

СОЛНЕЧНЫЙ ВИХРЕВОЙ ОХЛАДИТЕЛЬ ВОЗДУХА

Северянин В.С.

Введение

Охладители (холодильники, фризеры, чиллеры и т.д.) предназначены для получения и поддержания температуры какого-либо объекта ниже температуры окружающей его среды. Можно разделить их на две большие группы: вырабатывающие холод машинным методом (с потреблением внешней энергии) и применением охлаждающих веществ (при таянии, сублимации, испарении, растворении температура снижается) [1]. К первым относятся компрессионные, теплоиспользующие (абсорбционные), термоэлектрические холодильники, КПД которых или холодильный коэффициент подчиняется второму закону термодинамики. Ко вторым – устройства, базирующиеся на применении льда, сухого льда, жидкого азота и др.

Солнечная энергия может выступать в качестве теплоподводчика в обратном термодинамическом цикле. Это обуславливает технологическую сложность устройства (например, наличие испарителя, конденсатора, компрессора с приводом, дросселя и т.д.). Немашинные технологии получения холода требуют наличия расходуемого запаса охлаждающих веществ, в цикле фазовых превращений которых можно использовать солнечный нагрев.

Поэтому солнечная энергия, представляемая собой необъятный ресурс доступного использования, издавна привлекала умы с целью удовлетворения потребностей в комфортных условиях или осуществления мероприятий, невозможных без снижения температур. В настоящее время – это, во-первых, кондиционирование воздуха в жилых и производственных помещениях и, во-вторых, многочисленные производственные технологии. Историю же создания и развития холодильной техники можно начать с описания системы получения воды из воздуха путем его охлаждения на Великом шелковом пути, действующем тысячелетия назад, обустроенном этой системой древними создателями из Китая.

Вихревой колодец

Придумать, создать, эксплуатировать, удовлетворять потребности – без затрат энергии, охлаждающих веществ, надеясь только на Солнце – достойно восхищения современных инженеров. Приведенное ниже описание основано на публикации [2], к которой можно отнести критически, но вдуматься стоит. Итак...

Одним из достоинств Великого шелкового пути, протянувшегося на несколько тысяч современных километров, величайшего в истории человечества инженерно-транспортного сооружения, были колодцы. Это сооружения в виде цилиндра 1 (обожженный глиняный кирпич) диаметром 6 м, высотой 6-8 м, большей частью вкопанного в землю (рис.1). Крыша цилиндра (основное ноу-хау!) выполнена конусной с внутренними касательными к выходу у вершины каналами 3, каналы начинались на периферии конуса, заканчивались в его центре, не доходя до оси конуса.

Сбоку цилиндра имелось несколько маршевых сходов 4 для спуска в колодец, на дне которого выполнена кольцевая емкость 5, в центре ее – возвышение с горкой камней 6.

Опубликованное описание действия колодца следующее. Солнце интенсивно нагревало крышу 2, воздух в каналах 3 из-за нагрева поднимался вверх, выходя под крышей в виде тангенциальных, закрученных струй из-под верха конуса крыши 2. Затем (и это самое интересное явление!) воздух спиральным образом опускался вниз, вдоль стенок цилиндра 1. Это движение сопровождалось охлаждением воздуха – до такой степени, что на горке камней 6 вследствие конденсации выпадала роса, ее количество было таким, что вода (конденсат!) заполняло кольцевую емкость 5. Отработанный воздух выходил из колодца через маршевые сходы 4.

Процентное содержание водяных паров в воздухе, особенно сухом, на тех территориях, где работала эта система, весьма незначительно (доли процента), но через колодец проходили тысячи кубометров воздуха в сутки, и в колодцах накапливалось столько воды, что хватало напоить караван из 150-200 верблюдов. Установка таких колодцев вдоль пути через 12-15 км обеспечивала успешное функционирование Великого пути.

Для нашего рассмотрения важен сам факт охлаждения воздуха солнечным воздействием – через организацию вихревого движения. В упомянутой публикации даны литературные источники, где говорится о возможном снижении температуры воздуха до «степени замораживания» в центре вихревого потока.

К сожалению, описанная схема в настоящее время по разным причинам не используется, несмотря на простоту устройства и неисчерпаемый энергоресурс. Считается, существующие схемы эффективнее «древних». Несмотря на призывы их применить (публикация была в 2008 г), никакой серьезной информации по возрождению таких колодцев практически нет.

Эффект Ранка

Спустя полторы тысячи лет, в конце 20-х годов XX века, явление разделения потока газа на горячий и холодный при его закручивании было открыто французским исследователем Ж. Ранком, как новый физический факт, т.е. хорошо забытое древнее техническое достижение. В 1934 г. Ранк получил патент США №1.925.281 на устройство, названное им «вихревой трубой».

Изучая промышленные циклоны, Ранк измерял температуры по объему аппарата и обнаружил повышенную температуру на периферии и пониженную в центре, по оси, причем обнаруживались разно направленные потоки. Физического объяснения этому не получалось, поэтому патентование затянулось, до отработки конкретной конструкции – «трубы Ранка».

В настоящее время описано множество вариантов конструкций трубы Ранка. На рис. 2 представлена принципиальная, основная схема устройства. Цилиндрический (может быть конусный) канал 1 имеет тангенциальный патрубок-сопло 2 (может быть улиточные подвод). На торце рядом с ним – центральное выходное отверстие 3, а на противоположном торце – кольцевое выходное отверстие 4, образованное стенкой канала 1 и расположенной в центре диафрагмой 5 (может быть конус). Представленная конструкция на рис. 2 является противоточной (выход по разные стороны канала 1); работают схемы и прямоточные – отверстие 3 закрыто, диафрагма 5 убрана. Отвод сред из устройства – соответствующими трубопроводами. [3].

Исходный газ (воздух; упоминаются и жидкостные трубы Ранка) поступает из патрубка 2, горячий поток выходит из отверстия 4 холодный – отверстия 3.

Опубликованные параметры эффекта Ранка следующие. Входное давление воздуха 2...11 атм., доля массовая холодного воздуха 0,23...0,6, температура горячего воздуха – до 110°C, холодного – до -40°C. Диаметр вихревой камеры 12...100 мм.

Отмечаются такие достоинства метода охлаждения и нагрева использованием эффекта Ранка:

- отсутствие хладагентов и теплоносителей,
- простота конструкции, компактность,
- низкая цена, простота эксплуатации,
- быстрая смена режимов,
- возможность одновременного нагрева, охлаждения, разделения фаз.

Недостатки:

- необходимость компрессорного дорогого воздуха,
- низкая термодинамическая энергоэффективность.

Пока эти недостатки препятствуют широкому внедрению эффекта Ранка. Представляет большой интерес сама физика этого явления.

В самом деле, горячий воздух имеющий меньшую плотность (вес), чем холодный, должен по направлениям круговых течений быть в центре потока, а более тяжелый холодный – на периферии, у стенки цилиндрического канала. В действительности в рассматриваемом случае наблюдается противоположная картина: по центру, на оси – холодный, у стенки – горячий. Более того, в некоторых публикациях говорится о разных направлениях вращения: центральный поток и периферийный не совпадают по крутке.

Существует несколько точек зрения, теорий на эти физические факты (центробежная, радиальная, вихревая, гипотеза «Демон Максвелла», турбулентные микрообъемы и пульсация, торообразные линии тока, детандерное охлаждение, диссипативные тепловыделения), предложено и проанализировано несколько физико-математических моделей в виде громоздких систем дифференциальных уравнений, но общепризнано, что удовлетворительного объяснения температурно-сепарационного эффекта трубы Ранка нет.

Поэтому с целью понятного описания физики трубы Ранка при экспозиции подобных аппаратов и приборов можно предложить следующую гипотезу. Быстрые потоки окружающего периферийного течения «вымывают» молекулы центрального объема, в первую очередь – самые быстрые, «горячие» молекулы, которых легче захватить из-за их боль-

шей длины свободного пробега и скоростной активности. Такая точка зрения, подтверждаемая молекулярно-кинетической теорией газа, позволяет надеяться на проявление эффекта при меньших скоростях исходного газа, т.е. снизить энергоемкость технологии охлаждения. Возможно, так объясняется эффективность «колодцев» Великого шелкового пути.

На основании вышеизложенного исторического и нового опубликованного материала предлагается разработанная и опробованная в лабораторных условиях установка и технология охлаждения воздуха в системах кондиционирования и вентиляции зданий и сооружений.

Конструкция охладителя

Охладитель состоит из вертикального цилиндра 1 (рис.3) диаметром 70 мм высотой 400 мм (даются размеры опытной, ориентировочной конструкции, т.к. аналогов неизвестно, надо было определить основные элементы, их компоновку, сочетание, возможности изготовления и монтажа). Сверху прикреплен сдвоенный конус 2. Между внутренним и наружным конусом – зазор 10 мм, диаметр конуса 300 мм, высота 150 мм. Между конусами – фиксирующие лопатки, создающее проходное сечение. Конус 2 – это солнечный нагреватель, он создает тягу в цилиндре 1.

Внешний конус 2 входит в полость цилиндра 1, внутренний является направляющим. Снизу цилиндра 1 прикреплена круговая коробка 3, внутри которой выложены спиральные каналы 4 при помощи изогнутых лопастей 5. Лопастей 5 заканчиваются на уровне нижнего среза цилиндра 1, не входя в него, т.е. каналы 4 стыкуются с полостью его. Через дно коробки 3 вниз отходит воздуховод 6. Конусы 2 и коробка 3 снаружи выкрашены в черный цвет, цилиндр 1 – белый. Все детали изготовлены из картона.

Действие этого охладителя выявлялось определением характерных температур: t_1 - наружный воздух на входе в коробку 3, t_2 - нагретый воздух на выходе из зазора конусов 2, t_3 - воздух на выходе из воздуховода 6.

Цель этих измерений – проверка исходных гипотез и предположений, наличия факта охлаждения (температурной сепарации). Для этого конструкция устанавливалась на освещенное солнцем место (в кабинете, на подоконнике) и спиртовым термометром измерялась температура воздуха в указанных местах, после установления постоянного режима (10-20 минут), несколько раз. Получены усредненные данные:

$$t_1 = (28...28,5)^\circ C ; t_2 = (29,5...32)^\circ C ; t_3 = (27...27,5)^\circ C$$

Эти данные можно считать доказательством термосепарационного действия предложенной технологической схемы. Значит, движение воздуха в соплах и цилиндрической камере с образованием вихря можно организовать за счет конвекционного нагрева Солнцем, что, впрочем, подтверждается еще китайскими колодцами. Для увеличения охлаждающего эффекта необходимы дальнейшие конкретные исследования. В частности, предполагается установить в полости цилиндра 1 так называемый аэродинамический стабилизатор – для проверки высказанной выше гипотезы. Перспективна так же многоступенчатость процесса.

Конечная цель излагаемых в данной статье положений – системы кондиционирования и вентиляции для жилых и производственных сооружений при минимизации энергетических и материальных затрат. Рис. 4 показывает

вариант использования солнечного вихревого охладителя воздуха, установленного на крыше высотного здания. Охладитель 1 на крыше в виде короба со спиральными каналами 2 может оформиться соответствующей архитектурной формой. Воздуховоды 3 распределяют холодный воздух по помещениям. Кроме прямого назначения, охладитель может работать просто в режиме естественной вентиляции, высасывая воздуховодами теплый воздух из помещений.

Выводы

Энергоресурсосберегающие системы кондиционирования и вентиляции можно создать на основе эффекта Ранка. Солнечный вихревой охладитель воздуха является примером таких возможных разработок. Целесообразны углубленные физические и конструкционные исследования таких аппаратов.

Литература

1. Индивидуальные солнечные установки. Н.В. Харченко. М, Энергоатомиздат, 1991 г., 208 с.
2. Великий шелковый путь: вихри в колодцах. Х. Умяров. Журнал «Техника молодежи», № 8, 2008, стр.20-23.
3. Вихревая труба Ранка-Хилиа как перспективное устройство получения низких температур. А.Н. Белоусов, Журнал НИУ ИТМО, серия «Холодильная техника и кондиционирование», №2, 2014 г., стр. 12-21.

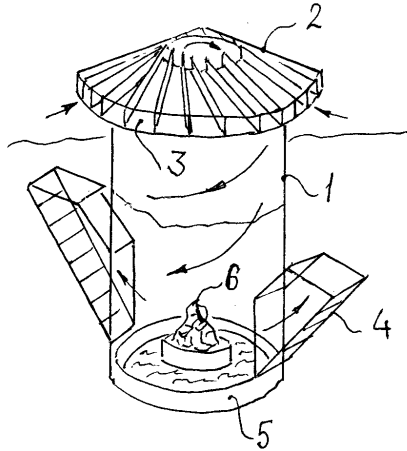


Рис.1

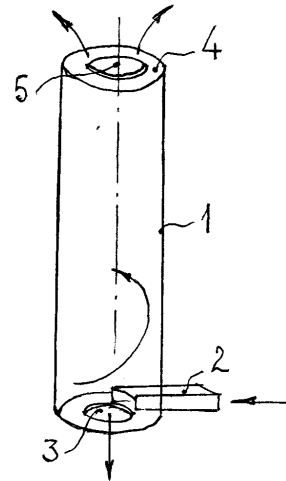


Рис.2

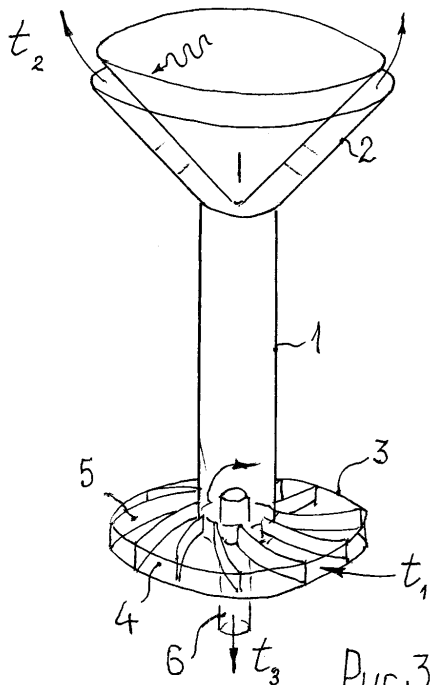


Рис.3

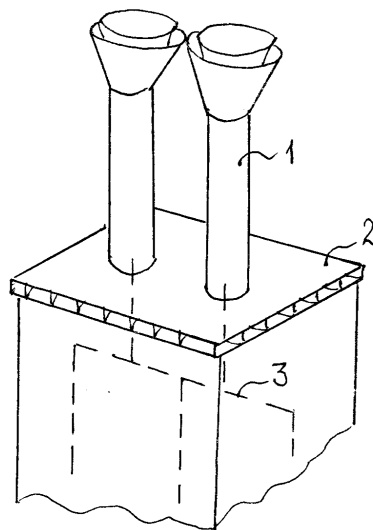


Рис.4