Титульный лист работы

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Тема:

«Обоснование, разработка и создание электростатической холодильной машины» (использование электростатического способа распыления жидкостей для получения искусственного холода)

Авторы:

Научный сотрудник 3-го ЦНИИ

БЕЛОНОГОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ

Старший научный сотрудник, кандидат технических наук

БЕЛОНОГОВ НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ

Контактные данные: Телефон: +7 (499) 232-32-53

E-mail: belnik33@mail.ru

Краткая информация об авторах:

Белоногов Н.Н. Закончил Саратовский Институт РХБЗ в 2000 г., с 2000 по 2010 г.г. НС в - НИИ МО. 32 года.

Белоногов Н.И. Закончил Военную Академию Химической Защиты (ВАХЗ) в – 1985 г., адъюнктуру при ВАХЗ в 1990 г. В НИИМО с 1985 по 1996 год (в должностях– СНС, НО, ВНС управления), с 1996 года начальник НИО Саратовского Института РХБЗ, с 1999 года заместитель главного инженера ФУ Уничтожения Химического Оружия. В настоящее время ВНС компании ООО «НПП «Платекс». Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. 59 лет.

Москва

2002-2011

ВВЕДЕНИЕ

Для обоснования целесообразности и актуальности разработки электростатической холодильной машины, вначале следует остановиться на следующих моментах.

Состояние холодильного дела и пути развития

С 30-х годов XX века и до настоящего времени в бытовых и промышленных холодильных установках, а также, в кондиционировании воздуха нашли широкое применение фреоновые парокомпрессионные холодильные машины (ПКХМ). Данное обстоятельство обусловлено рядом положительных свойств, присущих этим машинам и, прежде всего, относительно высокая эффективность, простота элементной базы и т.д.

Однако, эмиссия применяемых в ПКХМ в качестве рабочих тел - фреонов, на рубеже XXI века привела к обострению глобальных проблем, требующих срочного решения: уменьшение озонового слоя Земли и усиление "парникового эффекта" и т.д. В результате в 1980-1990-х годах международным сообществом было принято несколько крупных международных законопроектов, которые в значительной мере ужесточили требования к современным системам, генерирующим холод, и были направлены на стабилизацию и улучшение экологической ситуации в связи с опасностью разрушения озонового слоя и глобальным потеплением. Так, в 1987 году всеми странами (в том числе и Россией), производящими фреоны, был подписан Монреальский протокол по озоноразрушающим веществам, согласно которому ряд широко используемых фреонов (например, R12, R13, R502 и т.д.), относящихся к классу хлорфторуглеродов, должны быть исключены из практической деятельности. Для замещения в холодильной технике указанных хладагентов, первоначально, основной акцент был сделан

на разработку и применение новых альтернативных рабочих веществ. Однако проблема оказалась значительно сложнее, чем она представлялась, когда вводились ограничения на производство и применение хлорфторуглеродов.

Оказалось, что значительная часть созданных за последнее десятилетие альтернативных хладагентов, решением Киотского протокола (Япония, 1997), наряду с CO_2 , являющимся основным виновником глобального потепления, были отнесены к категории "парниковых газов". Так, вклад в парниковый эффект 1 кг хладагента R134a эквивалентен выбросу в атмосферу 1300 кг CO_2.

Помимо прямой эмиссии (утечке) хладагентов из холодильных установок, следует иметь в виду также и количество CO_2 , выделяемое при производстве энергии для привода холодильного оборудования. Это привело к необходимости введения в холодильное дело понятия нового критерия: *Полного Эквивалента Глобального Потепления - TEWI*, который комплексно учитывает энергетические и экологические факторы использования холодильной техники.

В связи с этим, в настоящее время к перспективному холодильному оборудованию предъявляются два основных требования:

- высокая энергетическая эффективность;
- экологическая чистота.

Современные направления развития мировой холодильной промышленности

Фреоновый кризис дал мощный толчок в развитии исследований в области холодильной техники и новых принципов получения холода. В то же время в мировой холодильной промышленности нет единого понимания и

подхода к решению возникших экологических проблем. В инновационном плане в холодильном деле в настоящее время существует несколько групп, которые представляют собой, как правило, объединение крупных транснациональных корпораций или государств, отстаивающих свои корпоративные интересы в холодильном бизнесе. Чтобы понять о каких суммах идет речь, необходимо отметить, что по некоторым оценкам только стоимость оборудования, чье функционирование связано с использованием запрещенных фреонов, составляет в мире около 200 млрд. долл. США, а количества установок - счет идет на несколько сотен миллионов штук. В связи с этим, можно выделить несколько направлений в развитии мировой холодильной промышленности:

Производство новых синтетических хладагентов (группы HFC) для ПКХМ. Данное направление лоббируется правительствами таких стран как США, Япония, а также транснациональными корпорациями "Дюпон", "Данфосс" и др. Начиная с 1988 г. периодическая печать буквально переполнена публикациями, посвященными новым хладагентам, холодильным маслам, рассмотрению энергетической эффективности различных классов холодильного оборудования, использующего альтернативные рабочие тела. Однако в настоящее время интерес к поиску новых озонобезопасных веществ, которые можно было бы использовать в холодильной технике, заметно ослабевает. С одной стороны, уже имеющаяся номенклатура альтернативных веществ позволяет заменить R12, R22 и т.д. в холодильном оборудовании путем использования, как чистых хладагентов, так и многокомпонентных композиций. В связи с этим, стали весьма актуальны вопросы технологического характера, а именно, внедрение альтернативных хладагентов, анализ термодинамической эффективности новых рабочих тел в различных типах холодильного оборудования, изучение процессов тепломассообмена в конденсаторе и испарителе холодильных машин.

С другой стороны, синтез новых веществ, разработка технологий их получения и создания соответствующего оборудования - длительный дорогостоящий процесс. Производители хладагентов не скрывают, что новые, предлагаемые сегодня на рынок, хладагенты играют роль переходных, им на смену придут другие, возможно чуть лучше, но никто не гарантирует, что и они надолго задержатся в холодильной промышленности. При этом практически для каждого нового хладагента придется менять холодильное масло и значительную часть оборудования.

Исследования последних лет показали, что предлагаемые зарубежными фирмами озононеразрушающие хладагенты группы HFC (R134a, R125, R152a и т.д.), кроме высокого потенциала глобального потепления имеют еще ряд существенных недостатков. Так хладагент R134a проверялся на токсичность более 7 лет. Однако есть подозрения, что при эксплуатации холодильных установок могут возникнуть условия, при которых из микропримесей этого хладагента будут образоваться сильнейшие яды на основе фторосодержащих соединений. Будучи сами озонобезопасными, хладагенты этой группы, упущенные в атмосферу при эксплуатации холодильных машин, под воздействием солнечных лучей разрушаются по углеродным связям и, соединяясь с атмосферным хлором, образуют запрещенные к производству озоноразрушающие вещества (например, R115). Более того, как показывает опыт, затраты на замену существующих рабочих веществ хладагентами группы HFC составляют от 40 до 70% первоначальной стоимости холодильной машины, при этом снижается ее эффективность. Переход же на выпуск новых холодильных установок с "озононеразрушающими" рабочими веществами увеличивает их стоимость на 20-25%, что на 30-40% повышает розничную цену холодильного оборудования.

Применение природных хладагентов. Это направление особенно интенсивно развивается в Западной Европе (например, Германии) и связано с более широким использованием в холодильной промышленности дешевых природных веществ, таких как: пропан, аммиак, двуокись углерода и т.д. Указанные вещества являются экологически чистыми продуктами, имеются достаточные производственные мощности для их промышленного получения. Проводимые в настоящее время исследования ведутся в направлении конструктивных и схемных изменений в холодильном оборудовании.

Однако эти рабочие вещества требуют специальных мер предосторожности при использовании их в холодильной технике. Так, при использовании аммиака и углеводородов, ввиду их ядовитости и воспламеняемости, необходимо применять специальные инженерно-технические решения для того, чтобы был обеспечен надлежащий уровень герметичности системы в отношении утечек из нее хладагента. Как правило, холодильное оборудование на природных хладагентах имеют более высокую стоимость, чем оборудование, работающее на фреонах. Дополнительные затраты возникают из-за более сложной механической конструкции, которая необходима для того, чтобы удовлетворить требования безопасной эксплуатации в случае использования аммиака или горючих хладагентов, или справиться с очень высоким давлением и низкой критической температурой в случае применения диоксида углерода.

Совершенствование экологически чистой холодильной техники, основанной на низкоэффективных принципах получения холода. К данной категории холодильного оборудования относятся воздушные, пароэжекторные, сорбционные холодильные машины, устройства, использующие эффект Пельтье, Ранка и т.д.

Цель данного направления – достичь повышения эффективности выше указанных устройств.

Переход к энергетически неэффективным холодильным машинам, позволит сохранить озоновый слой, но одновременно с этим должно увеличиться количество парниковых газов, возникающее при производстве электроэнергии.

Нецелесообразность капитальных вложений на совершенствование низкоэффективных холодильных машин обуславливается тем, что даже в идеальном случае, значение их эксергетического КПД, не превысит 20-25%. Это связано с особенностями их термодинамических циклов.

Так, воздушные холодильные машины (обратный замкнутый цикл Брайтона) по потребляемой энергии становятся конкурентоспособными с ПКХМ лишь при температурах ниже 200 К (-70 ^{o}C). Применение данных типов холодильных машин, вероятнее всего, в дальнейшем будет определяться специфическими условиями функционирования объектов, для которых эти машины предназначены.

Разработка новых принципов получения холода. Ряд специалистов считает, что вслед за революцией в энергетике последует революция в принципах получения холода. В качестве новых принципов указываются, например, так называемые "звуковые компрессоры" и "холодильные чипы". В первом случае для создания холода используется звук, а основные исследования в этой области проводятся в компании "MarcoSorixCo" (США). Технология с применением "холодильных чипов" относится к термоионному охлаждению. Разработкой данной технологии занимается английская компания "БореалисТехникал". Согласно теоретическим оценкам создателей, энергетическая эффективность этого типа охладителей ожидается в 2 раза

выше, чем у компрессорных систем. Однако в настоящее время существуют только отдельные опытные образцы холодильного оборудования, работающего на этих принципах, а цена их значительно превышает стоимость парокомпрессионного оборудования. В виду этого говорить о широком коммерческом использовании новых принципов получения холода очевидно преждевременно.

Холодильные машины Стирлинга [1]

Конструктивно, машины Стирлинга представляют собой удачное сочетание в одном агрегате компрессора, детандера и теплообменных устройств: теплообменника нагрузки (нагревателя или конденсатора), регенератора и холодильника. Обобщенная для всех машин Стирлинга принципиальная схема представлена на рис. 1.

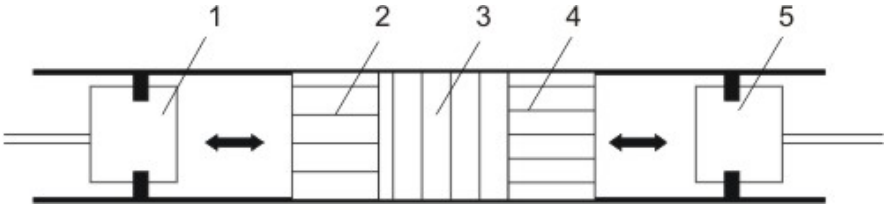

Рис. 1. **Принципиальная схема машины Стирлинга**:

1 – рабочий поршень, 2 – холодильник, 3 – регенератор, 4 – теплообменник нагрузки, 5 – поршень-вытеснитель

Машины Стирлинга - это машины, работающие по замкнутому термодинамическому циклу, в котором циклические процессы сжатия и расширения происходят при различных уровнях температур, а управление потоком рабочего тела осуществляется путем изменения его объема. В качестве рабочего тела используются газообразные природные вещества (гелий, азот, сухой воздух и др.).

Идея использования цикла Стирлинга для создания холодильных машин умеренного холода не нова. В 1834 году Дж. Гершелем были

изготовлены опытные образцы холодильных машин Стирлинга, которые впоследствии получили широкое распространение. Такие машины успешно эксплуатировались в пищевой промышленности, ими также были оснащены многие промысловые суда Англии, в целях замораживания рыбы. С 1876 года холодильные машины Стирлинга использовались в Шотландии на фабриках по производству парафиновых мастик. Однако из-за своего тогдашнего несовершенства, к началу XX столетия они были полностью вытеснены компрессионными холодильными машинами.

В настоящее время возрождение интереса к использованию машин Стирлинга на уровне умеренного холода связано, в основном, с бурным ростом научно-технических знаний и значительными успехами, достигнутыми в последнее время, в области создания двигателей и криогенных машин Стирлинга. Все это привело к интенсификации научных исследований по созданию альтернативного холодильного оборудования умеренного холода на основе цикла Стирлинга.

За рубежом, перспективность использования машин Стирлинга в области умеренного холода, становится очевидным. В настоящее время в мире проблемами создания новых образцов машин Стирлинга и их производства занимается не менее 140 крупных компаний и научно-исследовательских организаций, многие из которых достигли значительных успехов, и вышли на серийное производство. Так, уже в ближайшее время в ряде европейских стран и Южной Кореи планируется начать массовый выпуск бытовых холодильников на основе холодильных машин Стирлинга с линейным приводом. Полученные результаты исследований показывают, что достигнутый уровень в проектировании машин Стирлинга позволяет создавать холодильные машины умеренного холода (производительностью до 100 кВт) с эффективностью в 1,5 раза выше, чем у лучших образцов

парокомпрессионных холодильных машин, при этом массогабаритные характеристики сокращаются до 20-30%.

Кроме ведущих стран в области проектирования и создания машин Стирлинга, каковыми являются США, Великобритания, Япония, ФРГ, Швеция и Нидерланды, в последнее время начались интенсивные исследования в данной области техники в Китае, ЮАР, Австралии, Израиле, Канаде, Индии и ряде других стран.

Магнитное охлаждение

Конструкция холодильника.

В созданном прототипе магнитного холодильника используется вращающаяся колёсная конструкция. Она состоит из колеса, содержащего сегменты с порошком гадолиния, а также мощного постоянного магнита (см. рис. 2).

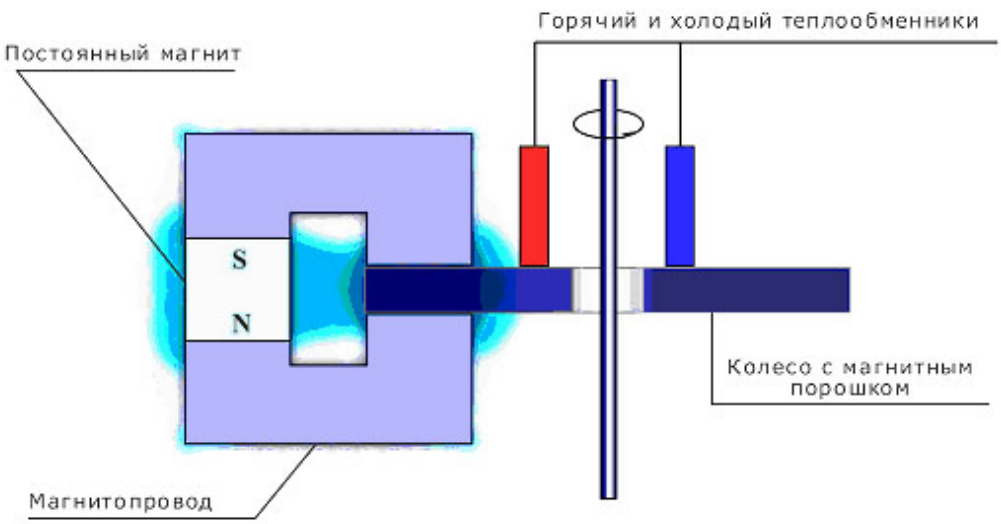

Рис. 2. **Схема работы магнитного холодильника [2]**

Конструкция спроектирована таким образом, что колесо прокручивается через рабочий зазор магнита, в котором сконцентрировано магнитное поле. При вхождении сегмента с гадолинием в магнитное поле, в гадолинии возникает магнетокалорический эффект: он нагревается. Это

тепло отводится теплообменником, охлаждаемым водой. Когда гадолиний выходит из зоны магнитного поля, возникает магнетокалорический эффект противоположного знака и материал дополнительно охлаждается, охлаждая теплообменник с циркулирующим в нем вторым потоком воды. Этот поток собственно и используется для охлаждения холодильной камеры магнитного холодильника. Такое устройство является компактным и работает фактически бесшумно и без вибраций, что выгодно отличает его от использующихся сегодня холодильников с парогазовым циклом. "Постоянный магнит и рабочее тело в виде гадолиния не требуют подвода энергии, - говорит профессор Карл Шнайднер из AmesLaboratory. - Энергия необходима для вращения колеса и обеспечения работы водяных насосов".

Впервые эта технология была апробирована еще в сентябре 2001 года. В настоящее время идет работа над дальнейшим расширением ее возможностей: совершенствуется технологический процесс коммерческого производства чистого гадолиния и необходимых его соединений, который позволит добиться большей величины МКЭ при меньших затратах.

Одновременно сотрудники Лаборатории Эймса сконструировали постоянный магнит, способный создавать сильное магнитное поле. Новый магнит создаёт поле в два раза большее, чем магнит в предшествующей конструкции магнитного холодильника (2001 г.), что является весьма важным, т.к. величина магнитного поля определяет такие параметры холодильника, как эффективность и выходная мощность. На процесс получения соединения для рабочего тела $Gd_5(Si_2Ge_2)$ и конструкцию постоянного магнита поданы заявки на патент.

Все магнитные холодильники можно разделить на два класса по типу используемых магнитов:

- системы, использующие сверхпроводящие магниты и

- системы на постоянных магнитах.

Первые из них обладают широким диапазоном рабочих температур и относительно высокой выходной мощностью. Они могут использоваться, например, в системах кондиционирования больших помещений и в оборудовании хранилищ пищевых продуктов. Охлаждающие системы на постоянных магнитах имеют относительно ограниченный температурный диапазон (не более чем на 30 °С за один цикл) и, в принципе, могут применяться в устройствах со средней мощностью (до 100 Ватт) - таких как автомобильный холодильник и портативный рефрижератор для пикника. Но и те, и другие обладают целым рядом преимуществ над традиционными парогазовыми холодильными системами:

1) Низкая экологическая опасность. Рабочее тело – твердое и может быть легко изолировано от окружающей среды. Применяемые в качестве рабочих тел металлы лантаниды малотоксичные, и могут быть использованы повторно после утилизации устройства. Теплоотводящая среда должна обладать всего лишь низкой вязкостью и достаточной теплопроводностью, что хорошо соответствует свойствам воды, гелия или воздуха. Последние хорошо совместимы с окружающей средой.

2) Высокая эффективность. Магнитокалорическое нагревание и охлаждение – практически обратимые термодинамические процессы, в отличие от процесса сжатия пара в рабочем цикле парогазового холодильника. Теоретические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что магнитные охлаждающие установки характеризуются более высоким КПД и экономичностью. В частности, в области комнатных температур магнитные холодильники потенциально на 20-30 % эффективнее, чем работающие по парогазовому циклу. Технология магнитного охлаждения

в перспективе может быть очень эффективной, что позволит значительно сократить стоимость таких установок.

3) Долгий срок эксплуатации. Технология предполагает использование малого числа движущихся деталей и низких рабочих частот в охлаждающих устройствах, что значительно сокращает их износ.

4) Гибкость технологии. Возможно использование различных конструкций магнитных холодильников в зависимости от назначения.

5) Полезные свойства заморозки. Магнитная технология позволяет производить охлаждение и заморозку различных веществ (вода, воздух, химикаты) с незначительными изменениями для каждого случая. В отличие от этого, эффективный парогазовый цикл охлаждения требует многих отдельных ступеней или смеси различных рабочих тел - охладителей для проведения такой же процедуры.

6) Быстрый прогресс в развитии сверхпроводимости и улучшении магнитных свойств постоянных магнитов. В настоящее время целый ряд известных коммерческих компаний успешно занимаются улучшением свойств магнитов *NdFeB* (наиболее эффективные постоянные магниты) и работают над их конструкциями. Наряду с известным прогрессом в области сверхпроводимости это позволяет надеяться на улучшение качества магнитных холодильников и одновременное их удешевление.

Недостатки магнитного охлаждения:

1) Необходимость экранировки магнитного источника.

2) Относительно высокая в настоящее время цена источников магнитного поля.

3) Ограниченный интервал изменения температуры в одном цикле охлаждения в системах на постоянных магнитах (не более 30 °С).

Представленный выше материал, его анализ и всесторонняя оценка позволяет убедиться, что наше предложение конкурентоспособно и, возможно, более перспективно.

Обоснования возможности разработки и создания электростатической холодильной машины можно отнести к исследованиям, проводимым на границе нескольких наук. Причем эти исследования были проведены впервые, по крайней мере, подобных изысканий нам не известно.

Теоретическое обоснование и расчеты - это важная составная часть любой научной работы, но доказательством верности теории, как правило, является эксперимент. Применительно к данной работе, на основании имеющегося у авторов знаний и практического опыта, было бы проще создать опытный образец электростатической холодильной машины и продемонстрировать его работоспособность. Отметим, что такой путь нами был предпринят в 2006 году. В условиях, не приближенных к научным, был создан и опробован прототип электростатического холодильника. В результате эксперимента было зафиксировано понижение температуры внутри рабочего объема образца на 6 °С (с +32 °С температура понизилась до +26 °С). При планировании эксперимента, ставилась цель достижения минусовых температур, но добиться этого не удалось, из-за несовершенства используемого оборудования и приборов и ряда других объективных причин.

Имелась возможность устранить проблемы, возникшие в ходе эксперимента и добиться поставленной цели. Но нас остановили следующие обстоятельства: помимо отсутствия денежных средств и осознаваемой

опасности, проведения эксперимента в неподготовленном помещении, мы встретили данные о КПД современных холодильных устройств.

Расчеты показали, что КПД электростатической холодильной машины, будет составлять ~ 90-95%. Современные производители холодильной техники утверждали, что их образцы достигают КПД по «холоду» 400-800%. Не являясь специалистами в области термодинамики, можем только предположить, что этому парадоксу есть научное объяснения, иначе это противоречит первому закону данной науки. В связи с этим эксперименты мы решили приостановить и разработать теоретическое обоснование возможности создания нового образца холодильника, использующего в своей работе электростатический способ диспергирования жидкости.

Электростатическое охлаждение.

Научное обоснование возможности, создания принципиально нового типа холодильного устройства, использующего для получения искусственного холода электростатический способ диспергирования жидкости, сопряжено с определенной спецификой подходов к проводимым исследованиям.

Эта специфика заключались в следующем:

Во-первых, был необходим анализ и изучение закономерностей и научных положений разноплановых и, как правило, невзаимосвязанных между собой областей фундаментальных и прикладных наук.

Во-вторых, учитывая объемность, научных и экспериментальных исследований по интересующим нас вопросам, возникла необходимость акцентировать внимание только на разделы теории и закономерности, позволяющие нам корректно провести и представить наши теоретическое наработки и расчеты.

Таким образом, в данной работе были представлены в основном результаты исследований теории образования и получения аэрозолей, и термодинамики. В частности из теории об аэрозолях - детально исследован вопрос электростатического диспергирования жидкостей и результаты поведения и свойства электрически заряженных аэрозольных частиц. Из раздела термодинамики – нас интересовал раздел связанный со вторым её законом (закономерности и условия получения искусственного холода).

Для доступности, изложенного в основной части работы материалов широкому кругу специалистов, и создания целостной картины сущности нашего предложения, представляем историко-информационную справку по исследуемым вопросам.

Рассмотрим этапы исследований связанных с электрическим зарядом аэрозольных частиц и их искусственным получением.

Факт наличия избыточного электрического заряда на поверхности аэрозольных частицах, при диспергировании (распылении) жидкости, был установлен еще в начале 20 века [3]. Исследования свойств и поведения, электрически заряженных частиц в атмосфере показали, что они отличаются от таких же, но незаряженных (нейтральных).

Дальнейшие исследования в начале 20 века показали, что специфические свойства электрически заряжениях аэрозольных частиц, позволяют в ряде случаев более эффективно решать задачи обусловленных их использованием. В связи с этим в 60-70-х годах прошлого века, были разработаны и созданы распылители жидкостей, позволяющие искусственно получать электрически заряженные аэрозоли. В этот период появились различные типы таких распылителей.

Наибольшее распространение на практике получили электростатические распылители комбинированного типа.

Принцип работы таких устройств заключался в следующем – на распыливающую кромку обычного распылителя (аэродинамического, гидравлического и т.п.) подавался электрический потенциал. При этом, образующиеся аэрозольные частицы, отрываясь от кромки распылителя, приобретали избыточный электрический заряд. Эффективность работы таких распылителей достаточно известна [4].

Необходимо отметить, что в этот же период появились «чисто» электростатические распылители, т.е. распылители, использующие для дробления жидкости только электрическую энергию (электростатическое поле). Но данный тип распылителей, по ряду причин, не нашел широкого применения. Основным недостатком электростатических распылителей и, как следствие - отсутствие интереса к ним, являлась их производительность, не превышавшая 0,3 литра в минуту у лучших образцов. Другой немаловажной причиной, препятствующей их широкому распространению, было то, что не все жидкости способны эффективно дробиться электростатическим способом.

Однако в середине 80-х годов прошлого столетия группа исследователей, в которую входили и авторы данной работы, смогла научно обосновать и экспериментально подтвердить, что недостатки устранимы. При исследовании процессов, происходящих при электростатическом распылении, было установлено, что кроме цели получения электроаэрозолей, имеются реальные возможностиего эффективного использования в других областях науки и техники.

Одним из таких положений являлось то, что с помощью данного способа распыления можно получать искусственный холод. В тот период

данный факт исследователей не заинтересовал, он был просто зафиксирован как побочный результат, и не получил дальнейшего развития.

Причиной интереса, к возможности создания принципиально новой холодильной техники, использующей для получения искусственного холода - электростатический способ, было вызвано публикациями о возникших проблемах в холодильной отрасли, а также из анализа материалов о направлениях её развития.

История использования и получения человечеством холода.

Тысячелетиями человечество удовлетворяло потребности в холоде за счет естественного охлаждения, используя для этих целей лед и снег. И только в 80-х годах 19 века сформировались основы современных методов получения искусственного (машинного производства) холода. Дальше холодильное дело развивалось стремительно. Меньше чем за сто лет создано столько разновидностей холодильных установок, что для описания их не хватит целого тома. Только основных физических явлений, используемых в технике для получения искусственного холода, существует более десятка. В настоящее время наиболее распространенными являются:

- фазовые превращения;
- расширение сжатого газа с получением внешней работы;
- дросселирование, вихревой эффект (труба Ранка);
- термоэлектрическое охлаждение (эффект Пельтье) и т.д.

Из выше перечисленного становится очевидным, что физического явления получать холод за счет электростатического распыления жидкости, нет.

Для выдвижения предложения использовать для получения искусственного холода новый способ и принципиально новую конструкцию, на наш взгляд, необходимы следующие условия:

- наличие теоретического обоснования, возможности при использовании конкретного метода способа, получать искусственный холод;

- расчёты и оценка ожидаемых технических характеристик образца, использующего в своей работе предлагаемый способ получения холода;

- экспериментальное подтверждение теоретических и расчётных данных;

- обоснование возможности изготовления опытного экземпляра и оценка перспектив его серийного производства.

Первые два пункта вышеперечисленных условий соблюдены, и в основной части работы будут представлены.

Последние два, решены частично и при наличии материально-технической базы для проведения экспериментов, в короткие сроки будут получены результаты.

Следовательно, имеются объективные основания для разработки и создания принципиально нового образца холодильника, использующего для получения искусственного холода электростатический способ распыления жидкостей.

Как уже отмечалось, в настоящее время самыми распространёнными и востребованными являются парокомпрессионные холодильные машины (ПКХМ).

В связи с этим анализ технических характеристик, предлагаемого к созданию образца, проводился в сравнении с лучшими образцами парокомпрессионных холодильных машин.

Таким образом, целью данной работы является: обоснование возможности использования электростатического способа диспергирования

жидкостей для получения искусственного холода, и создания электростатической холодильной установки.

Исходя из цели, решались следующие задачи:

1. Анализ физических основ получения искусственного холода, процессов происходящих в современных холодильных машинах.

2. Проведение анализа способов распыления жидкостей, процессов протекающих при этом.

3. Физико-математических расчеты основных процессов, протекающих при электростатическом распылении жидкостей и анализ изменения баланса и превращения энергии.

4. Разработка предложений по реализации электростатического способа распыления в холодильных машинах.

Для наглядности процессов протекающих при реальном электростатическом распылении, представляем фотографии, полученные при работе лабораторной установки (рис. 3.2–3.7). На наш взгляд представленные рисунки и их названия дают полное представление о сущности способа электростатического распыления и показывают различные режимы работы установки.

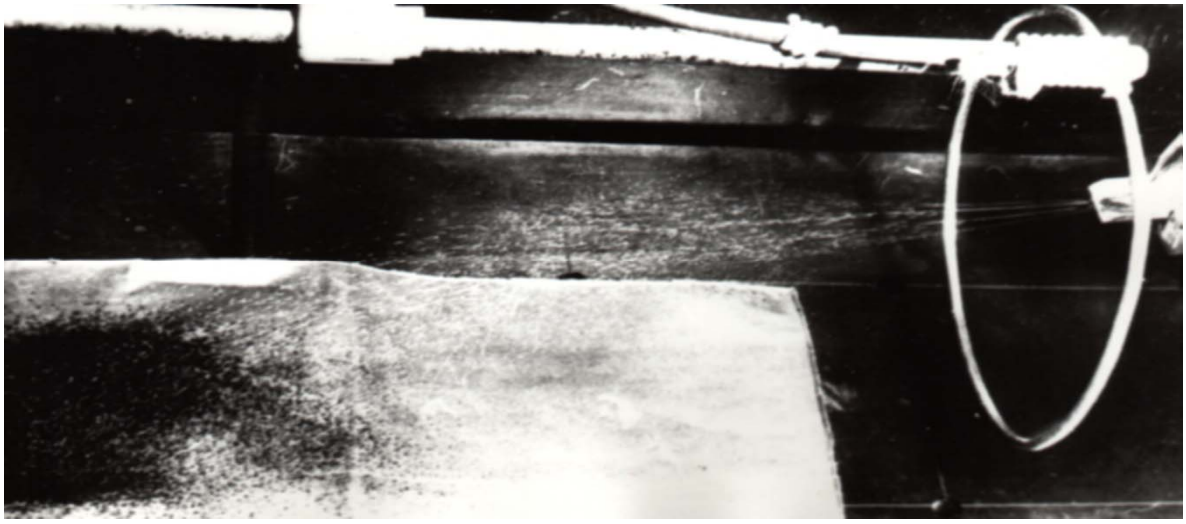

Рис. 3.2. **Начало процесса электростатического распыления (напряжение на электродах минимальное)**

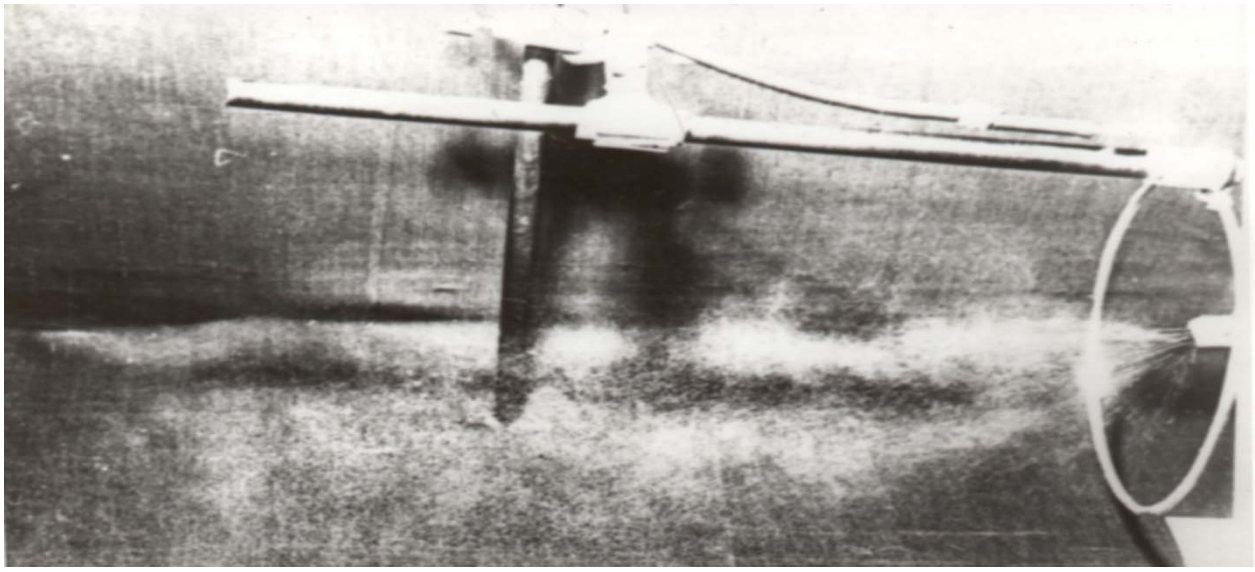

Рис. 3.3. **Распыление при увеличении напряжения на электродах**

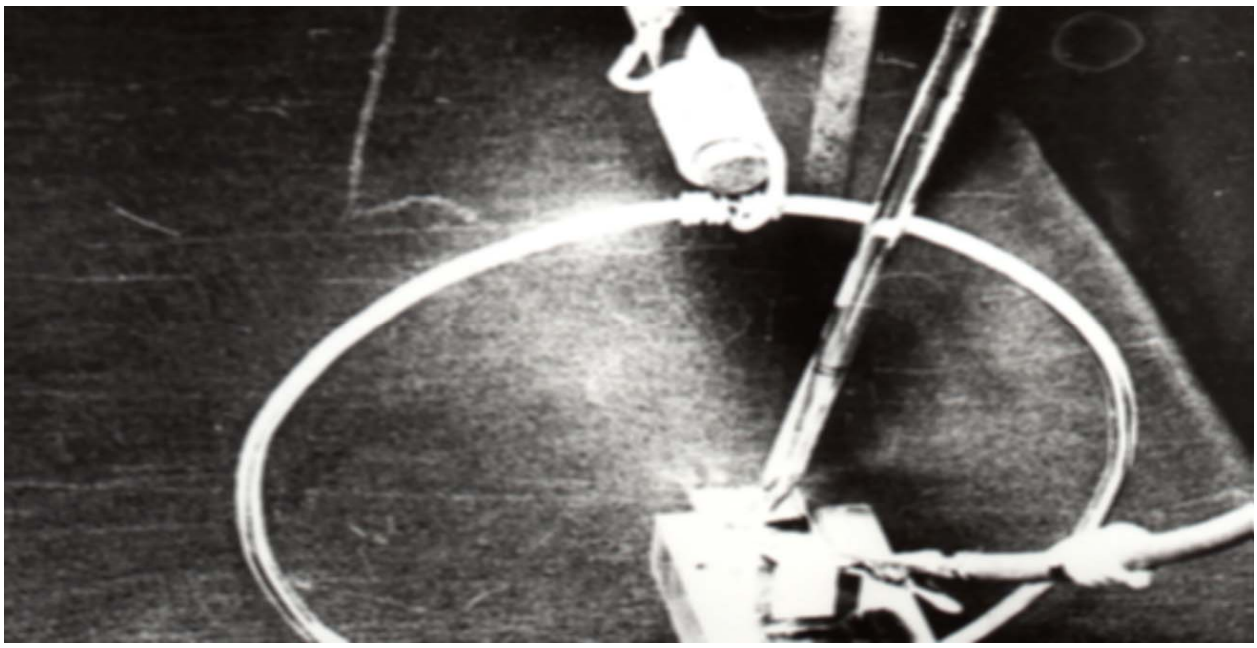

Рис. 3.4. **Оптимальный режим распыления**

На рис. 3.5 наглядно показаны процессы образования аэрозолей в динамике: вначале под воздействием сил напряженности электрического поля жидкость, приобретая электрический заряд, вытягивается в струи, которые в дальнейшем распадаются на аэрозольные частицы. Очевидно, процесс дробления жидкости продолжается до тех пор, пока кулоновские

силы разрывающие поверхность капли не будут уравновешены силами поверхностного натяжения жидкости.

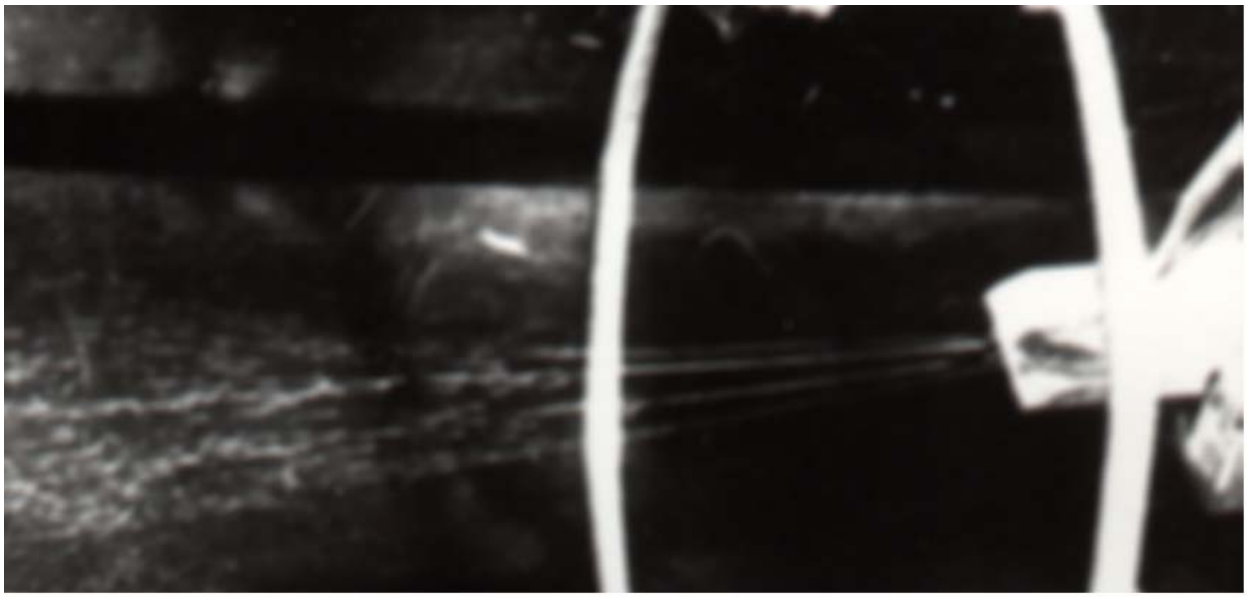

Рис. 3.5. **Динамика образования аэрозольных частиц при электростатическом диспергировании**

При достижении максимум возможного для данной системы электродов напряжения, процесс распыления становится, практически, не видим. В экспериментах его фиксировали по расходу распыляемой жидкости из пипетки или с помощью специальной съемки под определенным углом и соответствующей подсветкой (рис. 3.6 и 3.7).

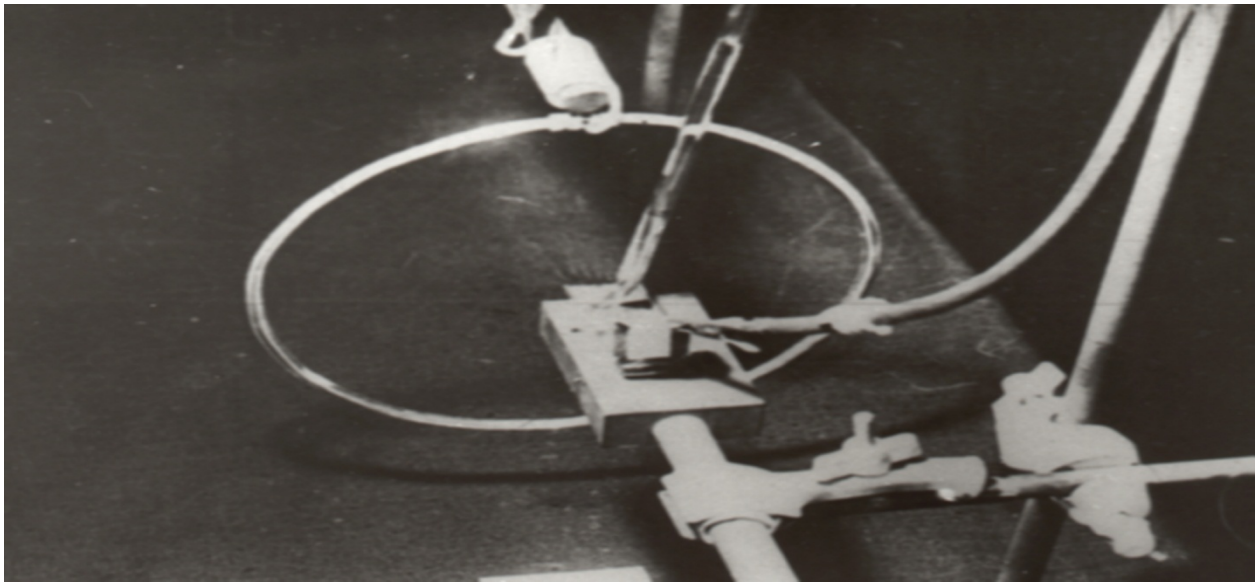

Рис. 3.6. **Распыление при максимальном напряжении на электродах (вид сверху)**

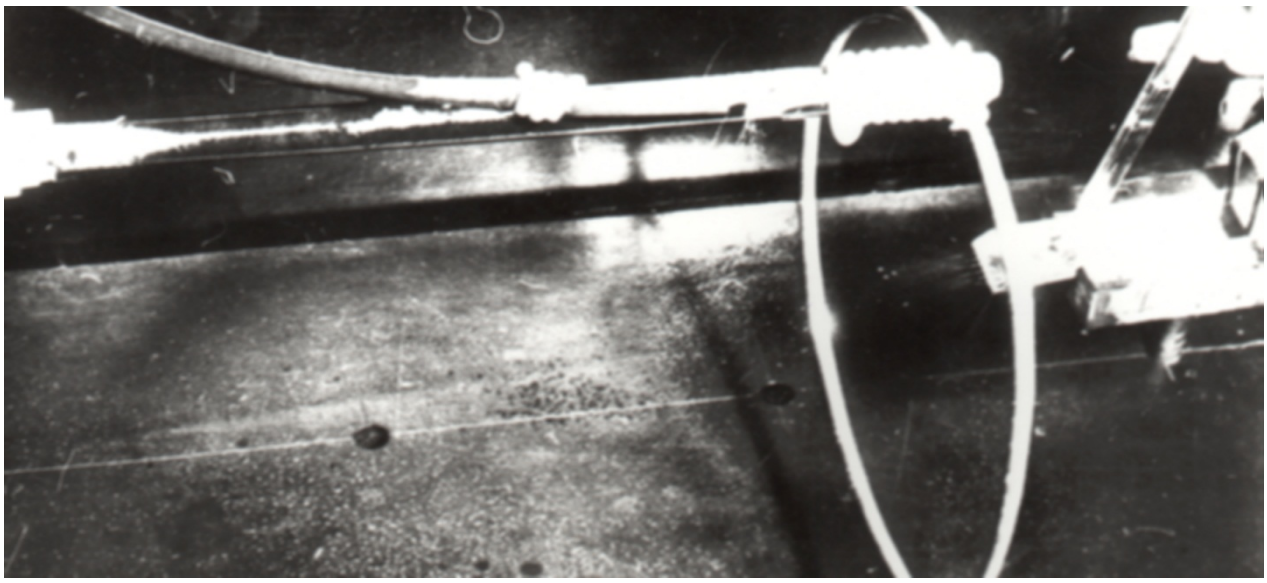

Рис. 3.7. **Распыление при максимальном напряжении на электродах (вид сбоку)**

Состав изделия.

Принципиальная схема электростатического холодильника (рис. 1) разработана впервые.

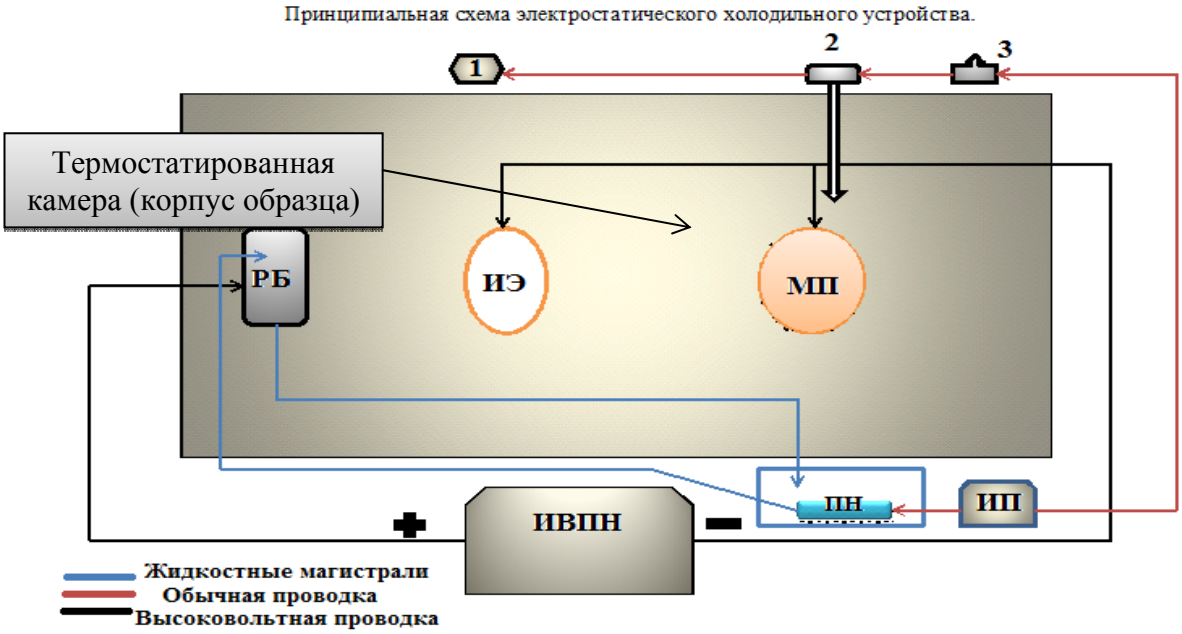

Рис. 1. **Принципиальная схема электростатического холодильного устройства:**

РБ – распылительный блок, ИЭ – индуцирующий электрод, МП- металлическая (медная) пластина, ИП – источник питания, ПН – погружной насос, ИВПН – источник высокого постоянного напряжения, 1 – таймер, 2,3 – термометры.

Принципиальная схема не отражает особенности конструкции каждого элемента образца, их подсоединение друг с другом и взаиморасположение в корпусе (термостатированной камере). Для уточнения требований на изготовляемый образец, схемы компоновки оборудования внутри корпуса и представления о конструкции некоторых узлов, ниже приведены следующие рисунки (см. рис. 2–8).

Как вариант реализации принципиальной схемы в конкретном образце, представлен на рис. 2, где показано размещение и компоновка оборудования как внутри корпуса, так и снаружи.

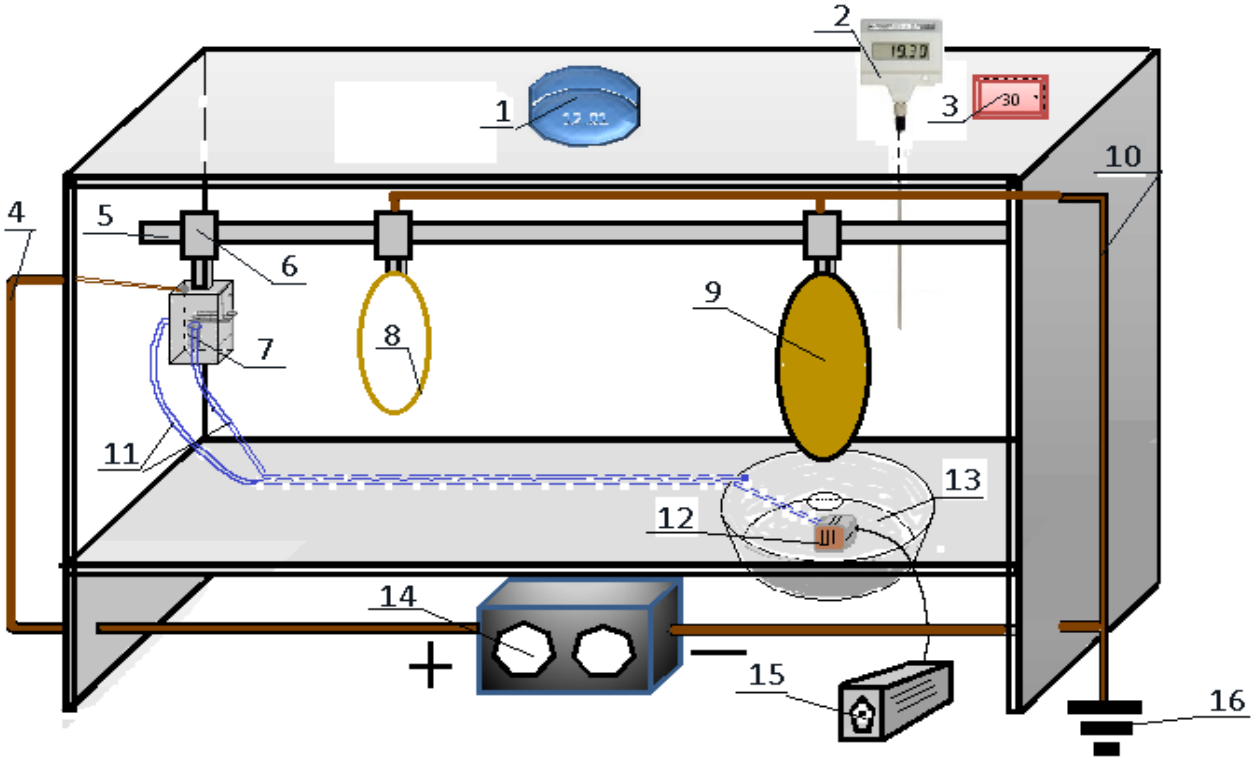

Рис. 2. **Состав, размещение и компоновка оборудования образца электростатической холодильной машины:**

1 - таймер; 2 - электронный термометр (для измерения температуры внутри корпуса); 3 - термометр наружный; 4,10 - провода с высоковольтной изоляцией; 5 – штанга системы креплений; 6 – ползунок с зажимом; 7 - распылительный блок; 8 – индуцирующий электрод; 9 – металлическая (медная) пластина; 11 - жидкостные трубки; 12 – погружной насос; 13 – ёмкость под жидкость; 14 – источник высокого постоянного напряжения; 15 – источник питания вспомогательного электрооборудования; 16 – система заземления высоковольтного оборудования.

Электростатические холодильные устройства

Для подтверждения наличия процесса искусственного охлаждения и определения его величины, по аналогии с подобными холодильными устройствами, должна быть создана термостабильная замкнутая «система». Под «системой» подразумевается, замкнутый термоизолированный объём, внутри которого помещен электростатический распылитель жидкости.

Принцип работы такой системы и процессы, протекающие при этом (упрощенный вариант) можно представить в следующем виде. Для получения аэрозольных частиц и их зарядки затрачивается определенное количество энергии. Энергии тратится на преодоление сил поверхностного натяжения жидкости. Образующиеся одноименно заряженные аэрозольные частицы не могут коагулировать между собой в связи с наличием сил Кулоновского отталкивания между частицами, но если с частиц убрать электрический заряд этот процесс начнется. Данное условие соблюдено в электростатическом холодильном устройстве, т.е. мелкие частицы вначале отдают заряд (разряжаются), затем образуют крупные частицы, которые в конечном итоге, превращаются в пленку жидкости. Для такого процесса (превращения мелких капель в жидкость) требуется энергия, и той энергией может быть только энергия тепла окружающего пространства. Подтверждением вышеуказанному явлению (что, возможно, не очень корректно) является всем известный факт понижения температуры окружающего воздуха в приземном слое атмосферы при дожде. Конечно, такое понижение температуры обусловлено рядом других факторов, но вклад в этот процесс «сил» поверхностного натяжения присутствует.

Таким образом, схема превращения энергии, происходящая в замкнутой «системе», согласно второму закону термодинамики, приводит к искусственному охлаждению объема внутри системы.

Для электростатических распылителей достичь такой схемы превращения энергии и получения искусственного холода достаточно просто (рис. 3.8).

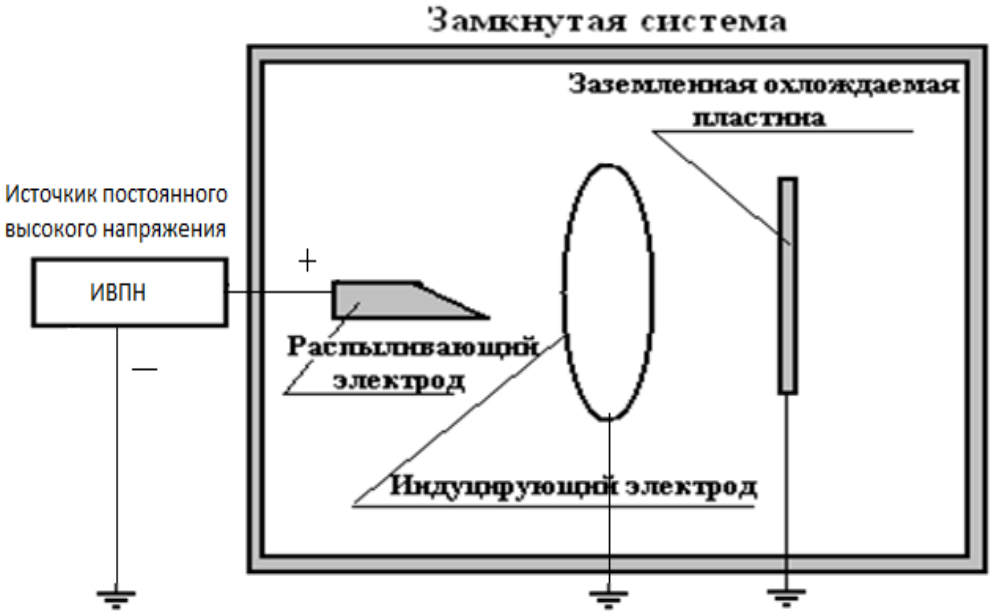

Рис. 3.8. **Общий вид устройства реализующего схему получения искусственного холода электростатическим способом.**

Из рис. 3.2–3.7 видно, что прямой процесс (процесс дробления и зарядки частиц) интенсивно происходит до плоскости индуцирующего электрода. Затем частицы, за счет приобретенной кинетической энергии, пролетев индуцирующий электрод, продолжают распадаться под воздействием кулоновских сил до таких размеров, пока кулоновские силы не будут уравновешены силами поверхностного натяжения этих частиц. Отметим что заземленная пластина (см. рис. 3.8) в любом случае (независимо от заряда частиц) будет иметь противоположный заряд. Из рис. 3.2–3.7 следует, что частицы, если их движение спроецировать на рис. 3.8, под воздействием сил инерции движутся к заземленной пластине и согласно закону Кулона притягиваются к ней. Соприкасаясь с пластиной, частицы теряют электрический заряд и, соударяясь друг с другом, превращаются в более крупные капли или пленку жидкости, стекающую с заземленной

пластины, охлаждая при этом как её, так и окружающий объём «системы». Таким образом, происходит так называемый обратный процесс, который возможен только при поглощении энергии из «системы».

Исходя из вышеизложенного, появляется возможность разработать несколько вариантов принципиальных схем конструкций электростатических холодильных машин с предполагаемыми конструктивными элементами, которые будут входить в её состав (рис.3.9-3.10).

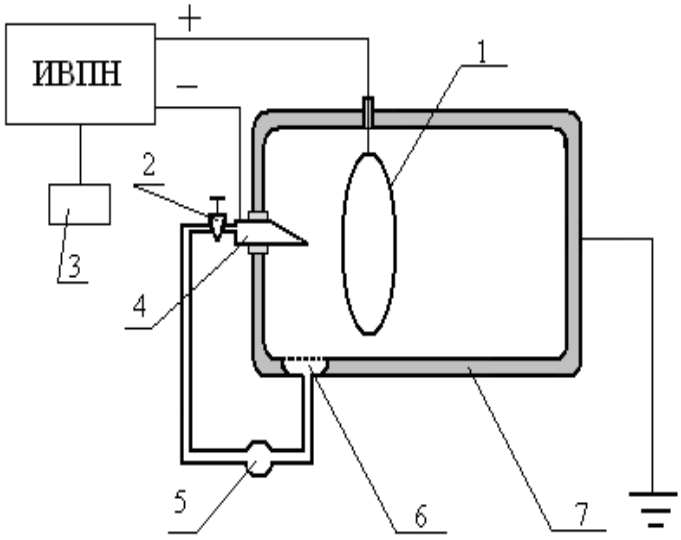

Рис. 3.9. **Упрощенный вариант принципиальной схемы конструкции электростатического холодильного устройства:**

1 – индуцирующий электрод; 2 – регулирующее подачу жидкости в распылитель устройство; 3 – пульт управления ИВПН; 4 – распыливающий электрод; 5 – насос с гидравлической системой циркуляции жидкости; 6 – воронка сбора распыляемой жидкости; 7 – охлаждаемый корпус (заземленный электрод).

Схема, представленная на рис. 3.8, мало отличается от схемы, показанной на рис. 3.9. В последней добавлены система циркуляции жидкости, регулирующая подачу жидкости в распылитель устройство, и роль заземленной охлаждаемой пластины играет корпус.

Данный тип устройств (рис. 3.9) очевидно будет присущ для бытовых холодильных устройств, не требующих большой мощности (производительности) по холоду.

На рис. 3.10 показан другой вариант схемы конструкции электростатического холодильного устройства, которая может быть использована при создании аналогов, существующих в настоящее время высокопроизводительных холодильных агрегатов.

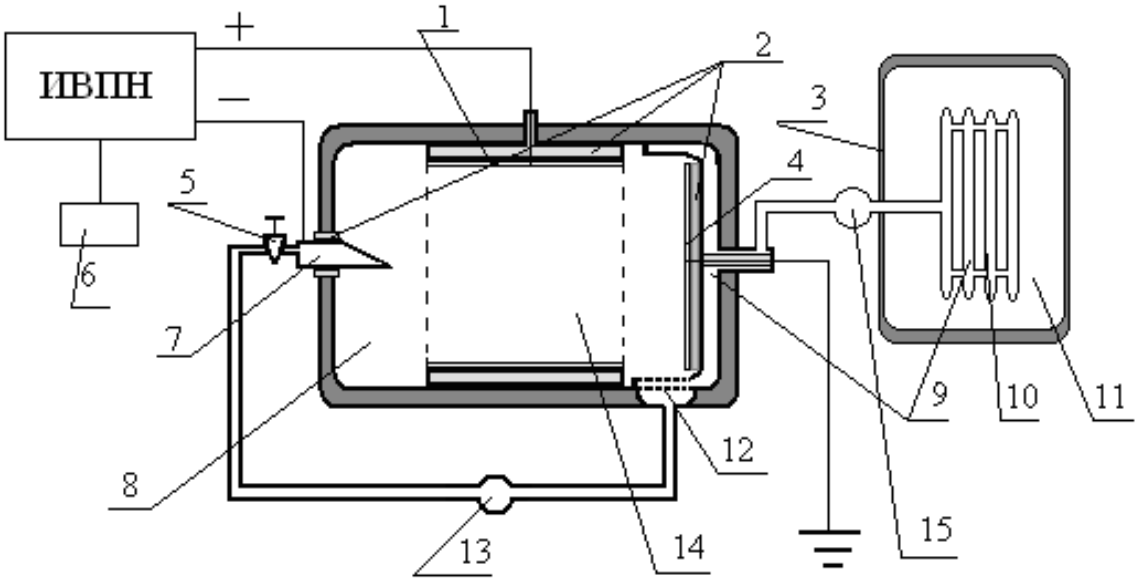

Рис. 3.10. **Принципиальная схема (вариант) конструкции электростатического холодильного устройства**:

1 – индуцирующий электрод; 2 – электроизолирующий материал; 3 – холодильная камера; 4 – заземленная пластина; 5 – регулирующее подачу жидкости в распылитель устройство; 6 – пульт управления ИВПН; 7 – распылительный электрод (элемент); 8 – электрораспыливающий блок; 9 – охлаждающая жидкость; 10 – радиатор (теплообменник); 11 – холодильная камера; 12 – воронка сбора распыливаемой жидкости; 13 – насос с жидкостной коммуникацией сбора и подачи жидкости в электрораспылитель; 14 – рабочий объём; 15 - насос с жидкостной коммуникацией циркуляции охлаждающей жидкости.

На рис. 3.10 показан относительно сложный вариант конструкции электростатического холодильного устройства.

Но по сути своей он не отличается от схем, показанных на рис. 3.8–3.9.

В качестве заключения по данному разделу необходимо сказать, что при разработке и создании экспериментального образца электростатического холодильного устройства, не исключается возникновение проблемных вопросов, но представленный в данной работе материал, а также результаты и данные, полученные в ранее проводимых исследованиях и не использованные в этой работе, позволяют нам утверждать, что разработка электростатических холодильных машин возможна и целесообразна. Причем конструкция такого холодильного оборудования значительно проще, наиболее распространенных в настоящее время, парокомпрессионных холодильных машин. Отсутствие компрессоров радиаторов и т.п. в электростатическом холодильном оборудовании, принесет значительный экономический эффект при их производстве (изготовлении).

Из рис. 3.2–3.8 видно, что основной процесс электрораспыления происходит в нескольких сантиметрах от распыливающей кромки распылителя. Следовательно, габариты самого охлаждающего электростатического блока будут достаточно малы. Еще одним преимуществом электростатических холодильных средств будет, как указывалось ранее то, что в качестве рабочего тела нет необходимости использовать дорогостоящие фреоны. Для получения холода этим способом подойдет практически любая жидкость. Ограничением может только стать её температура замерзания.

Распылители, показанные на рис. 3.2–3.8 представляет собой первую конструкцию, которая использовалась в основном для изучения происходящих при электростатическом распылении процессов. Авторы в

свое время - до первого пуска установки, сомневались, что процесс «чистого» электрораспыления возможен.

Преимущество, предлагаемого к созданию электростатического холодильного образца, можно продемонстрировать также следующими примерами.

Согласно формуле (2.1) энергия $E_р$ необходимая для распыления m количества жидкости в «идеале» равна:

$$E_p = \frac{3y}{rc} \qquad (2.1)$$

КПД распыливающего устройства определяется как отношение $E_р$ / $E_{сум}$ (отношение энергии потерь к суммарной энергии, потраченной на распыление). Энергия потерь $E_п$ складывается из следующего (формула 2.2)

$$E_п = E_г + E_{тр} + E_д \qquad (2.2)$$

Анализ показывает (рис. 3.3–3.8), что при электростатическом распылении $E_п$ энергия потерь со всеми её составляющими отсутствует. Очевидно, что если бы процесс электрораспыления происходил в вакууме, КПД составил 100 %. Т.е. сколько потратили энергии столько и получили аэрозольных частиц определенного диаметра.

Сравнение КПД электростатических распылителей с КПД гидравлических, механических, пневматических распылителей (напомним, что КПД последних, соответственно составляют 39%, 14% и 0,4 %) показывает явное преимущество первого.

Следовательно, и КПД электростатической холодильной машины при прочих равных условиях, должен быть выше в сравнении с аналогами существующей холодильной техники. Поэтому актуальное на сегодняшний

день стремление человечества к энергосберегающим технологиям, может в полной мере воплотится в электростатической холодильной машине.

Для наглядности сравнения парокомпрессионной и электростатической холодильной машины совместим рис. 1.5 и 1.6 в один рисунок (рис.3.11), т.е. покажем схему паровой холодильной машины и цикл (Карно):

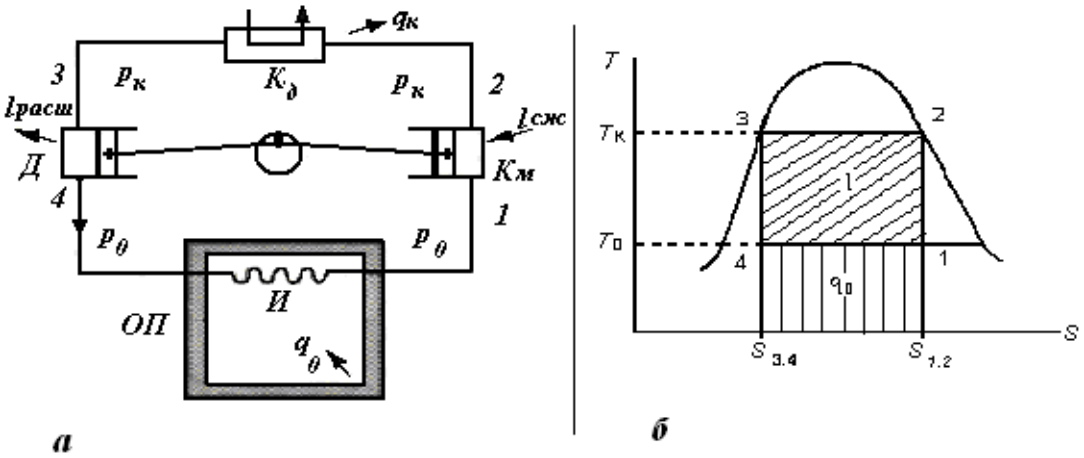

Рис. 3.11. **Схема паровой холодильной машины и холодильный цикл её работы (цикл Карно).**

К рис. 3.9 (схема электростатической холодильной машины), добавим графики изменения основных параметров в процессе её работы (рис. 3.12).

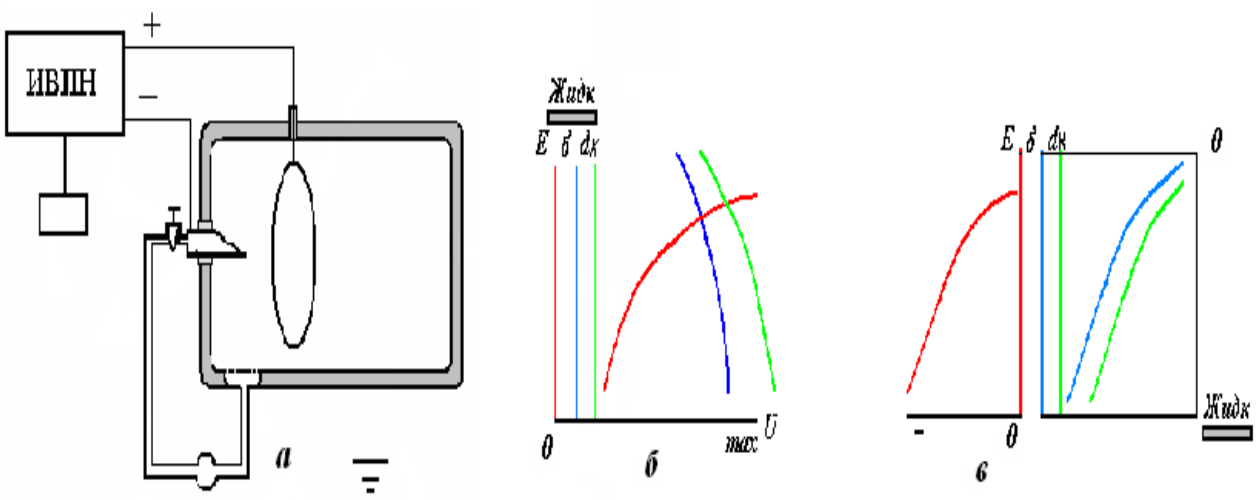

Рис. 3.12. **Схема электростатической холодильной машины (а) и графики (б, в) изменения E – энергии; σ - поверхностного натяжения; $d_к$ – диаметра капель происходящих в процессе работы.**

Из сравнения рис. 3.11 (а) и 3.12 (а) становится очевидной относительная простота конструкции электростатической холодильной машины.

Циклы парокомпрессионной холодильной машины и её модификаций подробно изложены в первом разделе данной работы. Следовательно, подвергать анализу рис. 3.12 нет необходимости.

Из рис. 3.12 обратим внимание на позиции *б* и *в* т.е. графики. На рис. 3.12 (б) показаны графики изменения основных параметров, характеризующих начало процесса - момент распыления и образования электроаэрозолей, т.е. прямой процесс. Из графиков мы видим, что с увеличением U, напряжения на электродах, суммарная величина σ поверхностного натяжения уменьшается, также, соответственно, уменьшается диаметр $d_к$ образующихся аэрозольных частиц. При этом количество затраченной энергии E растет. Необходимо отметить, что процесс начинается с поверхности жидкости (данное условие показано на рис. 3.12 (б) - прямоугольник сверху). На рис. 3.12 (в) показаны графики изменения вышеперечисленных характеристик, характеризующих процессы образования холода (процессы, протекающие на заземленном электроде) (рис. 3.8). Для удобства показа процессов связанных с изменением энергии мы введем понятие отрицательной энергии (рис. 3.12 в). Отрицательная энергия это энергия, забираемая из замкнутой системы для уравновешивания изменяющихся сил поверхностного натяжения и сил внутреннего давления жидкости. Согласно теории, отрицательный баланс энергии компенсируется энергией тепла, забираемой из замкнутой «системы». На рис. 3.12 (в) - правая часть рисунка, показаны процессы превращения аэрозолей в жидкость и соответственно увеличение сил поверхностного натяжения. Эти процессы подробно описаны при рассмотрении схем электростатического холодильного оборудования (рис. 3.8–3.10).

Следует отметить, что графики, показанные на рис. 3.12 (б, в) являются демонстрационными. Они показывают сущность происходящих при электростатическом распылении процессов в динамике.

Реально, при выходе на оптимальный режим работы электростатических холодильных машин, графические зависимости будут другими.

Продолжение следует…