

# Теплообменники

# Теплообменные системы

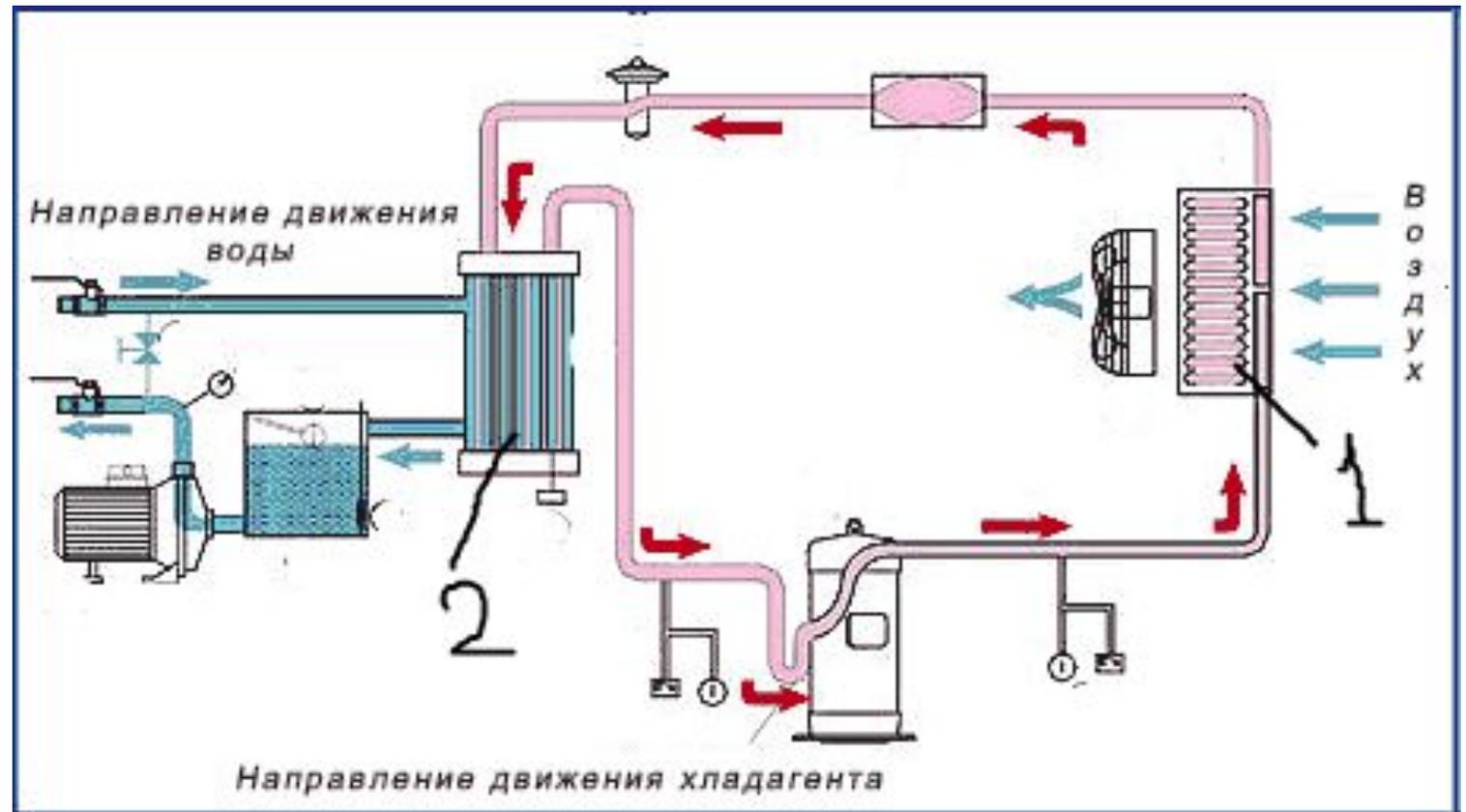
Основные области применения теплообменных аппаратов:

- Теплоснабжение
- Нефтепереработка
- Энергетика
- Металлургия
- Системы искусственного климата



# Системы искусственного климата

- Системы кондиционирования воздуха конструктивно включают в свое устройство испарители(2) и конденсаторы(1), они же теплообменники, которые непосредственно охлаждаают проходящий через них воздух.



# Теплообменник

■ Поверхностные

■ Смесительные

■ Кожухотрубные

■ Спиральные

■ Витые

■ Пластинчатые



# Интенсивность теплопередачи

- Что бы повысить эффективность работы устройства необходимо увеличить интенсивность теплопередачи, которая выражается уравнением:

$$Q = F \frac{\Delta t}{R} \quad \text{или} \quad Q = FK\Delta(t_1 - t_2)$$

где Q – тепловая мощность теплообменника, [Вт];

F – площадь поверхности теплообмена, [м<sup>2</sup>];

Δt – средний температурный напор, [K];

R – полное термическое сопротивление, учитывающее все его слагаемые, [м<sup>2</sup>·K/Вт];

K-полный коэффициент теплопередачи(величина обратная R) [Вт/м<sup>2</sup>·K]



Пример не эффективного теплообменника

- Видно что интенсивность зависит от термического сопротивления R и геометрии поверхности теплообмена. Соответственно уменьшая сопротивление и увеличивая площадь поверхности будем улучшать эффективность теплообменника.

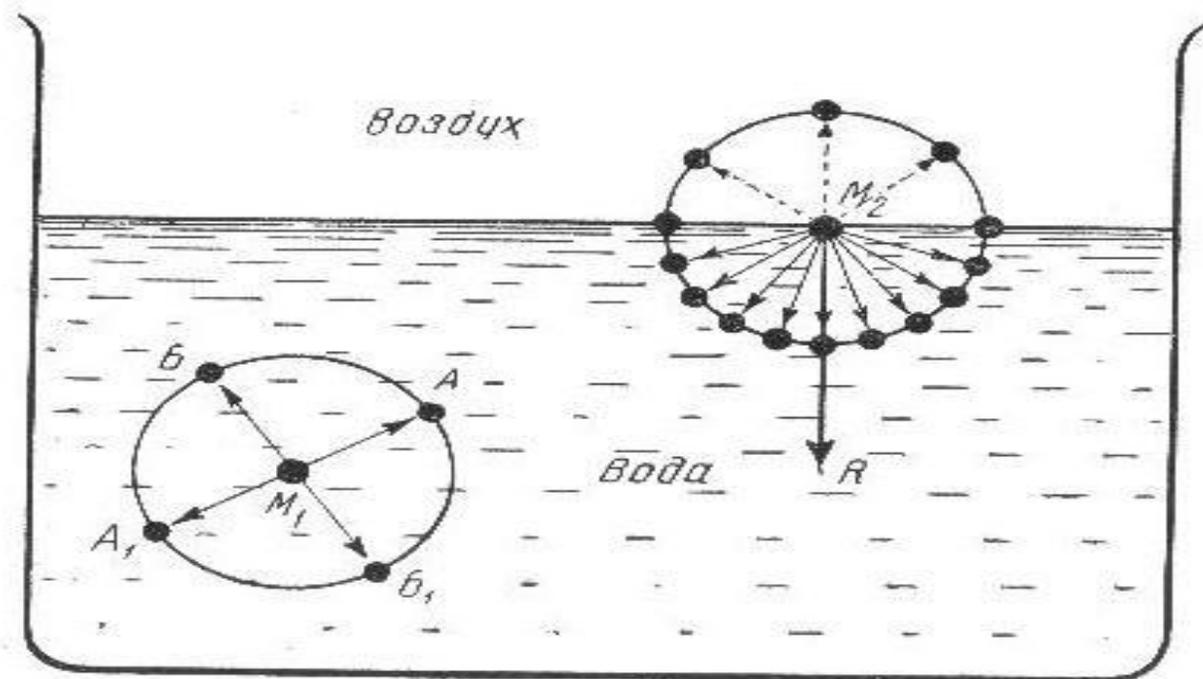
# Улучшение конденсатора путем формирования развитой поверхности

- *Цель способа* - формирование на стенке теплопроводной поверхности с особой структурой и свойствами, которая сопротивляется воздействию окружающей среды.
- Данный способ отлично подходит для системы конденсирования так как при ее эксплуатации в приповерхностной области теплообменника формируется слой влаги, который увеличивает термическое сопротивление.
- Для самопроизвольного удаления данного слоя с поверхности теплообменника, необходимо наделить поверхность таким свойством, которое бы заставлял конденсат, самопроизвольно удаляться с поверхности.



# ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Физико-химические явления, которые обусловлены особыми свойствами поверхностных слоев жидкостей и твердых тел. Наиболее общее и важное свойство этих слоев - избыточная свободная энергия, а для твердых тел – удельная свободная поверхностная энергия.



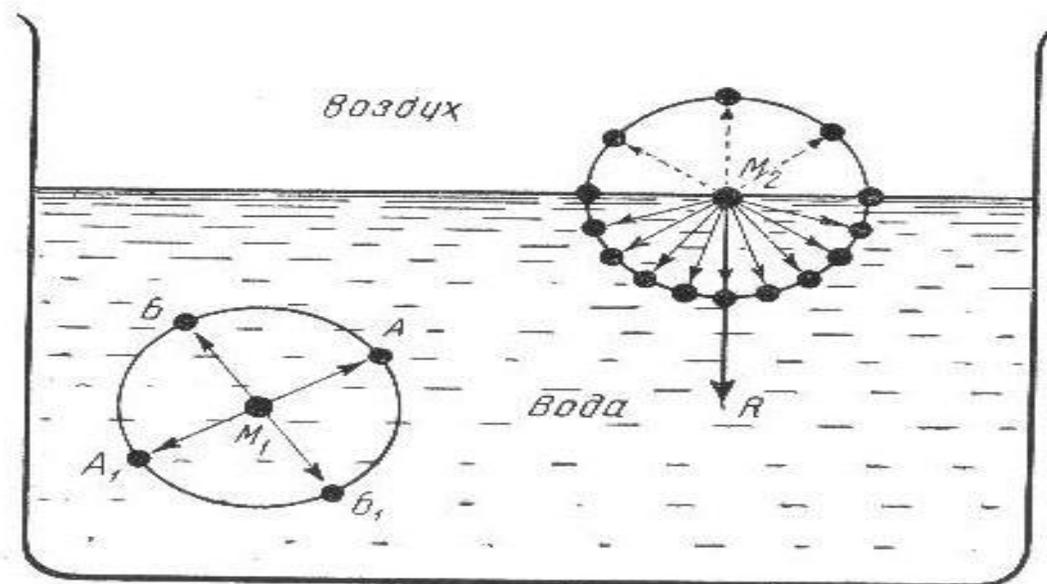
Поверхностные явления происходят вследствие уменьшения поверхностной энергии системы:

- уменьшением общей поверхности системы
- уменьшением поверхностного натяжения на границе раздела фаз

# Поверхностные явления на границе жидкость - газ

Молекулы жидкости, находящиеся на поверхности ее раздела с газом, испытывают значительно большее притяжение со стороны жидкости, чем со стороны газовой среды. Вследствие этого возникает направленная внутрь жидкости сила, стремящаяся переместить ее молекулы с поверхности в глубину.

- Энергия молекул вблизи поверхности раздела выше, чем внутри жидкости.
- Свободная энергия поверхностного слоя направлена во всех точках перпендикулярно к поверхности и стремится сократить ее до минимума.
- Если другие силы не действуют на жидкость, она принимает форму шара, тела с наименьшей поверхностью при данном объеме.



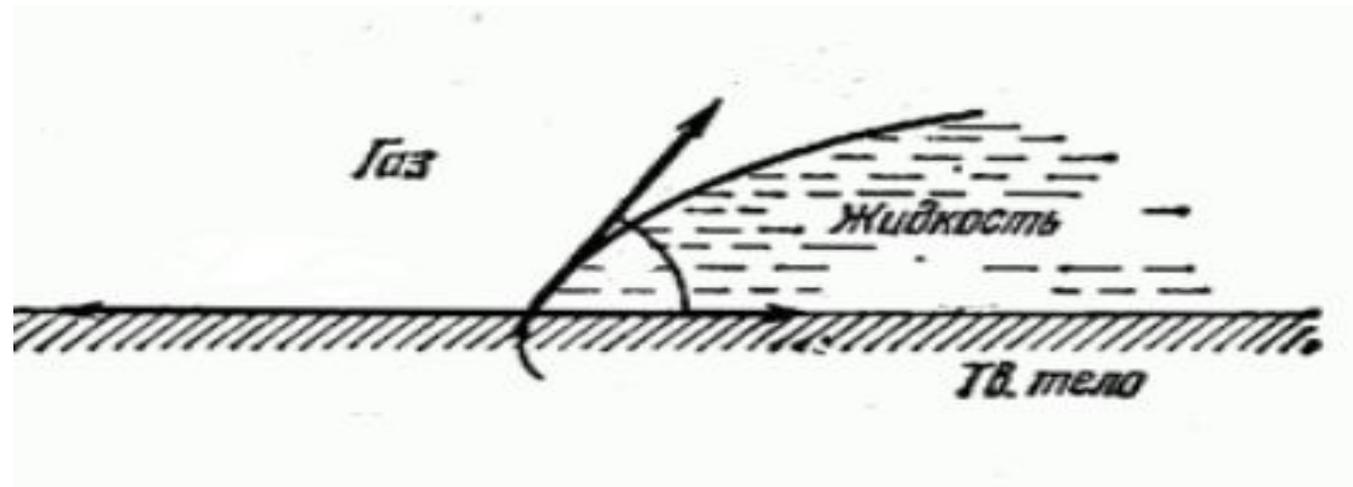
# Поверхностные явления на границе газ - жидкость - твёрдое тело

## Жидкость – твёрдое тело

- При рассмотрении явлений на границе раздела различных сред следует иметь в виду, что поверхностная энергия будет зависеть не только от свойств данной жидкости, но и от свойств того вещества с которым она граничит. Между молекулами жидкости и твёрдого тела, с которым она граничит, возникает взаимодействие - называемое Ван-дер-ваальсовыми силами. Они являются причиной появления адгезии жидкости и твёрдого тела, то есть сцепления их поверхностных слоёв.

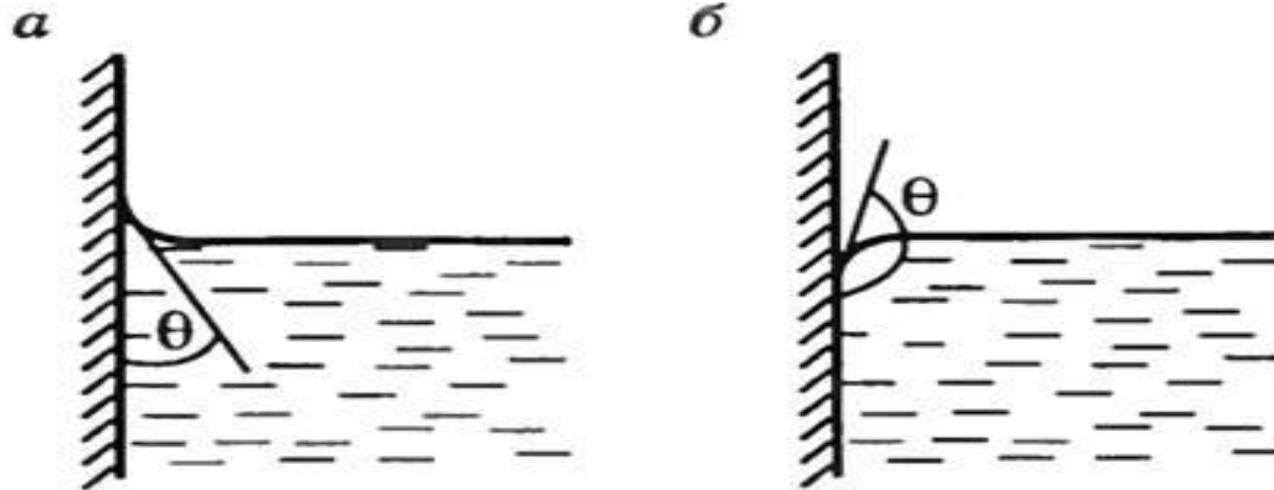
## Газ – жидкость – твёрдое тело

- При этом виде взаимодействия появляются такие понятия как смачивание, его разные виды, угол смачивания и т.п.



# Смачивание

- **Смачивание** – это поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии жидкости с твердым или другим жидким телом при наличии одновременного контакта трех несмешивающихся фаз, одна из которых обычно является газом (воздухом).



а) Смачивание и б) не смачивание вертикальной поверхности большого объёма жидкости

# Определение гидрофобности материала, и ВИДЫ смачивания

Смачивание поверхности какого-либо твердого тела жидкостью может происходить по различным сценариям. Если в роли жидкости используется вода, то поверхности можно охарактеризовать следующим образом:

- при полном смачивании (супергидрофильная поверхность),
- при неполном смачивании (гидрофильная поверхность),
- при частичном смачивании (гидрофобная поверхность)
- при несмачивании (супергидрофобная поверхность).

На практике могут быть реализованы два случая взаимодействия жидкости с твердым телом:

- адгезия ограниченного объема жидкости, т.е. адгезия капли
- адгезия большого количества жидкости.

По расположению поверхности смачивания:

- Горизонтальное
- Вертикальное

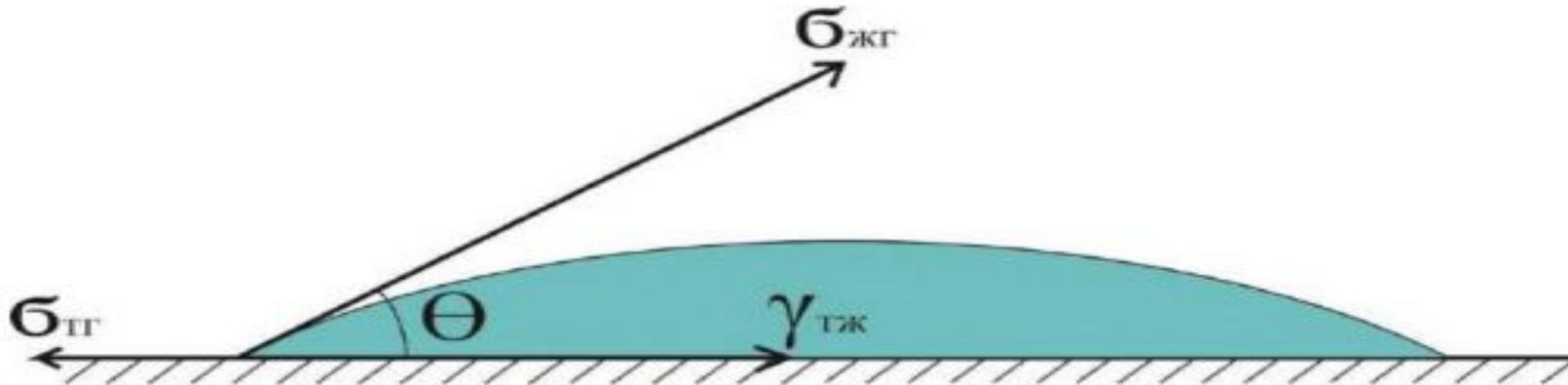
# Супрегидрофильная поверхность

- Если поверхность твердого тела обладает *супергидрофильными* свойствами, то капля воды полностью растекается по ней, иными словами смачивает ее. Такая поверхность характеризуется нулевым углом смачивания и большой силой адгезионного взаимодействия.



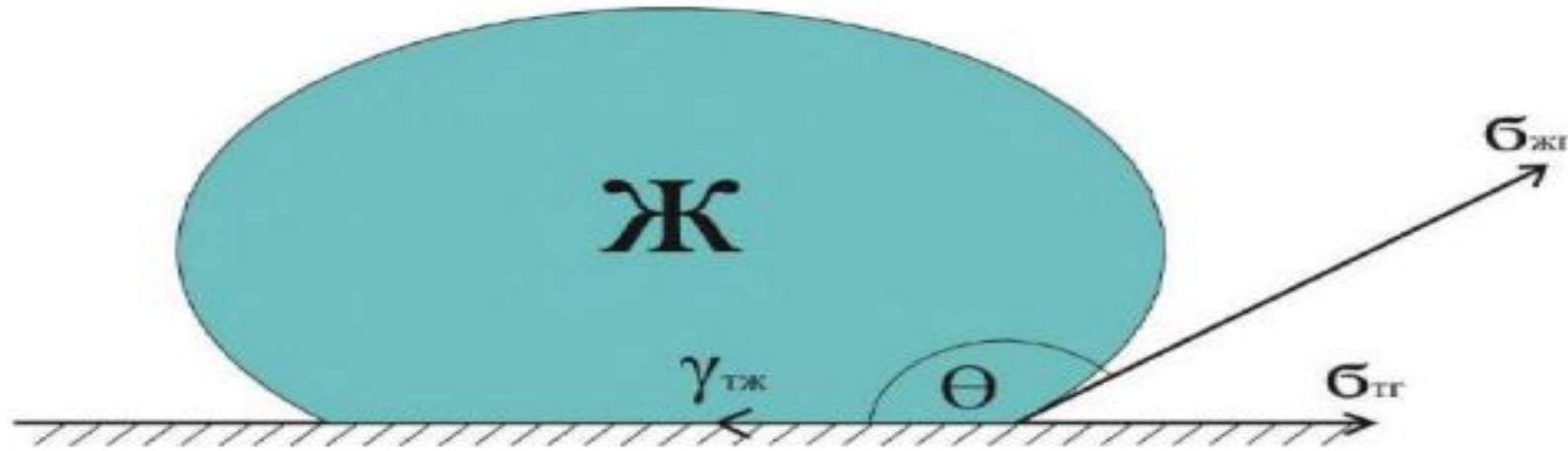
# Гидрофильная поверхность

- Гидрофильные поверхности хорошо смачиваются водой, но при контакте с поверхностью смачивание происходит не полностью. На поверхности образуется капля с углом смачивания менее  $90^\circ$ , но при этом сохраняется большая площадь контакта капли с поверхностью, и большой силой адгезионного взаимодействия.



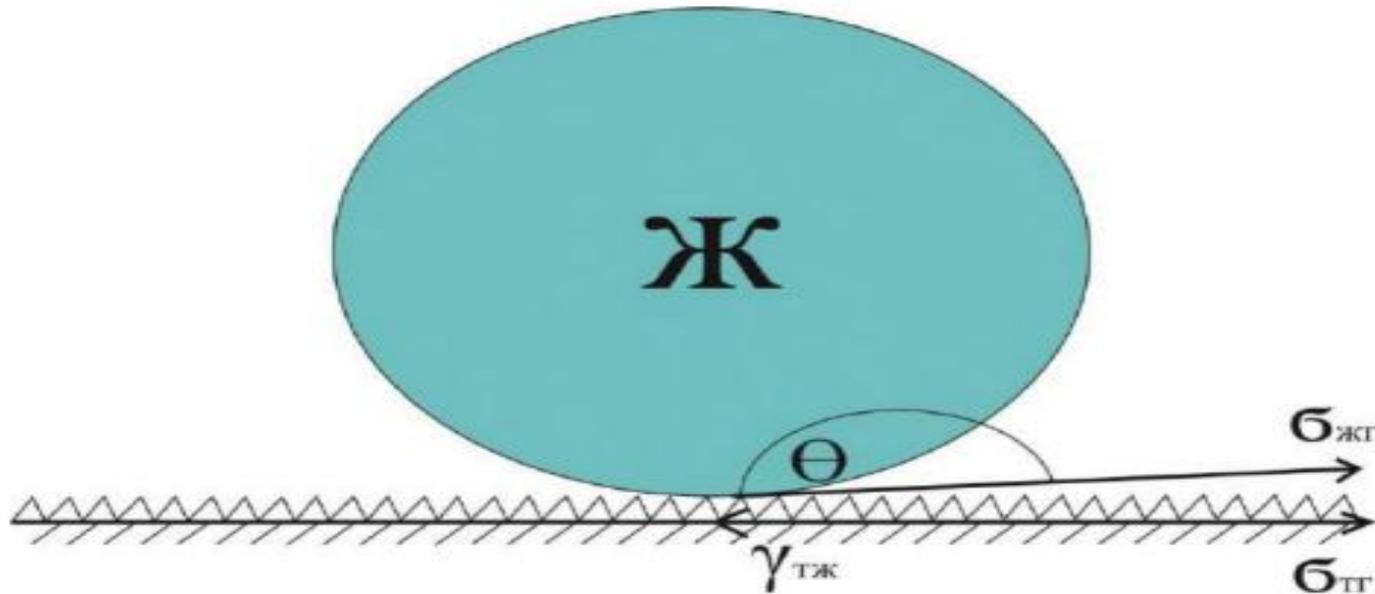
# Гидрофобная поверхность

- Если рассмотреть взаимодействие между каплей воды и гидрофобной поверхностью, то можно заметить что площадь контакта жидкость – твердая поверхность значительно сократилась по сравнению с каплей воды на гидрофильной поверхности.



# Супрегидрофобная поверхность

- Капля жидкости на супергидрофобной поверхности приобретает сферическую форму, площадь взаимодействия с поверхностью значительно сокращается, а угол смачивания увеличивается. Соответственно, и энергия, необходимая для отрыва капли от супергидрофобной поверхности, значительно снижается.



# Определение гидрофобности материала, и виды смачивания

Смачивание шероховатых поверхностей, по сравнению с гладкими, имеет ряд особенностей. Эти особенности проявляются в изменении на шероховатых поверхностях основных показателей:

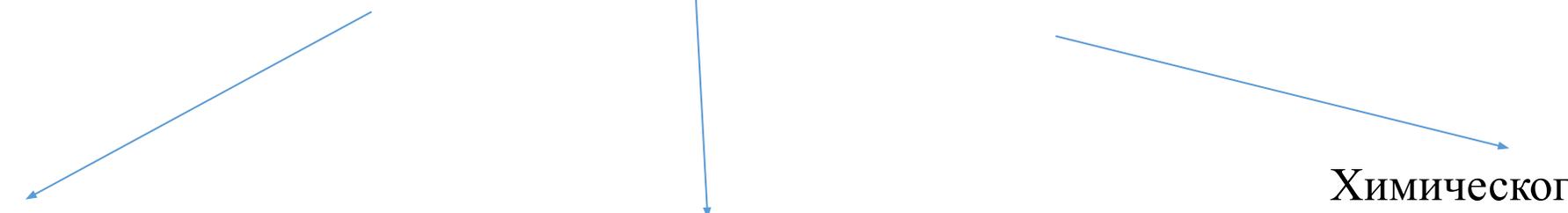
- Адгезию
- Смачивание
- Краевой угол
- Работ адгезии
- Критическое поверхностное натяжение.

В случае гидрофобной поверхности создание на ней шероховатости ухудшит ее смачиваемость в целом. Причина ухудшения смачивания заключается в том, что жидкость не в состоянии проникнуть в углубления шероховатой поверхности.

В случае же гидрофильной поверхности наличие шероховатости на ней наоборот улучшит её смачиваемость.

# Создание гидрофобной поверхности

- Есть разные способы создания гидрофобной поверхности. Все они основываются на изменении конфигурации поверхности за счет искусственного добавления ребер или формирования рельефной структуры.



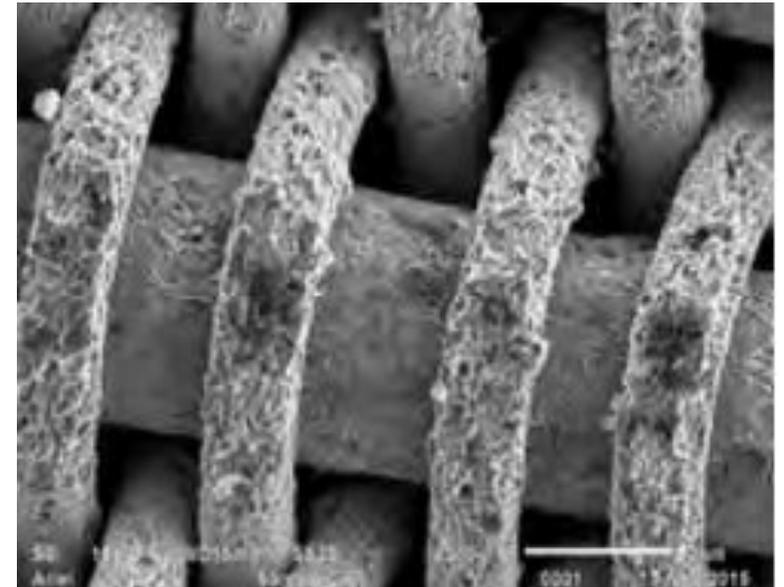
Создание  
поверхностных  
наноструктур

Напыление  
металлического  
покрытия

Химического  
осаждения  
металла

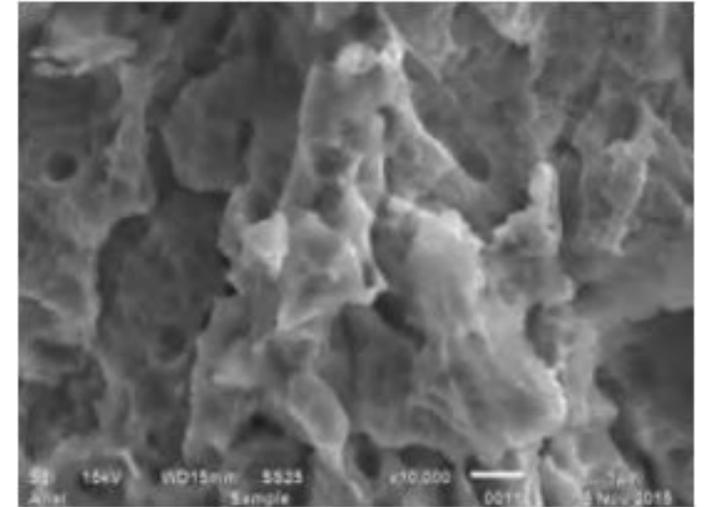
# Создание наноструктур

- Цель это получение многоуровневой структуры, имеющая перепад рельефа от десятков нанометров до сотен микрон.
- Способ заключается в изготовлении на поверхности теплообменника иерархических нано структур из оксида металла.
- Структуры изготавливаются из смеси мелких частиц металла для формирования нанонитей и относительно более крупных частиц для формирования более крупного рельефа.



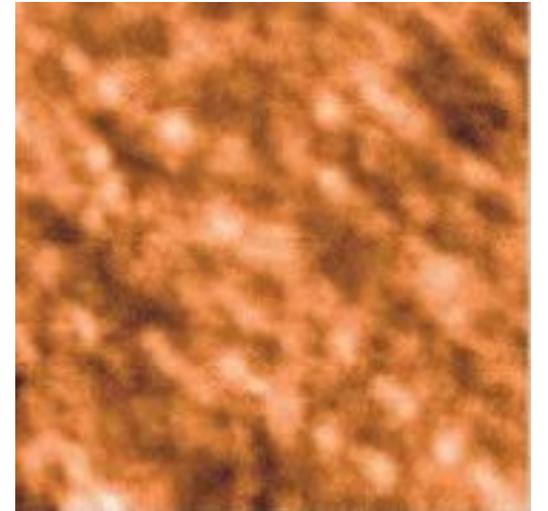
# Напыление металлов

- Способ заключается в нанесении металлического покрытия на металлическую поверхность, формируя при этом рельефную структуру.
- Используемые материалы: железо, цинк, медь, олово, никель, алюминий и их сплавы, включая сталь, латунь, бронзу и др.
- Нанесение частиц металла осуществляется распылением или любым электрохимическим методом.



# Химическое осаждение

- Базируется на методе химического осаждения металлов.
- Материалы: металлические сплавы из никеля или меди с частицами серебра, покрытыми хлорированными, или фторированными полимерами.
- Осаждение осуществляется не электрическим способом, в результате осаждения формируется рельефная двухуровневая поверхность.



# Дополнительная гидрофобизация

- Для придания полученной рельефной поверхности супергидрофобных свойств можно уменьшить ее поверхностную энергию еще сильнее, за счет обрабатывания ее гидрофобными органическими соединениями.
- Полученное покрытие, помимо того, что обладает высокой теплопроводностью, обладает противообрастающими свойствами.
- Для достижения максимальной эффективности теплопередачи смачиваемость поверхности оптимизируется под определенный теплоноситель.

# Технология гидрофобизации



# Выгоды модернизированного теплообменника

В качестве примера представлен график падения температуры при проведении одного из экспериментов для теплообменников с различной поверхностью. При температуре воды в термостате  $46 \pm 2$  °С температура воздуха стабилизировалась при  $33,6 \pm 0,4$  °С и после начала циркуляции охлаждающей жидкости через теплообменник в течение 135 минут происходило падение температуры и ее стабилизация.

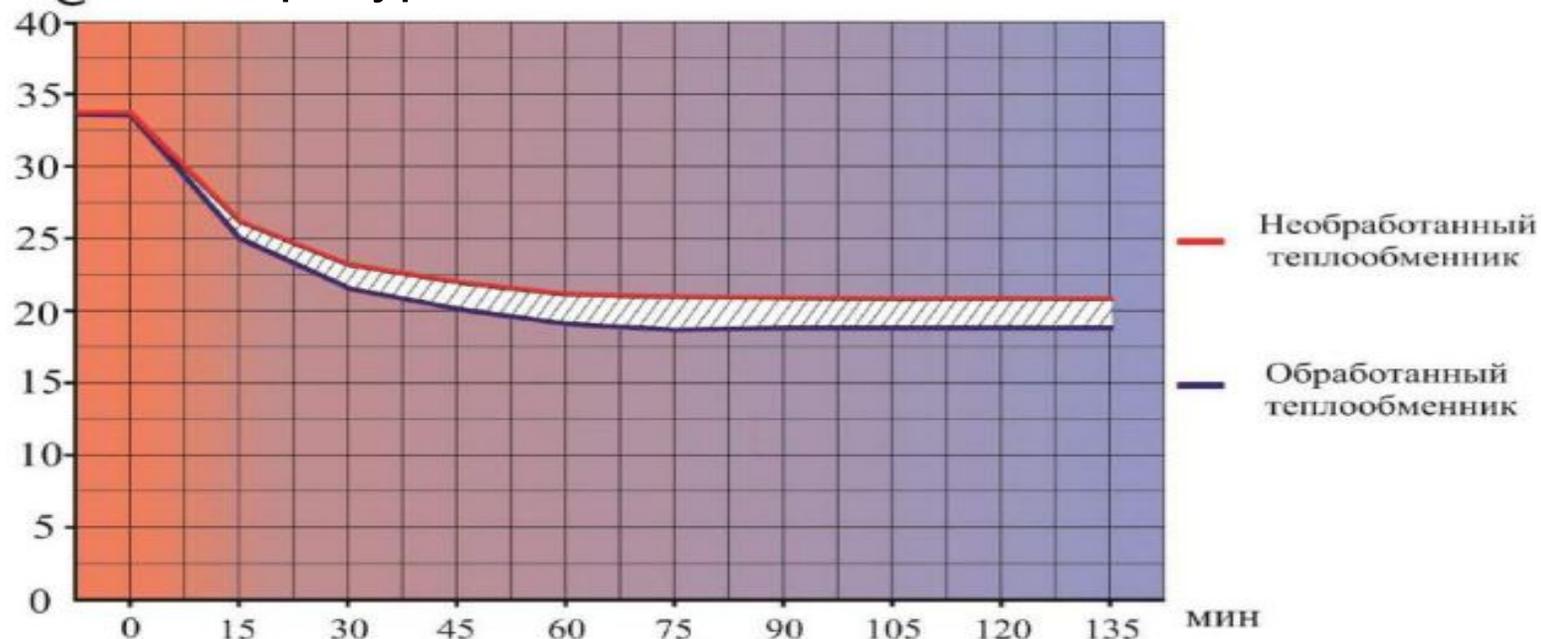


График Температуры воздуха в помещении при использовании теплообменников с различной структурой поверхности.