

Национальная академия наук Украины
Институт технической теплофизики
Комиссия по промышленным газовым турбинам ОФТПЭ НАНУ

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ МАЙСОЦЕНКО И
ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ, ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЯХ**

ХАЛАТОВ А.А.

академик НАН Украины

Киев - 2012

Все окружающее нас находится в непрерывном движении и энергия есть повсюду. Должны найтись и прямые способы утилизации этой энергии. И когда электричество будет получаться из окружающей нас среды...человечество пойдет вперед гигантскими шагами. (Н. Тесла, 1892).

Проф. В. Майсоценко: краткие биографические данные

Выпускник Одесского института холодильной промышленности, с 1992 г. проживает в г. Денвер, США. Предложил и обосновал термодинамический цикл косвенно-испарительного охлаждения воздуха до температуры близкой к точке росы наружного воздуха (М-цикл). Автор и соавтор более 200 патентов и изобретений. Основал в США компании «Idalex Co.» и «Coolerado» по производству кондиционеров нового поколения с затратой энергии почти в 10 раз меньшей, чем у кондиционеров компрессионного типа.

Газета «Горизонт» (г. Денвер, США): «...кондиционер Майсоценко работает, на первый взгляд, по принципу «вечного двигателя»... а энергию берет только из... окружающего воздуха» (18.09.2009).

М-цикл представляет собой один из вариантов безкомпрессионного энергетического разделения воздуха, использующего психрометрическую разность температур воздуха, т.е. фактически энергию окружающей среды.

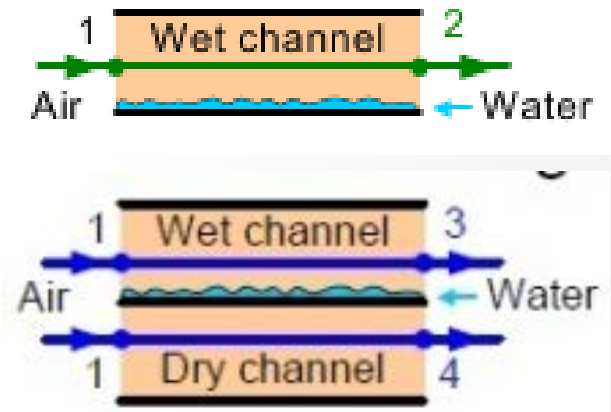
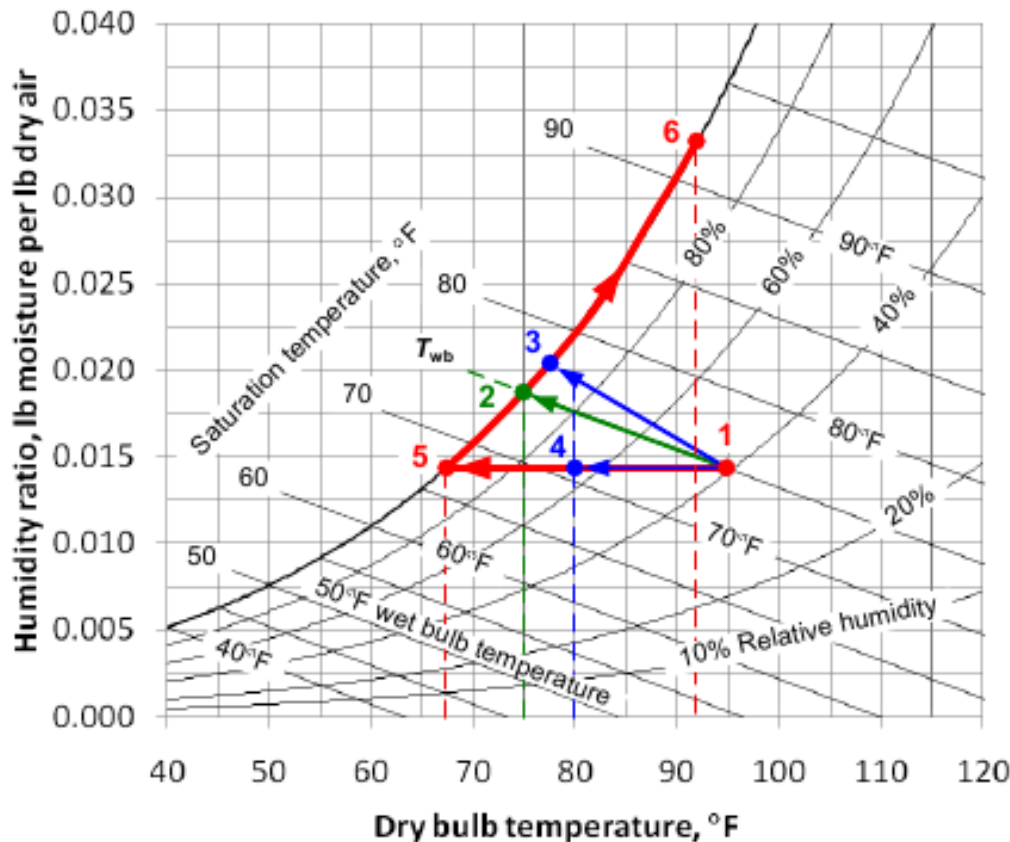
Введение

- Рост стоимости углеводородов, прогрессирующее загрязнение атмосферы и поиск альтернативных, экологически чистых и неисчерпаемых источников энергии.
- Один из них: природная неравновесность атмосферного воздуха в форме разности температур сухого и мокрого термометров (*психрометрическая разность температур, или разность температур атмосферного воздуха и воздуха, контактирующего с испаряющейся водой*), которая является **неисчерпаемым источником энергии** (производная от солнечной энергии).
- В жарких и сухих регионах Земли психрометрическая разность температур может достигать 20...25⁰С.
- Американский ученый В. Майсоценко первым показал как может быть существенно увеличена и использована в практических приложениях психрометрическая разность температур.

В докладе рассмотрены термодинамические основы М-цикла, использующего психрометрическую разность температур и его возможные приложения в энергетических, тепло- и массообменных технологиях.

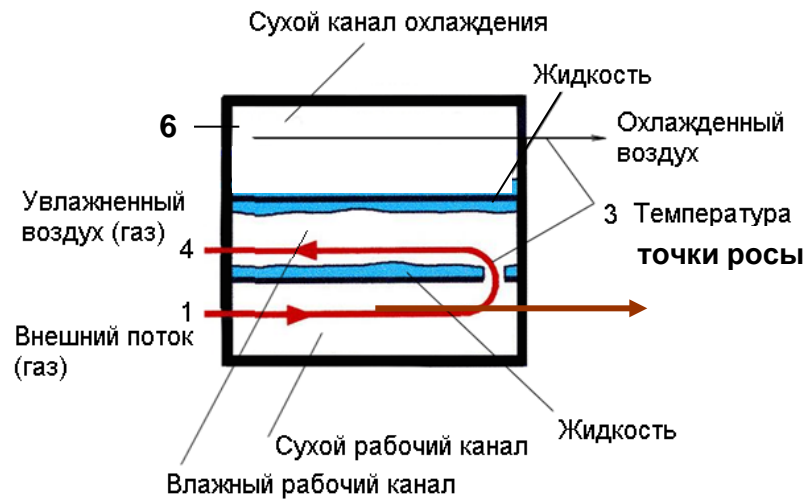
1. Термодинамический цикл Майсоценко

Испарительное охлаждение: По влажным каналам движется воздух, испаряя влагу и отдавая теплоту. Воздух при этом охлаждается и увлажняется. Это классическое испарительное (адиабатическое) охлаждение и увлажнение воздуха – в пределе до точки мокрого термометра.



Недостатки:

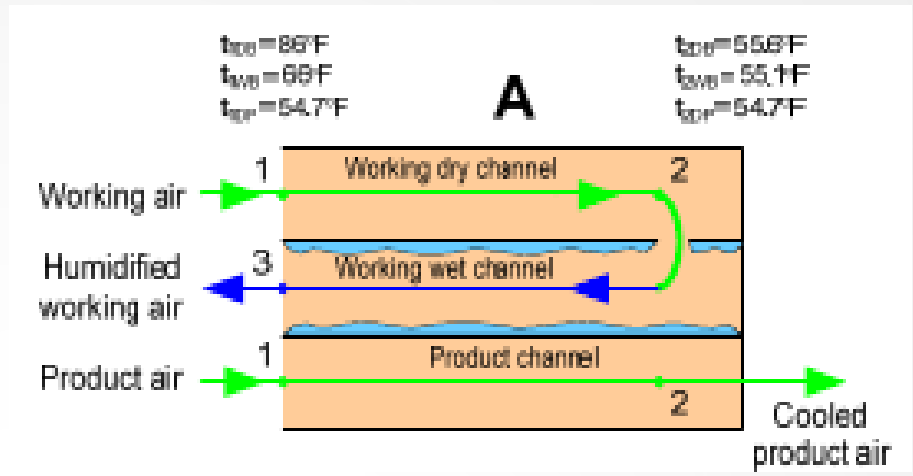
1. Теоретическое охлаждение воздуха только до температуры мокрого термометра.
2. Энтальпия влажного воздуха не изменяется.



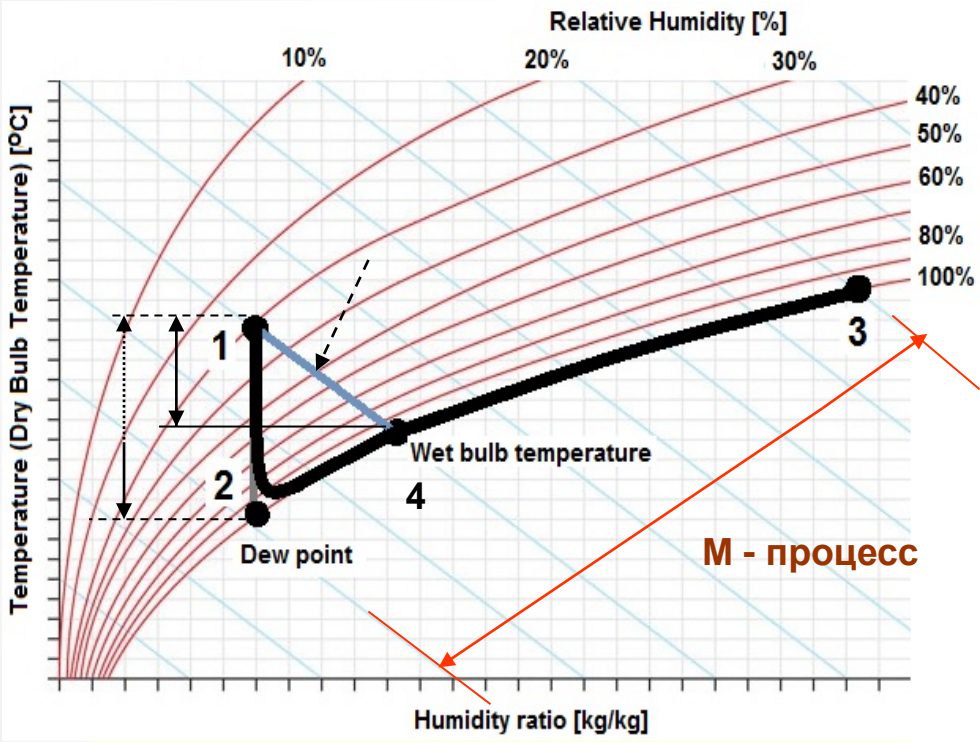
• М-цикл – косвенно-испарительное охлаждение воздуха. Один из вариантов энергетического разделителя, использующего психрометрическую разность температур.

• **Элементарная ячейка противоточного тепло- и массообменного аппарата косвенно-испарительного охлаждения.**

- Внешний поток воздуха охлаждается в сухом рабочем канале за счет контакта с обратной стороной влажного канала, где испаряется вода. В идеальных условиях на входе во влажный канал поток достигает насыщенного состояния, т. е. - температуры точки росы.
- При испарении во влажном канале температура воздуха, контактирующего с влажной стенкой, снижается, т.к. на испарение воды затрачивается его внутренняя энергия (**скрытая теплота испарения**). При движении во влажном канале воздух насыщенный, его абсолютная влажность и энтальпия возрастают, а температура (энтальпия) увеличивается.
- «Захолаживание» температуры влажного канала приводит к охлаждению воздуха в сухом канале охлаждения – **в пределе до точки росы входящего воздуха.** В **обоих «сухих» каналах** охлаждение воздуха происходит за счет скрытой теплоты испарения воды, а движущей силой тепло- и массообмена является психрометрическая разность температур.

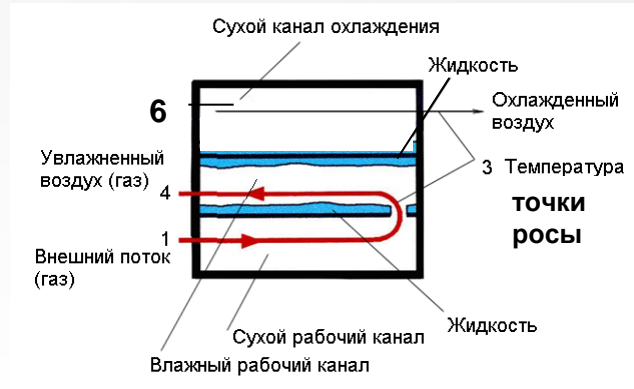
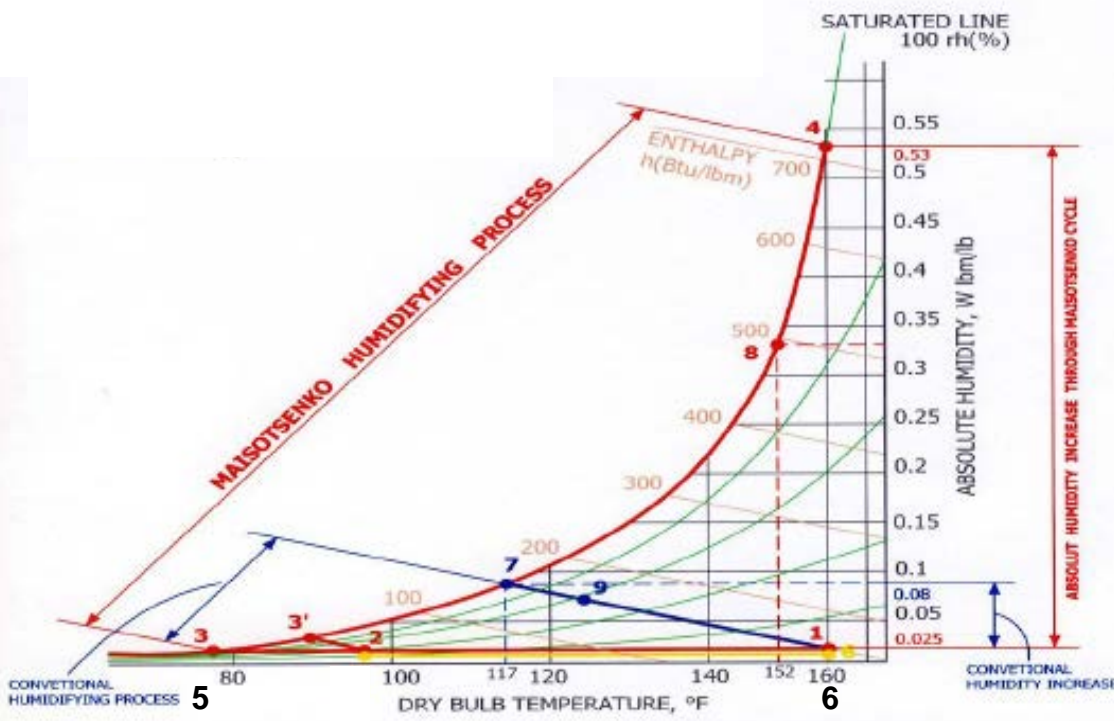


• Косвенно-испарительное охлаждение



1 – 4: Идеальное испарительное охлаждение. 1-2-3: Идеальный цикл Майсоценко.

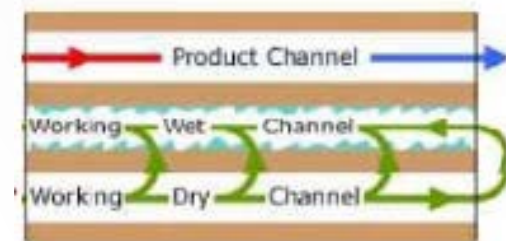
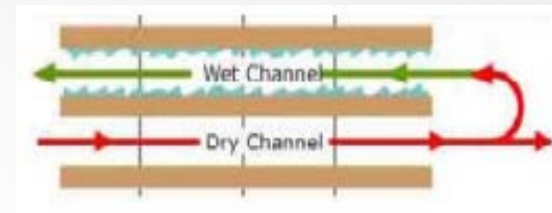
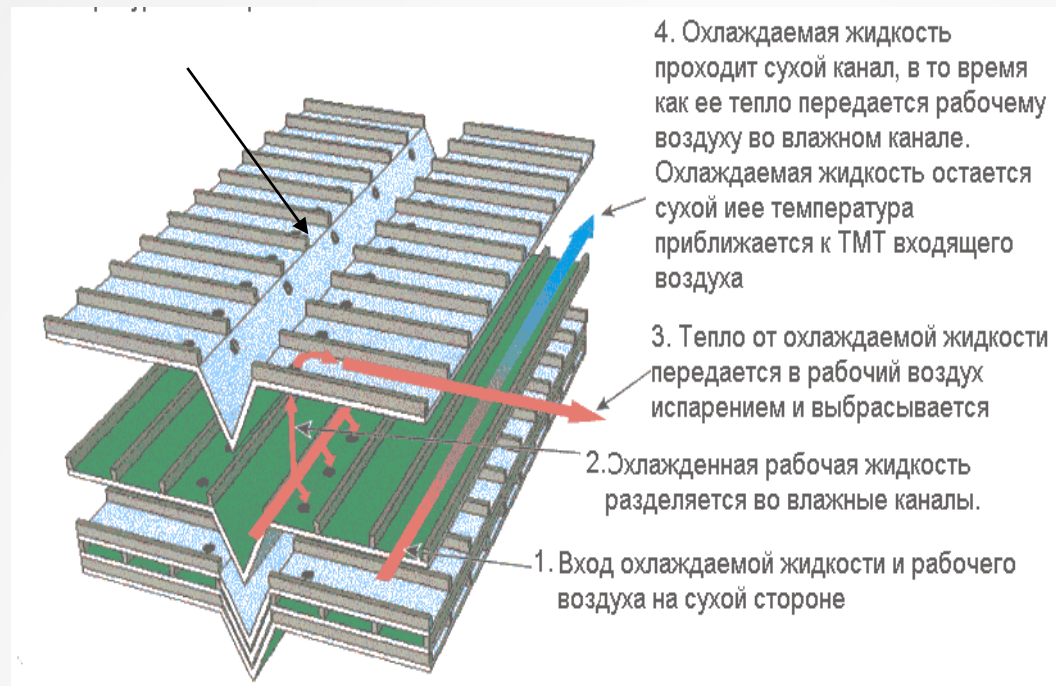
Идеальный и реальный циклы Майсоценко на психрометрической диаграмме



Пример: Охлаждение воздуха в идеальном М-цикле на **45.5°C** (от 71.1°C до 25.6°C), а при идеальном испарительном охлаждении (линия 1-7) – только на **23.9°C** (от 71.1°C до 47.2°C).

- **Идеальный М-цикл.** 1-3: охлаждение воздуха в сухом рабочем канале. 3-4: нагрев и увлажнение воздуха во влажном канале.
- **Реальный М-цикл.** 1-2: охлаждение воздуха в сухом рабочем канале, 2-3'-8 – нагрев и увлажнение воздуха во влажном канале.
- **Испарительное охлаждение:** 1-7 (идеальный процесс), 1-9 (реальный процесс).
- В идеальном М-цикле влажность потока более чем в 6.5 раз выше (0.025...0.53 кг/кг), чем при испарительном охлаждении (0.025...0.08 кг/кг). Увеличение энтальпии влажного потока в М-цикле более чем в 4 раза больше, чем при испарительном охлаждении.
- Рост температуры и снижение влажности входного воздуха увеличивают эффект его охлаждения.

Тепломассообменный аппарат Майсоценко



• Охлаждение воздуха до температуры близкой к температуре точки росы осуществляется в теплообменном аппарате Майсоценко. В нем используются 2 типа ячеек - с сухими и влажными каналами. Смачивание - в верхней части аппарата, вода стекает вниз и распределяется по влажным каналам, благодаря капиллярно-пористой структуре.

Для равномерного смачивания поверхности влажных каналов используется капиллярно-пористое покрытие с высокой теплопроводностью в поперечном направлении, который действует как капиллярный фитиль.

- Термодинамика Майсоценко представляет собой новый и существенный шаг в развитии термодинамики влажного газа. Она обосновала путь существенного увеличения и практического использования **природной неравновесности атмосферного воздуха** в форме разности температур сухого и мокрого термометра (психрометрической разности температур, или разности температур атмосферного воздуха и воздуха, контактирующего с испаряющейся водой).
- Так как разность любых потенциалов является источником энергии, то **психрометрическая разность температур также служит энергетическим ресурсом.**
- Работы Майсоценко могут способствовать **существенному прорыву** в области создания энергетических установок с исключительно высокими характеристиками и **новых тепло- и массообменных и энергосберегающих технологий.**

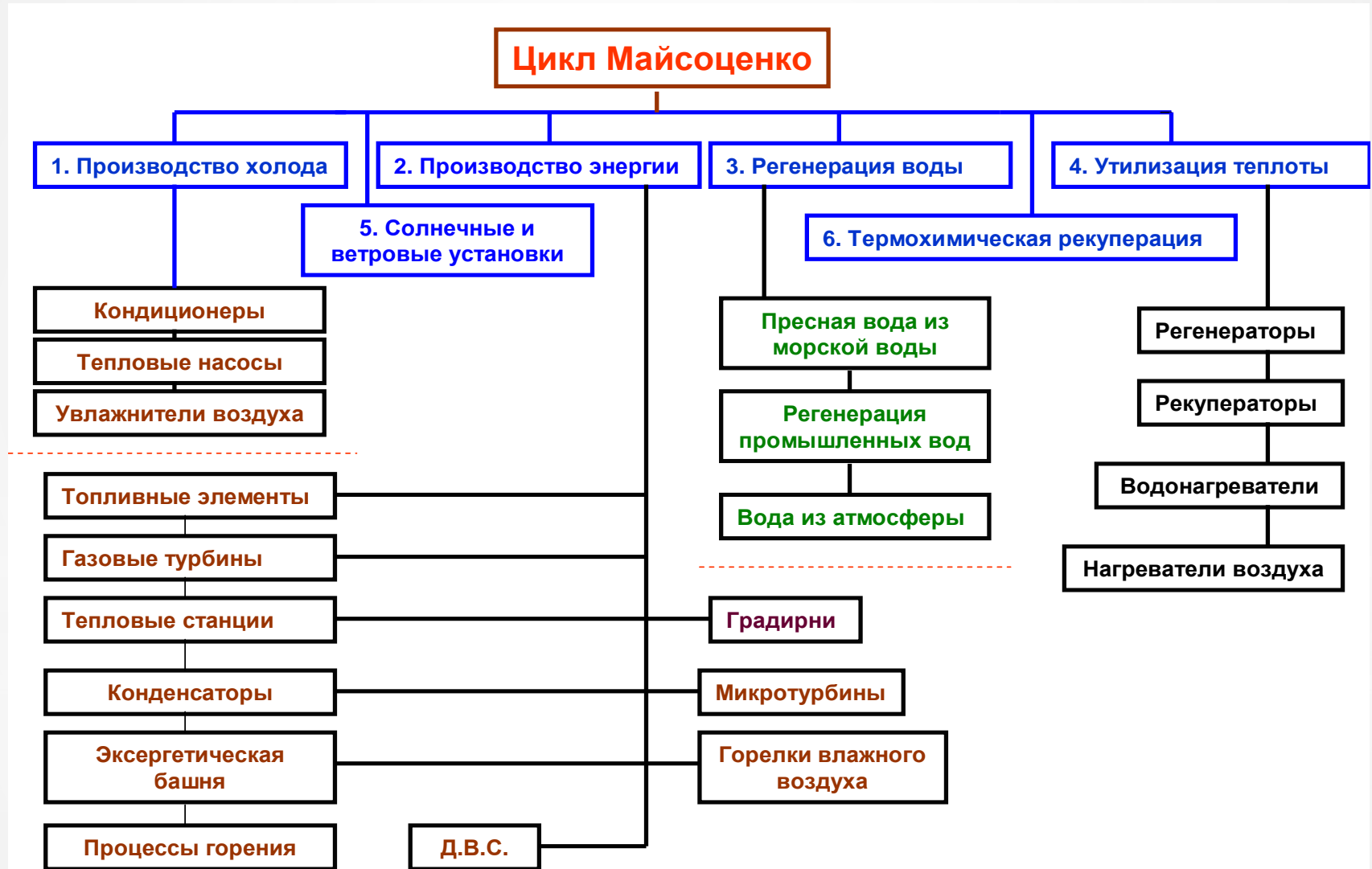
2. Практическое использование М-цикла

Цикл Майсоценко может быть использован в холодильном цикле, а большая разность плотностей охлаждаемого и нагреваемого воздуха в качестве движущей силы (разности потенциалов) в энергетических и тепло- и массообменных технологиях.

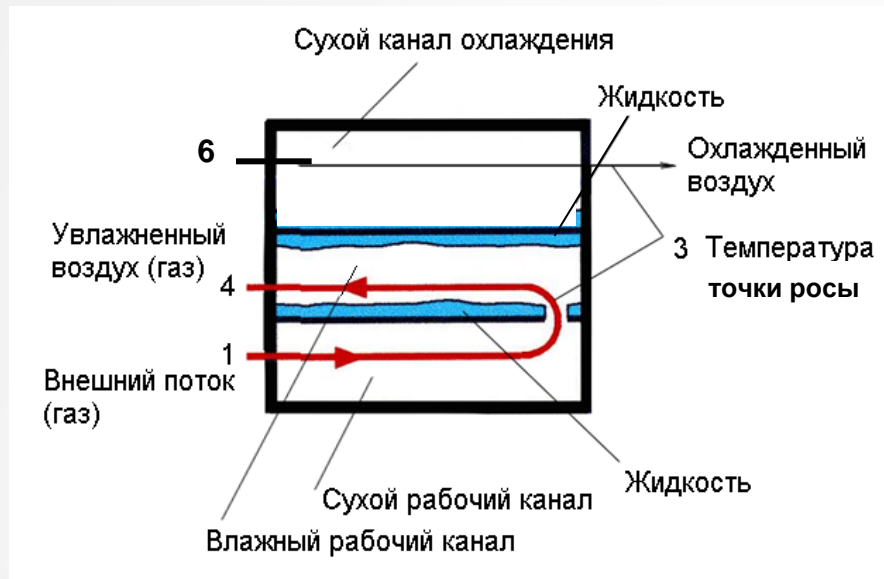
Через сухой рабочий и влажный рабочий каналы всегда проходит атмосферный воздух (или используемый газ). В системах кондиционирования через сухой канал охлаждения проходит воздух из атмосферы, а в энергетических, тепло- и массообменных технологиях – выхлопной газ энергетических установок или охлаждаемая рабочая жидкость (например, жидкость в конденсаторах).

• На международном рынке представлены испарительные, солнечные и гибридные кондиционеры, солнечные генераторы электричества с охлаждением по М-циклу. В стадии изучения и проектирования градирни, увлажнители воздуха, установки для получения пресной воды из промышленных жидкостей и морской воды.

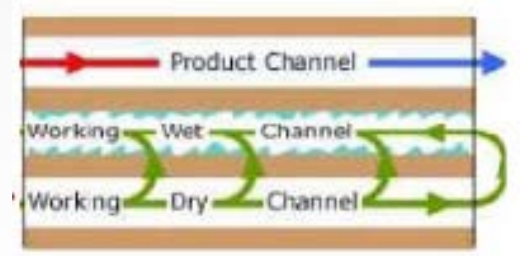
Области практического использования М-цикла.



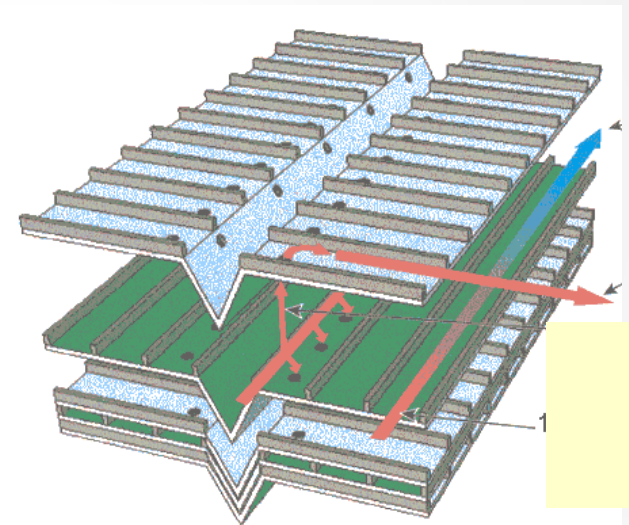
2.1 Кондиционеры по циклу Майсоценко



а.



б.



• В кондиционере Майсоценко используется схема с непрерывной подачей охлажденного атмосферного воздуха в рабочий влажный канал через перфорацию.

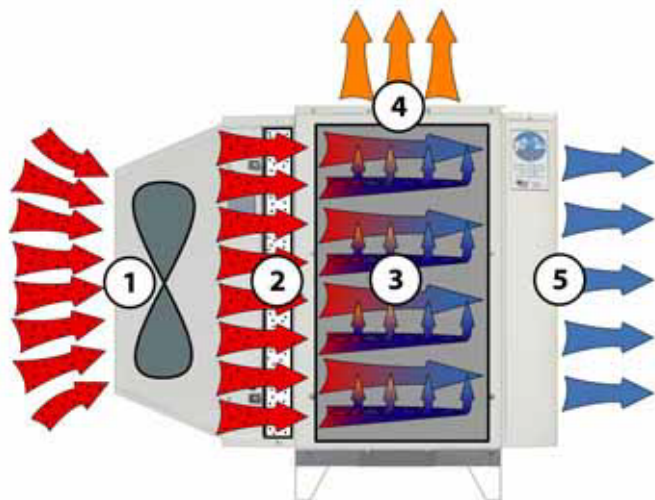
• Стандартный теплообменный аппарат Майсоценко (соге) - основа кондиционера М-цикла (мощность 3.5 кВт). Обычно используются конструкции с использованием 6...8 аппаратов.

- В линейке Компании «Coolerado» (Денвер, США) 4 модели, из них три (M30, M50, C60) отличаются размерами и производительностью, а одна - H80 - для коммерческого использования. Система H80 может быть гибридной — с использованием компрессорно-конденсаторного блока.

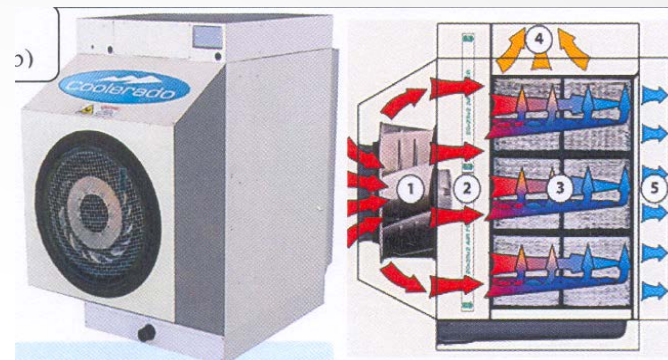


- **Воздушные кондиционеры Майсоценко не используют компрессор и хладагенты.**
- Они потребляют почти в 10 раз меньше электроэнергии (только на привод вентилятора), а гибридные кондиционеры (комбинация компрессионного кондиционера и охладителя М-цикла) потребляют электроэнергии на 80% меньше традиционных компрессионных кондиционеров.

• Кондиционер Coolerado по циклу Майсоценко



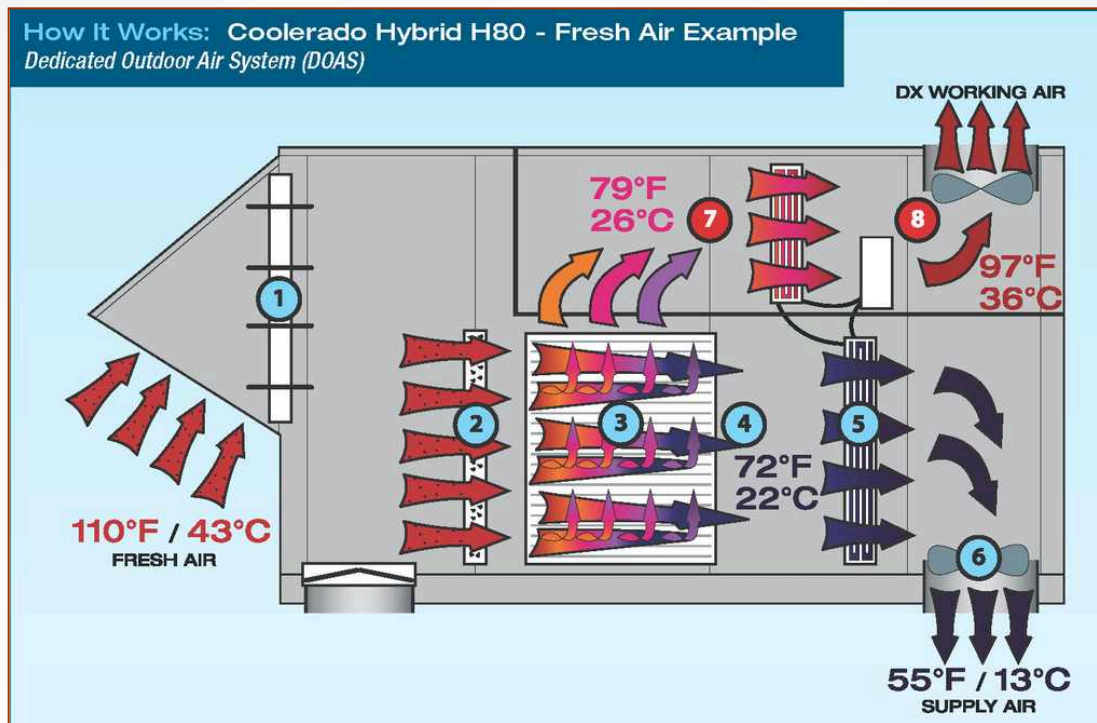
- 1. Свежий воздух** - наружный воздух на входе в кондиционер
- 2. Секция фильтра** - очистка воздуха в 50мм тонком фильтре
- 3. Heat and Mass Exchange (HMX)** - очищенный воздух направляется в теплообменник HMX, который использует новую запатентованную технологию
- 4. Рабочий воздух и вода** - половина входящего в HMX теплообменник воздуха насыщается водой и возвращается в атмосферу унося с собой тепло от кондиционированного воздуха
- 5. Кондиционированный воздух** - другая половина воздуха, входящего в HMX теплообменник, охлаждается без добавления влажности. Этот кондиционированный воздух направляется в помещения.



4. Система кондиционирования намного проще по набору оборудования. В ней отсутствуют компрессоры и холодильные агенты. И поэтому это требует меньших капитальных затрат, эксплуатационных расходов и занимаемой площади.

1. Расход электроэнергии на 90% (!) меньше. Следовательно, на 90% меньше углеводородных выбросов в окружающую среду.
2. Система обеспечивает производственные и жилые помещения СВЕЖИМ воздухом лучшего качества.
3. Энергетическая эффективность системы повышается с ростом температуры окружающей среды (!), а не падает, как это имеет место в традиционных компрессионных системах кондиционирования.

2.1.2 Гибридные кондиционеры



- **В кондиционере Coolerado H80** на выходе из кондиционера по М-циклу (22°C) устанавливается компрессионный холодильник, который охлаждает воздух до 13°C с одновременной его подсушкой. Эта система потребляет на **80% меньше электроэнергии** за счет более низкой температуры воздуха на входе в компрессионный холодильник (Межд. награда Devis Center, США).

- (!) Цикл Майсоценко хорошо работает при высокой температуре, а цикл Ренкина – при низкой. В этих условиях оба цикла работают при оптимальных для них условиях.

2.2.2 Солнечный кондиционер «Coolerado Cooler R600»



- Использует только 3-4 солнечные батареи электрической мощностью 200 Вт каждая, которые питают вентилятор кондиционера М-цикла, который охлаждает помещение площадью 225 м². Традиционный компрессионный кондиционер требует для этого 20...30 батарей, или 4...6 кВт мощности.

- Солнечные панели могут охлаждаться потоком сбрасываемого влажного воздуха, что увеличивает их эффективность до 20...30%.

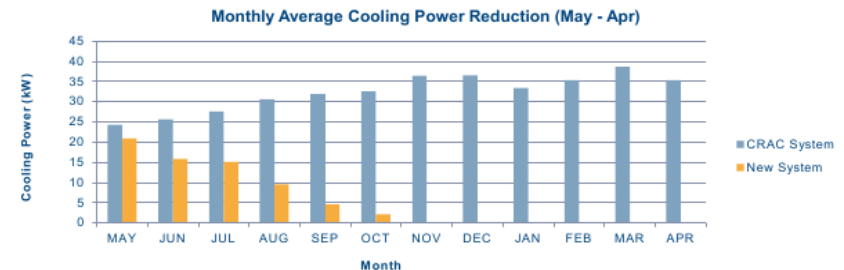
2.2.3 Национальный Ледовый Центр (штат Колорадо, США)



- Использование кондиционеров по циклу Майсоценко.



Old vs. New (System Comparison)



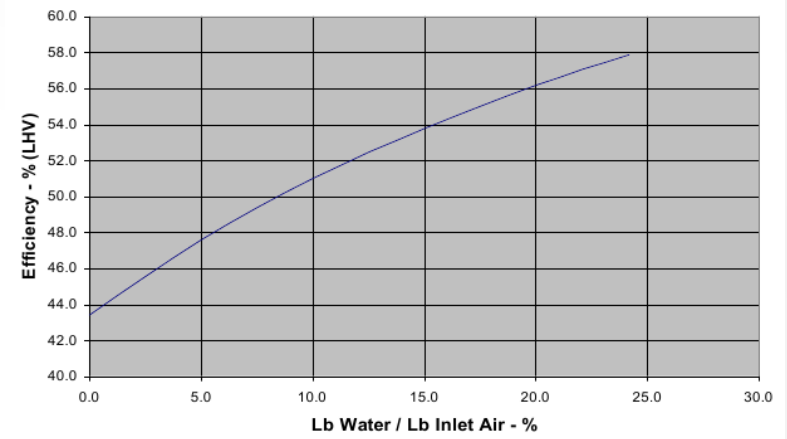
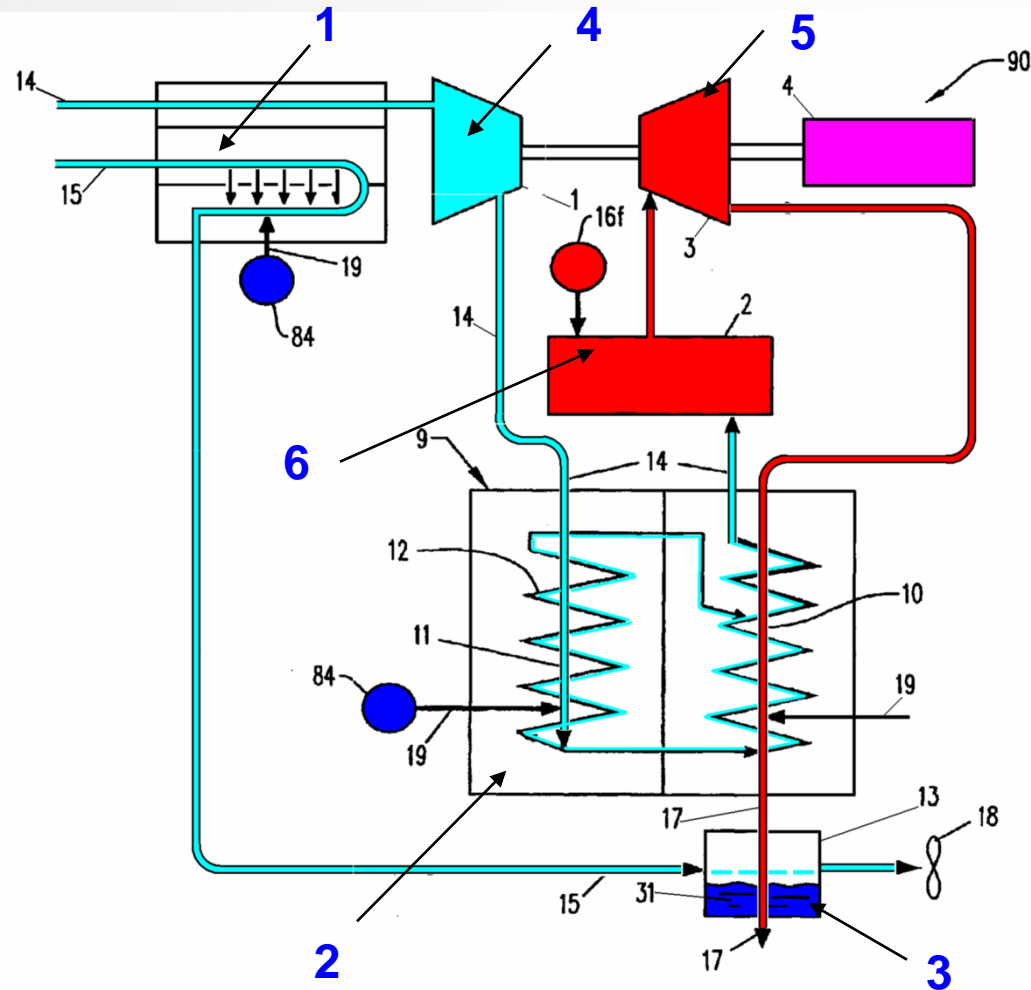
- В летнее время потребление электричества на кондиционирование воздуха уменьшилось в 4 раза, а зимой – в 35 (!) раз.

Old System	New System
Summer Operation = 32 kW	Summer Operation = 8 kW
Winter Operation = 35 kW	Winter Operation = 1 kW

2.3 Энергетические установки и устройства

- Возможность охлаждения продуктов сгорания на выходе из энергетической установки до температуры близкой к точке росы открывает **принципиально новые** возможности **существенного** повышения КПД за счет снижения «нижней» температуры цикла.
- В выходном ТМО-аппарате при охлаждении утилизируется теплота и влага продуктов сгорания (включая, образовавшуюся при сгорании топлива).
- Влажный пар высокой концентрации (до 30-40%) используется для подачи в камеру сгорания и снижения уровня окислов азота – в 8 – 10 раз.
- Охлаждение входного воздуха способствует повышению КПД.

2.3.1 ГТУ С ОХЛАЖДЕНИЕМ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ В КОМПРЕССОР, УВЛАЖНЕНИЕМ ВОЗДУХА ПЕРЕД КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ И УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ И ВЛАГИ НА ВЫХОДЕ



• Эффективность ГТУ в зависимости от влажности воздуха (данные США).

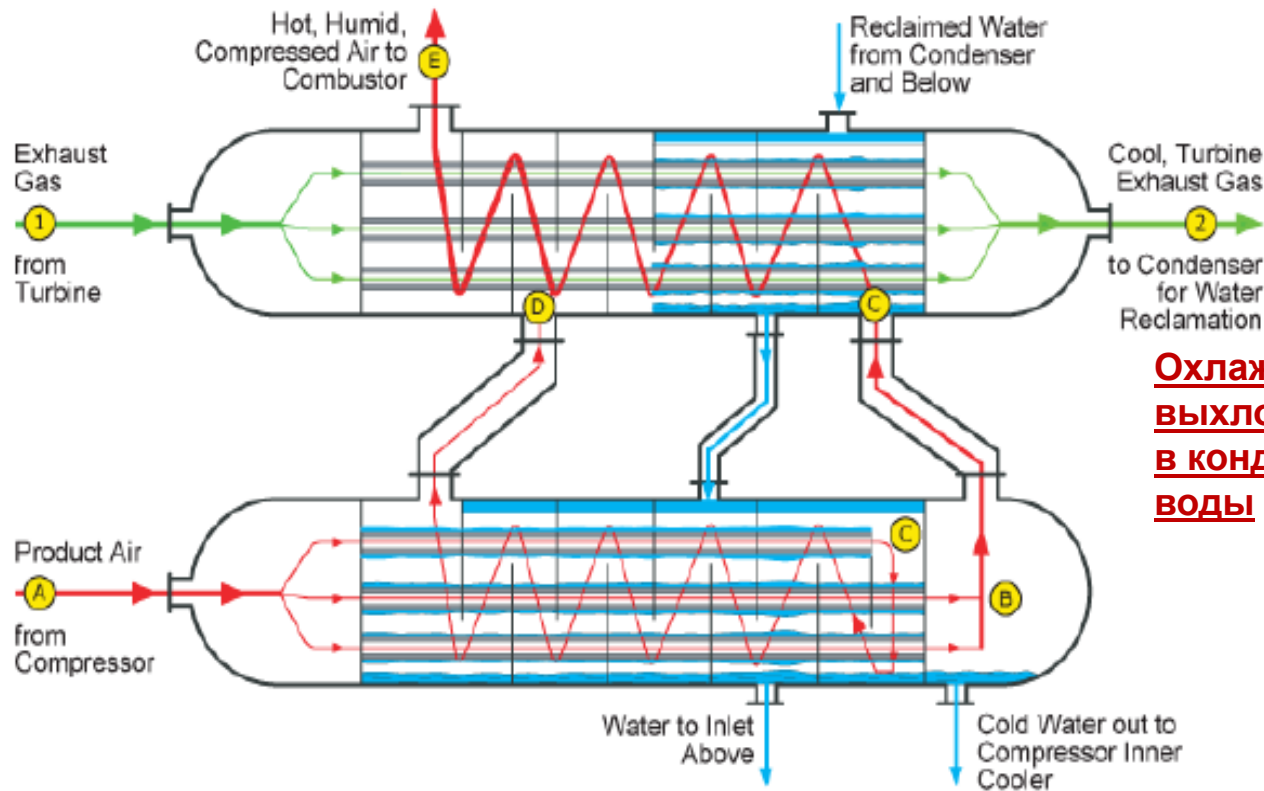
1 – охладитель воздуха на входе в компрессор. 2 – теплообменный аппарат Майсоценко. 3 – конденсатор. 4 – компрессор. 5 – турбина. 6 – камера сгорания.

- Двойной высокотемпературный теплообменный аппарат (керамика) для охлаждения продуктов сгорания на выходе из турбины (теоретически до точки росы) и насыщения сжатого воздуха влагой после компрессора (до 30-40%).

Горячий влажный насыщенный воздух в камеру сгорания

Вода из конденсатора

Выхлопные газы из турбины



Охлажденный выхлопной газ в конденсатор воды

Воздух из компрессора

• Психрометрическая диаграмма сжатого воздуха

A – воздух из компрессора.

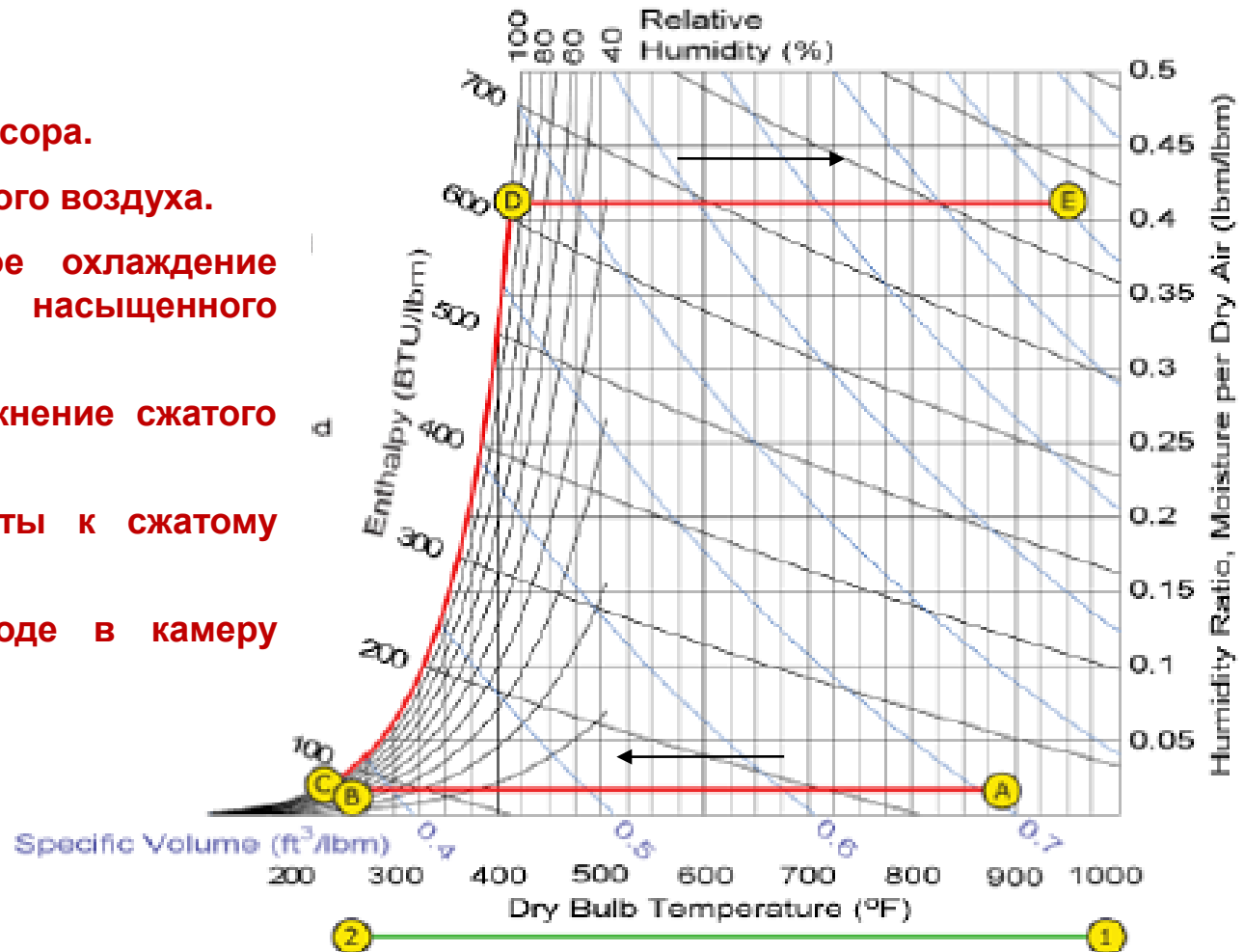
AB - охлаждение сжатого воздуха.

BC - адиабатическое охлаждение сжатого воздуха до насыщенного состояния.

CD – нагрев и увлажнение сжатого воздуха.

DE – подвод теплоты к сжатому влажному воздуху.

E – воздух на входе в камеру сгорания.



1 – горячий газ из турбины. **2** – охлажденный выхлопной газ.

- Преимущества ГТУ по циклу Майсоценко

1. Утилизация теплоты и влаги продуктов сгорания, охлаждение продуктов сгорания **до температуры близкой к точке росы.**
2. КПД цикла может достигать **55%** без паровой турбины.
3. Уменьшение потерь энергии **на привод компрессора** вследствие охлаждения воздуха на входе и увеличения его плотности.
4. **Увеличение мощности турбины** вследствие увеличения расхода и степени расширения потока за счет присутствия водяного пара в продуктах сгорания.
5. **Снижение выбросов окислов азота на 90%** за счет использования пара высокой влажности (30-40%) в камере сгорания.
6. **Более широкий диапазон изменения мощности** (маневренность) без существенных потерь в КПД установки.
7. Снижение веса и стоимости установки.

- Термический КПД цикла газотурбинной установки при ее модификации и одинаковом тепловыделении в базовой (цикл Брайтона) и модифицированной (цикл Майсоценко) газотурбинной установке определяется уравнением:

$$\text{КПД М.} = 1 - [(t_{\text{out.M}} - t_{\text{amb}})/(t_{\text{out.B}} - t_{\text{amb}})](1 - \text{КПД В.})(m_2/m_1) \quad , \quad (1)$$

где $t_{\text{out.M}}$, $t_{\text{out.B}}$ – выходная температура по циклам Майсоценко и Брайтона; КПД В. – действительный термический КПД цикла Брайтона; m_2 , m_1 – расход рабочего тела через газовую турбину по циклам Майсоценко и Брайтона.

- Энергетическая газовая турбина UGT-25 мощностью 25 МВт производства ГП НПКГ «Зоря»-Машпроект». Температура продуктов сгорания на входе – 1350°С, на выходе – 465°С, теоретический КПД цикла Брайтона – 0.48, действительный КПД – 0.37, КПД цикла Карно – 0,815.

При постановке на выходе из газотурбинной установки теплообменного аппарата Майсоценко отношение m_2/m_1 находится в пределах 1,1 ...1,2 ; для дальнейших расчетов принимаем $m_2/m_1 = 1,2$. Тогда из уравнения (1) для температуры окружающей среды $t_{\text{amb.}} = 27^\circ\text{C}$ следует $\text{КПД М.} = 1 - 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot (t_{\text{out.M}} - 27^\circ\text{C})$.

- В М-цикле вследствие высокой влажности потока в газовой турбине, температура конденсации на выходе из турбины (точка росы) будет составлять 80...120С, которую можно принять в качестве $t_{out.M}$, что выше точки росы окружающей среды (10...15С).

Тогда для среднего значения $t_{out.M} = 100^{\circ} \text{C}$ и $t_{out.M} - t_{amb.} = 73^{\circ} \text{C}$ получим КПД $\approx 86\%$, т.е. около 86% химической энергии топлива могут быть полезно использованы в газотурбинной установке на основе М-цикла. Это существенно больше, чем в идеальном цикле Брайтона и даже больше, чем в цикле Карно.

- Более высокий идеальный термический КПД М-цикла объясняется принципиальным различием между ними как предельными термодинамическими циклами. В цикле Карно используется одно рабочее тело (сжатие, подвод теплоты, расширение и охлаждение до температуры окружающей среды – температуры сухого термометра).

Цикл Майсоценко использует два рабочих тела – воздух в компрессоре и влажные продукты сгорания в газовой турбине с различными расходами, причем каждое из них работает в условиях близких к оптимальным. Предельной температурой в М-цикле является температура точки росы, которая ниже, чем температура окружающей среды.

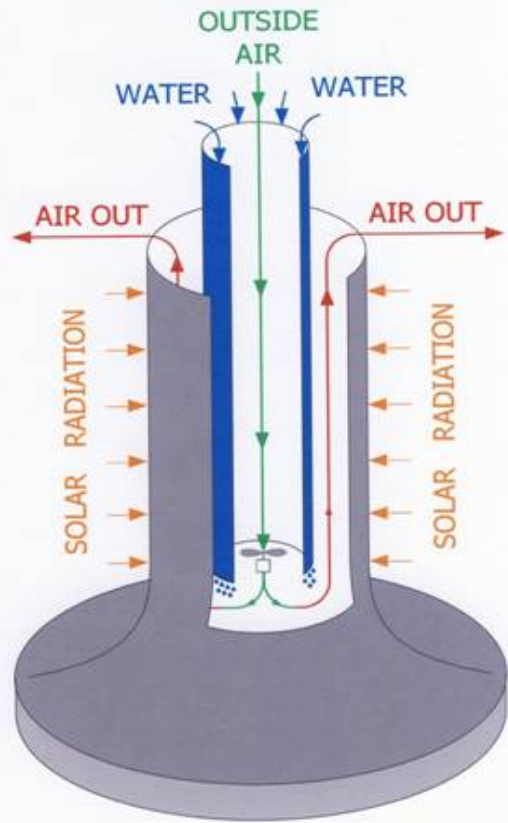
- **Использование двух различных рабочих тел – воздуха в компрессоре и влажных продуктов сгорания в газовой турбине имеет и другие преимущества.**
- **Поскольку после компрессора в воздух добавляется влага, то чтобы сохранить расход воздуха, соответствующий базовой турбине, необходимо сжимать меньший массовый расход воздуха, т.е. можно использовать компрессор меньшей мощности.**
- **При заданном массовом расходе смесь продуктов сгорания и влаги имеет меньшую плотность, чем продукты сгорания и за счет присутствия водяного пара характеризуется большей степенью расширения. Так как объемный расход рабочего тела через газовую турбину возрастает, то ее мощность также увеличивается.**

В 2005 г. в США были выполнены испытания микротурбинной установки Capstone C30 мощностью 30 кВт (Department of Water and Power of the City Los Angeles Distribution Power Unit совместно с «Coolerado Corporation»).

- Эксперименты показали, что при использовании входного охладителя на основе М-цикла снижение температуры воздуха составило от 32С до 24С. В режиме максимальной мощности увеличение мощности составило 8,8%, а в режиме максимального КПД – мощность возросла на 11.7%. Что касается КПД микротурбинной установки, то в первом случае он возрос на 3.4%, а во втором – на 0.2%.

- Для более масштабной отработки газотурбинной установки, работающей по М-циклу, может быть использована действующая на Газотранспортной системе Украины установка «Водолей-16К», которая имеет для этого всю необходимую инфраструктуру.

2.3.2 ЭКСЕРГЕТИЧЕСКАЯ БАШНЯ ПО М-ЦИКЛУ



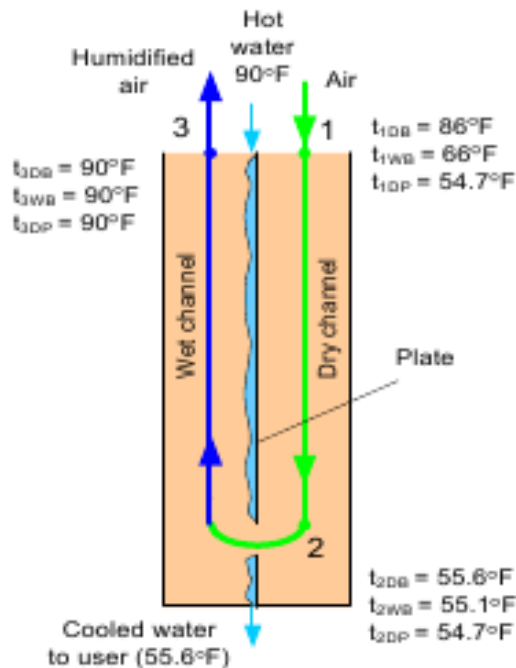
- Эксергетическая башня Майсоценко может быть использована для выработки электроэнергии, холодного воздуха и холодной воды.
 - Внешняя часть внутреннего цилиндра покрыта капиллярно-пористым материалом и орошается водой. В центральном канале башни поток за счет охлаждения движется сверху вниз, а при нагреве в кольцевом канале – снизу вверх с увеличением влажности.
 - Установка ветроустановки в нижней части башни позволит производить электрическую энергию. Работа такой установки протекает круглосуточно и не зависит от скорости ветра в окружающей атмосфере.
- Наименьшая температура воздуха и воды в цикле Майсоценко достигается в нижней части башни. Этот факт может быть использован для производства охлажденного воздуха и холодной воды.

2.3.3 ГРАДИРНИ (COOLING TOWERS)

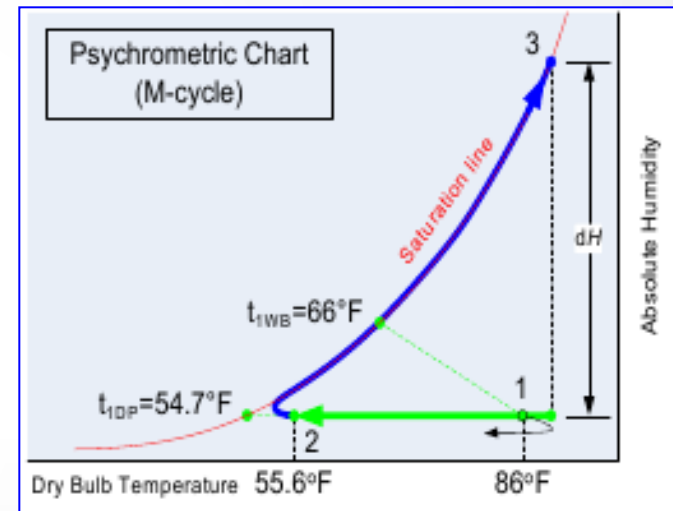
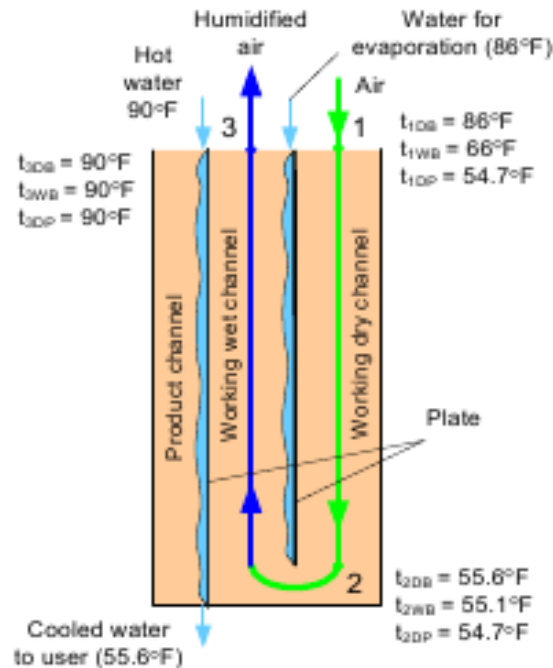


Два типа насадок по М-циклу

Open cooling tower



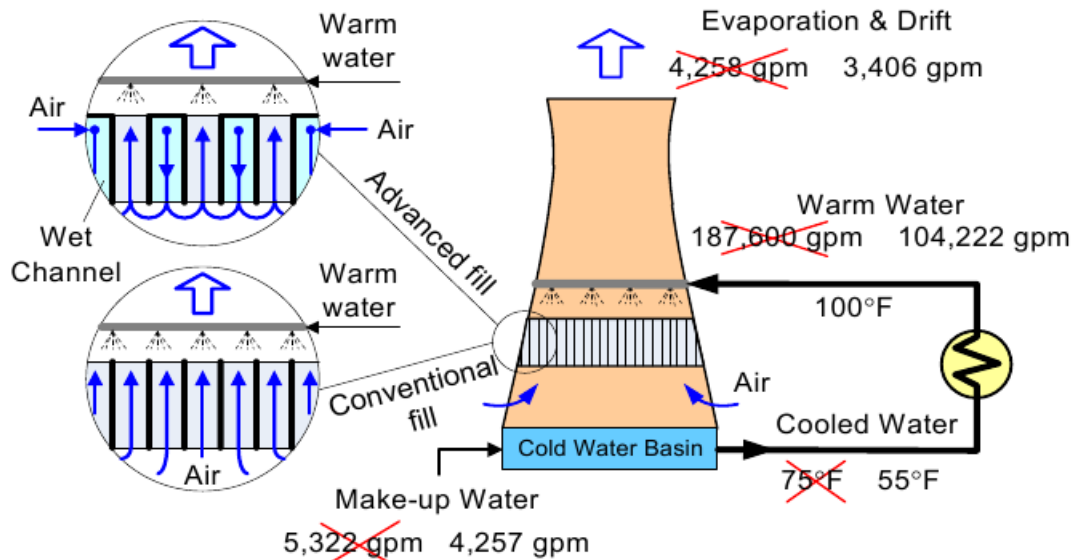
Closed cooling tower



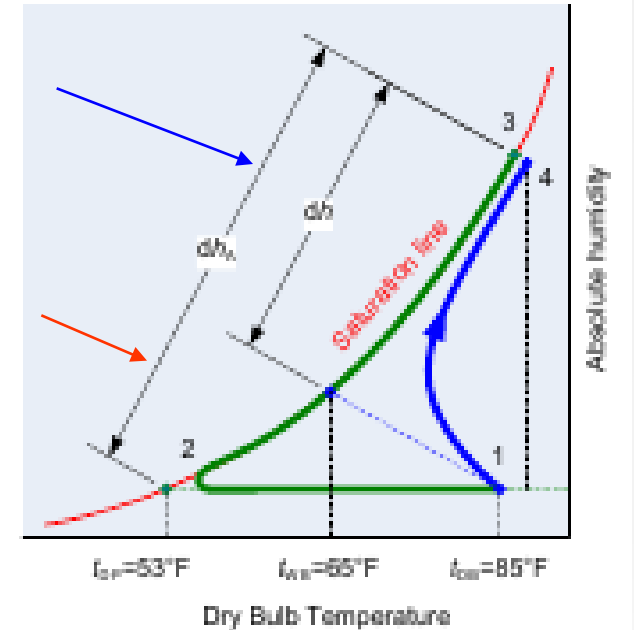
- Cooled water temperature: **55.6°F**
- Percent of water evaporated (evaporation rate): **3.1%**
- Air humidity gain: $dH = H_{\text{air out}} - H_{\text{air in}}$
= **0.0219 lb of water/lb of dry air**

Традиционная градирня (а) и по циклу Майсоценко (б)

б.



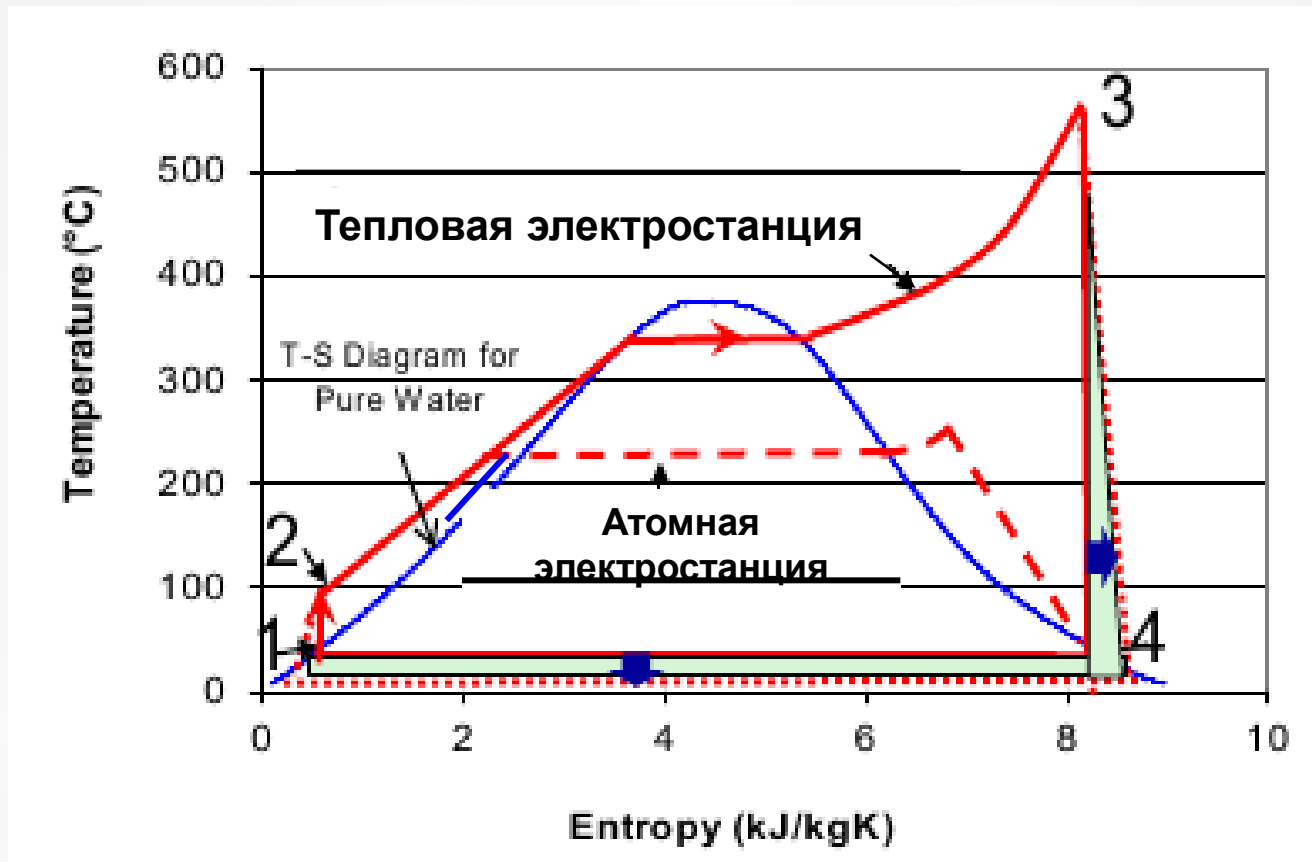
а.



• Психрометрическая диаграмма

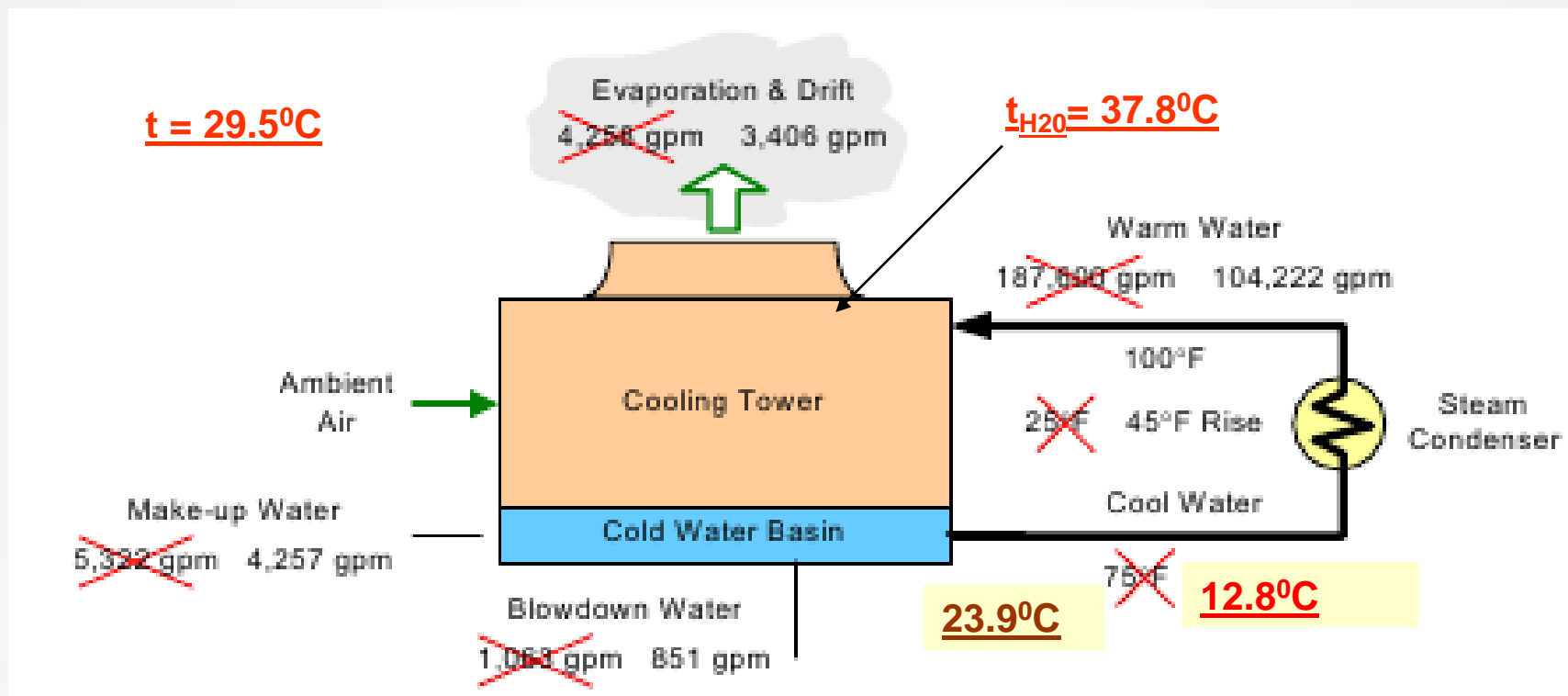
- Градирня по циклу Майсоценко использует насадку, состоящую из системы ячеек аппарата косвенно-испарительного охлаждения.
- Охлаждаемый воздух подается внутрь ячеек и после охлаждения до температуры близкой к точке росы движется навстречу охлаждаемой жидкости.

T-S диаграмма цикла Ренкина



- Уменьшение температуры воды на 20°C в конденсаторе энергоблока мощностью 500 МВт увеличивает его мощность на 6.7%, или дает дополнительную прибыль ~ 7 млн. долл. США в год при стоимости электричества 0.03 долл. США за 1 кВт-час.

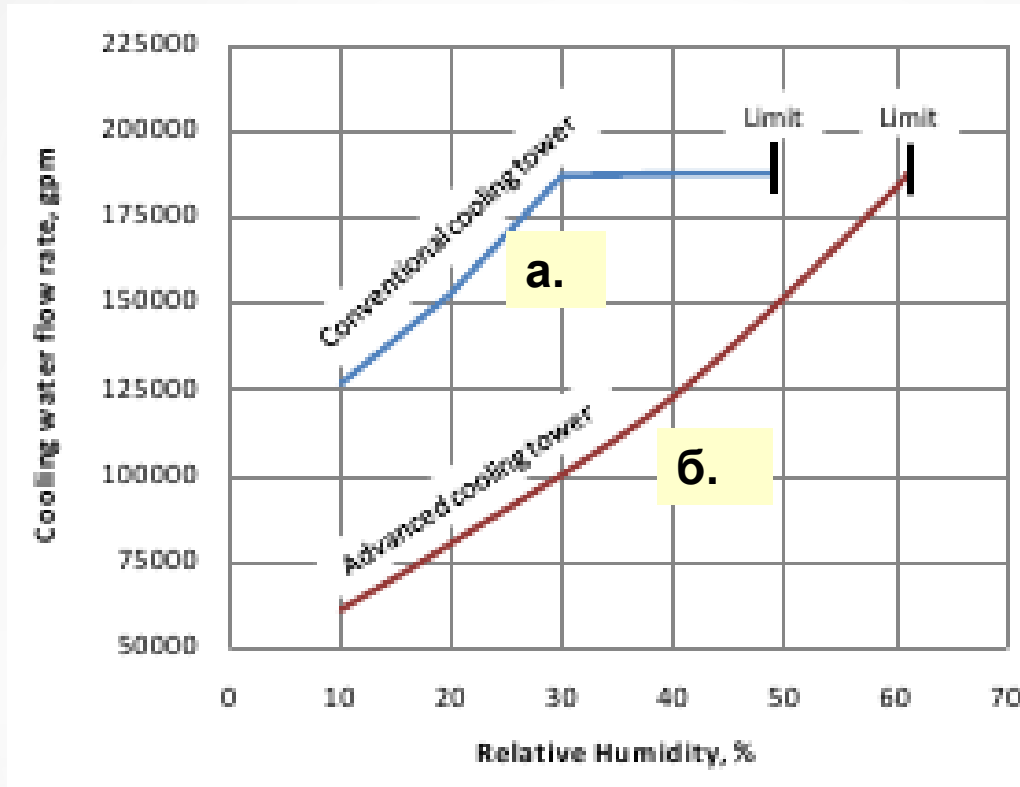
Параметры традиционной (зачеркнуто красным) и по циклу Майсоценко градирни тепловой электростанции мощностью 500 МВт



• Для рассматриваемых условий использование насадка Майсоценко охлаждает воду на 10°C больше, чем традиционное охлаждение.

• Расход воды через градирню М-цикла снижается на 80%, на подпитку градирни свежей водой (make-up water) - на 20%, сброс воды (blow-down) – на 20%, потери испарением – на 25%.

**Расход охлаждающей воды и относительная влажность воздуха:
традиционная градирня (а) и градирня по циклу Майсоценко (б)**



Условия расчета: Температура окружающей среды – 40.6°C, температура охлаждаемой воды – 46.1°C.

Расход охлаждаемой воды через градирню в дневное и ночное время (август, штат Аризона, США) для традиционной градирни и градирни по М-циклу (энергоблок 500 МВт). Температура окружающего воздуха = 35...43.9°C.

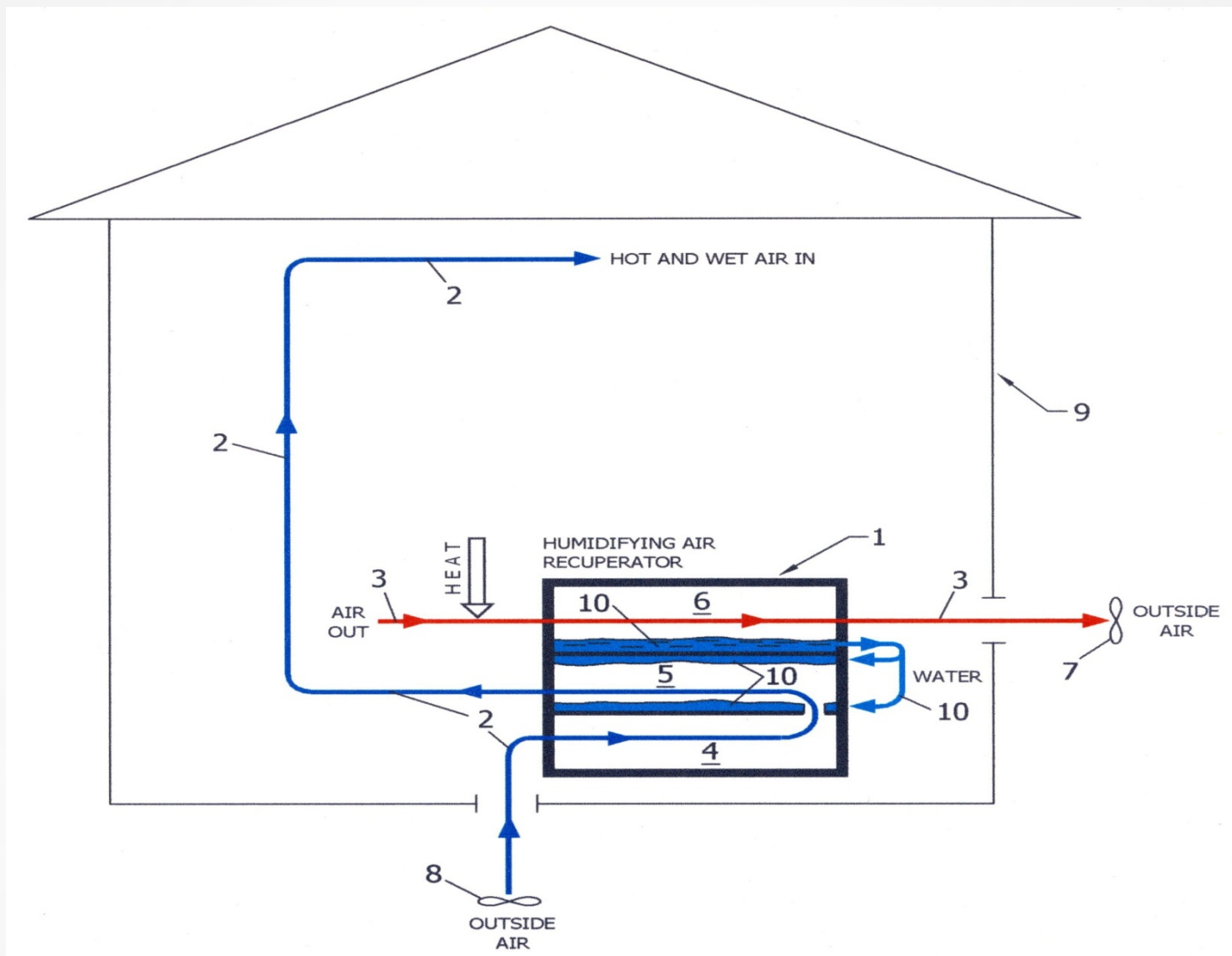
	Традиционная градирня		Градирня по М-циклу	
	День	Ночь	День	Ночь
Окружающая среда	<u>43.9</u>	35	<u>43.9</u>	35
Относ. влажность, %	14	28.4	14	28.4
Температура воды перед градирней, °С	<u>46.1</u>	46.1	<u>46.1</u>	46.1
Температура воды после градирни, °С	<u>32.2</u>	31.1	<u>11.1</u>	14.4
Расход воды через градирню, кг/с	11 944	11 059	4 725	5 256
Подпитка воды на выходе из градирни, кг/с	339	339	271	271

1. Чем больше температура воздуха – тем больше снижение расхода воды. 2. Дополнительное снижение температуры воды на 13.9...15°C. 2. Существенно меньший расход воды. 3. Меньший расход воды на подпитку градирни.

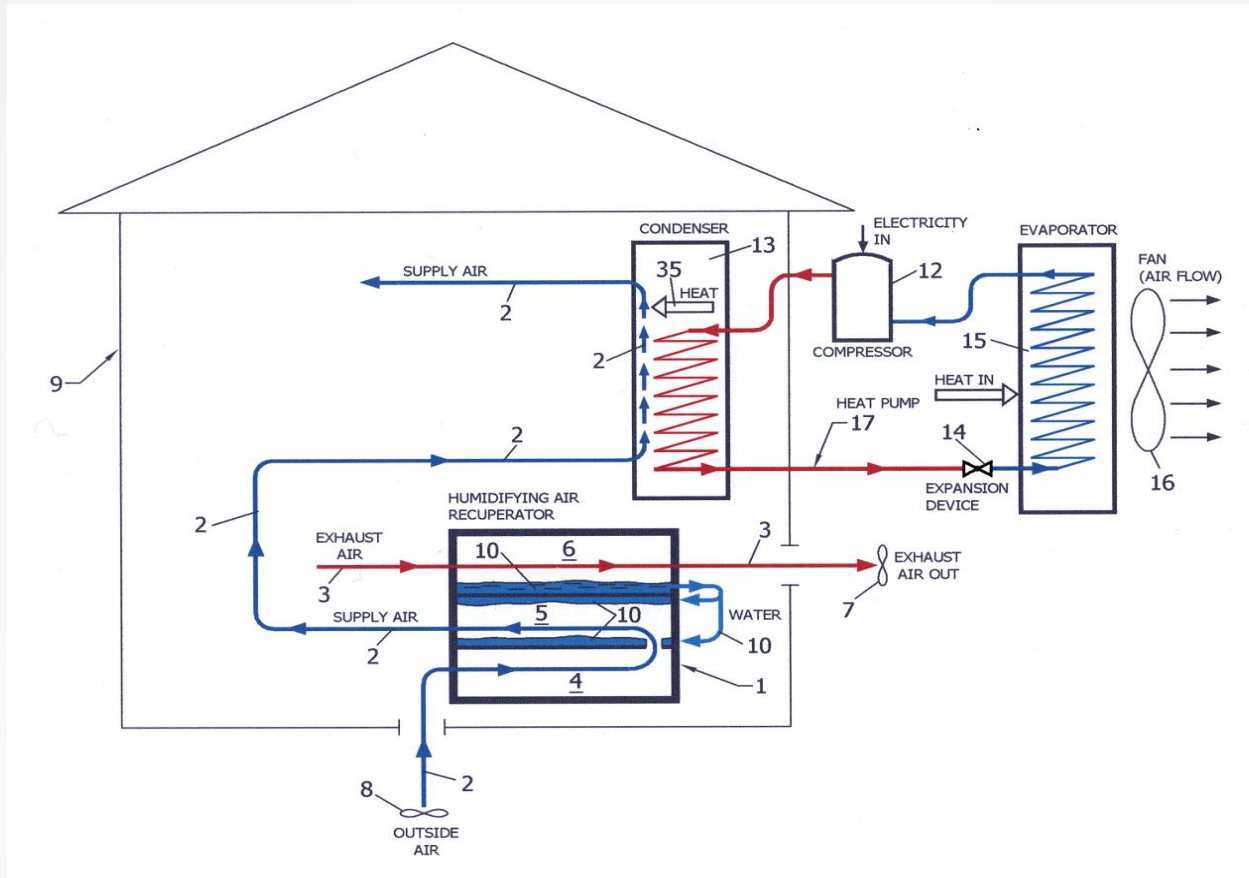
2.4. Тепло- и массообменные процессы и аппараты

Применение цикла Майсоценко может привести к существенному совершенствованию многих тепломассообменных технологических процессов основу которых составляют процессы испарения и конденсации.

2.4.1 Нагрев и увлажнение воздуха в помещении



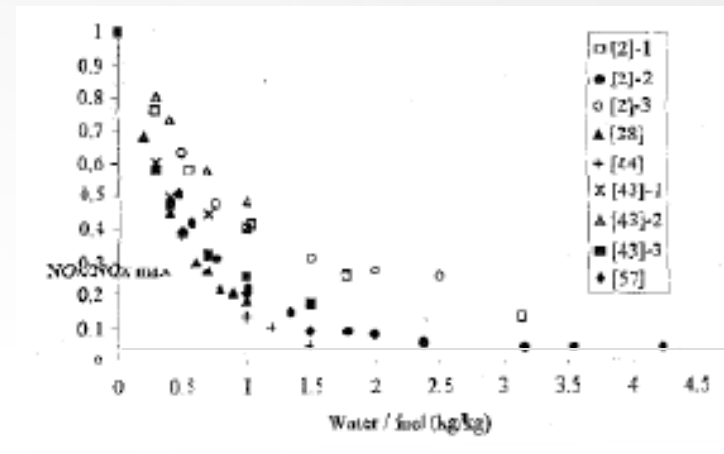
2.4.2 Тепловой насос



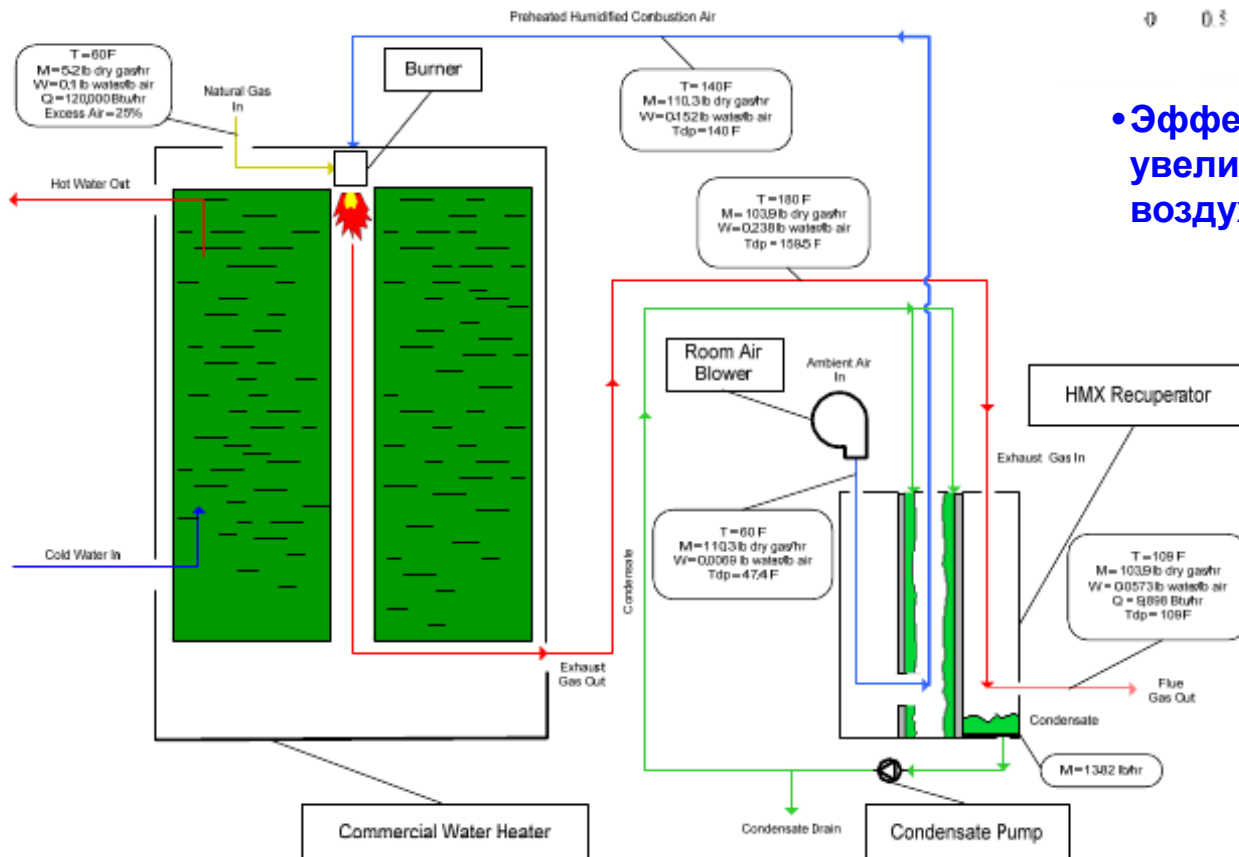
- Компрессионный тепловой насос с конденсатором по М-циклу при нагреве и увлажнении воздуха в зданиях

В тепловом насосе с конденсатором по М-циклу за счет снижения температуры в конденсаторе отбирается больше теплоты от рабочего тела, чем в компрессионном цикле. Затраты электроэнергии в таком кондиционере летом меньше на 60%, а зимой – на 40% раз больше производится теплоты.

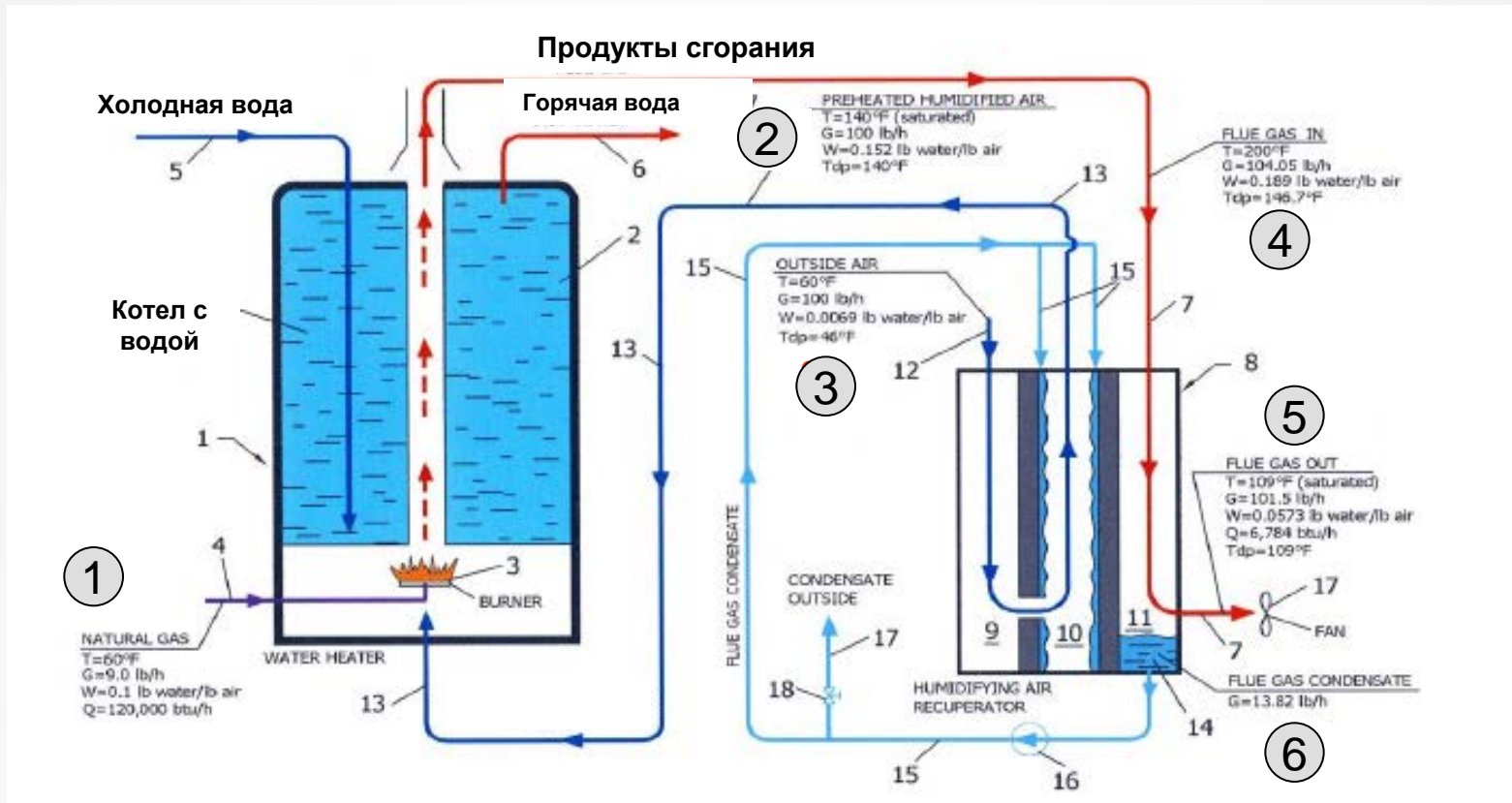
2.4.3.A Промышленный нагреватель воды с увлажнением воздуха до 30-40% (КПД более 94%)



•Эффект снижения NO_x при увеличении влагосодержания воздуха

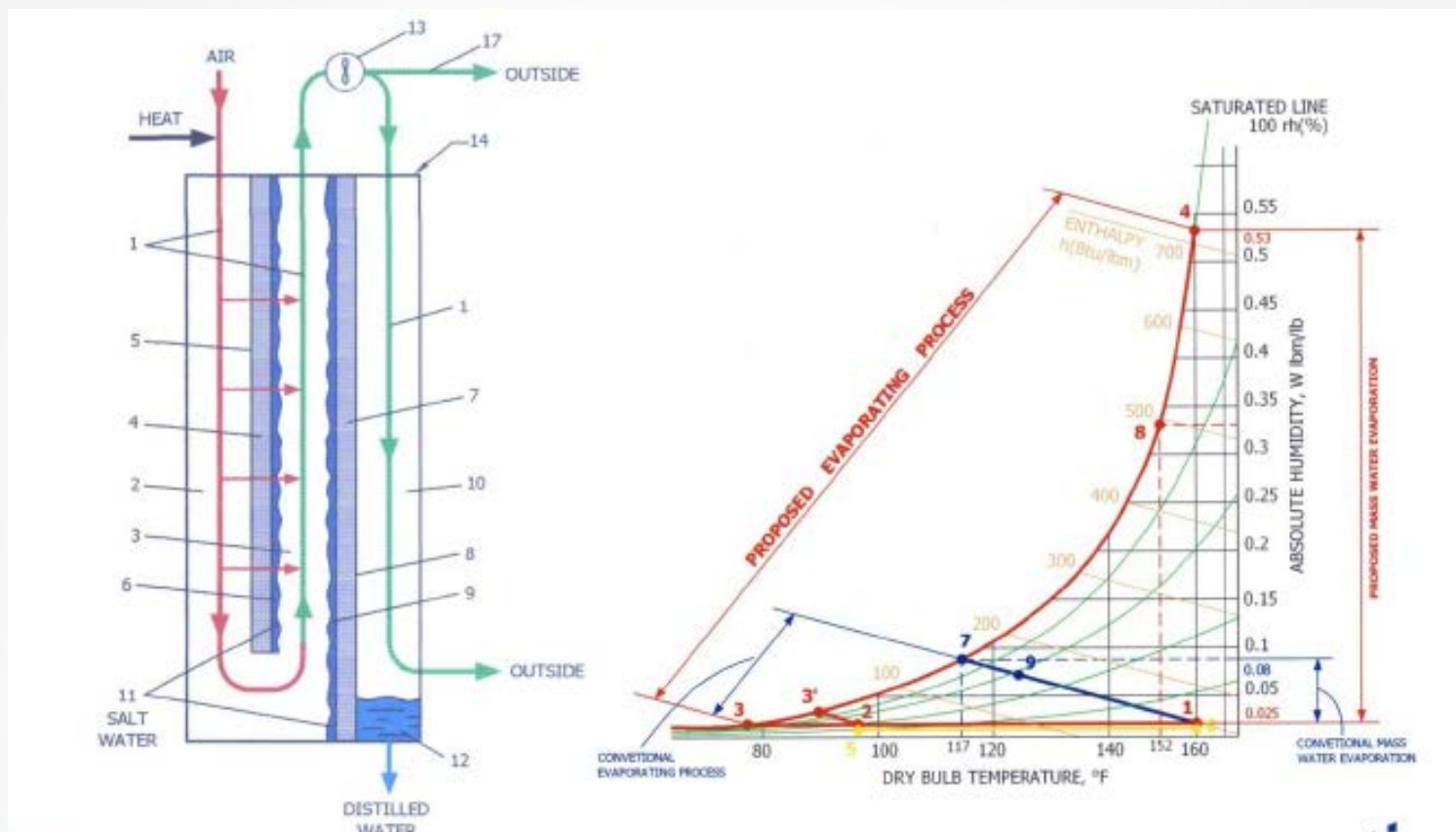


2.4.3Б Нагреватель воды для локальных систем отопления с увлажнением воздуха перед горелкой до 30-40% (КПД > 94%)



1 - Природный газ. $t = 15.6^{\circ}\text{C}$, $G = 1.145$ г/с. $W=0.10$ г/г. 2 – Влажный воздух в горелку. $t = 60^{\circ}\text{C}$, $G= 12.72$ г/с. $W=0.152$ г/г. $t_{dp} = 60^{\circ}\text{C}$. 3 – Воздух из атмосферы. $t = 15.6^{\circ}\text{C}$, $G = 12.72$ г/с. $W=0.069$ г/г. $t_{dp} = 7.8^{\circ}\text{C}$. 4 – Продукты сгорания. $t = 93.3^{\circ}\text{C}$, $G = 13.24$ г/с. $W=0.189$ г/г. $t_{dp} = 63.7^{\circ}\text{C}$. 5 – Продукты сгорания в атмосферу, $t = 38.61^{\circ}\text{C}$, $G = 12.91$ г/с. $W=0.0573$ г/г. $t_{dp} = 42.78^{\circ}\text{C}$. 6 – Конденсат. $G = 1.76$ г/с.

2.4.4 Дисцилляционные системы на основе М-цикла



- Получение пресной воды из промышленных сточных вод, опреснение морской воды. Охлаждение воды.
- Чем выше температура, тем эффективнее работает система.

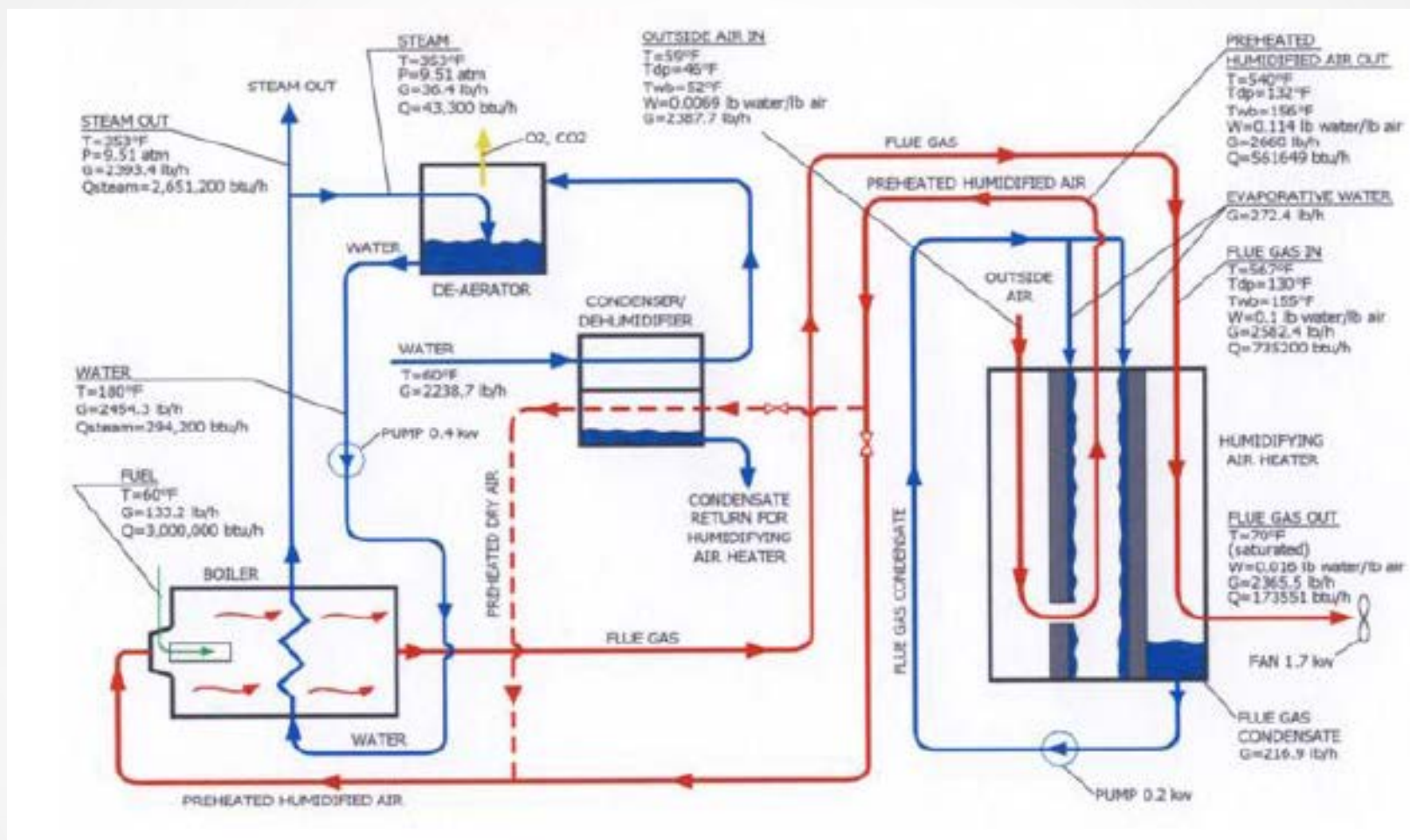
Технико-экономический анализ дисцилляционных систем

Technology	Reverse Osmosis	Atmospheric Distillation	Mechanical Vapor Compression	Vacuum Distillation	Multistage flash	M-Cycle
Waste heat consumption, Btu per lb recycled water	0	0	0	1000	104	312
Operating temperature, F	50-90	212	220	130-150	220-240	90-110
Electricity consumption, kWh per m ³ recycled water	1-5	0.5-1	20	1-2	3.5-4	0.1-0.5
Fuel energy consumption, Btu per lb recycled water	0	1000	35	0	0	0
Clean water quality (total dissolved solids reduction)	95%	99%	99%	99%	99%	99%
Water recovery, %	40-50	70-98	95-99	70-98	70-98	90-95
Concentrate discharge, %	50-60	2-30	1-5	2-30	2-30	1-5
Cooling water requirement, lb per lb recycled water	0	50-60	0	50-60	0	0
Unit capacity, GPD	175000	175000	175000	175000	175000	175000
Operating cost, \$ per 1,000 gallons of recycled water	2.91	1.49	3.07	1.44	1.51	0.91

• Технология опреснения воды на основе М-цикла дешевле многих других технологий, в том числе широко распространенной технологии обратного осмоса.

• Особенно высокая эффективность наблюдается, если используются вторичные энергоресурсы или «сбросная» теплота.

2.4.5 Котельная с утилизацией теплоты продуктов сгорания и производством пара



2.5 Технические проблемы использования М-цикла

- 1. Основной технической проблемой является поиск капиллярно-пористой поверхности, которая обеспечивает равномерное смачивание поверхности при высоких температурах потока**
- 2. Другая проблема - создание высокотемпературного керамического рекуператора для энергетических установок**
- 3. Исследование тепло- и массообмена в каналах теплообменного аппарата Майсоценко и разработка метода расчета.**
- 4. Влияние различных факторов на эффективность охлаждения.**

2.6 Перспективные области применения М-цикла в Украине

- 1. Охлаждение компримированного природного газа на газопроводах Украины.**
- 2. Системы охлаждения лопаток газовых турбин.**
- 3. Применение в технологическом процессе Фишера – Тропша.**
- 4. Термохимическая рекуперация топлива.**
- 5. Утилизация низкотемпературной теплоты.**
- 6. Повышение эффективности работы ТЭС за счет управления режимом работы градирни в маневренном режиме работы.**

ВЫВОДЫ

- Цикл Майсоценко открывает широкие возможности для совершенствования многих энергетических и тепломассообменных процессов без совершения внешней работы.
- Устройства на основе М-цикла имеют более высокие технико-экономические показатели и оказывают менее вредное воздействие на окружающую среду. Для охлаждения воздуха до температуры близкой к точке росы используется относительно простое оборудование.
- М-цикл может найти широкое использование в Украине в системах кондиционирования, промышленных градирнях, конденсаторах, тепловых насосах, солнечных и ветроустановках, установках опреснения и очистки воды, в двигателях внутреннего сгорания, газовых турбинах, системах охлаждения электроники.
- В целом, широкое использование М-цикла в различных отраслях промышленности Украины в самой ближайшей перспективе может создать предпосылки для формирования новой стратегии энергосбережения в Украине.