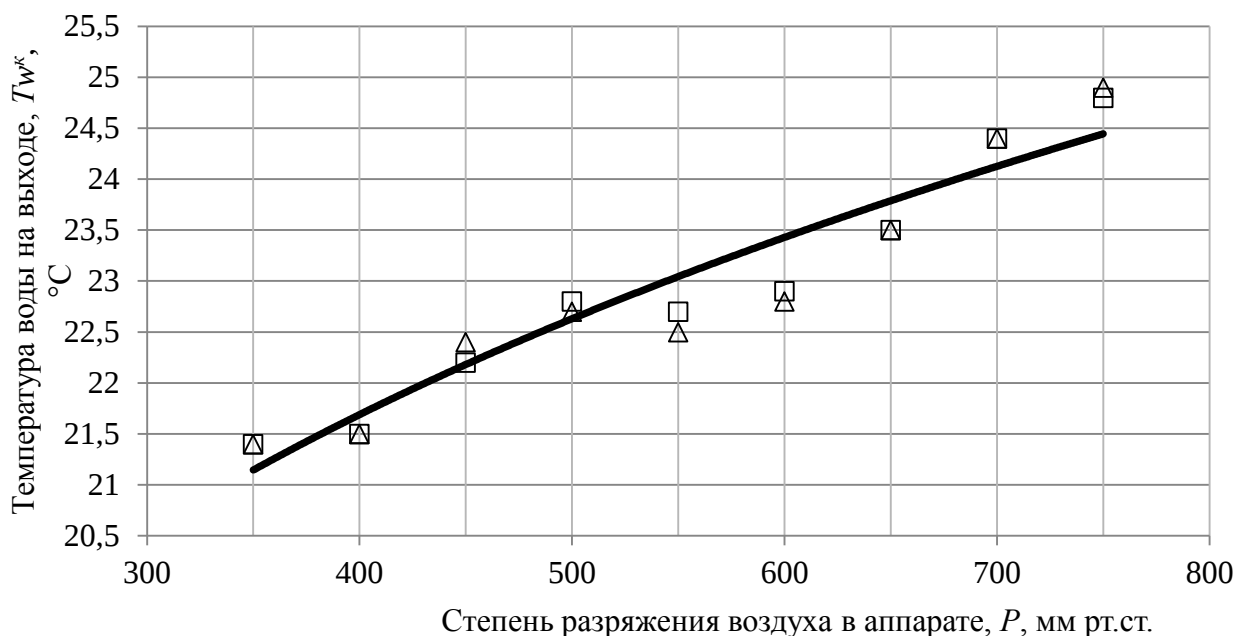


Рисунок 10. График зависимости предельно достижимой температуры воды от степени разряжения воздуха.

Серия опытов заключалась в охлаждении воды за один проход. Для этой серии экспериментов использовалась тангенциальной форсунка с диаметром выходного отверстия $d_\phi=1$ мм. Такая форсунка характеризуется более низкими расходными показателями и малыми размерами капель. Замена форсунки позволила увеличить общую площадь капель, что положительно сказалось на результаты: Рисунок 11, Рисунок 12. Опыты проводились при следующих параметрах: $T_w^H=40^\circ\text{C}$; $T_e^H=21\div 22^\circ\text{C}$; $\varphi_H=40\div 60\%$; $G_w=0,005\div 0,0065$ кг/с; $G_e=0,008\div 0,011$ кг/с; $\lambda=1,2\div 1,8$.

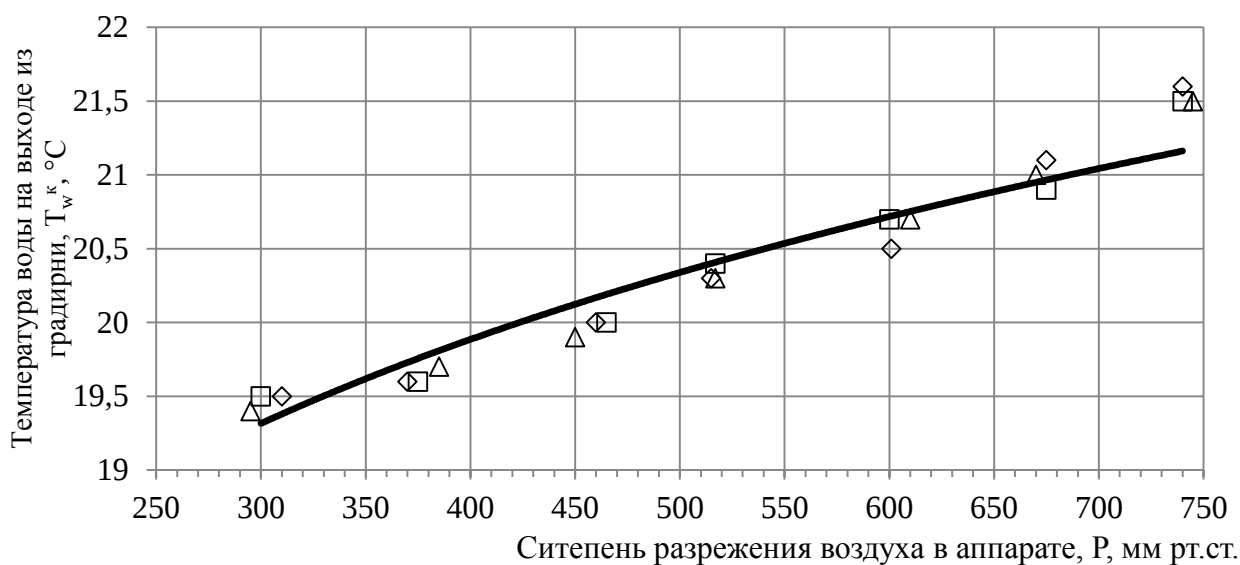


Рисунок 11. График зависимости температуры воды на выходе из градирни от степени разряжения воздуха.

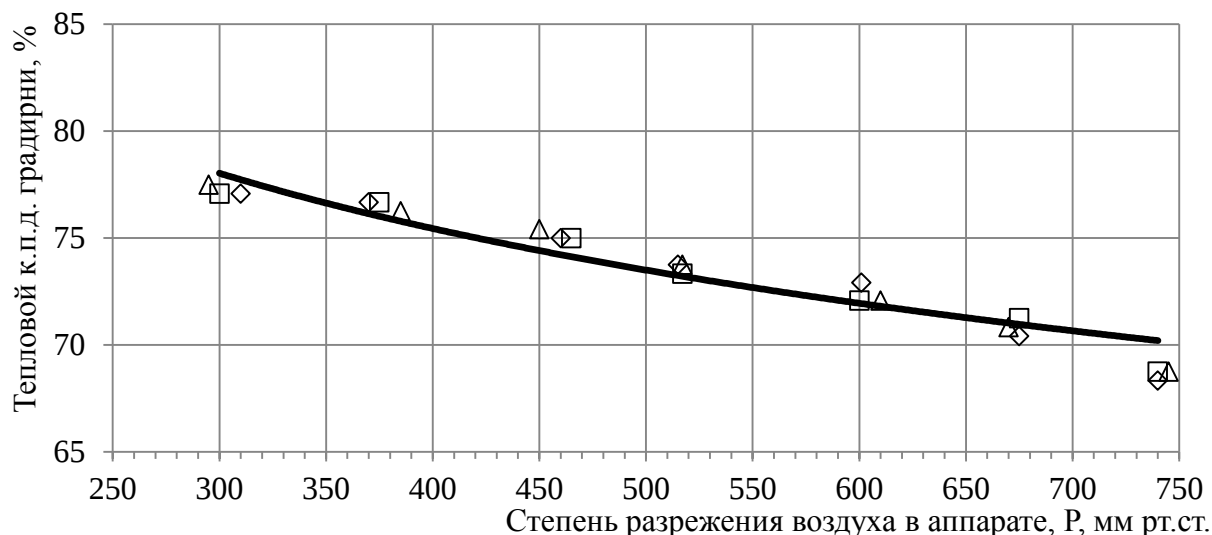


Рисунок 12. График зависимости теплового к.п.д. градирни от степени разрежения воздуха в аппарате.

В главе 4 изложена методика теплового конструктивного расчета безнасадочной градирни с определением геометрических размеров проточной части.

Достоверность методики расчета безнасадочной градирни подтверждена удовлетворительным согласованием опытных и расчетных данных.

Выводы

1. Разработано аналитическое описание процесса тепломассообмена при охлаждении воды в безнасадочной градирне с учетом разреженности воздуха.

2. При расчете тепломассообменных процессов в градирне необходимо учитывать теплоотдачу от конвекции массы воды внутри объема капель.

3. Экспериментально подтверждено влияния пониженного давления воздуха на процесс охлаждения воды в градирнях.

4. Созданы опытные стенды безнасадочных градирен, работающих в условиях разреженного воздуха.

5. Выполнена проверка влияния масштабного фактора на получаемые опытные данные по охлаждению воды потоком воздуха в безнасадочной градирне.

6. Разработана конструктивная схема градирни с промежуточным вводом воздушного потока.

7. Предложены конструкции эффективных водоохлаждающих устройств.

8. Подана заявка на изобретение по конструкции вентиляторной градирни.

9. Создана методика теплового конструктивного расчета безнасадочной вентиляторной градирни с возможностью разновысотного размещения.

Основные результаты работы освещены в следующих публикациях:

1. Спритнюк С.В. Моделирование процессов тепло- и массообмена в вакуумной градирне /Маринюк Б.Т., Крысанов К.С. // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. №2(14), Т.4. С. 152-155. (0,347 п.л./0,145 п.л.)

2. Спритнюк С.В. Расчет процесса вакуумно-испарительного охлаждения воды в безнасадочной градирне /Маринюк Б.Т. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. №3. С.26-27. (0,23 п.л./0,11 п.л.)

3. Спритнюк С.В. Работа вентиляторной градирни в условиях разновысотного размещения /Маринюк Б.Т., Крысанов К.С. // Холодильная техника. 2013. №6. С. 28-30. (0,29 п.л./0,14 п.л.)

4. Спритнюк С.В. Теоретические и технические особенности процесса замораживания капельной влаги /Маринюк Б.Т., Серенов И.И. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. №4. С. 16-17. (0,23 п.л./0,05 п.л.)

5. Спритнюк С.В. Расчет процесса вакуумно-испарительного охлаждения воды в безнасадочной градирне // Тез. докл. второй междунар. конф. с элементами научной школы для молодежи – Москва. 2011. С. 24-25. (0,064 п.л.)

6. Спритнюк С.В. Расчет процесса вакуумно-испарительного охлаждения воды в капельной градирне /Маринюк Б.Т. // Сб. науч. тр. V науч.-практ. конф. с международным участием. – Москва. 2012. С. 122-125. (0,184 п.л./0,09 п.л.)

7. Спритнюк С.В. Моделирование процесса тепломассообмена в вакуумной градирне // Тез. докл. науч.-техн. конф. в рамках выставки «Chillventa Rossija 2013» – Москва. 2013. С. 99-102. (0,23 п.л.)

8. Спритнюк С.В. Интенсификация процесса тепло- и массообмена в вентиляторной градирне // Сб. науч. тр. III междунар. конф. с элементами научной школы для молодежи. – Москва. 2013. С. 132-133. (0,075 п.л.)