

# ГРАДИРНЯ

- ✘ **Градирня** — устройство для охлаждения большого количества воды направленным потоком атмосферного воздуха.
  - ✘ **Принцип работы градирни**
- ✘ Процесс охлаждения в градирнях происходит за счет частичного испарения воды и теплообмена с воздухом. Вода в градирне стекает по оросителю каплями или тонкой плёнкой. В это время вдоль оросителя проходят потоки воздуха. Существует такая закономерность: в градирнях при испарении **1 %** воды температура оставшейся понижается на **6 С**. Потеря жидкости восполняется за счет внешнего источника. Причем свежая вода при необходимости подвергается обработке (фильтрации).
- ✘ Как правило, градирни используются там, где нет возможности использовать для охлаждения большие водоёмы (озёра, моря), а также из-за опасности их загрязнения.
- ✘ Простая и дешёвая альтернатива градирням — брызгальные бассейны, где вода охлаждается простым разбрызгиванием, правда, с небольшим эффектом.

# КЛАССИФИКАЦИЯ

## × По способу подачи воздуха:

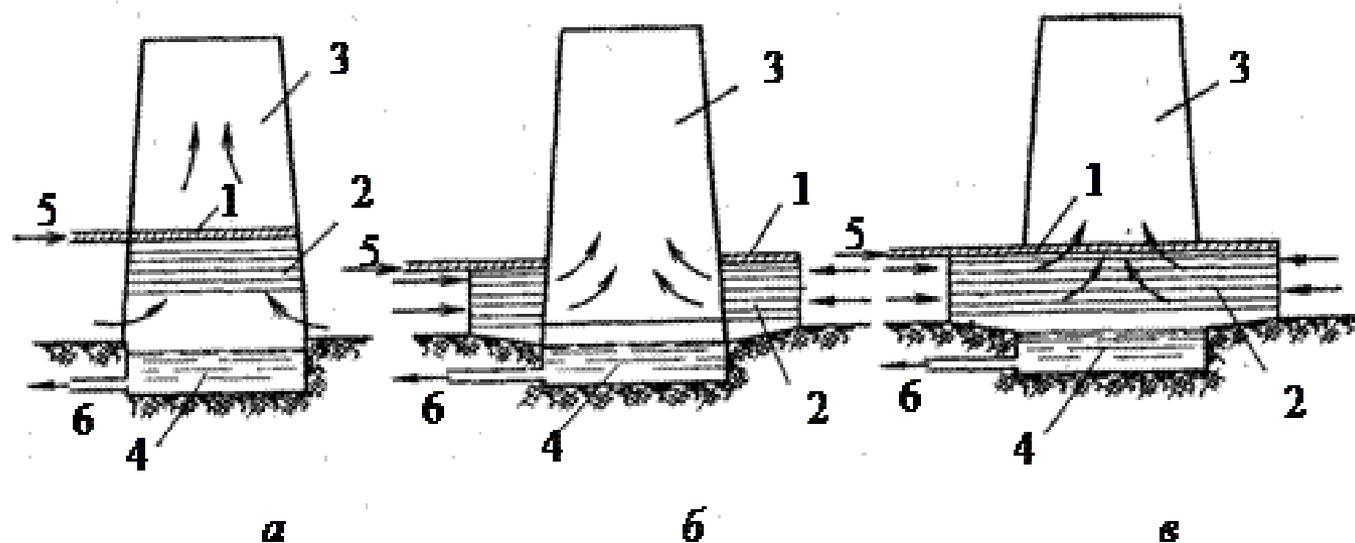
- × **башенные** (тяга создаётся при помощи высокой вытяжной башни);
- × **вентиляторные** (тяга создаётся вентилятором);
- × **открытые (атмосферные)**, использующие силу ветра и естественную конвекцию при движении воздуха через ороситель;
- × **эжекционные**, использующие эффект эжекции при движении водо-воздушной смеси на высоких скоростях в специальных каналах.
- × **брызгальные**, действующие по принципу простого разбрызгивания или фонтана.



# ПО НАПРАВЛЕНИЮ ТЕЧЕНИЯ СРЕД (ОХЛАЖДАЕМОЙ ВОДЫ И ВОЗДУХА):

- × **с противотоком** (наибольший температурный перепад, наибольшее аэродинамическое сопротивление);
- × **Преимущества:** в таких градирнях создается наибольший перепад температур и соответственно теплопередача за счет большого аэродинамического сопротивления.
- × **Недостатки:** большой капельный унос, особенно ощутим при недостатке возмещения оборотной воды и в густозаселенных местах;
- × **с перекрестным током** (меньшее аэродинамическое сопротивление, меньше капельного уноса);
- × **Преимущества:** меньше капельного уноса.
- × **Недостатки:** невысокое аэродинамическое сопротивление;
- × **со смешанным током** (конструкция градирни содержит и противоток и перекрестный ток).

# ПО НАПРАВЛЕНИЮ ТЕЧЕНИЯ СРЕД (ОХЛАЖДАЕМОЙ ВОДЫ И ВОЗДУХА):



Р и с. 11.5. Схемы градирен различных типов: *а* – противоточная, *б* – поперечноточная, *в* – смешанного типа; 1 – водораспределительное устройство; 2 – охлаждающее устройство; 3 – вытяжная башня; 4 – водосборный бассейн; 5 – подвод теплой воды после конденсаторов турбин; 6 –

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ



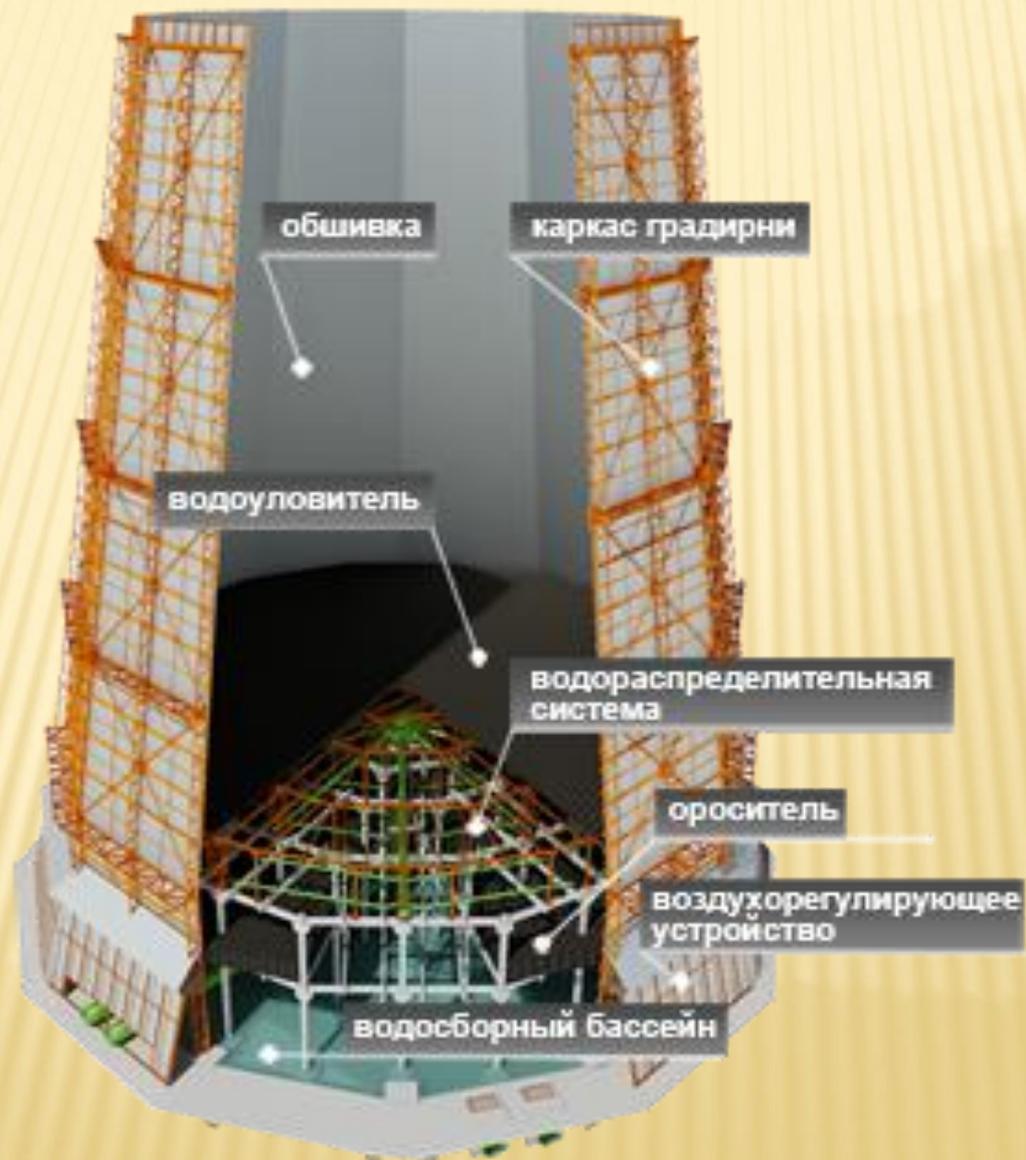
# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Агрегаты представляют собой самое эффективное оборудование, которое используется для охлаждения воды в системах с оборотным водоснабжением на промышленных предприятиях.
- ✘ Внутри такого аппарата тяга воздуха формируется естественным путем с помощью вытяжной башни, необходимой для циркуляции охлажденной воды. Объем охлажденной воды в такой градирне в несколько раз превышает тот, которым пользуется предприятие.
- ✘ Высота агрегата может составлять около 200 метров, а общая орошаемая площадь измеряется в 10 000 м<sup>2</sup>. Для охлаждения воды в башенной градирне требуются минимальные затраты. Она очень проста в эксплуатации. Градирню можно разместить в непосредственной близости к промышленному объекту. У данного агрегата есть только три недостатка. Это, в частности, высокая инерционность, сложность сооружения и большие расходы на строительство.

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Наиболее сложным элементом башенной градирни является вытяжная башня, конструкция которой в основном определяется материалом, из которого ее сооружают. Горячая вода поступает в градирню, где в зависимости от типа и конструкции градирни, происходит ее охлаждение, до необходимой температуры.
- ✘ В настоящее время применяются два основных технических решения: каркасно-обшивные и железобетонные монолитные башни.
- ✘ В первых каркас выполняется из стальных элементов на сварке, а обшивка — из деревянных щитов, асбестоцементных волнистых листов или коррозионно-устойчивого листового алюминия. Деревянные щиты пропитываются антисептиками и антипиренами. Асбестоцементные листы пропитываются парафино-стеариновой эмульсией, а стыки между ними уплотняются битумной мастикой. Листовой алюминий крепится к каркасу на болтах с неметаллическими прокладками.

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ



# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Тонкостенные оболочки железобетонных башен возводятся с применением **переставной опалубки**, которая перемещается с одного яруса бетонирования на другой с помощью специальных подъемных приспособлений. Железобетонную монолитную оболочку вытяжной башни следует принимать толщиной не менее **160 мм**.
- ✘ В последние годы для возведения железобетонных оболочек стала применяться **скользящая опалубка**, которая обеспечивает скоростное строительство башен. Бетон подается бетононасосами или шахтными подъемниками и укладывается в оболочку с переставных подмостей, устраиваемых по окружности башни с внутренней стороны.
- ✘ К качеству бетона предъявляются повышенные требования по плотности и морозостойкости. Внутренняя поверхность оболочки покрывается гидроизоляцией.

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Опыт применения железобетона в градирнях показывает, что оболочки башен вследствие насыщения бетона изнутри влагой и многократного замерзания и оттаивания его под влиянием температур наружного воздуха в зимний период интенсивно разрушаются. Металлические каркасно-обшивочные башни строят в районах с суровым зимним климатом. Они имеют пирамидальную форму с основанием в виде многоугольника или квадрата. Деревянный каркас используют в градирнях, имеющих небольшую площадь.

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Башня обычно опирается на рамную конструкцию (колоннаду), между стойками которой проходит воздух, поступающий в градирню.
- ✘ Внизу под оросителем градирни устраивается водосборный резервуар, выполняемый из монолитного железобетона с гидроизоляцией внутренней поверхности. Резервуар оборудуется трубопроводом с воронкой для перелива излишков воды, а также выпуском для его опорожнения.

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

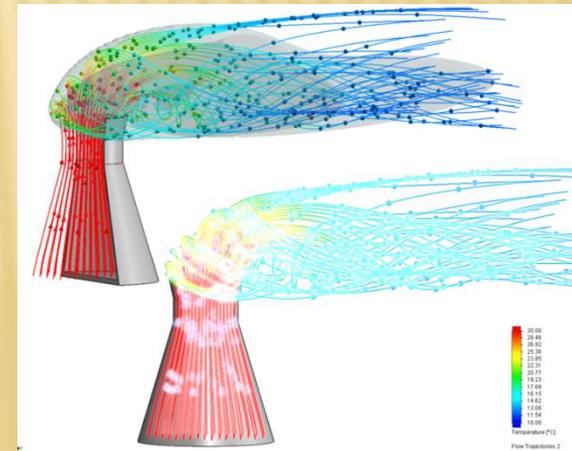
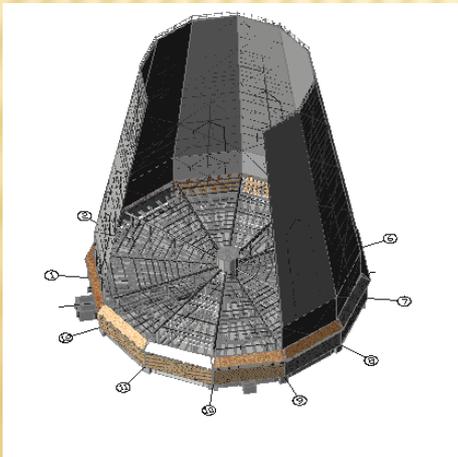
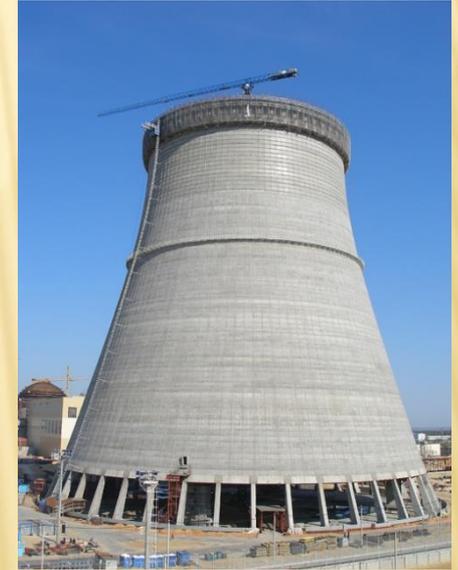
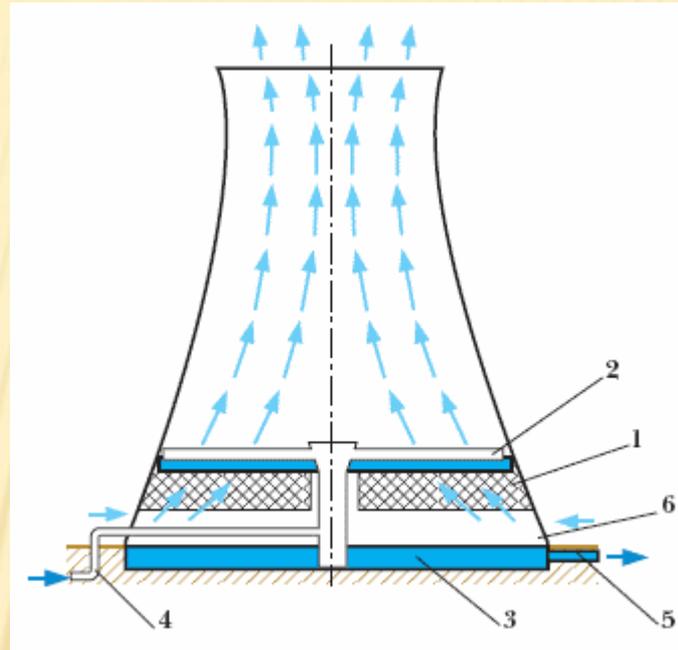
- ✘ **Водосборный бассейн** состоит из днища толщиной, как правило, 25 см и стенки, которая для градирни с железобетонной башней является также стенкой кольцевого фундамента.
- ✘ Водосборный бассейн представляет из себя заглубленный на **1,5-2 м открытый резервуар**, выполняемый в монолитном железобетоне. Конструктивно водосборный бассейн используют также и как фундамент башни

✘

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ **Армирование** монолитной железобетонной оболочки башни должно быть **двухрядным** и выполняться из стержней **кольцевой и меридиональной** арматуры. При этом стержни кольцевой арматуры следует располагать ближе к граням оболочки.
- ✘ В качестве рабочей арматуры должна применяться только арматура периодического профиля. Стыки рабочей арматуры должны выполняться без сварки внахлестку с перепуском, равным 40 диаметрам арматуры.
- ✘ Схема **разбивки несущего опорного каркаса** должна быть, как правило, ортогональная с шагом колонн 6,0х6,0 м. Несущий каркас должен состоять из фундаментов, колонн, ригелей и балок. Сопряжения сборных железобетонных элементов следует проектировать без открытых стальных закладных и накладных деталей.

# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ



# БАШЕННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ **Преимущества:** невысокие энергозатраты
- ✘ **Недостатки:** медленное охлаждение воды
- ✘ Башенную градирню целесообразно использовать на больших промышленных предприятиях. Площадь сечения башни должна занимать не менее 30–40% площади оросителя. Башни градирен средней и малой производительности могут иметь очень разнообразную форму: цилиндрическую, усеченного конуса или в виде усеченной многогранной пирамиды. Башенные градирни обычно выполняются в виде оболочек гиперболической формы, которая оптимальна по условиям внутренней аэродинамики и устойчивости.

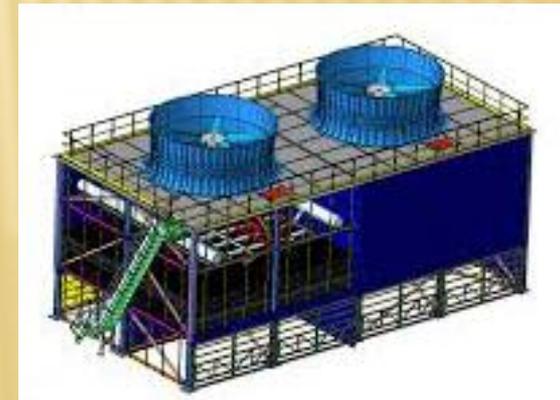
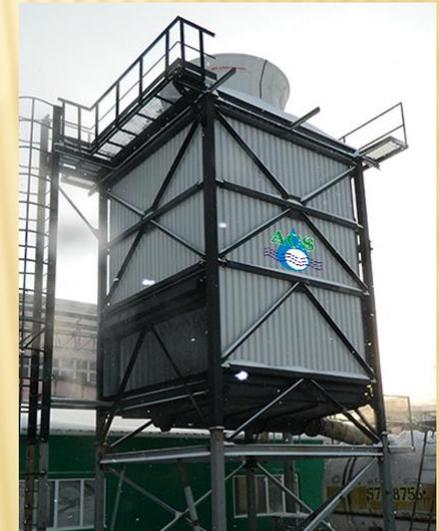
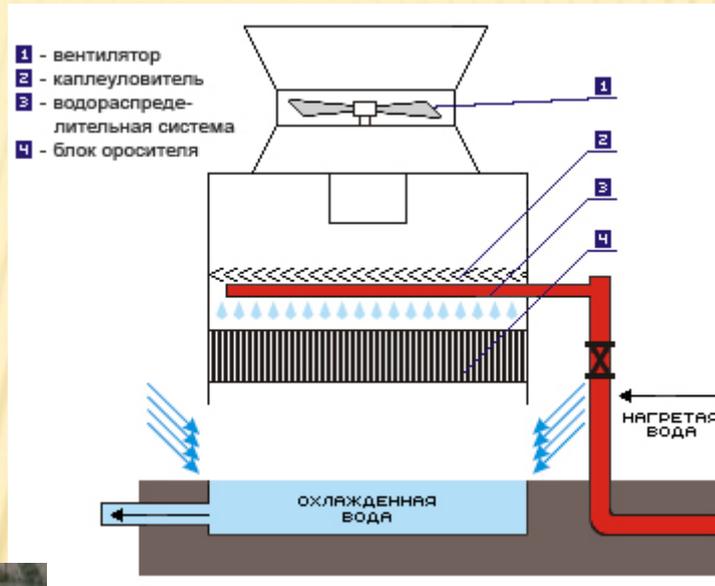
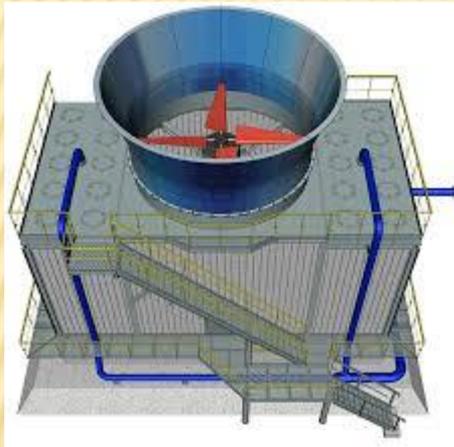
# ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ



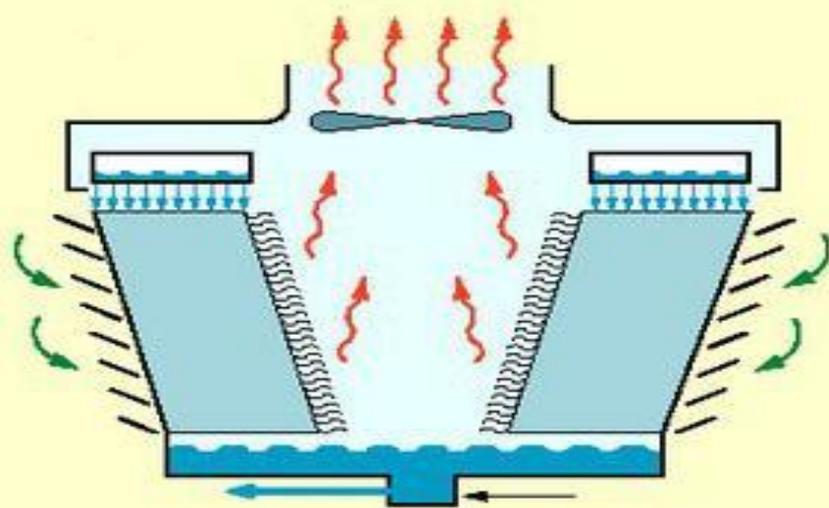
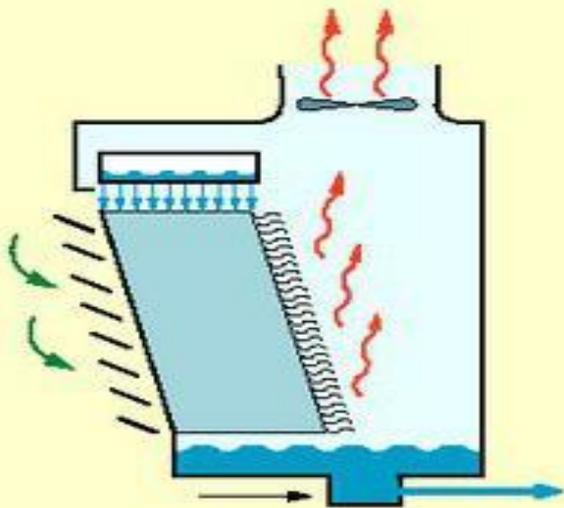
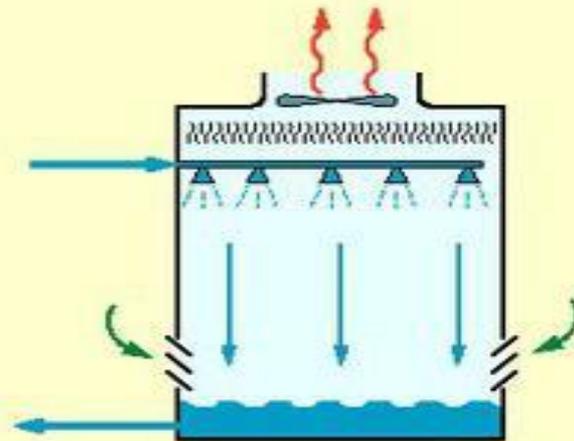
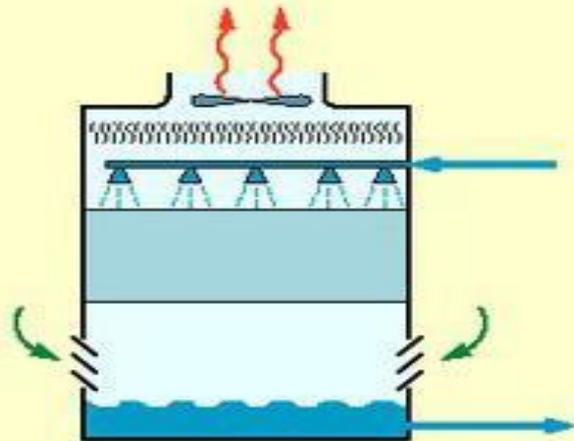
# ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ **Подача воздуха в таких системах производится с помощью одного или нескольких вентиляторов. За счет движения лопастей теплый воздух всасывается через входные окна, тем самым охлаждает воду. Жидкость стекает по стенам в большой резервуар; пары теплого воздуха выводятся в атмосферу с помощью диффузора и уносятся с собой мельчайшие капли. Чтобы избежать потери большого объема оборотной воды, в верхней части вентиляторной градирни должен быть установлен каплеуловитель. Вентиляторный аппарат позволяет быстро и качественно охладить воду.**

# ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ



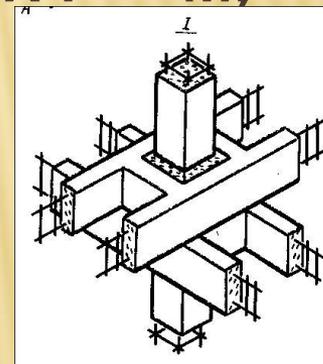
# ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ



# ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ

- × Вентиляторные градирни состоят из **каркаса**, несущего блока оросителя, **вентиляторной** установки, и водосборного **бассейна**.

Каркас градирни, устанавливаемый над водосборным бассейном, представляет собой обычно этажерку из сплошных на всю высоту каркаса сборных колонн, располагаемых по сетке 4x4 м, и горизонтальных двухветвевых ригелей, закрепляемых на колоннах в двух направлениях. На ярусах каркаса устанавливаются оросители, а наверху – вытяжные вентиляторы.



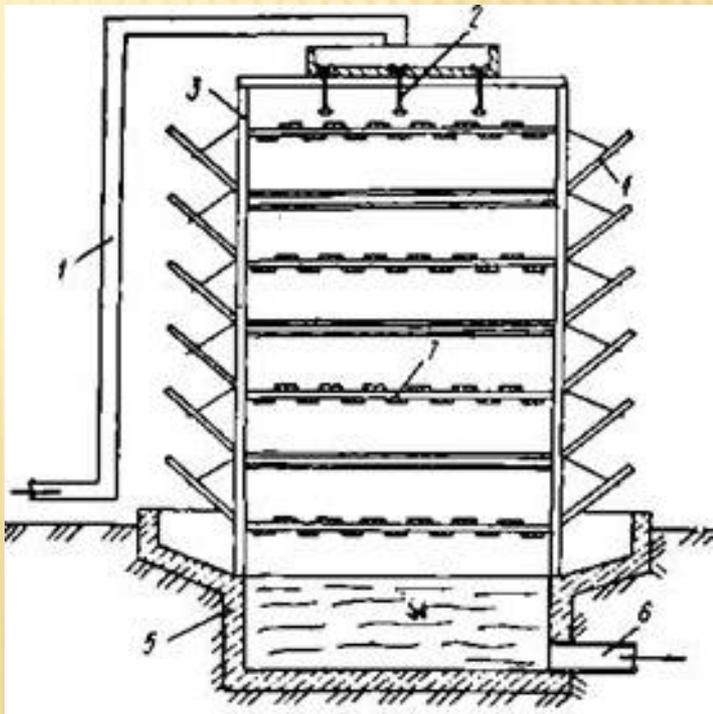
Каркас выполняется из сборного железобетона, а обшивка из деревянных щитов или асбестоцементных листов, водосборный бассейн из **МОНОЛИТНОГО железобетона**.

# ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Такую градирню можно использовать в различных климатических и технических диапазонах. Она легка в эксплуатации и ремонте.
- ✘ **Преимущества:** качественное, быстрое охлаждение воды
- ✘ **Главный недостаток** вентиляторной градирни – это большие затраты на электроэнергию.

# ОТКРЫТЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Принцип работы в таких установках основан на естественной конвекции и ветре. Со всех сторон оросительные каналы огорожены жалюзи, которые не допускают вынос воды из бассейна. Открытые градирни в большой степени зависят от ветра. Поэтому не рекомендуется строить такие сооружения возле предприятий, которые нуждаются в сохранении постоянной температуры оборотной воды.



ис. 13. 11. Атмосферная капельная градирня

# ОТКРЫТЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ Открытые градирни обладают большим охлаждающим эффектом. Из-за этого они могут быть размещены на крышах зданий или в качестве систем для кондиционирования.

**Преимущества:** практически отсутствие энергозатрат. Открытые градирни работают с минимальными затратами электроэнергии.

**Недостатки:** медленное охлаждение воды, большие размеры

# ЭЖЕКЦИОННЫЕ ГРАДИРНИ

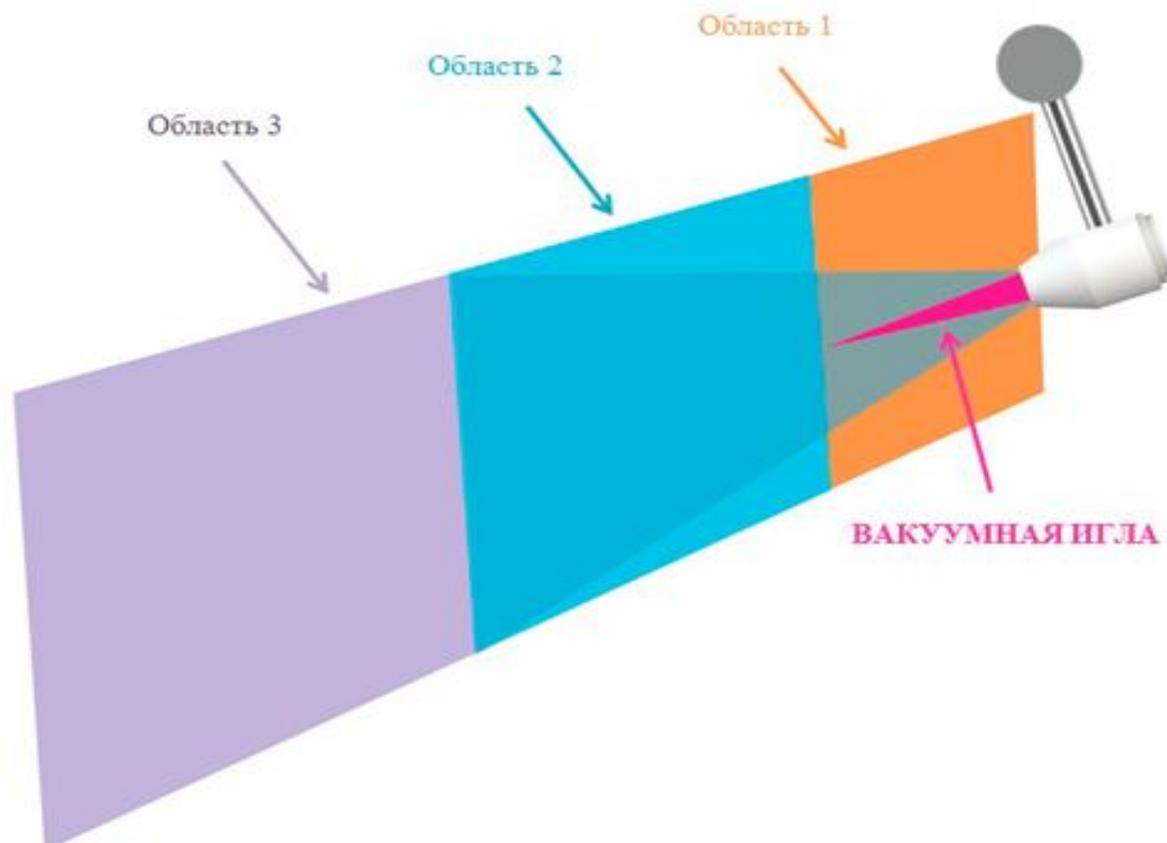
- ✘ Выдерживают наибольшие гидравлические нагрузки и способны охладить воду с большим перепадом и с очень высоких температур (до 90 °С). Это обусловлено как отсутствием оросителя, так и большой суммарной площадью поверхности мелкодисперсных капель и высокими скоростями водо-воздушных потоков. Затраты электроэнергии на эксплуатацию систем оборотного водоснабжения с эжекционной градирней при грамотной организации схемы водоснабжения и автоматики не превышают затрат на типовые вентиляторные установки.

# ЭЖЕКЦИОННЫЕ ГРАДИРНИ

## ✘ Принцип работы эжекционной градирни

основан на использовании эффекта эжекции, достигаемого с помощью специально разработанных **эжекционных форсунок** в совокупности с направляющими для водовоздушных потоков. Основная особенность физического процесса эжекции заключается в том, что смешение потоков происходит при больших скоростях эжектирующего (активного) потока, в случае градирни — потока оборотной воды.

# ЭЖЕКЦИОННЫЕ ГРАДИРНИ



*Рис. 2. Принцип работы эжекционного канала.*

**Область 1** — зона контакта наиболее холодного воздуха и самой горячей воды. При работе форсунки в данной зоне возникает наибольшее разрежение. В центре водяного факела, благодаря наличию специального канала в форсунке, возникает «вакуумная игла» — дополнительная область разрежения и эжектирования воздушного потока.

**Область 2** — зона раскрытия водяного факела и максимального взаимодействия водо-воздушной смеси в «условном» вакууме. **Область 3** — максимально турбулизированного потока.

# ЭЖЕКЦИОННЫЕ ГРАДИРНИ



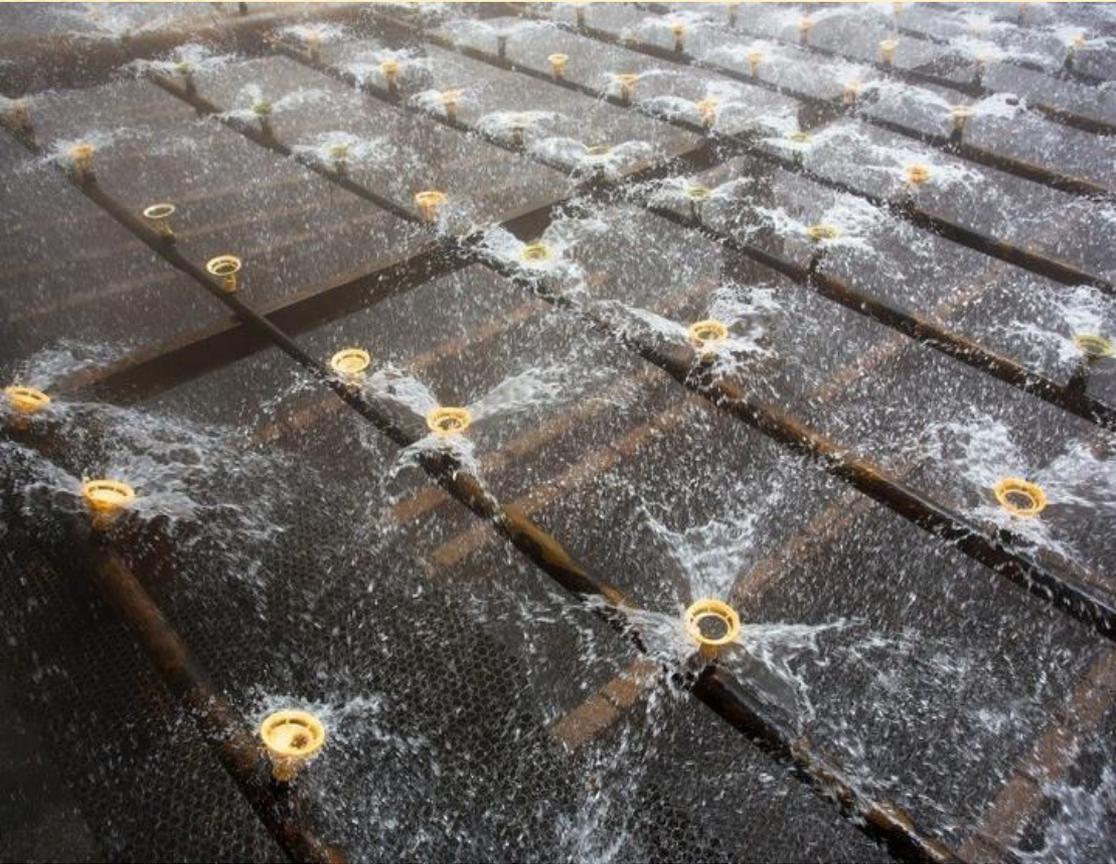
# ЭЖЕКЦИОННЫЕ ГРАДИРНИ

- ✘ **Преимущества:** быстрое охлаждение воды за счет создания вакуума
- ✘ При этом эжекционные градирни довольно морозостойкие, что делает их эксплуатацию в областях с морозной зимой наиболее экономически выгодной.
- ✘ **Недостатки:** высокие энергозатраты.

# БРЫЗГАЛЬНЫЕ БАССЕЙНЫ

- ✘ Применяют как основные охладители в системах обратного водоснабжения при условии, когда не требуется низкой и постоянной температуры охлаждающей воды.
- ✘ В качестве дополнительных охладителей их размещают над водохранилищами-охладителями для постоянной или периодической работы в жаркие периоды в целях снижения температуры охлаждающей воды.
- ✘ Брызгальные устройства могут применяться также для частичного охлаждения воды, сбрасываемой от промышленного предприятия в реку или водохранилище общего назначения, с целью уменьшения «теплового загрязнения» водоема.

# БРЫЗГАЛЬНЫЕ БАССЕЙНЫ



# ОТКРЫТЫЕ БРЫЗГАЛЬНЫЕ ГРАДИРНИ

Применяют при небольших расходах охлаждаемой воды – до 300 м. куб /ч. Их недостатком является низкий охладительный эффект, который, так же как и в брызгальных бассейнах, зависит от силы ветра.

Открытые брызгальные градирни монтируют над небольшим бассейном прямоугольной формы. Форсунки устанавливают на высоте до 4 м соплами вниз. Стены градирни в виде жалюзийных решёток поднимаются от 2 до 4м. Длина открытых брызгальных градирен редко превышает 15м.

# РАСЧЁТ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН

## ФУНДАМЕНТ

- Ленточный фундамент башни должен рассчитываться как многопролетная неразрезная балка. Нагрузки на фундамент следует принимать из расчета веса оболочки башни с учетом собственного веса и ветрового воздействия.
- ✘ Для типовых проектов градирен грунты в основании надлежит принимать непучинистые, непросадочные, уровень грунтовых вод - ниже подошвы фундаментов.

# РАСЧЁТ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН

Плита днища бассейна должна быть разрезана деформационными швами и в швы заложена профильная резиновая лента.

Расстояния между температурно-деформационными швами устанавливаются расчетом. Расчет допускается не производить при расчетных зимних температурах наружного воздуха выше минус 40 °С, если принятые расстояния между швами не превышают 40 м.

Статический расчет днища бассейна следует выполнять как плиты на упругом основании на нагрузку от собственного веса оросителя, водораспределителя и водоуловителя, передаваемую колоннами сборного железобетонного несущего каркаса. При этом следует проверить несущую способность и жесткость плиты при заданном ее армировании.

# РАСЧЁТ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН

## ВЫТЯЖНЫЕ БАШНИ

Вытяжные башни градирен следует рассчитывать на нагрузки от собственного веса, от ветра (с учетом его динамического воздействия) и от термовлажностных воздействий (железобетонные башни).

Расчет железобетонной оболочки башни градирни выполняется по методике и программе, разработанным во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Программа позволяет определить напряженно-деформированное состояние железобетонной оболочки, верхняя часть которой является гиперболоидом вращения, а нижняя - усеченным конусом. Толщина оболочки задается непрерывной кусочно-линейной функцией.

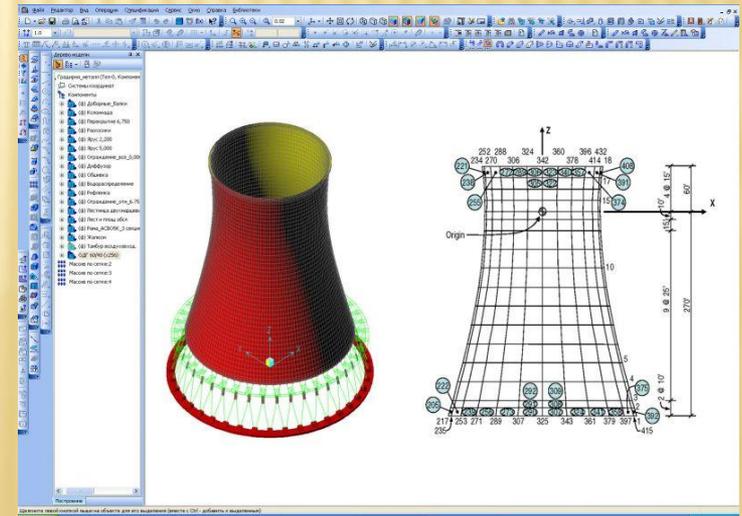
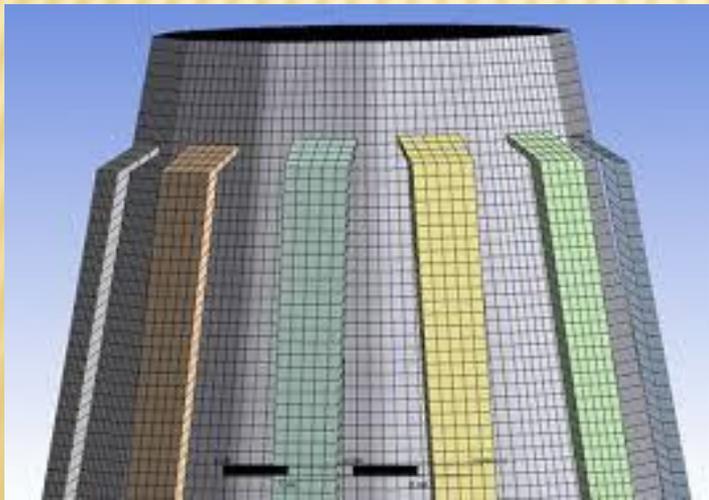
# РАСЧЁТ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН

## ВЫТЯЖНЫЕ БАШНИ

Расчет нижнего края оболочки выполняется как многопролетной неразрезной балки-стенки бесконечной высоты.

Расчет ведется в двух направлениях:

- ✓ в меридиональном - край оболочки свободен от нагрузки;
- ✓ выполняется проверка на опоре по скалыванию;
- ✓ в кольцевом - на опоре сжатие или растяжение.



# ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ

- ✘ Самая производительная градирня в мире — градирня немецкой АЭС Изар. Она охлаждает 216 000 кубометров воды в час. Её высота 165 метров, диаметр основания — 153 метра.
- ✘ Самая высокая градирня в мире — построена в 2012 году для индийской ТЭС Калисиндх, её высота 202 метра. До этого, начиная с 2002 года, самой высокой считалась градирня немецкой ТЭС Нидерауссем, работающей на буром угле, высотой 200 метров.
- ✘ Самая высокая градирня в России — построена в 2012 году для 1-го энергоблока строящейся Нововоронежской АЭС-2. Её высота 172,5 метра. Спроектированы градирни высотой 179 метров для Курской АЭС-2.
- ✘ Самая большая вентиляторная (по размеру секций) градирня в России — построена в 2012 году для ТЭЦ-11Иркутскэнерго. Размер её секции составляет 18x18 метров.