

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
**«УСТАНОВКА КОНДЕНСАЦИИ ПРЕСНОЙ ВОДЫ  
ИЗ ВЛАГОНАСЫЩЕННОГО МОРСКОГО  
ВОЗДУХА»**

15.03.06 Мехатроника и робототехника

15.03.06\_01 Проектирование и конструирование мехатронных модулей и  
механизмов роботов

Выполнил

студент гр. 3331506/80101

А.С. Михайлов

Руководитель

Профессор, д.т.н.

В.А. Дьяченко

Санкт-Петербург

2022

# Цели и задачи

Цель работы – выполнить поиск концептуальных и проектно-конструкторских решений проекта платформы конденсации атмосферной влаги, позволяющей добывать конденсат пресной воды в промышленных масштабах (более 1000 т/сутки).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- рассмотреть известные решения по принципам построения и конструкции устройств конденсации атмосферной влаги,
- выполнить поиск и анализ современных исследований по разработкам данной темы,
- предложить принцип построения платформы и определить ее основные технические параметры,
- разработать схемные и конструктивные решения основных функциональных модулей проектируемой установки конденсации и выбрать ее комплектующие элементы.

# Актуальность работы

Из всей воды ( $\sim 1,4$  млрд. км<sup>3</sup>) на земле пригодны для питья и другого использования всего лишь 3% (35 млн. км<sup>3</sup>). Считается, что 0,77% мировых запасов воды – это доступные подземные и поверхностные источники (озера, реки, болота и т.д.).

Значительная часть потребляемой пресной воды уходит на сельское хозяйство (до 70% всего объема) и промышленность (порядка 20%).

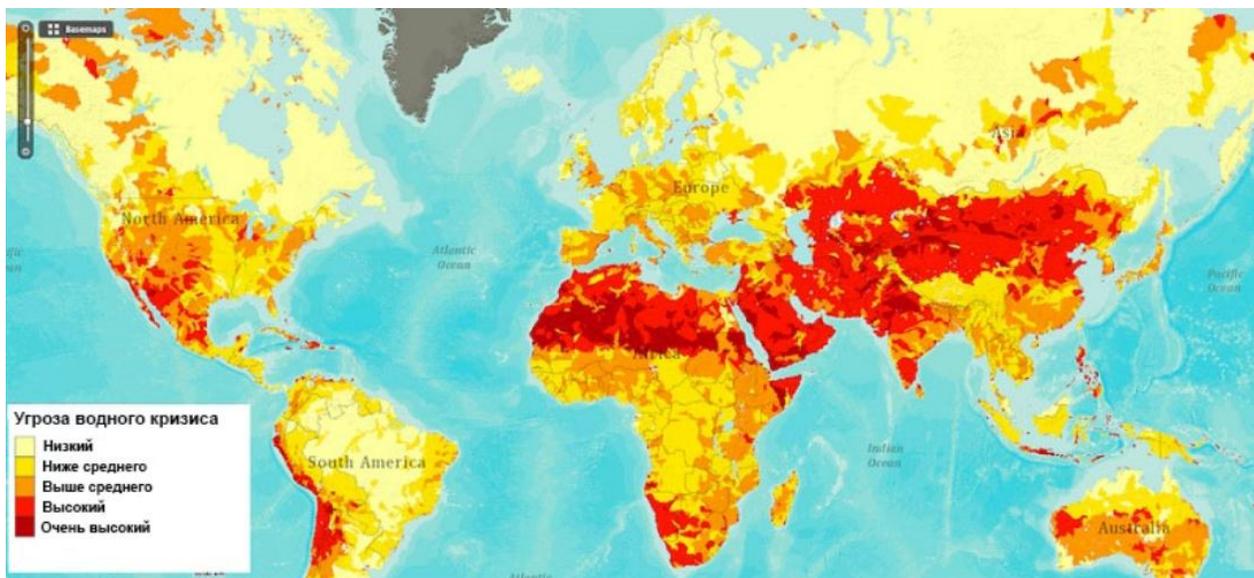
Как и ископаемые виды топлива, водные ресурсы накапливаются медленно и являются мало возобновляемыми. Источником возобновляемых ресурсов пресной воды считаются атмосферные осадки, годовой объем которых  $\sim 110300$  км<sup>3</sup>/год. Из них 69600 км<sup>3</sup>/год возвращаются в атмосферу в результате испарения и транспирации.

Масштабное решение проблемы обеспечения пресной водой природного качества возможно на основе экоинженерной концепции с учетом имеющихся природных форм. В первую очередь, это практически не используемые большие запасы пресной воды в виде водяного пара в атмосфере над акваториями морей (океанов) континентальных и островных территорий.

# Водный кризис на карте мира

## Карта водного стресса

Показывает долю водозабора относительно к общему объему возобновляемых ресурсов.



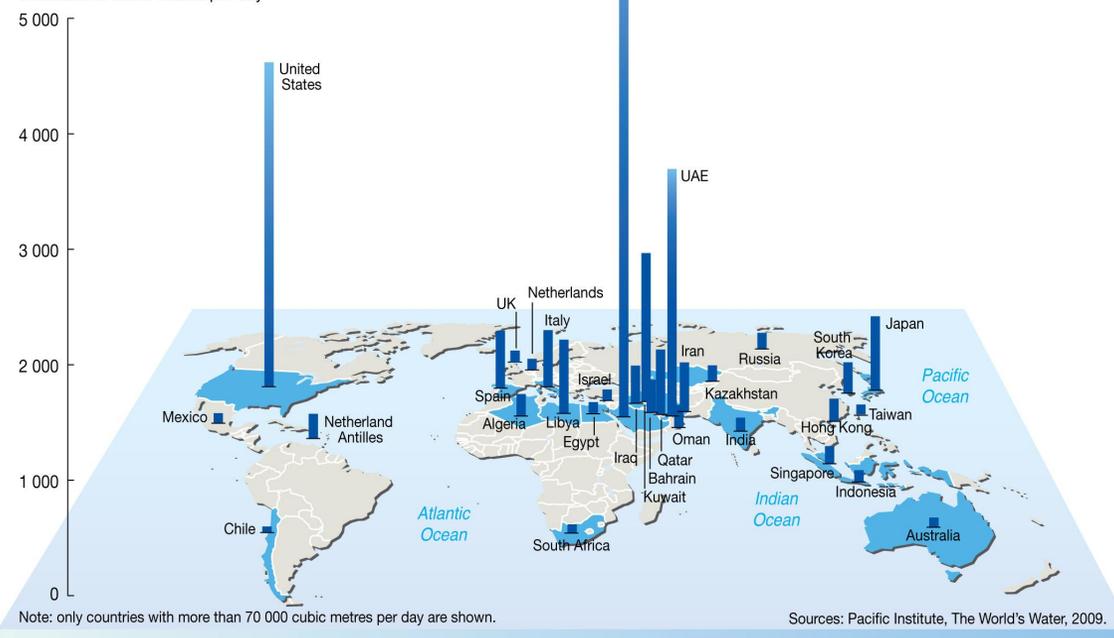
## Карта опреснения морской воды

Показывает объем опреснения морской воды.

Масштаб – 1000 м<sup>3</sup> /сутки.

### Water desalination

Desalination capacity  
Thousand of cubic metres per day

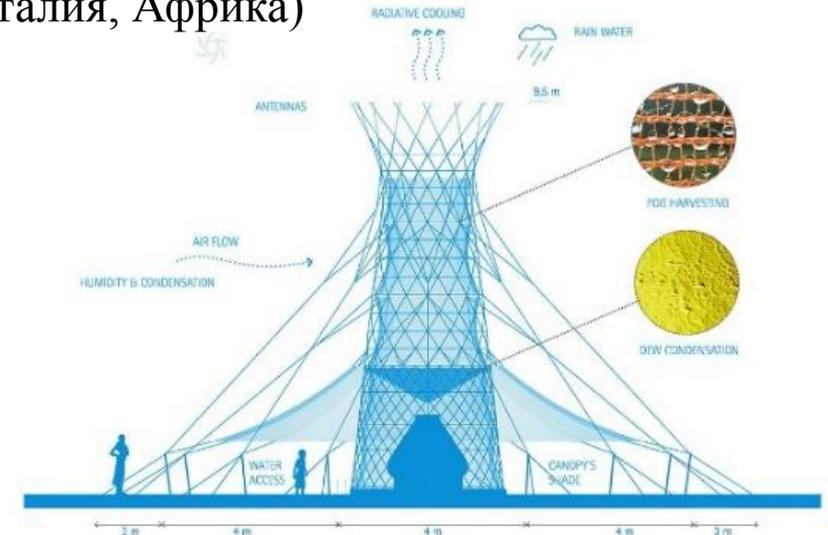


# Реализованные установки конденсации влаги из воздуха

**Достоинства:** Заявленная высокая энерго/ресурсо-эффективность

**Недостатки:** Малая производительность (не более 0.7 м<sup>3</sup>/сутки)

Разработка бюро Architecture and Vision  
(Италия, Африка)



«Воздушный родник»  
(Россия, Крым)



airdrop  
irrigation

Работа устройства:

**1. Забор воздуха**

Теплый воздух через аэродинамически подобранную трубку, которая при недостаточной силе ветра питается от солнечной батареи.

**2. Воздух поступает под землю**

На глубине 2 м температура почвы значительно ниже, чем на поверхности (около 9 град. С на выбранном для установки участке). Это заставляет, чтобы в медной трубке, погруженной в почву, начался процесс конденсации.

**3. Процесс конденсации**

Воздух проходит через два медных звена, между которыми помещены звенья "голандки", которые, во-первых, увеличивают площадь взаимодействия воды и воздуха, а во-вторых, делают вертикальный поток воздуха турбулентным, что увеличивает общее время пребывания воздуха в устройстве и способствует более значительному его охлаждению. При падении температуры воздуха его относительная влажность достигает 100%. Образуется конденсат.

**4. Вода собирается в бак**

Образовавшийся конденсат собирается в подземной емкости.

Фотозвенья

Выпуск воздуха

Аккумуляторы

Полупроницаемый шланг

**5. Вода откачивается для ирригации**

Маломощный погружной насос откачивает расточенную воду, закачивается в бак. Вода поступает в почву через полупроницаемые шланги (метод подпочвенной ирригации). Такая конструкция насоса адаптирована к условиям работы от солнечных батарей.

Air Drop (США)

# Известный промышленный аналог

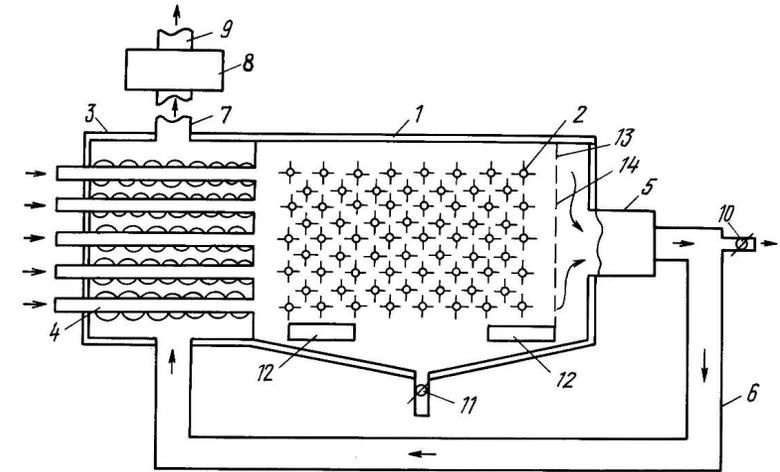
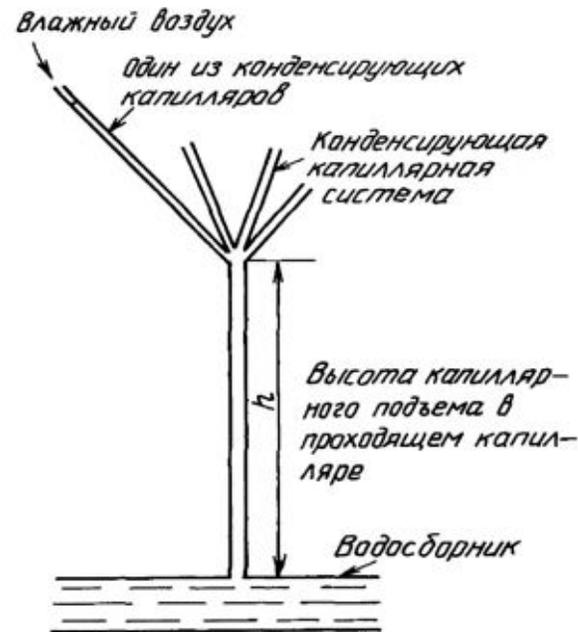
- EA-5000 (США, Израиль) – мобильная установка производства пресной воды.
- Суммарная мощность – 116.6 кВт
- Габаритные размеры 2.2 x 2.2 x 5.3 м
- Хладагент - R22 и R401
- Производительность - 5 м<sup>3</sup>/сутки (при 80% влажности и температуре воздуха 30°C)
- Ориентирована на применение в удаленных от моря засушливых регионах.



# Анализ материалов патентного поиска

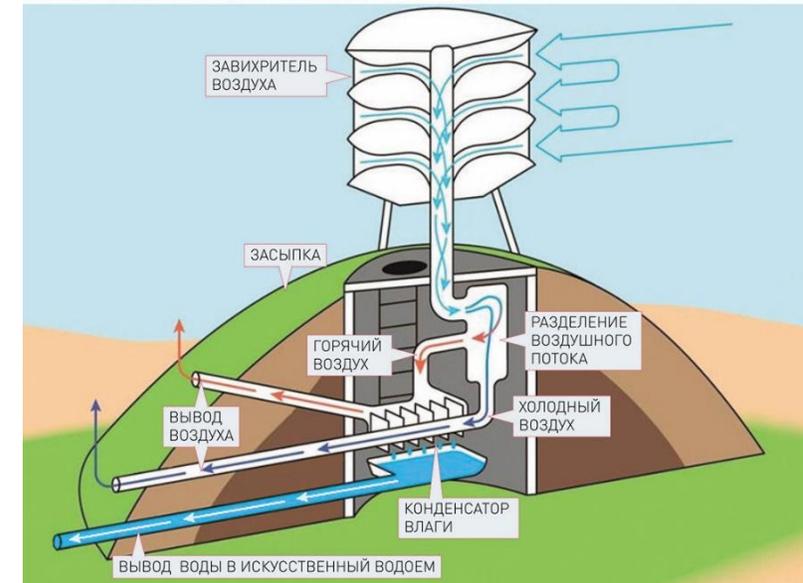
Основные направления исследований, посвященных конденсации атмосферной влаги (выделены по 8 изученным патентам):

- Создание поверхности конденсации с повышенной эффективностью
- Холодильные установки с применением хладагентов аналогичных R22 и R401
- Повторное применение охлажденного воздуха в работе установки



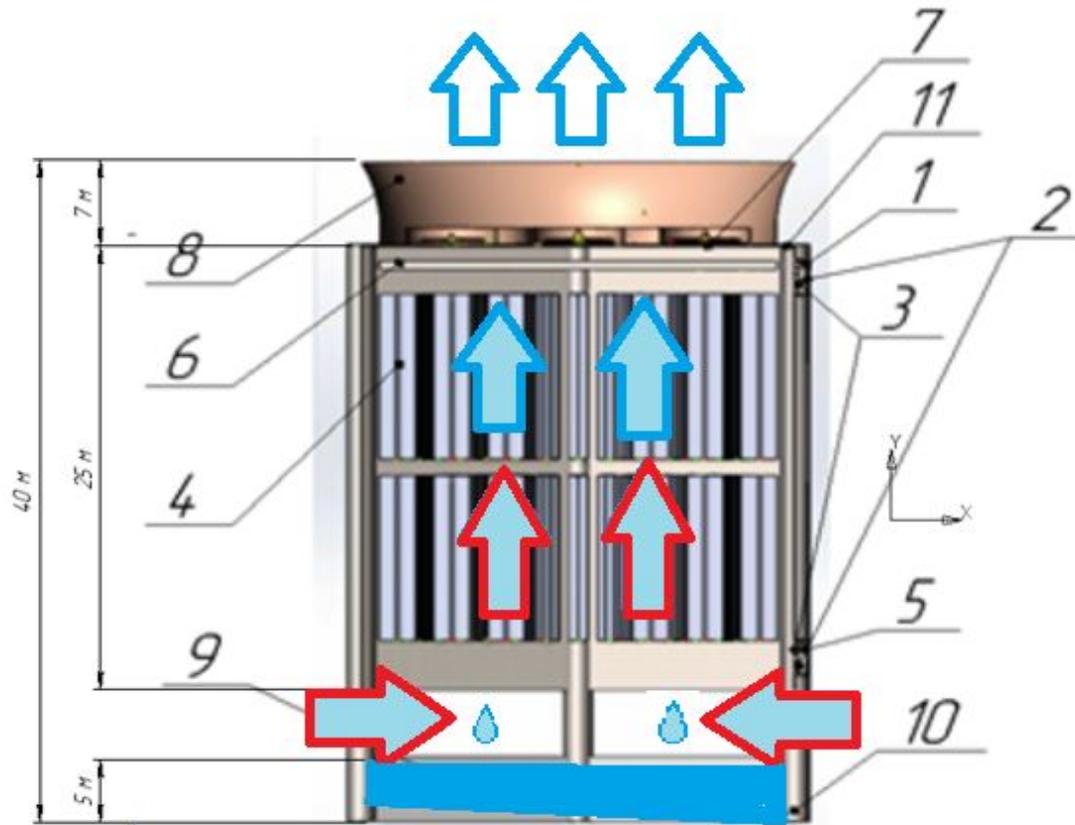
УСТАНОВКА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ВОЗДУХА

Источник: Всероссийский институт механизации (ВИМ) сельского хозяйства



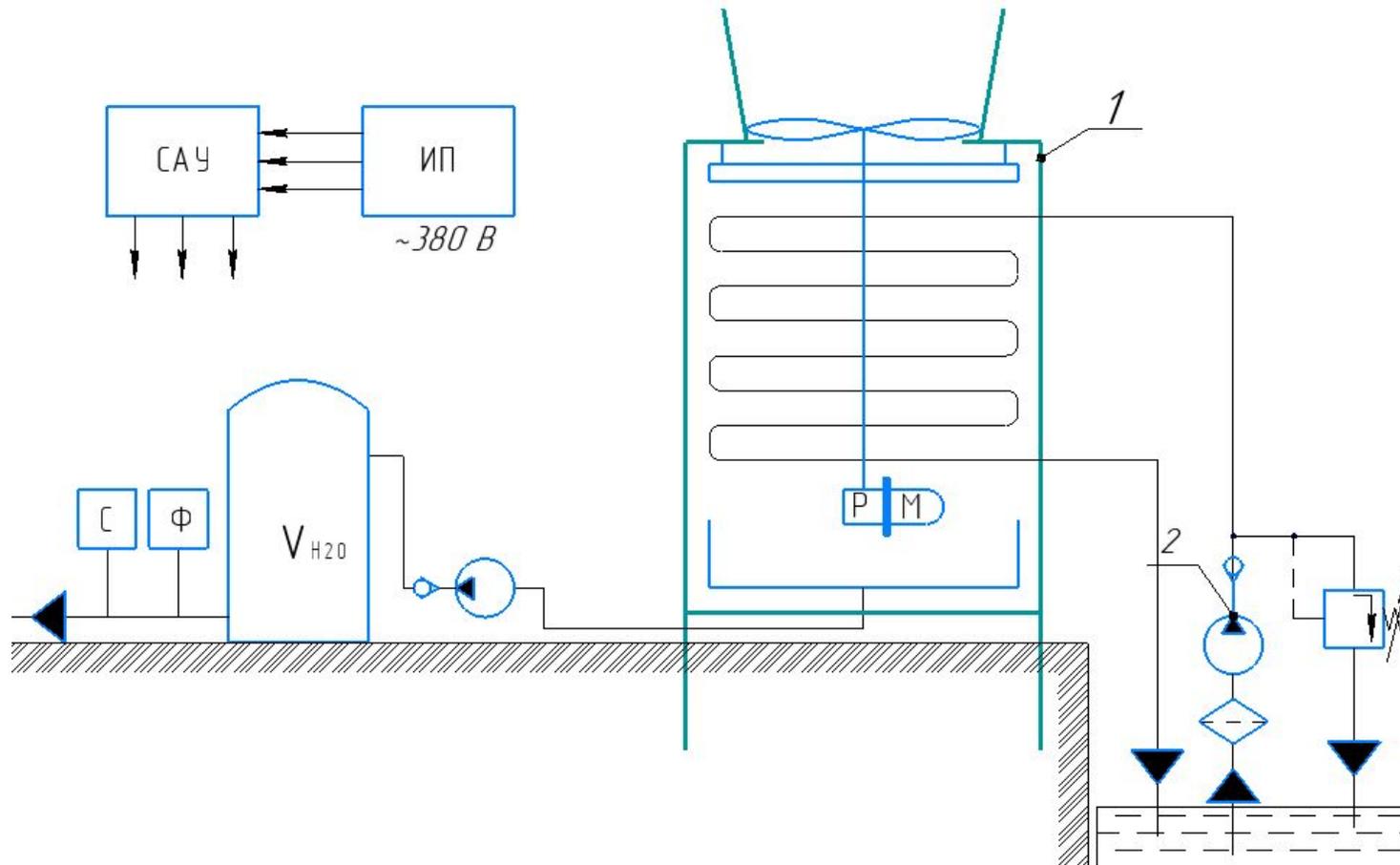
# Принцип построения предложенной платформы

Для решения поставленной задачи предлагается использовать крупногабаритную конденсационную установку на плитном или свайном основании. Строение установки целесообразно по принципу компоновки в виде корпусной вентиляторной градирни.



1 – патрубок для подвода морской воды ; 2 – водяные камеры; 3 – трубная доска; 4– камера конденсатора с модульными теплообменными элементами; 5 – патрубок для отвода морской воды; 6 – влагоуловитель; 7 – вентиляторы; 8 – диффузор; 9 – сборник конденсата; 10 – патрубок для отвода конденсата в накопитель пресной воды; 11 – корпус конденсатора.

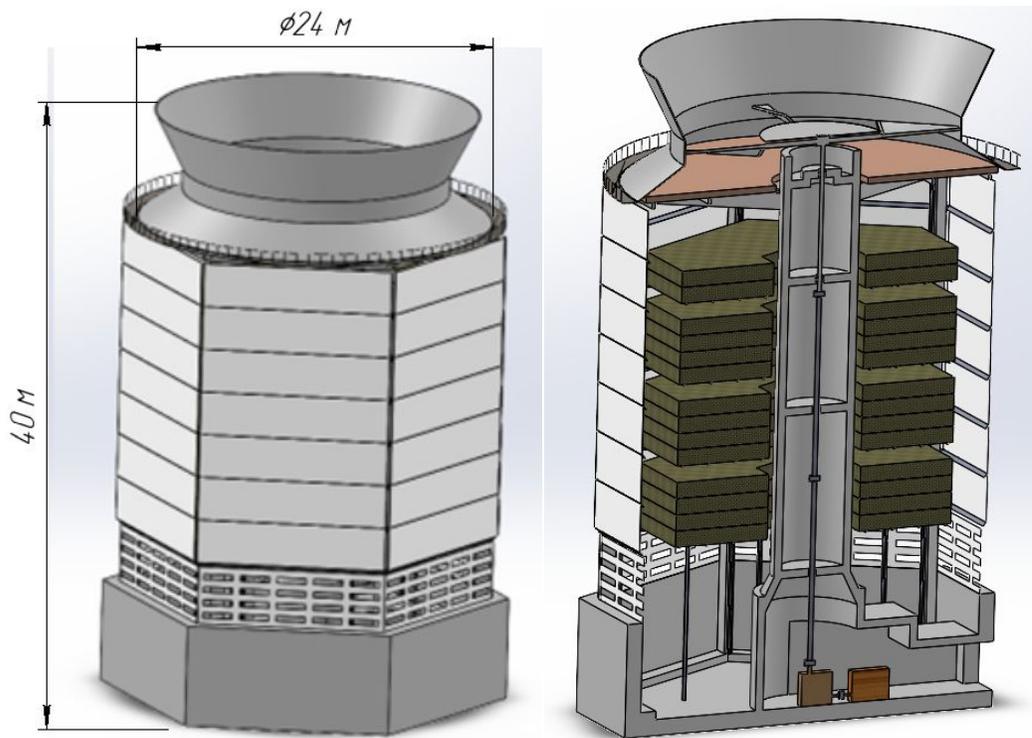
# Структурная схема комплекса конденсации атмосферной влаги



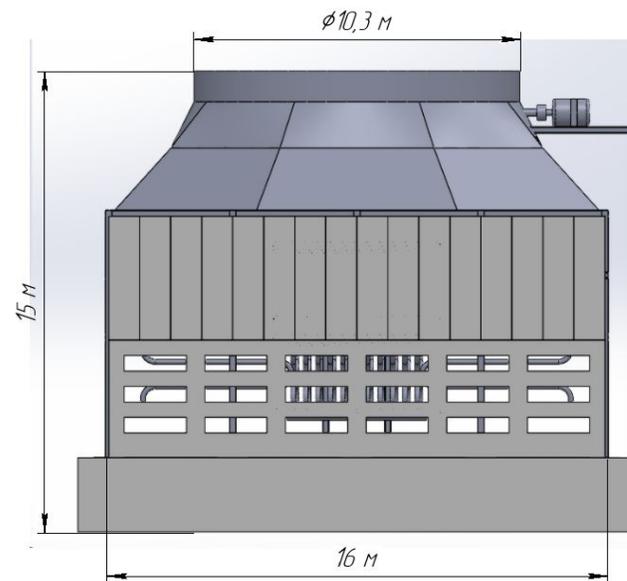
- 1 – конденсатор;
- 2 – система забора охлаждающей морской воды;
- $V_{H_2O}$  – накопитель пресной воды на 30 дней;
- Ф – ферратор для обеззараживания воды;
- С – система соленасыщения питьевой воды;
- САУ – система автоматического управления;
- ИП – источник питания;

# Варианты 3D модели модуля конденсации предлагаемой установки

В соответствии с предложенным принципом построения платформы (слайд 7) были разработаны 2 возможных модели установки.

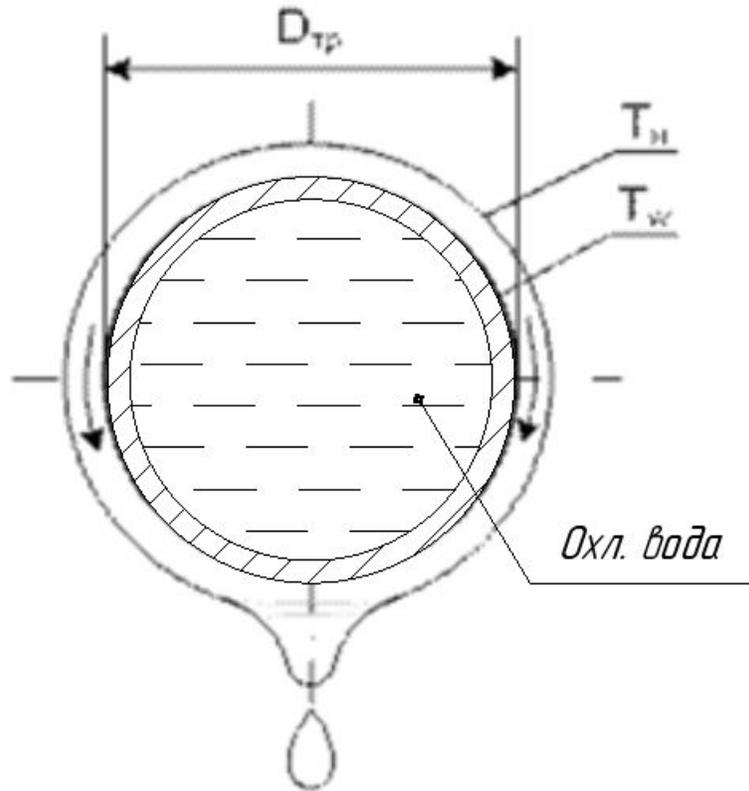


**Вариант №1 с вентилятором ВГ180/4**



**Вариант №2 с вентилятором ВГ104/6**

# Расчет параметров системы охлаждения



Определение минимального требуемого размера выбранного теплообменного модуля:

Уравнение теплового баланса:  $Q = G \cdot r = \bar{\alpha} \cdot (T_H - T_W) \cdot F$

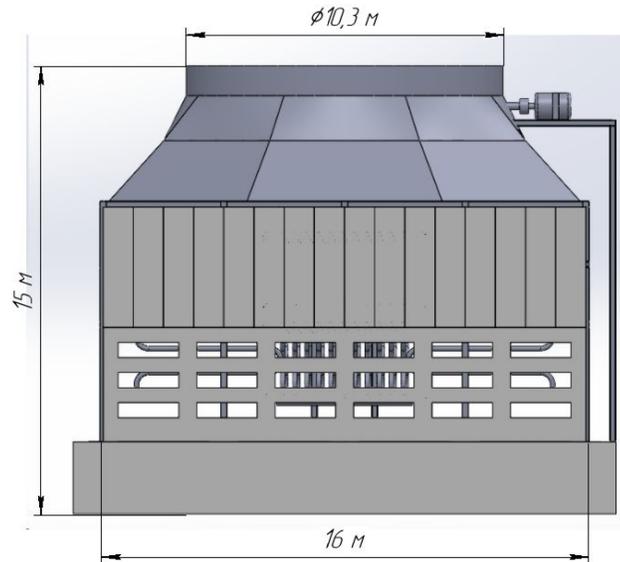
Средний коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на горизонтальной трубе при ламинарном течении пленки конденсата рассчитывают по формуле Нуссельта, диаметр трубы найден из условия ламинарного течения:

$$\bar{\alpha} = 0.728 \cdot \sqrt[4]{\frac{g \cdot r \cdot \rho_{пл}^2 \cdot \lambda_{пл}^3}{\mu_{пл} \cdot (T_H - T_W) \cdot d_{тр}}} \quad d_{тр} < 20 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{пл}}{g \cdot \rho_{пл}}}$$

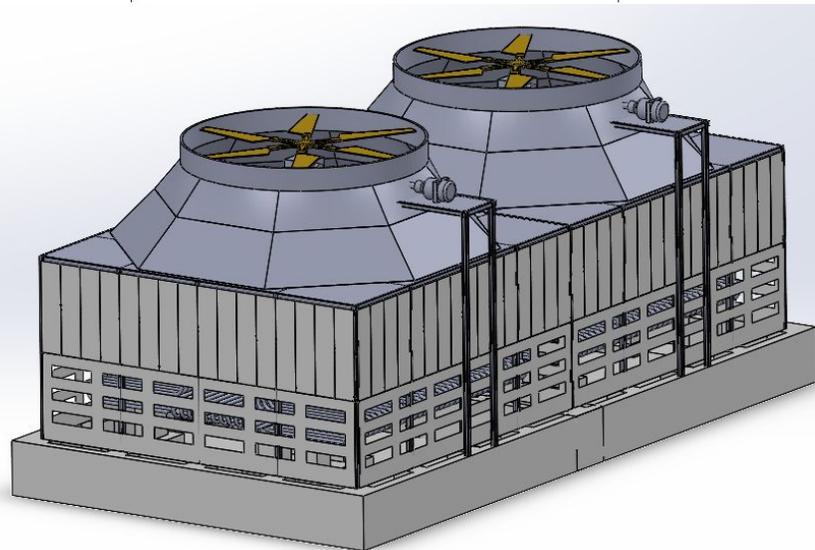
Длина труб змеевика найдена из условия упрощения модели теплообменного модуля до цилиндрической поверхности:

$$h = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot \frac{d_{тр}}{2}}$$

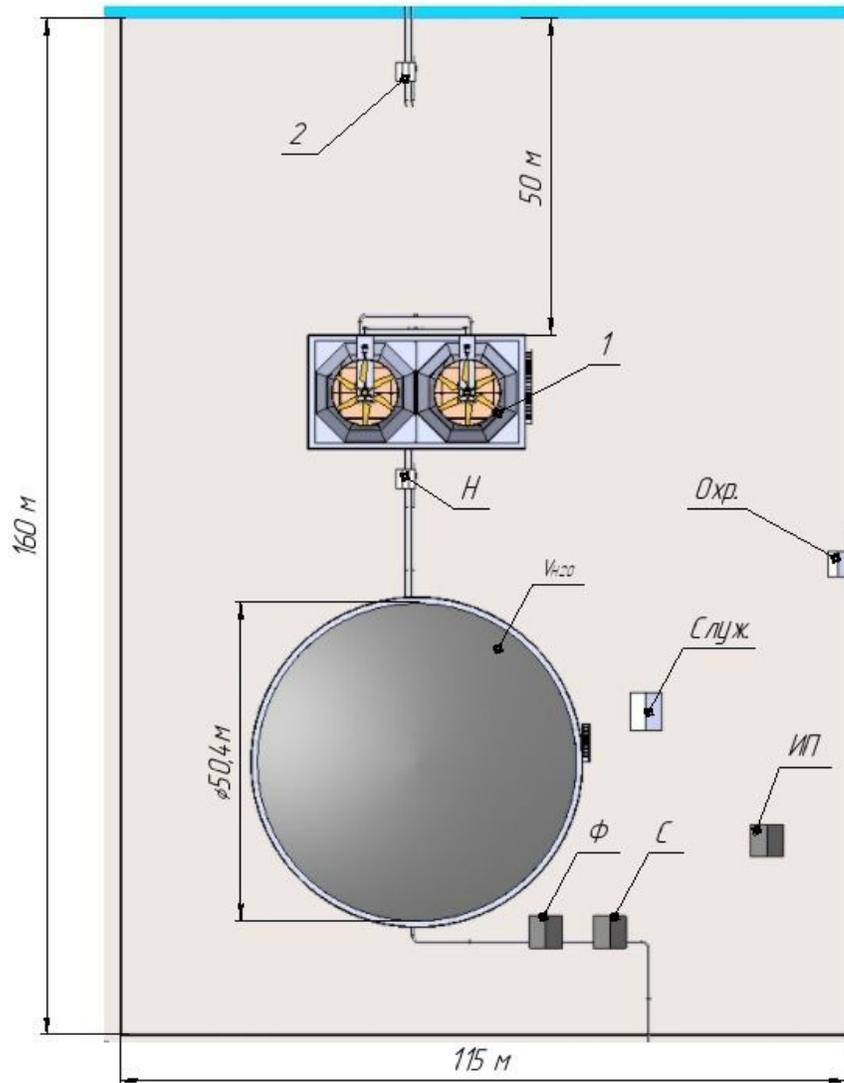
# Основные параметры принятого модуля конденсации (при 2-х секциях)



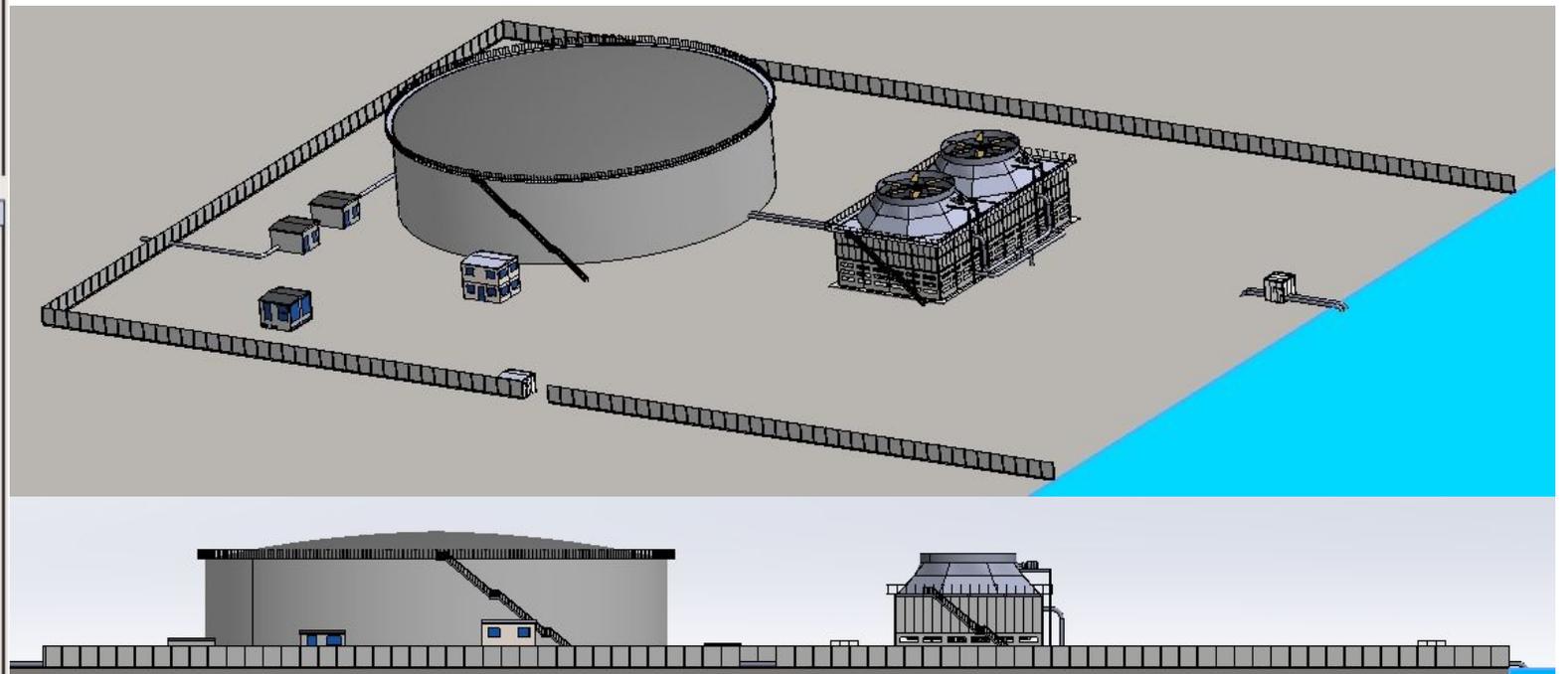
- • высота установки с диффузором, м – 15;
- мощность водяных насосов, МВт – 0,15;
- мощность вентиляторных установок, МВт – 0,5;
- температура охлаждающей среды, °С – 7-13;
- производительность по пресной воде, т/сутки – 1400;
- энергозатраты, кВт·ч/т - 12;
- стоимость 1 м<sup>3</sup> пресной воды, р. – 48;
- ориентировочная стоимость, млн. р. - 100-140.



# Общий вид комплекса конденсации атмосферной влаги



1 – конденсатор; 2 – система забора охлаждающей морской воды;  $V_{H_2O}$  – накопитель пресной воды на 30 дней; Ф – ферратор для обеззараживания воды; С – система соленасыщения питьевой воды; Н – система отвода конденсированной воды в емкость хранения; ИП – источник питания; Служ. – помещение обслуживающего персонала; Охр. – помещение охраны.



# Выводы

- Проведен обзор известных решений в области конденсации атмосферной влаги.
- Проведен анализ рассмотренной литературы, посвященной тематике работы.
- Предложен принцип построения платформы конденсации атмосферной влаги, позволяющей добывать пресную воду в промышленных масштабах (около 1400 т/сутки).
- Разработаны две упрощенные модели промышленной установки, приближенных к реальности.
- Для каждой модели определены основные составляющие элементы конструкции, применяемые типовые элементы, используемые комплектующие.
- Сделан вывод о целесообразности дальнейшей проработки предложенной конструкции с целью создания опытно-промышленного образца.

**Спасибо за внимание!**