

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки)

Энергетические комплексы и системы управления

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Повышение эффективности теплообменных аппаратов

Студент

С. А. Шальнов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

Д. А. Павлов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н., доц. Д. А. Павлов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«_____» июня 2018 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., доц. Д. А. Павлов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«_____» июня 2018 г.

Тольятти 2018

Содержание

Введение.....	4
1 Современное состояние вопроса совершенствования систем адиабатического охлаждения воздуха и их составляющих	7
1.1 Сущность, устройство и принцип работы камеры орошения систем адиабатического охлаждения воздуха.....	7
1.2 Классификация, преимущества и недостатки основных видов форсунок	12
1.3 Патентный поиск	14
2 Экспериментальные исследования форсунок камеры орошения.....	18
2.1.1 Цель и объект испытаний	18
2.1.2 Условия и порядок проведения испытаний	19
2.1.3 Методы испытаний	19
2.1.3.1 Испытательный стенд	19
2.1.3.2 Последовательность выполнения экспериментальной работы	21
2.1.3.3 Порядок обработки и анализа результатов испытаний	21
3 Рекомендации для теплотехнического и конструкторского расчета оросительных камер систем кондиционирования воздуха и вентиляции производственных помещений	45
По итогам проведенных испытаний, описанных в главе 2, разработан ряд рекомендаций для теплотехнического и конструкторского расчета оросительных камер, применяемых в системах кондиционирования воздуха и вентиляции. В рекомендациях приводятся данные, необходимые для расчета одноступенчатых камер орошения.	45
3.1. Общие теоретические сведения.....	45
3.2 Расчет адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха.....	53
3.3 Определение коэффициента орошения и производительности насоса	54

3.4	Определение оптимальной геометрии форсунки	56
3.4.1	Оценка требуемых параметров форсунки для обеспечения вторичного дробления капли	58
3.4.2	Определение дисперсности распыла форсунки	62
3.4.3	Определение количества форсунок, необходимого для обеспечения условий адиабатического охлаждения воздуха в камере орошения.....	64
3.4.4	Экспериментальная оценка влияния геометрических параметров форсунки на эффективность камеры орошения.....	64
3.5	Определение оптимального расположения форсунок в камере орошения	66
	Заключение	69
	Список используемых источников.....	70
	Приложение А	73

Введение

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности во всем мире рассматривается как существенный резерв роста экономики и развития технологий. Наша страна не является исключением: еще в 2009-2010 гг. разработаны и утверждены Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [1], Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [2], в соответствии с которыми в последующие годы принят целый ряд регулирующих и стимулирующих законодательных актов.

В рамках проводимой государственной энергетической политики, в числе прочих направлений, проводится стимулирование снижения потребления энергоресурсов как населением, так и предприятиями и организациями всех отраслей и форм собственности. Вместе с тем, этого требуют и сами условия рыночной экономики, так как в результате происходит снижение себестоимости выпускаемой продукции, оказываемых услуг, что дает компаниям конкурентные преимущества. А для некоммерческих бюджетных учреждений, выполняющих общественные функции, это соответственно, дает экономию расходов бюджетной системы. Помимо экономической составляющей, следует отметить еще и экологическую, которая выражается в снижении негативного воздействия на окружающую среду в процессе производства и передачи энергии.

Таким образом, для каждого предприятия, обеспечение оптимизации энергопотребления является актуальным вопросом. Достичь этого можно различными способами, но наиболее перспективный из них – применение инновационных организационно-технических решений, новых технологий и материалов.

Одно из таких решений – системы адиабатического охлаждения воздуха. Если традиционные и широко распространенные парокompрессионные системы охлаждения характеризуются высоким потреблением электроэнергии

(главным образом, для работы компрессоров и конденсаторов), то для реализации адиабатического охлаждения не требуется существенных затрат электроэнергии, в основном, расходуется только вода. В результате стоимость охлажденного воздуха получается значительно ниже, и таким образом, повышается энергоэффективность систем кондиционирования.

При проектировании систем адиабатического охлаждения воздуха необходимо учитывать технические характеристики используемого оборудования, такие как количество и конфигурация форсунок, их расположение, режимы работы, производительность насосов, физические и химические свойства распыляемой воды и другие факторы. При этом ключевым моментом является многообразие технических решений, связанных с форсунками оросительной камеры.

Целью данной магистерской работы является повышение эффективности элементов камеры орошения систем вентиляции и кондиционирования воздуха в производственных помещениях.

Для достижения поставленной цели работы необходимо выполнить следующие задачи исследования:

- провести анализ существующих систем адиабатического охлаждения и их элементов на основе рассмотрения научно-технической литературы, коммерческих разработок и патентов;

- провести испытания форсунок орошения системы кондиционирования на основе разработанной программы и методики с фиксацией полученных результатов;

- разработать рекомендации для теплотехнического и конструкторского расчета оросительных камер систем кондиционирования воздуха и вентиляции в производственных помещениях.

Объектом исследования является оросительная камера промышленного кондиционера.

Предметом исследования являются процессы, обеспечивающие повышение эффективности и экономичности камеры орошения.

Научная новизна исследования состоит в обосновании методов и технических решений, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик форсунок оросительной камеры и, в итоге, увеличение энергоэффективности систем теплообмена.

Практическая значимость работы заключается в предложенной методике, позволяющей проводить испытания форсунок, а также в предложенных рекомендациях, внедрение которых позволяет повысить как эффективность системы охлаждения, так и в целом улучшить показатели энергоэффективности реализующих мероприятия организаций.

На защиту выносятся:

- направления совершенствования конструкции форсунок;
- рекомендации по теплотехническому и конструкторскому расчету камеры орошения.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на XII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (г. Пенза, 15.05.2018), а также были практически применены на производственных предприятиях Территориальное управление по теплоснабжению в г. Тольятти Самарского филиала ПАО «Т Плюс» (для охлаждения помещения центрального теплового пункта), ЗАО «Стройиндустрия» г. Тольятти (охлаждение складского помещения).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 2 печатных работы.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, содержащего основные результаты и выводы, списка литературы. Работа изложена на 73 страницах машинописного текста, включает 1 приложение, иллюстрированное 2 таблицами на 20 страницах, общий объем работы составляет 93 страниц.

1 Современное состояние вопроса совершенствования систем адиабатического охлаждения воздуха и их составляющих

1.1 Сущность, устройство и принцип работы камеры орошения систем адиабатического охлаждения воздуха

Адиабатическое охлаждение воздуха – это процесс механического разбрызгивания (распыления мельчайших частиц) воды в воздушную среду с повышением ее влажности и последующим испарением, при котором все необходимое для испарения воды тепло поступает из окружающего воздуха как единственного источника теплоты. Данный процесс характеризуется постоянством энтальпии воздуха, т. к. явное тепло, расходуемое на испарение влаги, возвращается в воздух в виде скрытого тепла; теплообмен происходит только между воздухом и водой, без влияния внешней среды.

Лежащая в основе системы адиабатического охлаждения способность воды сильно охлаждаться при испарении в окружающий воздух, известна достаточно давно. Это свойство использовалось еще архитекторами древней Персии и других регионов Ближнего Востока для естественного охлаждения воздуха в зданиях, за счет направления потоков ветра через резервуары с водой к жилым помещениям [3]. Но в таком виде технология по очевидным причинам имела достаточно ограниченное распространение.

Изучение и промышленное использование адиабатического охлаждения началось только в конце XIX – начале XX века. В 1897 году в США был получен патент на форсуночную (оросительную) камеру – аппарат для увлажнения, осушки и охлаждения воздуха водой. В 1906 году был разработан метод регулирования влажности воздуха по его температуре точки росы (влагосодержанию) за форсуночной камерой, используемый до настоящего времени [4].

На протяжении последнего столетия устройства, использующие принцип адиабатического охлаждения, получили широкое распространение

при кондиционировании воздуха в производственных, коммерческих и бытовых помещениях, поддержании требуемых условий технологических процессов и обеспечении качества выпускаемой продукции. Технология продолжает развиваться и активно внедряться в инновационных сферах и отраслях. Так, в последнее время многие IT-компании, например, Facebook и eBay, используют системы адиабатического охлаждения воздуха в своих ЦОД (дата-центрах). Главной причиной возрастающего интереса является высокая энергоэффективность этой технологии, дополнительными преимуществами являются и простота оборудования, отсутствие сложных агрегатов, высокая надежность и низкие затраты на обслуживание.

В современной науке и практике различаются два способа адиабатического охлаждения: прямое DEC (Direct Evaporative Cooling) и косвенное IEC (Indirect Evaporative Cooling). При прямом охлаждении распыление воды производится на стороне притока. Приточный воздух, охлажденный за счет испарения взвешенных капель воды, поступает непосредственно внутрь обслуживаемого объекта. При косвенном охлаждении распыление воды происходит на стороне вытяжки. Охлажденный воздух поступает в теплообменник, где осуществляется обмен явным теплом без передачи скрытого тепла, которое содержится в парах воды, образующихся за счет испарения на вытяжке распыляемой воды.

Схематично DEC и IEC изображены на рисунках 1, 2.

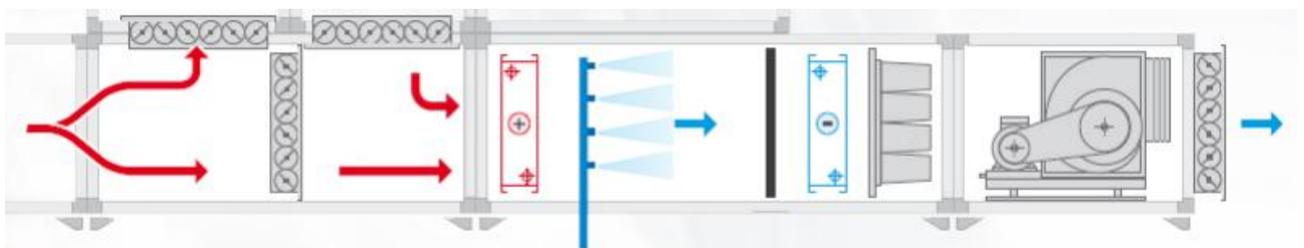


Рисунок 1 – Принципиальная схема прямого адиабатического охлаждения (DEC)

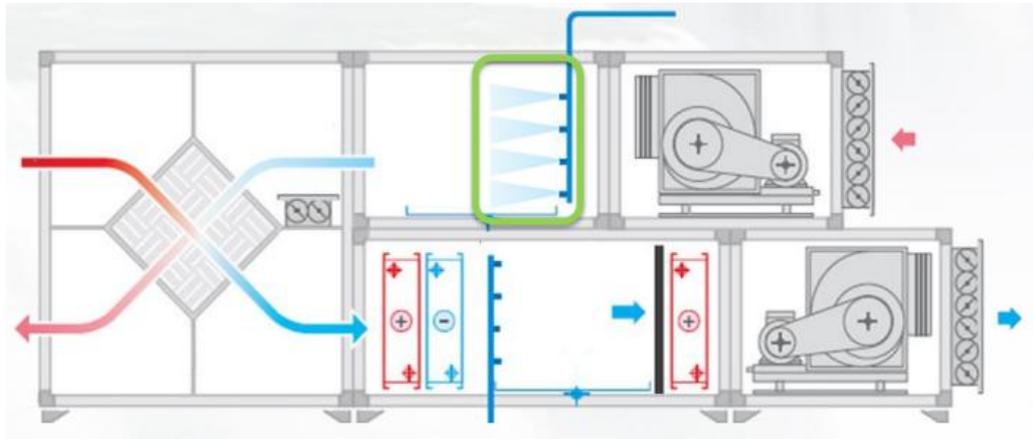


Рисунок 2 – Принципиальная схема косвенного адиабатического охлаждения (ИЕС)

Оба этих способа, в зависимости от физических характеристик атмосферного воздуха (температура, абсолютная и относительная влажность), имеют определенные ограничения в использовании. В условиях низкой температуры и влажности, если температура наружного воздуха ниже температуры внутри обслуживаемого объекта, прямое адиабатическое охлаждение DEC позволяет использовать естественное свободное охлаждение – фрикулинг (FC) без распыления воды на притоке или на вытяжке. Это достигается за счет того, что температура воздуха на притоке дополнительно понижается по отношению к температуре наружного воздуха посредством DEC за счет адиабатического испарения распыляемой воды. Но при этом есть ограничение, связанное с насыщением воздуха водяными парами – соответствующее увеличение энтальпии должно находиться в пределах значений, отвечающих требованиям к температуре и относительной влажности воздуха внутри обслуживаемого объекта. Напротив, косвенное охлаждение ИЕС возможно только при условии, что температура воздуха и его энтальпия внутри обслуживаемого объекта будут ниже температуры и энтальпии наружного атмосферного воздуха [5].

Прямое и косвенное адиабатическое охлаждение могут быть скомбинированы в одном устройстве. Например, в климатических условиях

России для повышения энергосбережения целесообразно использовать свойства DEC для увлажнения воздуха в зимний период, а свойства ИЕС – для его дополнительного охлаждения летом.

Вне зависимости от того, о каком способе охлаждения DEC или ИЕС идет речь, центральным основополагающим элементом конструкции является камера орошения. На рисунках 1, 2 она показана зеленым цветом.

Камера орошения – это устройство, предназначенное для термовлажностной обработки воздуха распыленной водой, с целью придания ему необходимых значений температуры и влажности. Принципиальная схема двухрядной камеры орошения центрального кондиционера приведена на рисунке 3.

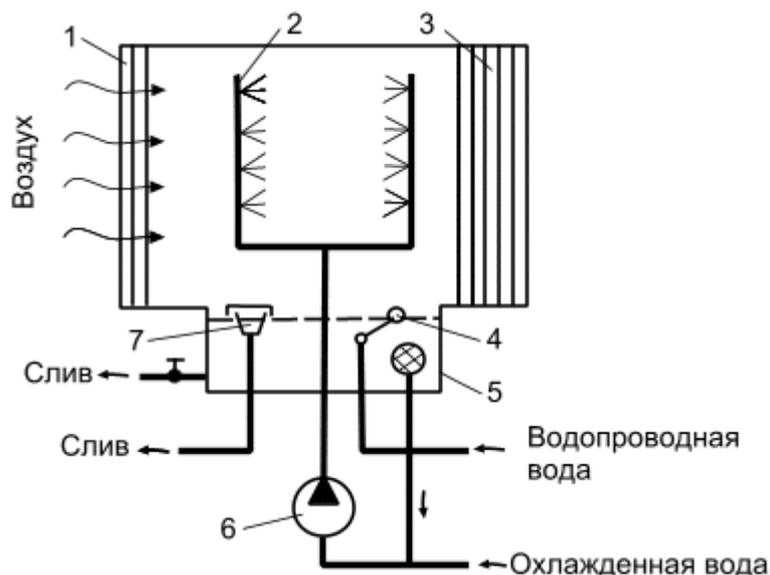


Рисунок 3 – Принципиальная схема камеры орошения

На рисунке 3 цифрами обозначены: 1 – воздухораспределитель; 2 – стояки с форсунками; 3 – каплеуловитель; 4 – шаровой клапан; 5 – поддон; 6 – циркуляционный насос; 7 – переливное устройство.

Поступающий в такую камеру воздух подвергается обработке водой, мелко распыленной с помощью форсунок. В зависимости от температуры воды воздух приобретает требуемые параметры. Распыленная вода под действием силы притяжения естественным путем собирается в поддон и через фильтры

поступает к циркуляционному насосу 6. Необходимый уровень воды в поддоне поддерживается подпиточным устройством с помощью шарового клапана 4, а избыток воды через переливное устройство 7 стекает в сборный бак. В этом, в общих чертах, состоит принцип работы камеры орошения.

Исследования камер орошения производились еще в советское время Баркаловым Б. В., Карписом Е. Е., Богословским В. Н., Участкиным П. В., Стефановым Е. В., Зусмановичем Л. М., позже в 90-2000-х годах изучение продолжилось в работах Коркина В. Д., Тарабанова М. Г. и других. В последние несколько лет на эту тему изданы статьи Прилепского Д. В., Королевой Н. А. Главным вопросом, рассматриваемым в этих исследованиях, является совершенствование конструкции камеры орошения. Анализ данных, полученных в работах вышеперечисленных ученых, позволяет выделить следующие основные направления совершенствования:

- снижение габаритов и массы камер орошения;
- оптимизация энергозатрат на распыление воды и перемещение воздуха;
- увеличение объемных коэффициентов тепло- и массообмена в объеме камеры;
- снижение гидравлического и аэродинамического сопротивления камер;
- решение проблемы засоряемости форсунок и снижение трудоемкости их очистки в процессе эксплуатации.

Среди всех направлений совершенствования наиболее перспективным представляется оптимизация конструкции, геометрии и режима работы форсунок как наиболее вариативного элемента камеры орошения.

1.2 Классификация, преимущества и недостатки основных видов форсунок

Форсунка представляет собой исполнительное устройство для дробления жидкости на большое число мелких капель и распределения их в пространстве [6]. Важнейшим по значению элементом любой рассматриваемой форсунки является сопло.

Первоначально, во второй половине XIX века, форсунки были изобретены как приспособления для сжигания топлива (А. И. Шпаковский, В. Г. Шухов). Но таким же способом можно подавать не только нефтепродукты, но и любые жидкости в различных технологических процессах. В 1944 г. Г. Н. Абрамовичем разработана теория идеальной центробежной форсунки, которая базируется на принципе максимального расхода. Позднее она была подтверждена в работах Л. С. Клячко, Д. Тейлора и К. Баммерта.

Использование форсунок в камерах орошения кондиционеров обусловлено тем, что тепло- и влагообмен между водой и воздухом протекает более интенсивно, если воздух соприкасается не с плоской поверхностью воды, а с мелкими каплями. При разбрызгивании воды площадь ее поверхности, вступающая в контакт с воздухом, увеличивается. Например, при диаметре капелек 0,1 мм общая поверхность 1 л воды составляет 60 м². Также, у выпуклой поверхности капли разность парциальных давлений больше, чем у плоской, что приводит к большей интенсивности влагообмена [7].

Раздробление выходящей из отверстия форсунки воды достигается в результате одновременного сообщения воде поступательного и вращательного движений. Вращение придается с помощью различных приспособлений: втулок, направляющих грибков, двухходовых винтов, специальных камер с тангенциальным подводом воды и т.д. Кроме того, варьируются профиль и диаметры выходных отверстий форсунок, материалы изготовления (медь, латунь, бронза, пластмассы, керамические и другие материалы) и другие

параметры. Это обуславливает большое разнообразие существующих форсунок, как и множество подходов к их классификации.

В целом, можно разделить все форсунки на два основных вида:

- испарительные;
- распыливающие.

Наибольшее распространение в технике получили распыливающие форсунки. Их также можно классифицировать на следующие группы:

- струйные (открытая, закрытая);
- центробежные (одноступенчатые, двухступенчатые, перепускные, комбинированные);
- пневматические форсунки.

Наибольший интерес с точки зрения функциональности форсунки в условиях камеры орошения представляют струйные и центробежные форсунки, а также их различные комбинации. В изученной литературе дается некоторое сравнение этих типов форсунок, рассматриваются их достоинства и недостатки.

К преимуществам струйных форсунок относят:

- конструктивную простоту и относительно невысокую стоимость изготовления;
- сравнительно малые диаметры форсунок, что позволяет увеличить количество установленных форсунок при одной и той же площади.

Недостатками струйных форсунок считают:

- малую тонкость распыла;
- относительно малые углы факела (от 5 до 15 градусов);
- увеличенную длину зоны распыла, что приводит к увеличению объема и удельного веса камеры.

Центробежные форсунки имеют следующие достоинства:

- относительно большой угол распыла жидкости (от 70 до 120 градусов) при небольшой длине факела;
- более тонкий распыл по сравнению со струйными форсунками.

Недостатком центробежных форсунок считается их более сложное изготовление по сравнению со струйными.

1.3 Патентный поиск

По итогам анализа вышеуказанной литературы можно сделать вывод о том, что совершенствование работы форсунок камеры орошения достигается практическим путем – в результате многочисленных экспериментов с конструкцией форсунок. Поэтому в данных условиях целесообразно проведение патентного поиска.

Объектом патентного поиска являются форсунки различного конструктивного исполнения, относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов. Целью и задачей патентного поиска является определение уровня техники форсунки камеры орошения.

Патентный поиск осуществлялся по вопросам конструкций и принципа формирования факела форсунки, как имеющие определяющие значения для эффективной работы в составе камеры орошения. При этом уделялось особое внимание возможности выполнения основных требований к характеристикам форсунки таким как:

- дисперсность распыла;
- угол распыла;
- форма конуса распыла факела и др.

При анализе привлекалась информация об изобретениях, раскрытая в охранных документах. По фонду охранных документов в процессе поиска для дальнейшего анализа было отобрано 79 патентов с датой приоритета с 2000 года по 2015 год. Список отобранных для анализа источников приведен в Приложении А.

Кроме этого, при анализе рассматривались патенты по смежным направлениям с целью установления возможных прогрессивных подходов и реализуемых технических решений.

Следует отметить, что при выборе для анализа охранных документов предпочтение отдавалось отечественным патентам с ретроспективой 5 лет, так как в перспективе планируется процедура патентования, а указанный период характерен для наиболее прогрессивных технических решений.

Выше были перечислены преимущества и недостатки основных типов форсунок. Основная часть патентной документации как раз посвящена устранению указанных недостатков.

При детальном анализе документации были выделены следующие основные направления развития патентуемых технических решений:

1. Совершенствование конструкции завихрителей форсунки для формирования необходимой дисперсности и угла распыла.
2. Повышение износостойкости соплового аппарата форсунки и ее элементов с целью предотвращения их эрозии.
3. Установка дополнительных рассекателей, отбойников, распылителей и других конструкций с целью формирования заданной характеристики факела форсунки.
4. Оптимизация формы проточных каналов форсунки для уменьшения гидравлического сопротивления.
5. Установка дополнительных элементов, интегрированных в конструкцию форсунки (например, фильтр, распределитель и др.).
6. Позиционирование элементов конструкции форсунки относительно друг друга с целью обеспечения заданных зазоров и упрощения технологии сборки.
7. Использование или устранение эффекта кавитации для улучшения требуемых характеристик распыла форсунки.

Следует отметить, при анализе патентной документации установлено несколько «заградительных» патентов, причем такие патенты характерны для зарубежных стран заявителей.

На рисунке 4 представлено количество охранных документов, выданных за последние 6 лет.

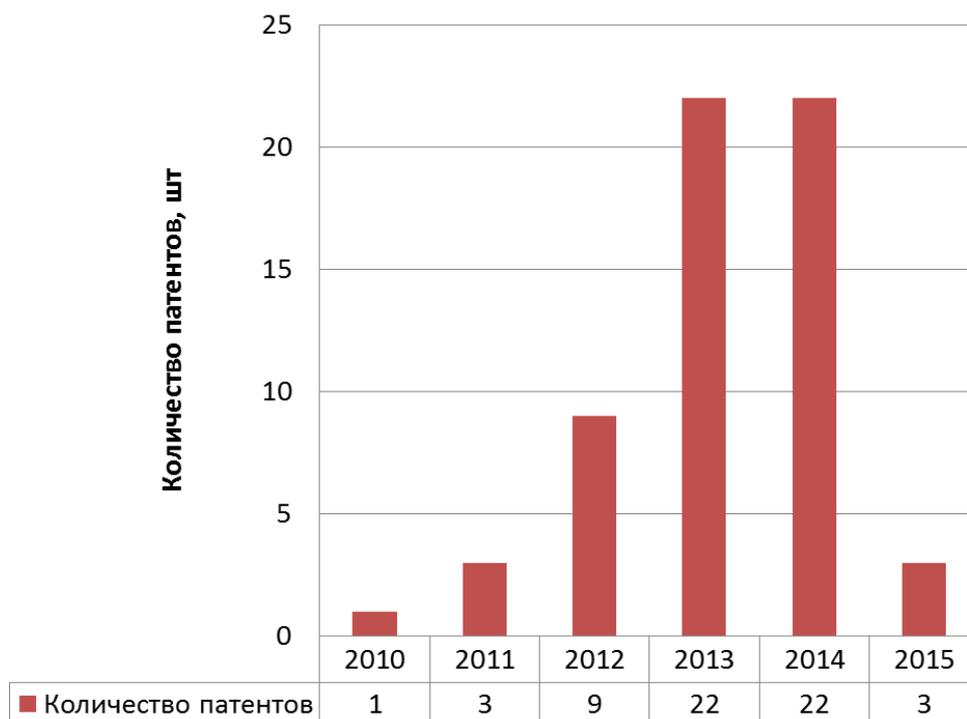


Рисунок 4 – Распределение выданных охранных документов по теме патентного поиска по годам (годам приоритета)

Из рисунка видно резкое увеличение количества зарегистрированных охранных документов (патентов).

Таким образом, в качестве итога данного аналитического обзора можно сделать следующие выводы:

1. Большое количество патентной информации свидетельствует о возрастающем интересе к объекту настоящего патентного поиска – форсункам, относящимся к средствам распыливания жидкостей, растворов.

2. Из анализа можно выделить ряд направлений дальнейшего совершенствования конструкции форсунок, которые практически не отражены в патентной документации. В частности:

- уменьшение гидравлического сопротивления корпуса форсунки во встречном потоке, с целью уменьшения загроможденности проходного сечения в котором она установлена;

- использование комбинированного воздействия на факел форсунки, например, ультразвуком для обеспечения заданной дисперсности распыла;
- способ формирования и использование неразборных конструкций форсунки и др.

Указанные направления могут быть предметом для дальнейшего патентного поиска, а технические решения, реализуемые в конструкции форсунки по указанным направлениям, патентоспособными.

2 Экспериментальные исследования форсунок камеры орошения

Как было установлено в главе 1 настоящей работы, форсунки камеры орошения имеют значительное многообразие. Для определения характеристик форсунок необходимо проведение многочисленных экспериментов.

2.1 Методика и программа определения характеристики форсунки оросительной камеры промышленного кондиционера

При выполнении работ принят экспериментальный метод исследований путем снятия характеристик форсунки, что объясняется необходимостью получения результатов, в наибольшей степени соответствующих реальным значениям исследуемого объекта, и невозможностью выполнения данных исследований теоретическим методом, в связи со сложностью исследуемых процессов и их теоретического описания.

2.1.1 Цель и объект испытаний

Целью работы является определение базовых характеристик форсунки камеры орошения в стендовых условиях.

При этом в процессе подготовки и проведения испытаний выполняются следующие работы:

- разрабатывается и создается испытательный стенд для определения характеристик исследуемой форсунки;
- испытательный стенд оснащается измерительным оборудованием в объеме, достаточном для определения базовых характеристик форсунки;
- проводятся подготовительные и пуско-наладочные работы;
- выполняются экспериментальные исследования;

- проводится текущий анализ результатов экспериментальных работ, по окончании которых выпускается отчетная документация.

Объектом испытаний является форсунка оросительной камеры промышленного кондиционера.

2.1.2 Условия и порядок проведения испытаний

Испытания проводятся на испытательном стенде, содержащем оборудование, достаточное для определения базовых характеристик форсунки, при температуре воздуха T_a от плюс 20 до плюс 40 °С и давлении, соответствующем диапазону среднестатистических значений изменения атмосферного давления.

Применяемые в испытаниях средства измерений должны иметь технические паспорта и действующие сроки поверок. В случае отсутствия аттестованных средств измерения допускается применять не аттестованные, однако при этом необходимо проведение не менее 3 повторных экспериментов на одном выбранном режиме с определением погрешностей по ГОСТ 8-207-76. При величине погрешности не более 5% средство измерений считается возможным к применению в данных испытаниях.

Экспериментальные работы производятся в соответствии с установленными законодательством требованиями по охране труда и техники безопасности.

2.1.3 Методы испытаний

2.1.3.1 Испытательный стенд

Для проведения испытаний лаборатория оснащается стендом для проливки форсунок. Принципиальная схема стенда представлена на рисунке 5.

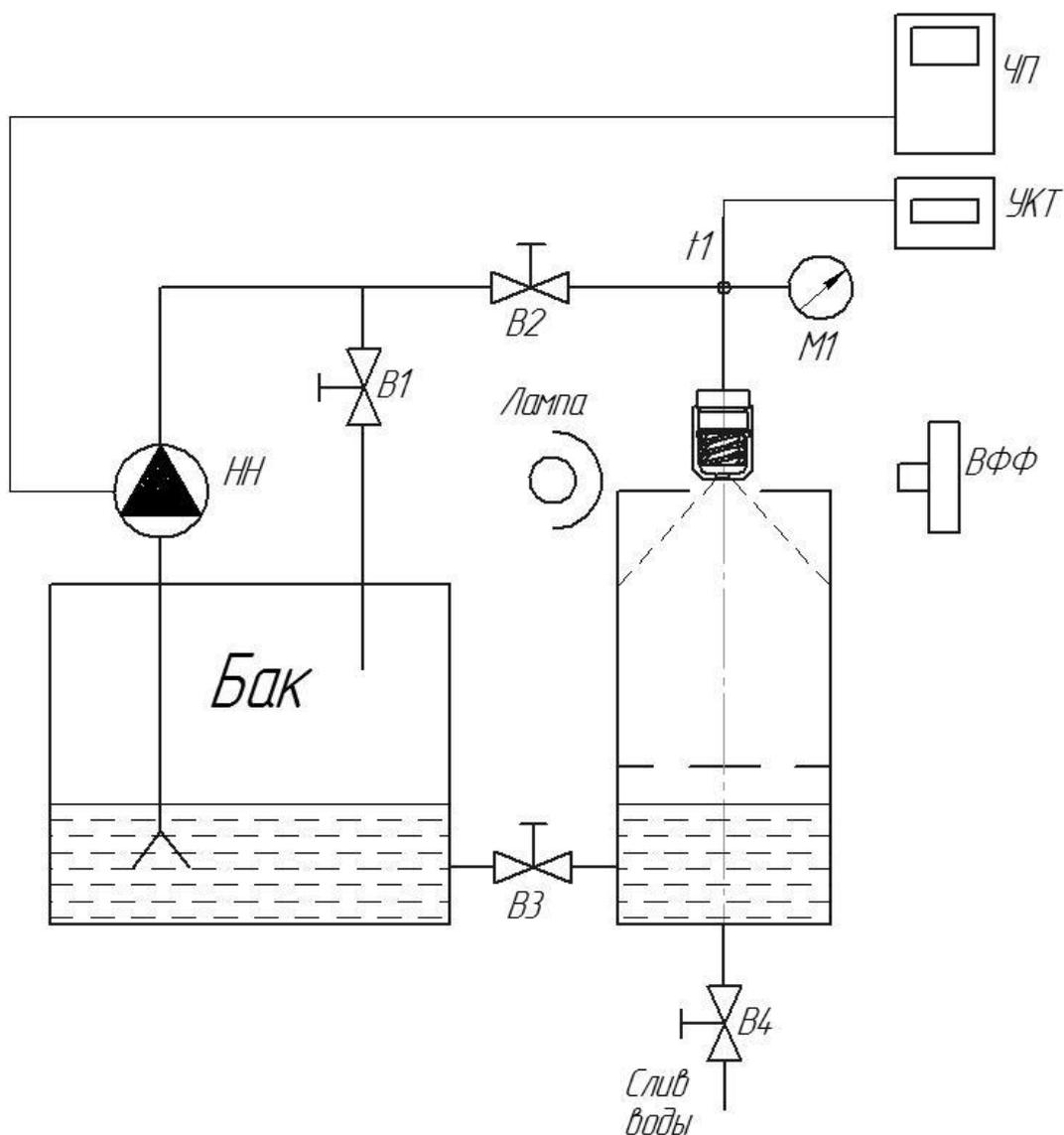


Рисунок 5 – Стенд для проливки форсунок

B1, B2, B3, B4 – вентиль; *НН* – насос напорный; *ЧП* – частотный преобразователь; *M1* – манометр; *t1* – датчик температуры; *УКТ* – преобразователь температуры; *ВФФ* – видео-фото фиксация

Стенд работает следующим образом. В бак заливается вода в объеме достаточном для обеспечения работы напорного насоса. Затем закрывают вентили *B2, B3, B4* и открывают вентиль *B1*. Затем включают *НН* и устанавливают частотным преобразователем режим работы *НН*. Далее открывают *B3* и *B2* и плавно закрывают *B1*. Включается лампа накаливания и регистрируется давление манометра *M1*, температуры *t1* и производится видео-фото фиксация. После проведенных измерений закрывают *B3* на определенное

время, которое фиксируется с помощью секундомера. При этом происходит заполнение испытательной камеры водой. При достижении уровня воды заданной отметки *НН* отключается. Затем производится оценка количества воды в испытательной камере путем ее слития в мерную тару через вентиль *В4*.

После подготовки лаборатории и стенда проводятся предварительные испытания, в результате которых определяются и уточняются необходимые параметры и настройки как самого стенда, так и измерительного оборудования.

2.1.3.2 Последовательность выполнения экспериментальной работы

Экспериментальная работа выполняется в следующей последовательности:

- производится заполнение рабочим телом (вода) бака стенда;
- включаются и прогреваются системы измерений, предусмотренные в стенде;
- включают *НН* и производится регистрация параметров работы форсунки согласно программе испытаний в соответствии с алгоритмом работы стенда п.

2.1.3.1;

- по окончании работ стенд выключается.

2.1.3.3 Порядок обработки и анализа результатов испытаний

Измерительная система стенда позволяет измерять следующие параметры:

- давление жидкости перед форсункой $p_{вх}$;
- массовый расход воды через форсунку $G_{в}$;
- давление окружающей среды $p_{а}$;
- температура окружающей среды $t_{а}$;
- угол распыла воды 2α .

В процессе проведения испытаний проводятся измерения следующих параметров, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Измеряемые при испытаниях параметры

№	Параметр измерения и наименование средств измерений	Тип, фирма	Класс точности или погрешность	Диапазон измерений
1	2	3	4	5
1	Температура окружающей среды: - термосопротивление	ТСП-Н Pt100	$\pm 2 \%$	(-50 ÷ 400) °C
2	Давление окружающей среды: - барометр-анероид	МД-49-2 №154	± 1	(600 ÷ 800) мм рт.ст.
3	Измеритель давления в магистрали	Манометр	Кл. т. 2,5	(0 ÷ 6,0) кгс/с ²
4	Канал измерений температуры - преобразователь - термопара	УКТ-38-Щ4- ТП ХК Т-49-5	$\pm 1 \%$ $\pm 2 \%$	(0 ÷ 1000) °C (-200 ÷ 1200) °C
5	Измеритель влажности окружающего воздуха	Гигрометр психометрический ВИТ-2	0,2	(10 ÷ 100) % относ. влажности

Количество регистрируемых параметров (каналов измерений), способ и средства измерения, с целью повышения точности измерений и получения

дополнительной информации о рабочем процессе могут изменяться в ходе выполнения работы. Средства, порядок и погрешность измерений, окончательно выбранных при проведении испытаний, должны быть отражены в итоговом отчете.

Регистрация результатов измерений производится в соответствии с предусмотренными данным типом устройств возможностями: манометров, термометров и т.д.

Обработка результатов испытаний выполняется в следующем порядке:

Результаты эксперимента представляются в Международной системе единиц СИ.

Перепад давления на форсунке, [Па]:

$$\Delta p = p_{ex} - p_a \quad (2.1)$$

где p_{ex} – давление воды на входе в форсунку, Па;

p_a – давление окружающей среды, Па.

Действительный массовый расход воды через форсунку:

$$G_B = \frac{V\rho}{\tau} \quad (2.2)$$

где V – объем воды поступивший в камеру измерения, м³;

ρ – плотность воды, 1000 кг/м³;

τ – время замера, с.

Идеальный массовый расход воды через форсунку:

$$G_B^{ид} = Fc\sqrt{2\rho\Delta p} \quad (2.3)$$

где Fc – площадь сопла форсунки, м²;

Δp – перепад давления на форсунке, Па.

ρ – плотность воды, 1000 кг/м³

Площадь сопла форсунки определяется по формуле:

$$Fc = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.4)$$

где d – диаметр сопла форсунки, м.

Коэффициент расхода форсунки:

$$\mu = \frac{G_B}{G_B^{н.д}} \quad (2.5)$$

Число Рейнольдса на входе в форсунку:

$$Re = \frac{w_{вх} d}{\nu} = \frac{2G_B}{\rho \nu \sqrt{\pi n b h}} \quad (2.6)$$

где ν - кинематическая вязкость воды;

n – количество заходов шнека, шт;

b, h – ширина и высота винтового канала соответственно, м;

Коэффициент трения:

$$\lg \lambda = \frac{25,8}{(\lg Re)^{2,58}} - 2 \quad (2.7)$$

Эквивалентная геометрическая характеристика форсунки

$$A_э = \frac{A}{1 + \frac{\lambda}{2} \left(\frac{R^2 \pi}{n b h} - A \right)} \quad (2.8)$$

где A - геометрическая характеристика центробежной форсунки

$$A = \frac{\pi R r_c}{n F_{вх}} \sin \beta \quad (2.9)$$

где β - угол наклона шнека;

$F_{вх}$ - площадь проходного сечения одного из каналов шнека, м²

Достоверность результатов обеспечивается повторным проведением экспериментов в ряде выбранных точек, а также статистической обработкой результатов измерений по ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».

По результатам испытаний выпускается протокол предварительных (приемочных) испытаний, содержащий первичные результаты и аннотированный отчет.

2.2 Результаты испытаний

В соответствии с разработанной программой и методикой был проведен ряд испытаний. Далее по тексту будут использованы следующие обозначения:

r_c – радиус носка форсунки, мм.;

R – средний радиус захода шнека форсунки, мм.;
 n – количество заходов шнека, шт.;
 b, h – ширина и высота винтового канала соответственно, мм.;
 β - угол наклона шнека, град.;
 $\Delta P_{вх}$ – перепад давления на форсунке, МПа (кгс/см²);
 $G_{в}$ – массовый действительный расход форсунки, кг/с;
 $G_{ид}$ – массовый идеальный расход форсунки, кг/с;
 μ – коэффициент расхода форсунки;
 Re – число Рейнольдса;
 A – геометрическая характеристика форсунки;
 $Aэ$ – эквивалентная геометрическая характеристика форсунки.

2.2.1 Серия испытаний №1

В ходе испытаний исследовались 3 различные форсунки. Результаты испытаний приведены в протоколах №№ 1, 2, 3.

2.2.1.1 Протокол испытаний №1

Исходные данные:

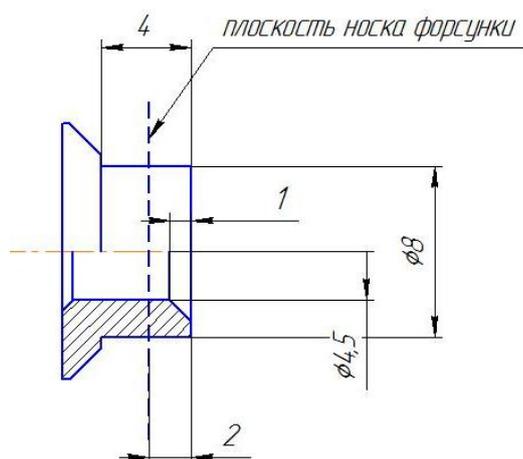
Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Поправка на показания весов – 199 грамма

Объект испытаний: форсунка №1



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	2,25	мм	
2	R	12	мм	
3	n	3	-	
4	b	3,8	мм	
5	h	4	мм	
6	β	75	град.	
7	$\sin\beta$	0,966	-	

Результаты испытаний:

№	$\Delta P_{ВХ}$, кгс/см ²	$\Delta P_{ВХ}$, МПа	Масса навески, г	Время измерения, с	Угол распыла, 2α
1	1	0,098	3072,8	31,35	 $2\alpha = 76 \text{ град.}$
2	2	0,196	2368,8	21,21	 $2\alpha = 78 \text{ град.}$
3	3	0,294	2914,1	20,81	 $2\alpha = 77 \text{ град.}$
4	3,1	0,304	3005,0	21,99	 $2\alpha = 75 \text{ град.}$

Результаты расчета:

№	$\Delta P_{ВХ}$, МПа	$G_{В}$, кг/с	$G_{ид}$, кг/с	μ	Re	A	Aэ
1	0,098	0,092	0,223	0,412	3707,031	1,796	1,304
2	0,196	0,102	0,315	0,325	4137,006	1,796	1,330
3	0,294	0,131	0,386	0,338	5276,196	1,796	1,382
4	0,304	0,128	0,392	0,326	5160,236	1,796	1,377

2.2.1.2 Протокол испытаний №2

Исходные данные:

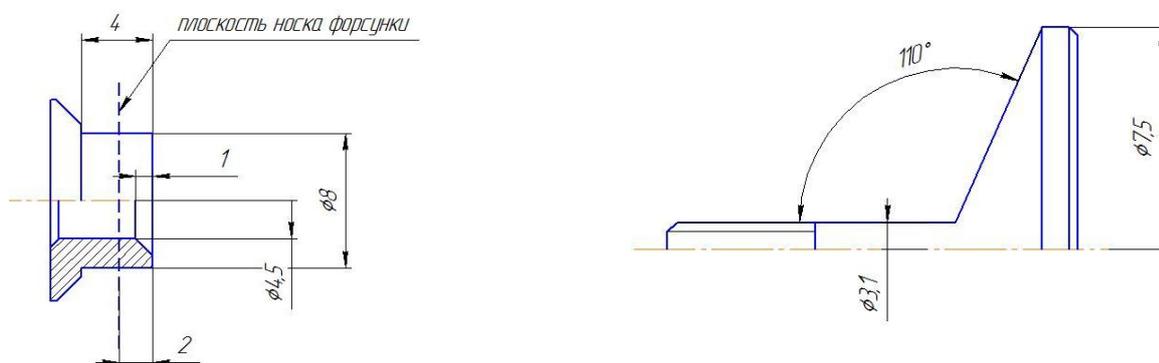
Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Поправка на показания весов – 199 грамма

Объект испытаний: форсунка №2



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	2,25	мм	
2	R	12	мм	
3	n	3	-	
4	b	3,8	мм	
5	h	4	мм	
6	β	75	град.	
7	$\sin\beta$	0,966	-	
8	$F_{вых}$	8,352	мм ²	

Результаты испытаний:

№	$\Delta P_{вх}$, кгс/см ²	$\Delta P_{вх}$, МПа	Масса навески, г	Время измерения, с	Угол распыла, 2α
1	1	0,098	1825,8	22,04	 $2\alpha = 92 \text{ град.}$
2	2	0,196	2293,6	23,50	 $2\alpha = 100 \text{ град.}$
3	3,1	0,304	2540,0	25,79	 $2\alpha = 102 \text{ град.}$

Результаты расчета:

№	$\Delta P_{вх}$, МПа	Gв, кг/с	Gид, кг/с	μ	Re	A	Aэ
1	0,098	0,074	0,117	0,631	2984,900	1,796	1,245
2	0,196	0,089	0,165	0,539	3604,462	1,796	1,297
3	0,304	0,091	0,206	0,441	3670,771	1,796	1,301

2.2.1.3 Протокол испытаний №3

Исходные данные:

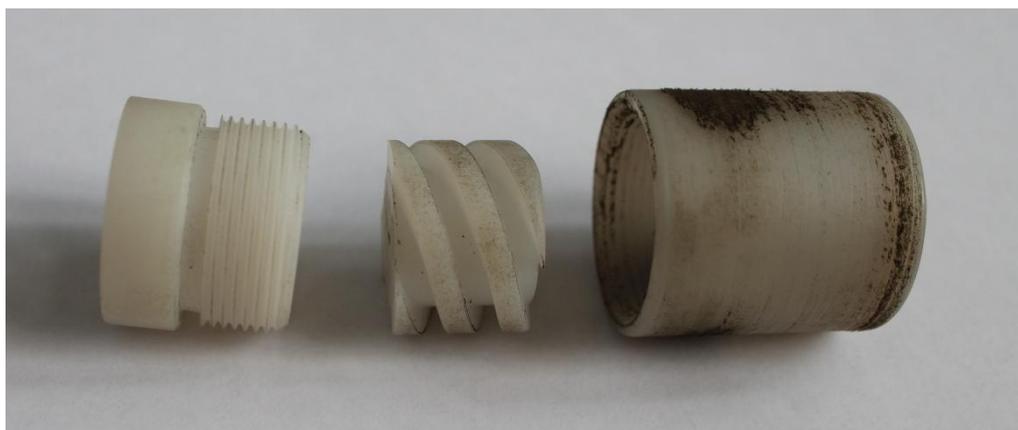
Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Поправка на показания весов – 199 грамма

Объект испытаний: форсунка №3



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	3,7	мм	
2	R	12	мм	
3	n	3	-	
4	b	3,8	мм	
5	h	4	мм	
6	β	75	град.	
7	$\sin\beta$	0,966	-	

Результаты испытаний:

№	$\Delta P_{вх}$, кгс/см ²	$\Delta P_{вх}$, МПа	Масса навески, г	Время измерения, с	Уголраспыла, 2α
1	1,5	0,147	3136,7	12,10	 $2\alpha = 109$ град.

Результаты расчета:

№	$\Delta P_{вх}$, МПа	$G_{в}$, кг/с	$G_{ид}$, кг/с	μ	Re	A	$A_{э}$
1	0,147	0,243	0,737	0,329	9818,14	2,953	2,492

2.2.2 Серия испытаний №2

В ходе испытаний исследовались одна из форсунок предыдущей серии испытаний (№1) и 4 другие форсунки. Результаты испытаний приведены в протоколах №№ 3-8.

2.2.2.1 Протокол испытаний №4

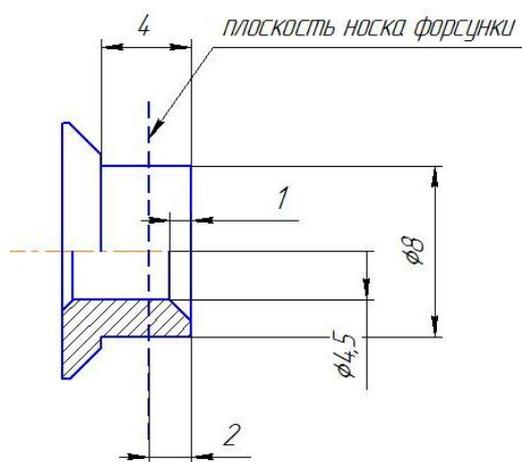
Исходные данные:

Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Объект испытаний: форсунка №1



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	2,25	мм	
2	R	12	мм	
3	n	3	-	
4	b	3,8	мм	
5	h	4	мм	
6	β	45	град.	

№	Показан ия расходо мера	τ, c	$\Delta P_{вх},$ кгс/см ²	Фотография	2α	$G_{\text{воды}}$ кг/ч
1	486/496	109	0,5		71,43	330,12
2	497/507	87	1		70,26	410,4
3	508/518	81	1,5		69,6	442,8

4	519/529	77	2		71,31	464,4
---	---------	----	---	--	-------	-------

2.2.2.2 Протокол испытаний №5

Исходные данные:

Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Объект испытаний: форсунка №2



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	2,0	мм	
2	R	10,0	мм	
3	n	3,0	-	
4	b	4,0	мм	
5	h	4,0	мм	
6	β	45	град.	

Результаты испытаний:

№	Показания расхода	$\tau, \text{с}$	$\Delta P_{\text{ВХ}}, \text{кгс/см}^2$	Фотография	2α	$G_{\text{ВОДЫ}}, \text{кг/ч}$
1	530/540	75	0,5		53,4	478,8
2	542/552	64	1		54,23	562,5
3	553/563	56	1,5		56,18	642,6

2.2.2.3 Протокол испытаний №6

Исходные данные:

Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Объект испытаний: форсунка №3



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	2,0	мм	
2	R	10,0	мм	
3	n	3,0	-	
4	b	4,0	мм	
5	h	4,0	мм	
6	β	45	град.	

Результаты испытаний:

№	Показания расхода	τ, c	$\Delta P_{вх}, \text{кгс/см}^2$	Фотография	2α	$G_{\text{воды}} \text{ кг/ч}$
1	565/575	69	0,5		50,51	521,6
2	582/592	59	1		52,31	608,4
3	594/604	53	1,5		53,47	676,8

2.2.2.4 Протокол испытаний №7

Исходные данные:

Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Объект испытаний: форсунка №4



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	2,0	мм	
2	R	10,0	мм	
3	n	3,0	-	
4	b	4,0	мм	
5	h	4,0	мм	
6	β	45	град.	

Результаты испытаний:

№	Показания расхода	$\tau, \text{с}$	$\Delta P_{\text{вх}}, \text{кгс/см}^2$	Фотография	2α	$G_{\text{воды}}, \text{кг/ч}$
1	606/616	76	0,5		50,23	473,4
2	617/627	65	1		49,56	553,7
3	629/639	57	1,5		49,22	631,4

2.2.2.5 Протокол испытаний №8

Исходные данные:

Атмосферное давление – 765 мм.рт. ст.

Температура окружающей среды – 20 С

Температура сетевой воды – 15 С

Объект испытаний: форсунка №5



Геометрические характеристики:

№	Геометрический параметр	Значение	Размерность	Примечание
1	r_c	2,0	мм	
2	R	10,0	мм	
3	n	3,0	-	
4	b	4,0	мм	
5	h	4,0	мм	
6	β	45	град.	

Результаты испытаний:

№	Показания расхода	$\tau, \text{с}$	$\Delta P_{\text{вх}}, \text{кгс/см}^2$	Фотография	2α	$G_{\text{воды}}, \text{кг/ч}$
1	642/652	70	0,5		42,21	511,2
2	655/665	61	1		40,56	590,4
3	667/677	56	1,5		41,10	640,8

По итогам серии испытаний №2 можно сделать вывод о производительности каждой из испытываемых форсунок.

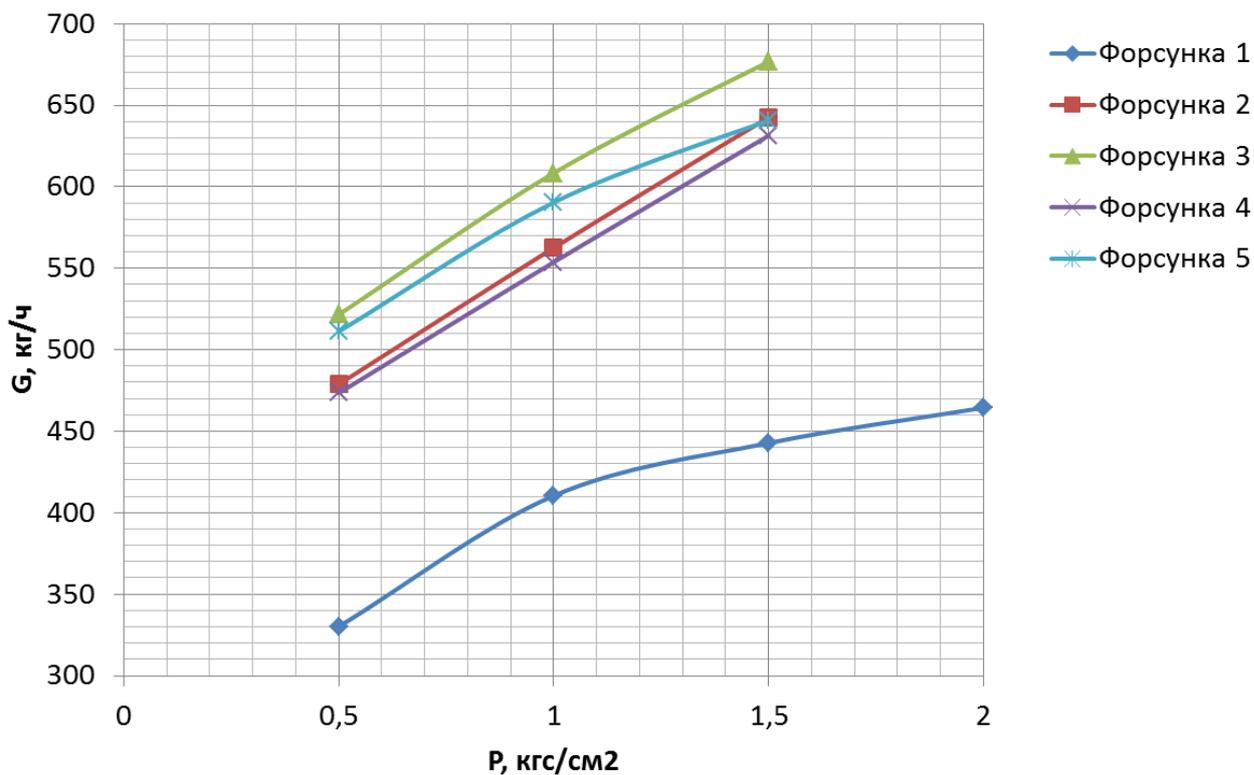


Рисунок 6 - Сравнение производительности форсунок

В целом по итогам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что таким образом можно испытывать любые виды форсунок. А полученные результаты позволяют определить пути совершенствования конструкции форсунок.

3 Рекомендации для теплотехнического и конструкторского расчета оросительных камер систем кондиционирования воздуха и вентиляции производственных помещений

По итогам проведенных испытаний, описанных в главе 2, разработан ряд рекомендаций для теплотехнического и конструкторского расчета оросительных камер, применяемых в системах кондиционирования воздуха и вентиляции. В рекомендациях приводятся данные, необходимые для расчета одноступенчатых камер орошения.

3.1. Общие теоретические сведения

Процессы, происходящие при непосредственном контакте воздуха с водой в различных оросительных камерах, выражаются следующими безразмерными зависимостями:

Для полного теплообмена:

$$\Delta J = A (1 + M_1 R) R^p \cdot B^m \quad (3.1)$$

Для явного теплообмена

$$\Delta T_c = (C + K \cdot M_1) B^n \quad (3.2)$$

где A, C, K – коэффициенты пропорциональности;

p, m, n – показатели степени;

$$\Delta J = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_p} \text{ - относительное изменение теплосодержания воздуха;}$$

$$\Delta T_c = \frac{tc_1 - tc_2}{tc_1 - tp} \text{ - относительное изменение температуры воздуха;}$$

J_1 и J_2 - теплосодержания воздуха до и после орошения в ккал/кг

tc_1 и tc_2 - температура воздуха по сухому термометру до и после орошения в град;

J_p и tp - теплосодержание и температура точки росы воздуха до орошения в ккал/кг и град.;

$\Delta t_p = t_{c1} - t_p$ - гигрометрическая разность температур воздуха в град

$J_1 - J_2 = C_p (t_{c1} - t_p)$ - гигрометрическая разность теплосодержания воздуха в ккал/кг;

$t_{вн}$ - начальная температура распыляемой воды в град;

$t_p - t_{вн}$ - температурный аналог движущей силы влагообмена в град;

$M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p}$ - температурный критерий, учитывающий начальные

параметры воздуха и воды;

$B = \frac{W}{G}$ - коэффициент орошения

W – количество распыляемой воды в кг/ч;

G - количество обрабатываемого воздуха в кг/ч;

C_p - теплоемкость влажного воздуха в ккал/кг град.

Критерий R , входящий в уравнение (3.1) и учитывающий влияние влагообмена на теплообмен, определяется по следующей формуле:

$$R = 1 + \frac{r\beta p}{\alpha} \cdot a = 1 + 2,34a, \quad (3.3)$$

где $a = \frac{P_n - P_{вн}}{t_p - t_{вн}}$ - коэффициент пропорциональности, в мм.рт.ст/град;

P_n и $P_{вн}$ - парциальные давления водяного пара в состоянии насыщения соответственно при температурах t_p и $t_{вн}$ в мм рт.ст.;

$\frac{\alpha}{\beta p}$ - отношение коэффициентов тепло- и влагообмена;

Для обычных условий работы оросительных камер и градирен $\frac{\alpha}{\beta p} \approx 0,34$

ккал ат/кг град;

r - скрытая теплота парообразования. принимаемая для средних условий равной 585 ккал/кг;

Для определения критерия R может служить также приближенная формула:

$$R = 1,795 + 0,022 (t_p + t_{вн}) + 0,00077(t_p^2 + t_p \cdot t_{вн} + t_{вн}^2)$$

Физический смысл уравнений (3.1) и (3.2) и входящих в них величин заключается в следующем.

Уравнение (3.1) характеризует полный теплообмен между воздухом и водой в форсуночных охладителях, а уравнение (3.2) характеризует явный теплообмен.

Безразмерная величина ΔJ характеризует изменение теплосодержания обрабатываемого воздуха в процессе орошения его водой. Безразмерная величина ΔT_c – характеризует изменение температуры воздуха при его обработке в оросительной камере.

Температурный критерий M_I учитывает начальные параметры взаимодействующих сред воздуха и воды и представляет собой отношение температурного аналога движущей силы влагообмена $(t_p - t_{вн})$ к начальной гигрометрической разности температур воздуха $(t_{cI} - t_p)$.

В зависимости от абсолютных значений t_p , $t_{вн}$ и t_c при $M_I = const$ может иметь место различная величина движущей силы влагообмена $\Delta P = P_n - P_{вн} = a(t_p - t_{вн})$ поэтому один критерий M_I характеризует температурные условия только при явном теплообмене (уравнение 3.2).

Критерий R учитывает влияние влагообмена на теплообмен и определяет действительную величину движущей силы влагообмена, которая зависит от абсолютных значений t_p и $t_{вн}$ входящих в разность $(t_p - t_{вн})$.

Произведение критериев $M_I \cdot R$ характеризует отношение движущей силы влагообмена к начальной гигрометрической разности температур обрабатываемого воздуха и поэтому используется для характеристики полного теплообмена (уравнение 3.1). Это же произведение критериев $M_I \cdot R$ характеризует и отношение движущей силы влагообмена к движущей силе теплообмена $(t_p - t_{вн})$.

Критерий B , или как его обычно называют коэффициент орошения, представляет собой отношение весовых скоростей воздуха $V \gamma$ и воды $\square \gamma$ в

поперечном сечении оросительной камеры $B = V\gamma/\square\gamma$ и характеризует гидродинамические условия тепло и влагообмена.

Таким образом, тепло- и влагообмен в оросительных камерах, оцениваемый величинами ΔJ и ΔT_c , характеризуется как температурными, так и гидродинамическими /критерий B / условиями обмена.

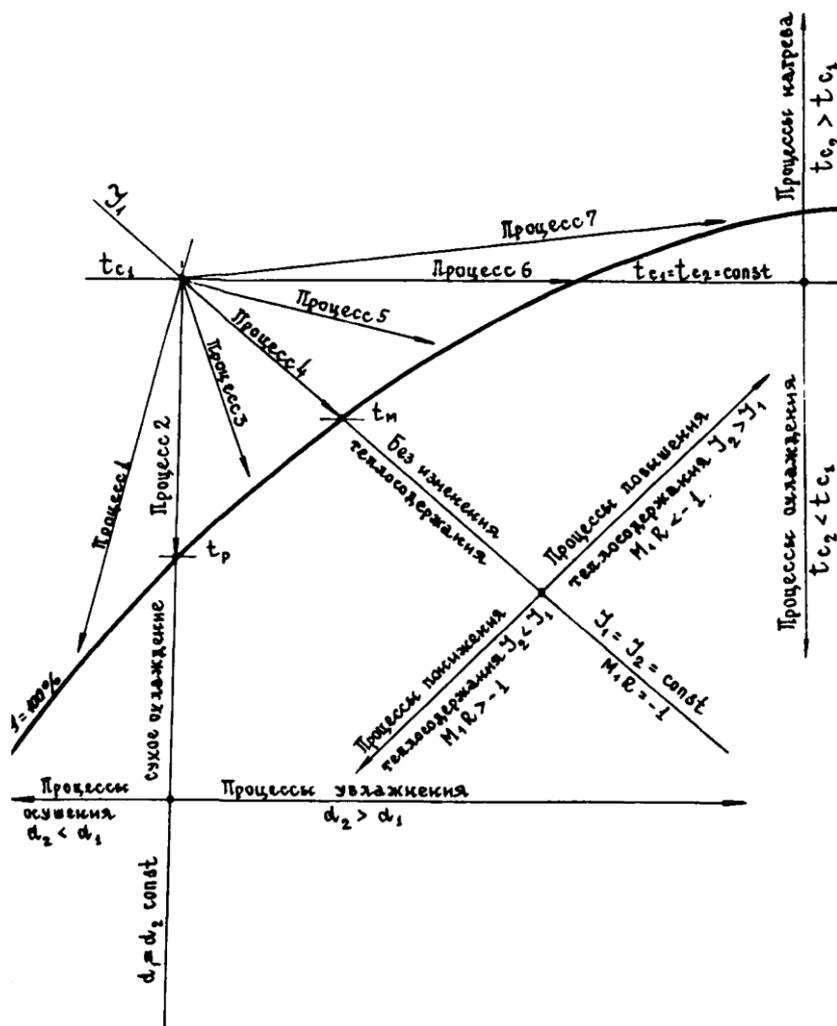


Рисунок 7 – Схема процессов протекающих при непосредственном контакте воздуха с водой

Графическая интерпретация величин $\Delta J, \Delta T_c, M_1, R$ и a применительно к процессам охлаждения в осушения воздуха представлена на рисунке 8.

При непосредственном контакте воздуха с водой могут происходить семь различных процессов тепло- и влагообмена (см. рисунок 7), которые разделяются на три группы.

А. Процессы, протекающие с появлением теплосодержания, характеризуются тремя режимами влагообмена при охлаждении воздуха:

- процесс 1 - осушение и охлаждение воздуха $/d_1 < d_2/$;
- процесс 2 - без изменения влагосодержания/сухое охлаждение $d_1 = d_2$;
- процесс 3 - увлажнение в охлаждение воздуха $/d_1 > d_2/$.

Б. Процессы без изменения теплосодержания обрабатываемого воздуха. К этой группе (см. рисунок 7) относится только один процесс 4 - процесс адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха ($d_1 > d_2$).

В. Процессы, сопровождающиеся повышением теплосодержания, характеризуется тремя режимами теплообмена при увлажнении воздуха.

- процесс 5 - охлаждение в увлажнение воздуха ($tc_2 < tc_1$);
- процесс 6 - изотермическое увлажнение воздуха ($tc_2 = tc_1$);
- процесс 7 - нагрев и увлажнение воздуха ($tc_2 > tc_1$).

Проведение перечисленных выше процессов обработки воздуха в оросительных камерах зависит от взаимного соотношения трех величин:

- начальной температуры распыляемой воды $t_{вн}$;
- начальных параметров обрабатываемого воздуха (tc_1 и t_p);
- коэффициента орошения В.

Эти величины входят в расчетные уравнения (3.1) и (3.2).

$\Delta t_p = tc_1 - t_p$ - гигрометрическая разность;

$\Delta J = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_p} = \frac{J_1 - J_2}{0.24(tc_1 - t_p)}$ - относительное изменение теплосодержания воздуха;

$\Delta T_c = \frac{tc_1 - tc_2}{tc_1 - t_p}$ - относительное изменение температуры воздуха;

$M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{tc_1 - t_p}$ - температурный критерий, учитывающий начальные параметры

воздуха и воды;

$R = 1 + \frac{r\beta p}{\alpha} \cdot a = 1 + 2,34a$ - критерий, учитывающий влияние влагообмена на

теплообмен

$a = \frac{P_n - P_{вн}}{t_p - t_{вн}}$ - коэффициент пропорциональности, в мм.рт.ст/град;

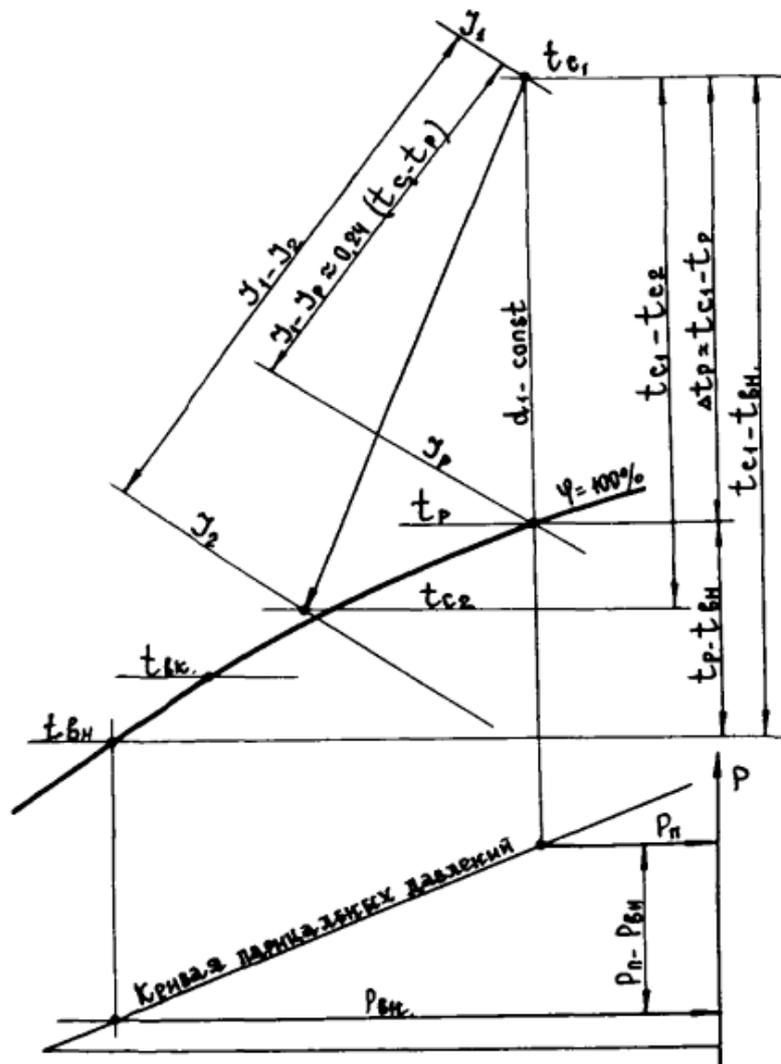


Рисунок 8 - Графическая интерпретация расчетных величин $\Delta J, \Delta T_c, M_1, R$ и a в $J - d$ - диаграмме.

Произведение критериев $M_1 \cdot R = -1$ является основным граничным условием, разделяющим три группы процессов:

- с повышением теплосодержания;
- без изменения теплосодержания;
- с понижением теплосодержания.

Оно непосредственно следует из обобщающих уравнений типа (3.1) и было получено из решения дифференциального уравнения для адиабатических процессов.

Развернутый вид обобщающего уравнения (3.1) относительно разности теплосодержания воздуха раскрывает составные части процессов полного теплообмена.

$$\Delta J = J_1 - J_2 = ACp (t_{c1} - t_p) R^p \cdot B^m + ACp (t_p - t_{\text{вн}}) R^{1+p} \cdot B^m \quad (3.4)$$

Из уравнения (3.4) следует, что разность ΔJ охлаждаемого воздуха состоит из двух слагаемых. Первое определяется начальной гигрометрической разностью температур $(t_{c1} - t_p)$, а второе - величиной температурного аналога движущей силы влагообмена $(t_p - t_{\text{вн}})$. Чем меньше значение $(t_{c1} - t_p)$, т.е. чем больше относительная влажность воздуха ϕ_1 , тем незначительнее доля первого слагаемого в общем теплообмене.

При $(t_{c1} - t_p) = 0$ и $\phi_1 = 100\%$ величина первой составляющей в уравнении равна нулю. При этом условии получены уравнения для расчета процессов обработки насыщенного воздуха.

Уравнения (3.1) и (3.2) применимы для описания процессов тепло- и влагообмена происходящих в оросительных камерах различных конструкций. Структура указанных уравнений не зависит от конструктивных характеристик камер.

В зависимости от конструктивных характеристик камер, т.е. от диаметра выходных отверстий форсунок d_0 , плотности их расположения на стояках n , числа рядов стояков Z и от взаимных направленных движения воздуха и воды, в уравнениях (3.1) и (3.2) изменяются только величины показателем степени m и n у коэффициента орошения B и величины коэффициентов A, C и K .

От размеров площади поперечного сечения оросительных камер ψ у величины A, C и K и показатели m и n , при всех прочих равных конструктивных характеристиках, практически не зависят.

Обобщающие уравнения применимы для расчета процессов изменения состояния воздуха с различными начальными параметрами. В том числе эти уравнения справедливы и для расчета процессов охлаждения или нагрева насыщенного воздуха при $\phi_1=100\%$. При постоянном произведении критериев $M_1 \cdot R$ величины ΔJ не зависят от гигрометрической разности температур ($t_{c1}-t_p$), т.е. при $M_1 R - const$

$$\Delta J \neq f(t_{c1}-t_p)$$

Для получения частных расчетных зависимостей для охлаждения насыщенного воздуха при $\phi_1=100\%$ обобщающие уравнения следует представить в развернутом виде и приравнять к нулю первое слагаемое в уравнение (4), так как $(t_{c1}-t_p)=0$.

При этом расчетная формула для процессов охлаждения насыщенного воздуха приобретет следующий вид;

$$\Delta J = J_1 - J_2 = ACp (t_p - t_{\text{вн}}) R^{1+p} \cdot B^m \quad (3.5)$$

Таким же способом могут быть получены и частные расчетные формулы для охлаждения воздуха с различными начальными параметрами при конкретных значениях $(t_{c1}-t_p) \neq 0$.

При расчетах оросительных камер на режимах охлаждения и осушения воздуха возникает необходимость определения величины коэффициента влаговываждения. Коэффициент влаговываждения определяется по следующей формуле:

$$\zeta = 1,04(1 + M_2 \cdot R') P^{0.3} \cdot B^{0.18}, \quad (3.6)$$

где $M_2 = \frac{t_p - t_{\text{вн}}}{t_{c1} - t_{\text{вн}}}$ - температурный критерий, представляющий отношение температурного аналога движущей силы влагообмена к движущей силе теплообмена;

$R' = R - 1 = \frac{r\beta p}{\alpha} \cdot a$ - критерий, учитывающий влияние влагообмена на теплообмен.

3.2 Расчет адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха

Процессы адиабатического увлажнения воздуха без изменения его теплосодержания ($J_1 \approx J_2$, $\Delta J = 0$, $\overline{\Delta J} = 0$) протекают в оросительных камерах при рециркуляции распыляемой воды, которая при этом приобретает температуру мокрого термометра обрабатываемого воздуха ($t_{MI} \approx t_{\text{вн}} \approx t_{\text{вк}}$).

При адиабатическом увлажнении воздуха с различными начальными параметрами величина произведения критериев $M_1 R = -1$. Это значение сохраняется постоянным, при проведении адиабатических процессов в различных теплообменах аппаратах при непосредственном контакте воздуха с рециркуляционной водой.

При $M_1 R = -1$ величины ΔJ и $\overline{\Delta J}$ равны 0 (см. формулу 3.1). Поэтому расчет адиабатических процессов производится по перепадам температур воздуха, определяемым по уравнению:

$$\Delta T_c = D \cdot R^k \cdot B^n \quad (3.7)$$

где D – коэффициент пропорциональности.

Расчет процессов адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха в оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значениям критерия ΔT_c .

Из литературных источников известны значения коэффициентов пропорциональности и показателей степени для камер орошения различных конструктивных исполнений. Рекомендованные значения представлены в таблице 2.1.

Таблица 2 - Значения коэффициентов пропорциональности и показателей степени для камеры орошения

<i>Конструктивное исполнение камеры орошения</i>	<i>D</i>	<i>k</i>	<i>n</i>
<i>Однорядные камеры (Z = 1)</i>	<i>0,331</i>	<i>0,56</i>	<i>0,4</i>
<i>Двухрядные камеры (Z = 2)</i>	<i>0,304</i>	<i>0,56</i>	<i>0,35</i>

Таким образом, для однорядного расположения форсунок в камере орошения уравнение (3.7) примет вид:

$$\Delta T_c = 0.331 \cdot R^{0.56} \cdot B^{0.4} \quad (3.8)$$

3.3 Определение коэффициента орошения и производительности насоса

Критерий B , или как его обычно называют коэффициент орошения, представляет собой отношение весовых скоростей воздуха V_γ и воды \square_γ в поперечном сечении оросительной камеры $B = V_\gamma / \square_\gamma$ и характеризует гидродинамические условия тепло и влагообмена.

Из уравнения (3.8) коэффициент орошения равен:

$$B = 0.4 \sqrt[0.4]{\frac{\Delta T_c}{0.331 \cdot R^{0.56}}} \quad (3.9)$$

где $\Delta T_c = \frac{tc_1 - tc_2}{tc_1 - tp}$ - относительное изменение температуры воздуха

R – критерий, учитывающий влияние влагообмена на теплообмен и определяемый по формуле:

$$R = 1,795 + 0,022 (t_p + t_{вн}) + 0,00077(t_p^2 + t_p \cdot t_{вн} + t_{вн}^2)$$

В случае идеального адиабатического процесса:

$$\Delta T_c = \frac{tc_1 - t_m}{tc_1 - tp} \quad (3.10)$$

$$R = 1,795 + 0,022 (t_p + t_m) + 0,00077(t_p^2 + t_p \cdot t_m + t_m^2) \quad (3.11)$$

Значения, входящие в формулы 3.9 – 3.11 можно определить по $J-d$ диаграмме или по известным расчетным зависимостям.

Весовая скорость воздуха определяется:

$$V_\gamma = V \cdot \rho / F = G_{возд} / F \quad (3.12)$$

где V – объемный расход воздуха через сечение камеры орошения ($\text{м}^3/\text{с}$);

ρ - плотность воздуха на входе в камеру орошения ($\text{кг}/\text{м}^3$);

F – площадь поперечного сечения камеры орошения (м^2);

$G_{возд}$ – массовый расход воздуха (кг/с).

Известно, что предпочтительные скорости потока воздуха в канале, с целью уменьшения гидравлического сопротивления, лежат в диапазоне до 3-5 м/с. Таким образом, значения весовой скорости воздуха в сечении камеры орошения будет составлять:

$$V\gamma = \rho * \omega$$

где ρ - плотность воздуха на входе в камеру орошения (кг/м³);

ω - скорость воздушного потока в сечении камеры орошения.

Если принять плотность воздуха на входе в камеру орошения $\rho = 1,2$ (кг/м³), значения весовой скорости составит 3,6 и 6 кг/м²с соответственно для 3 и 5 м/с соответственно.

Анализ литературы показывает, что рекомендованная весовая скорость воздуха ($V\gamma$) должна находиться в диапазоне от 1,6 до 3,0 кг/м²с.

С учетом выше изложенного весовая скорость воды ($\square\gamma$) будет определяться как:

$$\square\gamma = V\gamma/B \quad (3.13)$$

Требуемый массовый расход воды, кг/с:

$$G_{воды} = \square\gamma F \quad (3.14)$$

где F – площадь поперечного сечения камеры орошения (м²).

Производительность насоса (м³/ч) определяется как:

$$Q = G_{воды} * 3600/1000 = 3,6 * G_{воды} \quad (3.15)$$

Пример определения коэффициента орошения и производительности насоса.

Исходные данные:

Температура воздуха на входе в оросительную камеру $t_{Cl} = 28C$

Влажность воздуха $\phi_1 = 30\%$

Расход воздуха через камеру орошения $V = 0,63$ м³/с

Камера орошения однорядного исполнения.

Площадь поперечного сечения камеры орошения $F = 0,45$ м²

Определить: V и $G_{\text{воды}}$ необходимые для обеспечения адиабатического охлаждения воздуха в камере орошения.

Решение:

По $J-d$ диаграмме определим температуру мокрого термометра и температуру точки росы:

$$t_m = 16,6 \text{ C}$$

$$t_p = 8,8 \text{ C}$$

Плотность воздуха на входе: $\rho = 1,17 \text{ кг/м}^3$

Относительное изменение температуры воздуха $\Delta T_c = (28-16,6)/(28-8,8)=0,6$

Критерий, учитывающий влияние влагообмена на теплообмен

$$R = 1,795 + 0,022 (t_p + t_m) + 0,00077(t_p^2 + t_p \cdot t_m + t_m^2) = 2.738$$

Коэффициент орошения:

$$B = 0,4 \sqrt{\frac{\Delta T_c}{0,331 \cdot R^{0,56}}} = 1$$

Весовая скорость воздуха: $V\gamma = V \cdot \rho / F = 0,63 \cdot 1,17 / 0,45 = 1,64 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$

Весовая скорость воды: $\square\gamma = V\gamma / B = 1,64 / 1 = 1,64 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$

Массовый расход воды: $G_{\text{воды}} = \square\gamma F = 1,64 \cdot 0,45 = 0,74 \text{ кг/с}$

Производительность насоса: $Q = 3,6 \cdot 0,74 = 2,66 \text{ м}^3/\text{ч}$

3.4 Определение оптимальной геометрии форсунки

Выбор геометрических параметров форсунки, обеспечивающих наилучшие условия распыла жидкости и лучшую эффективность протекания термодинамического процесса, является сложной технической задачей. Для уменьшения числа возможных факторов, влияющих на эффективность процесса, воспользуемся известными рекомендациями по проектированию камер орошения.

Для осуществления адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха применяют однорядные и двухрядные оросительные камеры. Выберем за прототип однорядную камеру, как более простую с точки зрения конструкции.

В однорядных камерах используют противоточный распыл воды (факел форсунки направлен навстречу потоку воздуха). Такое решение позволяет добиться значительных относительных скоростей движения капель жидкости по отношению к воздуху. Чем больше величина относительной скорости истечения, тем длина волны неустойчивого возмущения оказывается меньше. Как следствие меньше оказываются толщины отделившихся колец и размеры получающихся капель. При достаточно большой относительной скорости наступает режим распыливания; с поверхности струй срываются гребни мельчайших волн, состоящие из скопления мельчайших капель.

Как показывает практика, обычно в камерах, предназначенных только для адиабатических процессов, применяют форсунки диаметром 3 - 8 мм. Применение форсунок диаметром меньше 3 мм. нерационально вследствие возможности их засорения в ходе эксплуатации. Применение форсунок с диаметром больше 8 мм. также не рационально, т.к. с одной стороны размеры форсунки не позволяют обеспечить заданную дисперсность распыла жидкости, с другой стороны, такие форсунки имеют значительный расход жидкости, что приводит к увеличенному потреблению энергии.

Следует отметить, что на качество распыла жидкости значительное влияние оказывает эффект вторичного дробления капли. Определяющей в этом случае величиной характеризующей эффективность распыла является число Вебера.

$$We = \frac{\rho_{\Gamma} U^2 d_{\kappa}}{\sigma_{\text{ж}}}, \quad (3.16)$$

где: d_{κ} - диаметр капли;

$\sigma_{\text{ж}}$ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

ρ_{Γ} - плотность окружающего газа;

U - относительная скорость капли.

Установлены следующие характерные значения критерия Вебера. При $We < 10,7$ капля в потоке деформируется, но еще не распадается; при $We = 10,7$ достигается нижний предел дробления – капля разрушается на две части, при этом из общего числа капель распадается 10-20 %. По мере увеличения критерия Вебера в интервале $10,7 < We < 14$ капля разделяется на 3, 4, 5, и т.д. капелек и % раздробившихся капель возрастает. При $We = 14$ достигается верхний предел дробления - все 100% капель дробятся на множество мелких частиц (режим распыливания капли), и далее при всех $We > We_{кр} = 14$ режим дробления капель сохраняется. Образующиеся капли будут тем мельче, чем больше величина We .

При попадании капли в поток аэродинамические силы деформируют и одновременно увлекают ее, относительная скорость обдува капли и критерий We при этом уменьшаются. Если время достижения критической фазы деформации $\tau_{кр.деф}$ будет меньше времени ее увлечения до уровня $We_{кр}$, то произойдет дробление капли. Если время достижения критической фазы $\tau_{кр.деф}$ будет больше времени увлечения капли до уровня $We_{кр}$ то деформация капли, достигнув некоторого максимума, начнет постепенно спадать и капля снова, по мере снижения относительной скорости U , будет приближаться к шару. Время достижения критической фазы $\tau_{кр.деф}$

$$\tau_{кр.деф} = 1,65 \frac{d_k}{U_0} \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_{г}}}, \quad (3.17)$$

где U_0 - начальное значение скорости обдува капли

3.4.1 Оценка требуемых параметров форсунки для обеспечения вторичного дробления капли

Определим скорость потока на выходе из сопла форсунки. Скорость зависит от диаметра носка форсунки, перепада давления. Плотность жидкости

считаем постоянной $\rho_{жс} = 1000$ кг/м³. Тогда скорость воды на выходе из форсунки равна:

$$U = G_{\phi} / (F \cdot \rho_{жс}) \quad (3.18)$$

где U - скорость потока на выходе из форсунки, м/с;

F - площадь сечения носка форсунки, м²;

$\rho_{жс}$ - плотность жидкости, кг/м³;

G_{ϕ} - фактический массовый расход воды через форсунку, кг/с.

Диаметр капли принимали расчетной величиной, используя формулу А. С. Лышевского [8], мкм:

$$\bar{d}_k = B \cdot H^{-n} \quad \text{или} \quad \bar{d}_k = B \cdot (9.81 \cdot P_{\phi})^{-n} \quad (3.19)$$

где B - коэффициент пропорциональности определяемый эмпирически;

H - напор, м. вод. ст.;

P_{ϕ} - избыточное давление перед форсункой, атм.

n - показатель степени.

Экспериментальные исследования показали, что B характеризует конструкцию форсунки, а показатель n - вид кривой уравнения.

Показатель степени по данным В. И. Блинова [9] и А. С. Лышевского [8] изменяется в диапазоне от 0,1 до 0,532. Коэффициент B определим из экспериментальных данных полученных В. И. Блиновым и И. И. Новиковым см. таблицу 3 для водяных центробежных форсунок диаметром от 1 до 5 мм.

Таблица 3 – Экспериментальные данные

№	H , м.вод.ст.,	P_{ϕ} , атм.	d_k мкм	B	n	Примечание
1	30	3	57	87.4	0.12 8	
2	60	6	51			
3	100	10	49			

Из уравнения (3.16) определим скорость на выходе из сопла форсунки воды обеспечивающее вторичное дробление капли (условие – число Вебера больше 14):

$$U = \sqrt{\frac{14 \cdot \sigma_{жс}}{\rho_2 \cdot d_k}} \quad (3.20)$$

На рисунке 9 представлена зависимость среднего диаметра капли от скорости потока воды на выходе из форсунки.

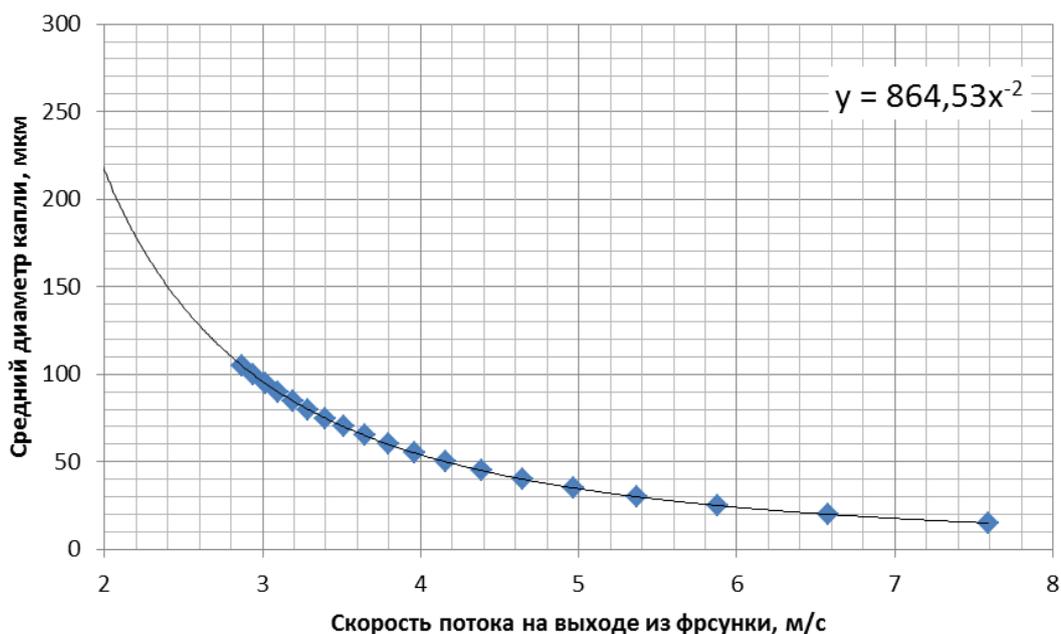


Рисунок 9 - Зависимость среднего диаметра капли от скорости потока на выходе из форсунки

или с учетом формулы (3.19) м/с:

$$U = \sqrt{\frac{14 \cdot \sigma_{жс}}{\rho_2 \cdot 0.001 \cdot 87.4 \cdot (9.81 \cdot P_{\phi})^{-0,128}}} \quad (3.21)$$

На рисунке 10 представлено изменение скорости воды на выходе из сопла форсунки в зависимости от давления перед форсункой, обеспечивающего гарантированное вторичное дробление струи воды.

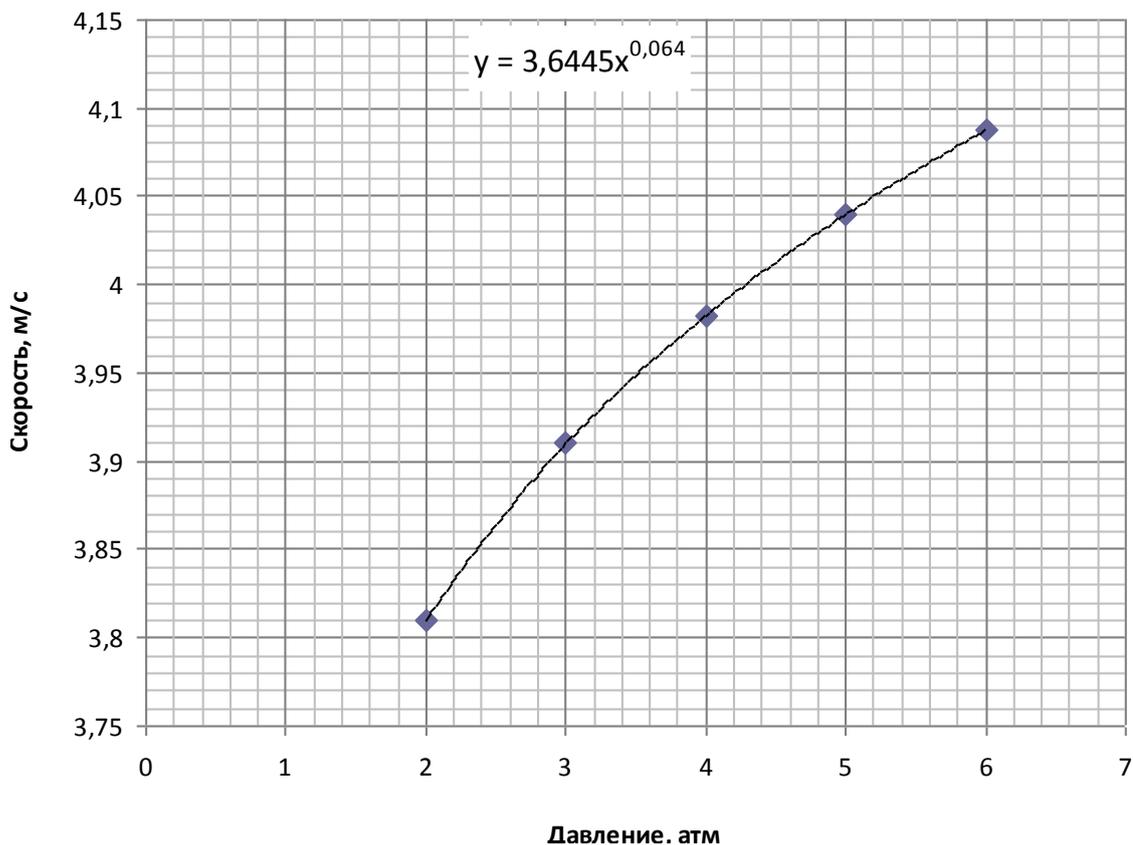


Рисунок 10 – Зависимость критической скорости от давления перед форсункой

Анализируя полученную зависимость можно с достаточной для практики точности записать следующую зависимость:

$$U = 3.64455 * P_{\phi}^{0,064} \quad (3.22)$$

Приравнявая уравнения 3.22 и 3.19, требуемая производительность форсунки равна, кг/с:

$$G_{\phi} = 3.64455 * P_{\phi}^{0,064} * F * \rho_{ж} \quad (3.23)$$

Тогда, требуемый расход жидкости через форсунку для обеспечения условия эффективного дробления капель в зависимости от диаметра соплового отверстия будет, не менее чем значения, полученные по формуле (3.23).

Расход воды через форсунку определяется по эмпирической зависимости [испытание форсунок приложение], кг/с:

$$G_{\phi, \text{эксн}} = 41 \cdot (P_{\phi})^{0,48} \cdot d_c^{1,4} / 3600 \quad (3.24)$$

где d_c - диаметр сопла, мм

P_ϕ – избыточное давление перед форсункой, атм.

На рисунке 11 представлено изменение массового расхода воды через форсунку в зависимости от избыточного давления.

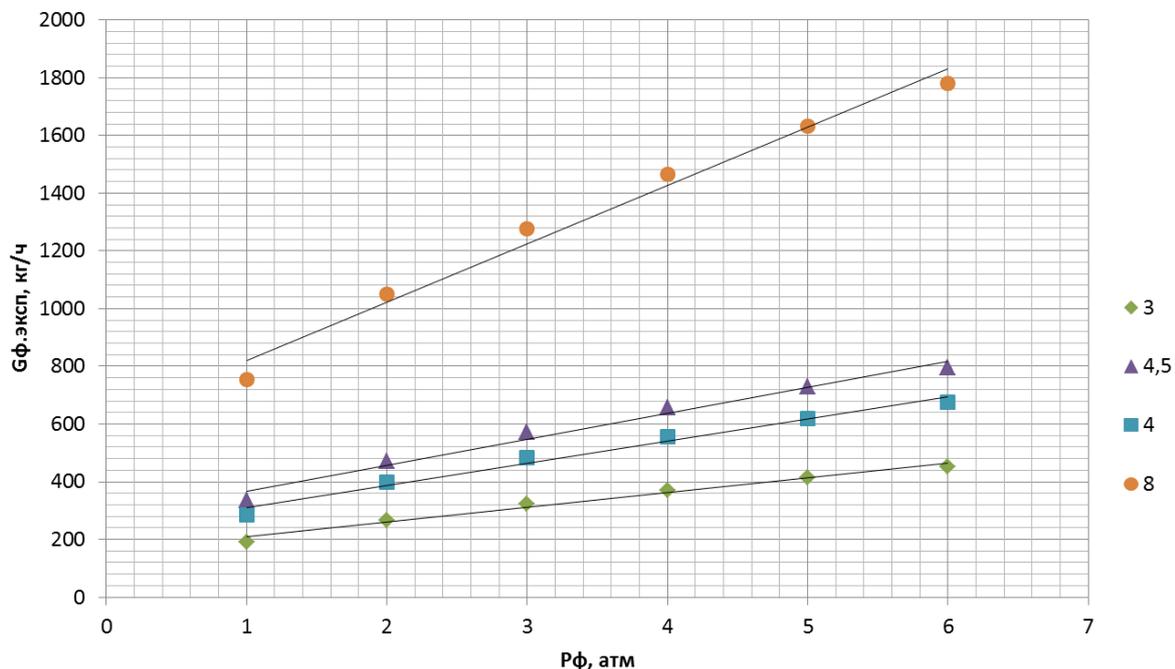


Рисунок 11 – Расход форсунки

Сравним результаты расчета по формулам (3.23) и (3.24). Для выполнения условия вторичного дробления капли должно выполняться условие:

$$G'_\phi < G_\phi$$

3.4.2 Определение дисперсности распыла форсунки

Оценку среднего диаметра капли можно провести по эмпирической зависимости, полученной из графика рисунка 9

$$\bar{d}_k = 864.53 \cdot U^{-2} \text{ или } \bar{d}_k = 864.53 \cdot (G\phi / (F \cdot \rho_{жс}))^{-2} \quad (3.25)$$

ИЛИ

$$\bar{d}_k = B \cdot d_c / \sqrt{9.81 \cdot P_\phi} \quad (3.26)$$

На рисунке 12 представлено изменение среднего диаметра капель в зависимости от избыточного давления и диаметра носка форсунки.

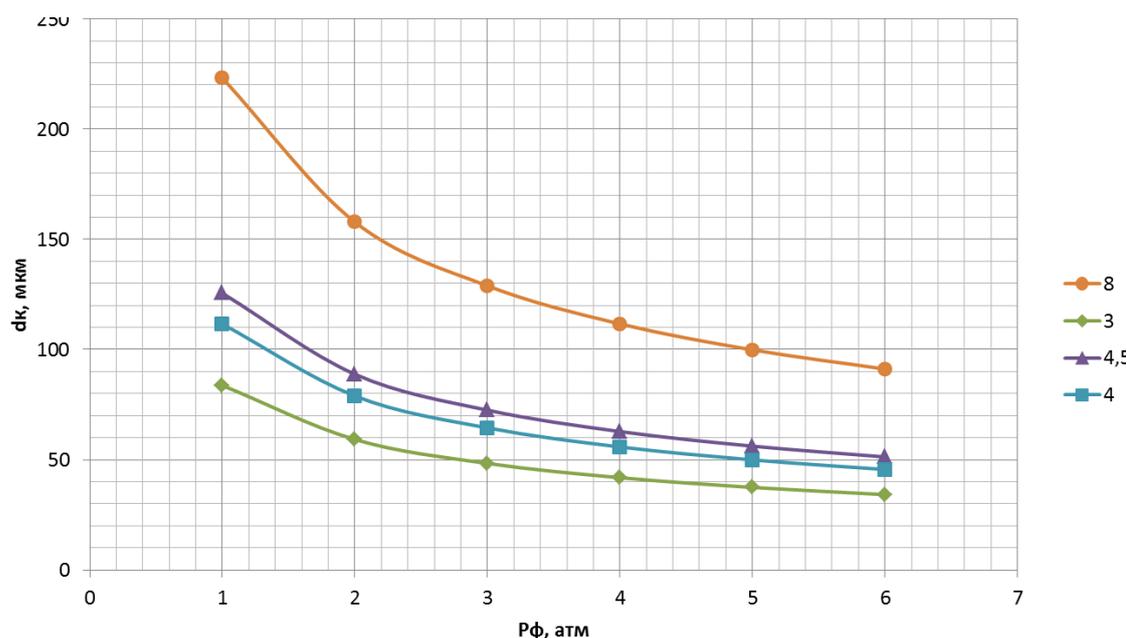


Рисунок 12 – Зависимость среднего диаметра капли от избыточного давления и диаметра носка форсунки

Сравнительный анализ формул 3.25 и 3.26 показывает значительное расхождение в количественной оценке расчета. Однако качественная картина не изменяется. Для оценки дисперсности распыла рекомендуется формула (3.26).

Из рисунка видно, что зависимость является нелинейной. При увеличении избыточного давления до 3 атм. интенсивность уменьшения среднего диаметра капли наиболее ярко выражена. Дальнейшее увеличение давления приводит к практически линейному изменению среднего диаметра капли. Таким образом, рационально использовать насосы обеспечивающие давление на входе в форсунку не более 3 - 4 атм. Следует отметить, что полученная зависимость не отражает фактические значения диаметров капель, а показывает качественную картину изменения среднего диаметра капель в факеле форсунки.

3.4.3 Определение количества форсунок, необходимого для обеспечения условий адиабатического охлаждения воздуха в камере орошения

Количество форсунок можно определить из условия обеспечения заданного коэффициента орошения и производительности насоса (уравнения 3.9-3.15).

$$i = Q / (3.6 * G_{\phi}) \quad (3.27)$$

G_{ϕ} – фактическая производительность форсунки при заданном давлении, кг/с

Q – производительность насоса, м³/ч

Производительность насоса выбирается из условия обеспечения заданного давления перед форсункой. Рекомендуется принимать производительность насоса при гарантированном обеспечении давления воды перед форсункой в диапазоне от 3 до 4 атм.

Если известны характеристики форсунки, то уравнение (3.27) примет вид:

$$\bar{i} = \frac{Q}{\mu \cdot \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot \sqrt{2\rho P_{\phi}}} \quad (3.28)$$

где μ - коэффициент расхода форсунки.

Величина μ для исследуемых форсунок варьируется в диапазоне от 0,3 до 0,6.

3.4.4 Экспериментальная оценка влияния геометрических параметров форсунки на эффективность камеры орошения

Для оценки влияния геометрической формы носка форсунки был проведен ряд экспериментальных работ. Оценка эффективности производилась путем сравнения относительной величины снижения температуры воздуха на выходе из камеры орошения.

3.4.4.1 Методика испытаний

Методика заключалась в следующем. Форсунка устанавливалась в центре камеры орошения. Затем включался насос, обеспечивающий необходимый перепад давления воды на форсунке. После установления заданного перепада давления, камера орошения работала не менее 15 минут. После этого производились измерения температуры и влажности воздуха на входе в камеру орошения и на выходе из камеры орошения. Геометрические параметры основных исследуемых форсунок представлены в приложении А. Давление, создаваемое насосом, регулировалось частотным преобразователем. Температура и влажность воздуха регистрировалась с помощью штатных датчиков камеры орошения. В частности, температура воздуха регистрировалась термосопротивлением Pt-1000, с относительной погрешностью ± 1 %, влажность воздуха регистрировалась с относительной погрешностью ± 5 %.

Следует отметить, что во время проведения испытаний температура воды в камере орошения составляла 12 ± 1 С. Массовый расход воздуха через камеру орошения был постоянным и составлял величину 2800 кг/ч.

Эффективность форсунки оценивалась путем сравнения изменения относительной температуры по формуле:

$$\Delta T\phi = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_M} \quad (3.29)$$

где T_2 – температура на входе в камеру орошения, С;

T_3 – температура воздуха на выходе из камеры орошения, С;

T_M – температура мокрого термометра при параметрах воздуха на входе в камеру орошения, С.

3.4.4.2 Результаты испытаний

Результаты оценки эффективности форсунок в виде графика представлены на рисунке 13.

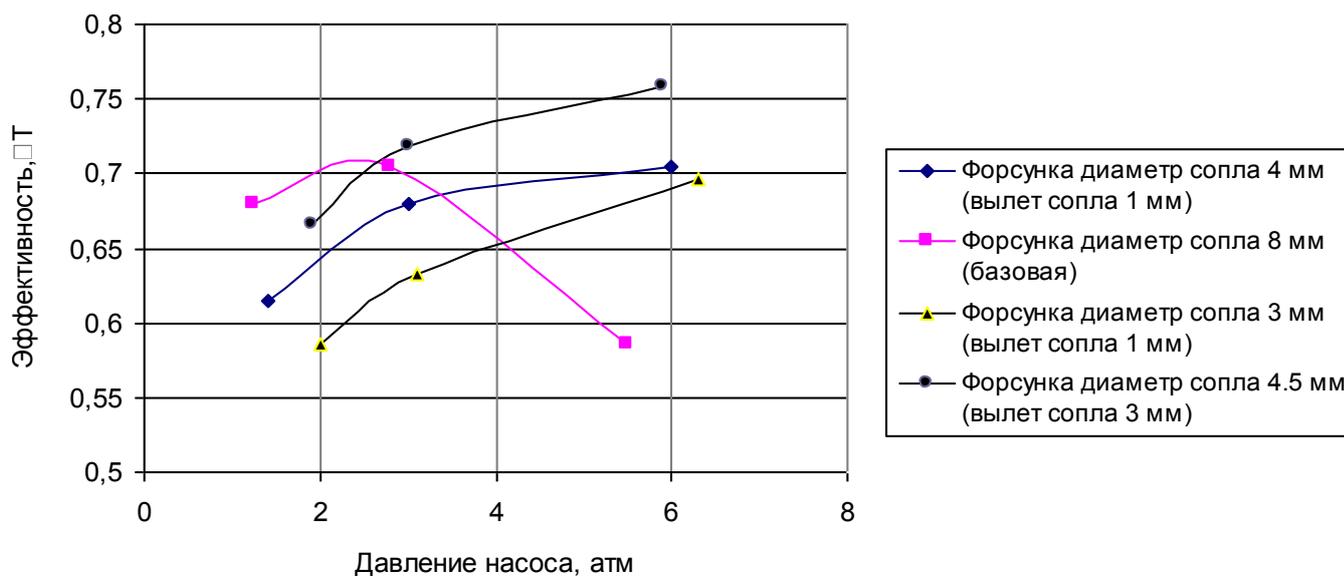


Рисунок 13 – Сравнение эффективности форсунок.

Из рисунка видно, что наибольшая эффективность у форсунки с диаметром носка 4,5 мм и вылетом носка от плоскости корпуса форсунки 3 мм. Данная форсунка была выбрана как основная.

3.5 Определение оптимального расположения форсунок в камере орошения

Сложность гидродинамических процессов не позволяет точно определить расчетным методом оптимальное положение форсунок. Тем не менее, при проектировании камеры можно руководствоваться следующими рекомендациями.

При работе камеры орошения время пребывания в камере единичной капли будет определяться ее размерами и параметрами потока воздуха. Если пренебречь сопротивлением воздуха и считать, что масса капли достаточно большая, то время ее пребывания в камере орошения будет сопоставимо с временем свободного ее падения. Тогда длина камеры орошения будет определяться:

$$L = (V_k - V_g) * \tau_{np} \quad (3.30)$$

где V_k – скорость капли, м/с;

$V_в$ – скорость потока воздуха в камере орошения, м/с;

$\tau_{пр}$ – время пребывания капли в камере орошения, с;

Время пребывания определим по формуле:

$$\tau_{пр} = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (3.31)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – высота с которой падают капли, м.

Так как, в камере орошения установлено i количество форсунок на разных высотах, то «условная» средняя высота определится по формуле:

$$H = \frac{i_1 \cdot H_1 + i_2 \cdot H_2 \dots}{H_1 \cdot \sum (i_1 + i_2 \dots)} \quad (3.32)$$

где H_1 – наибольшая высота, м

H_2 – высота второго от верхнего ряда, м

i_1, i_2 , - соответственно количество форсунок в каждом ряду, шт.

Скорость капли можно определить из формулы (3.18).

Расположение форсунки от начала камеры орошения можно оценить по формуле:

$$L_1 = L \cos \alpha \quad (3.33)$$

где α - угол раскрытия факела форсунки, град.

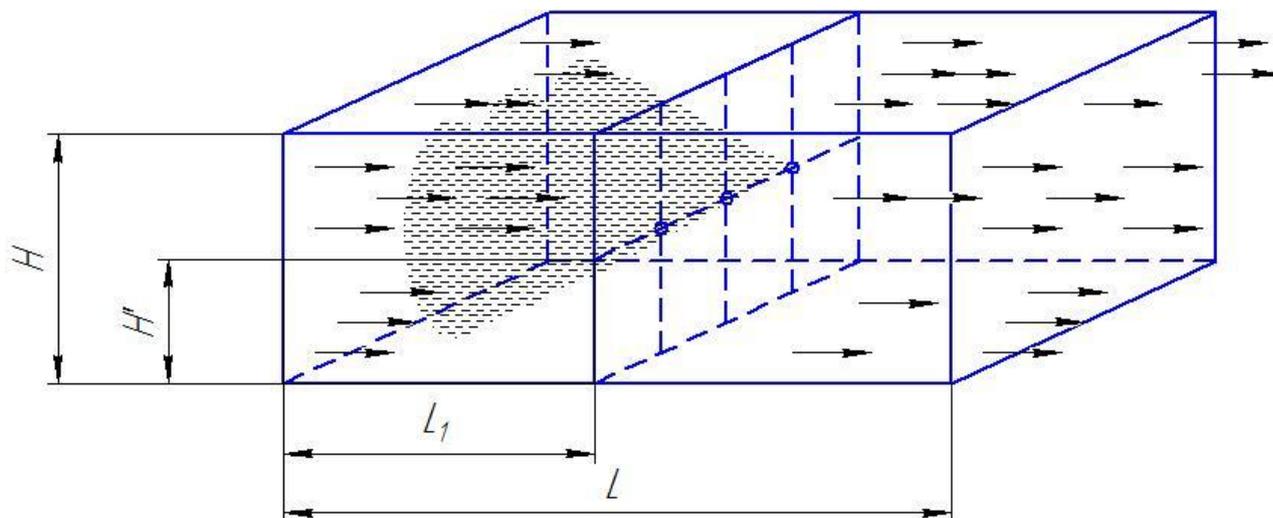


Рисунок 14 - Схема камеры орошения

Так как угол раскрытия факела форсунки практически не зависит от давления насоса (в принятом диапазоне), то и расстояния L_1 тоже будет постоянным не зависимо от режима работы камеры орошения.

Угол раскрытия факела исследуемых форсунок представлен в приложении В.

Расположение форсунок относительно друг друга определяется из следующих соображений:

- форсунки в камере должны располагаться равномерно относительно друг друга;

- пятно факела должно максимально закрывать проходное сечение камеры орошения;

- в горизонтальной камере орошения (см. рисунок 14) форсунки рекомендуется располагать в верхней части камеры (при однорядном исполнении высота расположения форсунок H' ориентировочно $2/3 H$).

Заключение

По результатам выполненной работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Изучены различные источники информации по системам адиабатического охлаждения воздуха и их составляющим. Выявлено, что имеется нарастающий научный интерес к данному вопросу, и он имеет значительный потенциал для исследований.

2. Разработана программа и методика испытания форсунок орошения системы кондиционирования, по ним проведен ряд экспериментов с форсунками различных характеристик.

3. Предложены рекомендации для теплотехнического и конструкторского расчета оросительных камер систем кондиционирования воздуха и вентиляции в производственных помещениях.

Список используемых источников

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р.
2. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р.
3. A. A'zami. Badgir in traditional Iranian architecture // International Conference «Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment». – Santorini, Greece, May 2005. – P. 1021.
4. Карпис Е. Е. Кондиционирование воздуха // БСЭ. 3-е изд. М.: «Советская энциклопедия», 1973. Т. 13.
5. Вишневецкий Е. П. Адиабатическое охлаждение воздуха в современном ЦОДе // ИКС. – 2012. – №06. – С. 83-84.
6. Дитякин Ю. Ф., Клячко Л. А., Новиков Б. В., Ягодкин В. И. Распыливание жидкостей. – М.: «Машиностроение», 1977.
7. Максимов Г. А. Отопление и вентиляция. Ч. 2: Вентиляция: учебник. – М.: Стройгиз, 1955. – С. 125.
8. Лышевский А. С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками / А. С. Лышевский. – М.: Машгиз, 1963.
9. Блинов В. И. О дисперсности механически распыленной воды / В. И. Блинов // М.: ВТТГ, 1931.
10. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях, 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Стройиздат, 1982.
11. Баркалов, Б. В. Внутренние санитарно–технические устройства. Часть 3 – Вентиляция и кондиционирование воздуха (Справочник

- проектировщика) / Б. В. Баркалов, Н. Н. Павлов, С. С. Амирджанов. – М.: Стройиздат, – 1992.
12. Карпис, Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха (Экономия топлива и электроэнергии) / Е.Е. Карпис – М.: Стройиздат, 1986.
 13. Кокорин, О.Я. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха / О.Я. Кокорин. – М., 2007.
 14. Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х частях. Часть 2. Вентиляция / Под ред. В. Н. Богословского. - М.: Стройиздат, 1976.
 15. Зусманович Л.М. Оросительные камеры установок искусственного климата. – М.: Машиностроение, 1967.
 16. Зусманович Л.М. Обобщенный метод изучения процессов понижения теплосодержания воздуха в форсуночной камере.// Холодильная техника, 1960. – № 6.
 17. Стефанов Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб.: Издательство АВОК Северо–запад, 2005.
 18. Стефанов Е. В., Коркин В. Д. Пути совершенствования систем вентиляции и кондиционирования воздуха // В кн. Повышение энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Л.: ЛДНТП, 1985.
 19. Смелов Д., Серенкова О. Адиабатическое охлаждение для центров обработки данных // Журнал сетевых решений/LAN. – 2015. – № 07-08.
 20. Тарабанов, М. Г. Увлажнение воздуха в системах вентиляции и кондиционирования / М.Г. Тарабанов // Инженерные системы. АВОК–Северо–Запад. – 2009. – № 3 (41).
 21. Участкин, П.В. Техничко–экономические условия применения адиабатического или политропического охлаждения воздуха / П.В. Участкин.// В кн.: Кондиционирование воздуха в промышленных и гражданских зданиях. – Л., 1969.

22. Прилепский Д. В. Совершенствование камер орошения в системах кондиционирования воздуха / Д. В. Прилепский, В. М. Фокин // Проблемы энерго- и ресурсосбережения: сб. науч. Т., г. Саратов. – Саратов: СГТУ, 2014.
23. Prilepsky D. V. Air washer with possibility of uninterrupted operation / D. V. Prilepsky // Techniczne nauki, nowoczesne, informacyjne, technologie, matematyka. – Przemysl: Nauka I studia, 2013. - №42 (110).
24. Королева Н. А. Энергосбережение за счет косвенного испарительного охлаждения в системах вентиляции и кондиционирования воздуха / Н. А. Королева, М. Г. Тарабанов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2015. – Вып. 2 (94).
25. Тарабанов М. Г. Кондиционирование воздуха. Часть 1 / М. Г. Тарабанов; Техническая б-ка НИ "АВОК". – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2015.
26. Cluchey Larry. Energy profiles of steam vs Adiabatic humidification systems / Larruy Cluchey. TL-201, Mee Industries, September 12, 2008.
27. Palmer J. D. Evaporative cooling design manual / J. D. Palmer, P. E., C. E. M. – United States Department of Energy, December 2002.
28. TERMOCOMengineering, CAREL Rus. Возможности адиабатического увлажнения // Энергосбережение. 2015. № 6. С. 26–28.
29. Воскресенский В. Е., Гримитлин А. М. Адиабатическое увлажнение воздуха в кондиционерах с DEC-системой. Расчет величины косвенного охлаждения // Инженерные системы. АВОК– Северо–Запад. – 2015. – № 4.
30. Sidharth Chakrabarti, Prasanta Kumar Das. Performance investigation of air washer for different psychometric conditions // Computational Thermal Sciences: An International Journal, New York, 2015, Volume 7.

Приложение А
(обязательное)

ОТЧЕТ О ПОИСКЕ

Наименование работы (темы): Разработка и испытание элементов камеры орошения для промышленного кондиционера.

Цель поиска информации: Определение уровня техники форсунка камеры орошения.

Сроки выполнения поиска: 02.12.2016 – 23.12.2016.

Обоснование регламента поиска: патентные исследования в России, странах СНГ, США, Канаде, странах Евросоюза, Японии, Китае с глубиной поиска 10 лет.

Таблица А – Источники информации

Предмет поиска		Источники информации, по которым будет производиться поиск	
		Патентные	
Объект исследования	Страна поиска	Наименование	Классификационные рубрики и МПК
Форсунка камеры орошения промышленного кондиционера	Россия, СНГ	Электронная база данных ФГУ ФИПС, электронная библиотека e-library	F28F25 F28C1 B05B1
	США	Электронная библиотека «United States Patent and Trademark Office»	
	Канада	Электронная библиотека «Canadian Intellectual Property Office»	
	Страны Евросоюза, Япония, Китай, США	Электронная библиотека «European Patent Office», электронная библиотека e-library	

Таблица В - Патентная документация (материалы, отобранные для анализа)

Предмет поиска: (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационный индекс МПК	Заявитель, страна. Номер заявки, дата подачи заявки	Название изобретения, полезной модели
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2514862, <i>F23D11/04</i> (2006.01) <i>B05B1/34</i> (2006.01)	Россия, Заявка: 2013119197/06, 25.04.2013	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2197332, B05B1/26, B05B1/34	Россия, Заявка: 2000122927/12 , 05.09.2000	РАЗБРЫЗГИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2205703, B05B1/34	Россия, Заявка: 2001116832/12, 21.06.2001	ФОРСУНКА
Форсунки различного	Патент RU2229347,	Россия, Заявка:	ФОРСУНКА

конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	B05B1/34	2001112211/122001112211/1 2 03.05.2001	
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2271872, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2004119943/12, 29.06.2004	ЦЕНТРОБЕЖНО-СТРУЙНАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2292958, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2005102517/12, 03.02.2005	УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2296013, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2005112465/12, 13.04.2005	СПОСОБ И ФОРСУНКА ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2326743, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2006136170/12, 13.10.2006	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА

растворов			
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2339877, F23D11/04 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2007108922/06, 13.03.2007	ФОРСУНКА ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ВИХРЕВАЯ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2353854, F23D11/04 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2007107024/06, 26.02.2007	МЕХАНИЧЕСКАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2380127, A62C31/02 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Финляндия, Заявка: 2007126824/12, 25.11.2005	СПОСОБ РАСПЫЛЕНИЯ СРЕДЫ И РАСПЫЛИТЕЛЬНОЕ СОПЛО
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2388509, A62C31/02 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2007144685/12, 29.05.2006	ПРОТИВОПОЖАРНОЕ УСТРОЙСТВО И НАСАДКА ПОЖАРОТУШЕНИЯ
Форсунки различного	Патент RU2413581,	Россия,	ФОРСУНКА ДЛЯ

конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	B05B1/34 (2006.01)	Заявка: 2009141387/05, 11.11.2009	РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2426601, B05B1/34 (2006.01)	Бельгия, Заявка: 2009148878/05, 04.06.2007	НАГНЕТАТЕЛЬНАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ ОТВЕРЖДАЕМОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ (ВАРИАНТЫ) И СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ С ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2464517, F28F25/06 (2006.01) F23D11/04 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2011124780/06, 20.06.2011	ФОРСУНКА КОЧЕТОВА ДЛЯ СИСТЕМ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам	Патент RU2486964, B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2012115554/06, 19.04.2012	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА

распыливания жидкостей, растворов			
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2486965, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2011112745/05, 01.04.2011	ФОРСУНКА СТРУЙНО-ВИХРЕВАЯ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2500482, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2012135108/05, 16.08.2012	ШИРОКОФАКЕЛЬНАЯ ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2501610, B05B1/34 (2006.01) B05B1/02 (2006.01)	Германия, Заявка: 2012126085/05, 25.06.2012	ФОРСУНКА СО СПЛОШНЫМ КОНУСОМ РАСПЫЛА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2501611, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2012140206/05, 20.09.2012	ФОРСУНКА ТИПА КСС

Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2504440, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2012134572/05, 13.08.2012	МЕЛКОДИСПЕРСНЫЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ ЖИДКОСТИ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2504441, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2012140208/05, 20.09.2012	ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2516638, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2012155933/05, 21.12.2012	КАВИТАТОР
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2526471, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013143352/06, 25.09.2013	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам	Патент RU2527805, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013147440/06,	ФОРСУНКА ВИХРЕВАЯ КОЧЕТОВА

распыливания жидкостей, растворов	F23D11/04 (2006.01)	24.10.2013	
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2527812, B05B1/26 (2006.01) B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013146623/06, 18.10.2013	ФОРСУНКА КОЧЕТОВА С ПЕРФОРИРОВАННЫМ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫМ ДИСКОМ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2532168, F23D11/04 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013146621/06, 18.10.2013	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА СО ВСТРЕЧНО-ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ ТИПА ВЗП
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2532864, B05B1/26 (2006.01) B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013147437/06, 24.10.2013	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2535460, B05B1/34 (2006.01) F23D11/08 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013149095/06, 06.11.2013	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА

Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2536038, B05B1/26 (2006.01) B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013146624/06, 18.10.2013	ФОРСУНКА КОЧЕТОВА С РАСПЫЛИТЕЛЬНЫМ ДИСКОМ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2536643, B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013152500/06, 27.11.2013	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ШИРОКОФАКЕЛЬНАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2537865, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013147435/05, 24.10.2013	ФОРСУНКА ВИХРЕВАЯ ТИПА КОЧСТАР
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2539183, F23D11/04 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014101445/06, 20.01.2014	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА С АКТИВНЫМ РАСПЫЛИТЕЛЕМ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам	Патент RU2542236, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013146620/05,	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА

распыливания жидкостей, растворов		18.10.2013	
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2542239, B05B1/26 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013149091/05, 06.11.2013	РАСПЫЛИТЕЛЬ ЖИДКОСТИ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2543860, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013152490/05, 27.11.2013	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА С АКТИВНЫМ РАСПЫЛИТЕЛЕМ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2543861, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013152491/05, 27.11.2013	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2544626, B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014114913/06, 16.04.2014	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ШИРОКОФАКЕЛЬНАЯ ФОРСУНКА

Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2545256, B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014119308/06, 14.05.2014	ШИРОКОФАКЕЛЬНАЯ ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2545260, B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014116155/06, 23.04.2014	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ШИРОКОФАКЕЛЬНАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2548068, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013152495/05, 27.11.2013	ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2548069, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013158150/05, 27.12.2013	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам	Патент RU2548701, B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014114915/06,	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА

распыливания жидкостей, растворов		16.04.2014	
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2550835, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013119199/05, 25.04.2014	ФОРСУНКА ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2550837, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013152498/05, 27.11.2013	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2550838, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013149100/05, 06.11.2013	ФОРСУНКА ВИХРЕВАЯ КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2550839, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013149102/05, 06.11.2013	ФОРСУНКА КОЧЕТОВА

Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2551455, B05B1/26 (2006.01) B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014116153/06, 23.04.2014	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2551460, B05B1/34 (2006.01) F23D11/10 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014119297/06, 14.05.2014	ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2555489, B05B1/34 (2006.01) B08B3/02 (2006.01)	Россия, Заявка: 2012152238/05, 04.12.2012	ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2556653, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014141767/05, 16.10.2014	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА СО ВСТРЕЧНО- ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ ТИПА ВЗП
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам	Патент RU2557152, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014141766/06,	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА

распыливания жидкостей, растворов	F23D11/04 (2006.01)	16.10.2014	
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2560239, B05B1/26 (2006.01) B05B1/34 (2006.01) F23D11/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014143910/06, 30.10.2014	ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2561107, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014140765/05, 08.10.2014	ФОРСУНКА СТРУЙНО- ВИХРЕВАЯ С ЭЖЕКТИРУЮЩИМ ФАКЕЛОМ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2561974, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014114917/05, 16.04.2014	ШИРОКОФАКЕЛЬНАЯ ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2563173, B05B1/18 (2006.01) B05B1/34 (2006.01) A01G25/09 (2006.01) A62C31/05 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014139747/13, 30.09.2014	СЕКТОРНЫЙ ДОЖДЕВАТЕЛЬ

Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2563744, A62C31/02 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014141765/12, 16.10.2014	ФОРСУНКА С АКТИВНЫМ РАССЕКATEЛЕМ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2564279, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014120661/05, 22.05.2014	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2564281, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014120665/05, 22.05.2014	ФОРСУНКА КОЧЕТОВА ДЛЯ РАСПЫЛИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2570438, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014119304/05, 14.05.2014	ФОРСУНКА ТИПА КСС
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам	Патент RU2570441, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014138366/05,	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА

распыливания жидкостей, растворов		23.09.2014	
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2575033, B08B3/02 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014136021/05, 03.09.2014	КАВИТАЦИОННАЯ ФОРСУНКА
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2585808, B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2015117358/05, 07.05.2015	ФОРСУНКА ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2604623, B05B1/34 (2006.01) F25C3/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014132703/05, 18.10.2012	ФОРСУНКА ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ, В ЧАСТНОСТИ ВОДЫ В СНЕЖНОЙ ПУШКЕ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2605114, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2015140884/05, 25.09.2015	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА

Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2605115, B05B1/34 (2006.01) B05B1/26 (2006.01)	Россия, Заявка: 2015140886/05, 25.09.2015	ВИХРЕВАЯ ФОРСУНКА КОЧЕТОВА
Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2267729, F28C1/02	Украина, Заявка: 2003115942/06, 29.05.2003	ВЕРТИКАЛЬНАЯ ВИХРЕВАЯ ФОРСУНОЧНАЯ ГРАДИРНЯ
Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2418250 F28C1/02 (2006.01) F28F25/08 (2006.01)	Россия, Заявка: 2010101687/06, 21.01.2010	ВЕНТИЛЯТОРНАЯ ГРАДИРНЯ КОЧЕТОВА
Испарительный охладитель для охлаждения газового потока.	Патент RU2471134 F28C1/02 (2006.01)	Германия, Сингапур, Заявка: 2009132961/06, 30.01.2008	ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ, А ТАКЖЕ ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА С ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАДИТЕЛЕМ
Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2473033 F28C1/02 (2006.01)	Россия, Заявка: 2009116156/06, 29.04.2009	СПОСОБ КОЧЕТОВА ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ

Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2489662 F28C1/02 (2006.01)	Россия, Заявка: 2009116158/06, 29.04.2009	ГРАДИРНЯ ВЕНТИЛЯТОРНАЯ
Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2520697 F28C1/02 (2006.01) F28F25/04 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013119856/06, 30.04.2013	ВЕНТИЛЯТОРНАЯ ИЛИ БАШЕННАЯ ГРАДИРНЯ С ПАРОУЛОВИТЕЛЕМ
Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2537108 F28C1/02 (2006.01) F24H1/10 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014101426/06, 20.01.2014	КОНТАКТНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК КОЧЕТОВА С АКТИВНОЙ НАСАДКОЙ
Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2409797 F28C1/00 (2006.01) F28F25/06 (2006.01)	Россия, Заявка: 2009116159/06, 29.04.2009	ГРАДИРНЯ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2464517 F28F25/06 (2006.01) F23D11/04 (2006.01) B05B1/34 (2006.01)	Россия, Заявка: 2011124780/06, 20.06.2011	ФОРСУНКА КОЧЕТОВА ДЛЯ СИСТЕМ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ
Элементы конструкции	Патент RU2488059 F28C1/02 (2006.01)	Россия,	СПОСОБ КОЧЕТОВА ИСПАРИТЕЛЬНОГО

камеры смешения	F28F25/06 (2006.01)	Заявка: 2011135925/06, 30.08.2011	ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ
Форсунки различного конструктивного исполнения относящиеся к средствам распыливания жидкостей, растворов	Патент RU2554140 F28F25/06 (2006.01)	Россия, Заявка: 2013137794/06, 13.08.2013	ВОДОРАЗБРЫЗГИВАЮЩЕЕ СОПЛО ГРАДИРНИ
Элементы конструкции камеры смешения	Патент RU2563050 F28F25/06 (2006.01)	Россия, Заявка: 2014113446/06, 07.04.2014	СМЕСИТЕЛЬНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК