

# Оборотная вода и градирни

**Направление:** Водосбережение и охлаждение

**Цель:** Предложить модернизацию градирни и оценить экономию воды и полезное охлаждение.

**Справка о компании:** «ЕвроХим» — производитель минеральных удобрений, объединяющий добычу сырья, химическое производство и сбыт продукции. Предприятия группы выпускают азотные, фосфорные и калийные удобрения. Их технологические процессы связаны с производством кислот и аммиака, использованием воды и энергии, а также обращением с побочными продуктами производства.

## Задача участников

Разработайте программу восстановления работы градирни: уменьшите капельный унос, обрастание и потери охлаждения. Рассчитайте приход и расход воды, отвод тепла и накопление солей и оцените экономику программы. Представьте схему или демонстрацию своего решения, воспроизводимый расчёт и план проверки.

## Примечание для лиги школ

Градирня охлаждает циркулирующую воду при контакте с воздухом. Подпитка восполняет потери воды; испарение — переход воды в пар; капельный унос — вынос жидких капель воздухом; продувка — отвод части оборотной воды для ограничения накопления солей. При испарении соли остаются в системе, а продувка и капельный унос выводят солёную воду. Это физическая основа выданного водного и солевого баланса.

Кратность концентрирования  $S$  показывает, во сколько раз содержание солей в оборотной воде выше, чем в подпитке. Температура влажного термометра характеризует возможность испарительного охлаждения и служит нижней температурной границей выданной модели. Насадка увеличивает контакт воды с воздухом; эффективность  $\epsilon$  описывает, какую долю доступного температурного снижения использует градирня. COP холодильной машины — количество полезного холода на единицу затраченной электрической энергии. Экономия воды и замещение холода имеют разные годовые периоды, указанные в условии.

Программа водоподготовки и контроля здесь означает обоснованную концепцию измерений, очистки и обслуживания; рассчитывать промышленную дозу реагентов не требуется. CAPEX — первоначальные капитальные затраты, OPEX — текущие эксплуатационные расходы. Аналог — существующий подход или устройство для той же функции, сравниваемый по понятным признакам: например потерям воды, охлаждению, затратам и обслуживанию. Пояснения помогают читать модель и не заменяют проверку выбранных концепций.

## 1 Контекст и цель

Оборотная система одновременно теряет воду и отводит тепло. Унос капель, продувка, загрязнение насадки и качество подпитки влияют на разные части результата. Эксплуатации нужна модернизация, которую можно обслуживать и проверять по воде, температуре и электроэнергии, а не обещание одного процента экономии.

Разработайте комплексную концепцию водного и теплового режима градирни: водоулавливание, насадка/восстановление, контроль воды и обслуживание. Снижение уноса  $3 \rightarrow 0,2$  % приведено как пример, а не гарантированный эффект вашего комплекта. Самостоятельно определите показатели выбранного проекта на общих условиях.

## 2 Обязательный основной результат

- Схема/эскиз модернизации и программа водоподготовки/контроля/обслуживания; выбранные компоненты или обоснованные альтернативы.

- Водный и солевой балансы для всех погодных условий, температуры и полезный дополнительный холод для двух летних состояний при  $s = 0,85$ .
- Сравнение базы с одной самостоятельно выбранной допустимой концепцией, CAPEX/OPEX и программа будущего пилота. Вторую концепцию достаточно обсудить качественно; чувствительность и  $s = 0,95$  — необязательное развитие.

### 3 Общий учебный объект

*Числа — учебная модель, не измерения предприятия и не нормативные допустимые значения.*

| Показатель                        | Значение    | Единица                               |
|-----------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Циркуляция R                      | 1000        | м³/ч                                  |
| Плотность / ср                    | 1000 / 4,18 | кг/м³ / кДж/(кг·К)                    |
| Испарение E / утечки L            | 20 / 0      | м³/ч                                  |
| Продувка базы B / унос базы D     | 10 / 30     | м³/ч                                  |
| Подпитка: соли / предел C         | 250 / 3     | мг/л / кратность                      |
| Работа воды / лето                | 8760 / 2190 | ч/год                                 |
| Горячая вода / выход базы         | 35 / 28     | °C                                    |
| Подпитка / электроэнергия         | 60 / 7000   | руб./м³ / руб./МВт·ч                  |
| Дополнительный спрос холода / COP | 2000 / 5    | кВт / кВт холода на кВт электричества |

| Состояние     | ч/год | Т влажн., °C                  | Ветровой фактор |
|---------------|-------|-------------------------------|-----------------|
| Лето 1        | 1095  | 20                            | 1               |
| Лето 2        | 1095  | 24                            | 1.4             |
| Остальной год | 6570  | без оценки добавочного холода | 1               |

В исходной базе степень охлаждения  $\varepsilon_0 = (35 - 28)/(35 - 20)$ . Для второго лета базовую температуру пересчитайте по той же  $\varepsilon_0$ .  $E = 20$  м³/ч — фиксированный учебный водный базис, отдельно от укрупнённой оценки дополнительного холода. Он не является полным аэродинамическим/психрометрическим балансом градирни.

### 4 Независимая компонентная справка

| ID | Унос / R: ветер 1 | Унос / R: ветер 1,4 | CAPEX, млн руб. | Собств., кВт |
|----|-------------------|---------------------|-----------------|--------------|
| D1 | 0.005             | 0.008               | 6               | 2            |
| D2 | 0.0025            | 0.004               | 9               | 5            |

| ID | ε чистой насадки | CAPEX, млн руб. | Добавочно, кВт |
|----|------------------|-----------------|----------------|
| P1 | 0.63             | 8               | 20             |
| P2 | 0.75             | 14              | 35             |

Для обязательного расчёта насадки используйте множитель состояния  $s = 0,85$ :  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{чист}} \cdot s$ . Проверка  $s = 0,95$  — необязательное развитие. Это сценарии загрязнения/состояния, а не обещание эффекта выбранной химической программы. Обслуживание, позволяющее удерживать  $s$ , требует обоснования и будущей проверки.

Можно предложить иной материал/геометрию водоуловителя или насадки, фильтрацию/очистку/автоматику. Для сравнения нужен полный набор характеристик, цены, собственных нужд и диапазона применимости. Справочная боковая фильтрация: 30 м³/ч, удаление взвеси 80 % за проход, CAPEX 3 млн руб., 2 кВт, расходники 0,15 млн руб./год; она не получает автоматически кредит за изменение  $\varepsilon$  или уноса.

## 5 Балансы и экономика

$$M = E + B + D + L; C = M/(B + D + L); B \geq \max(0; E/(C_{\max} - 1) - D - L)$$

$M$  — подпитка;  $B$  — продувка;  $D$  — унос;  $L$  — утечки, м³/ч. При выборе  $B$  покажите достижение  $C \leq 3$  и соли оборотной воды = 250 С мг/л.

$$T_{\text{out}} = T_{\text{wet}} + (35 - T_{\text{wet}})(1 - \varepsilon); \Delta Q = R \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot (T_{\text{base}} - T_{\text{out}})/3600$$

$\Delta Q$  в кВт; дополнительный полезный холод ограничен 2000 кВт и не может быть отрицательным. Если проект хуже базы, покажите потерю отдельно.

Экономия электричества замещаемого холодильного агрегата = полезный холод / 5. Дополнительные собственные нужды всех выбранных компонентов считаются 8760 ч/год; экономия холодильной машины — только летние часы. Обслуживание 2 % выбранного CAPEX/год; дополнительно бюджет программы контроля/очистки 0,3 млн руб./год, без обещанного прироста эффективности. Горизонт 5 лет, постоянные цены, без НДС/дисконтирования. Учтите собственную водоподготовку/расходники; не приравнивайте снижение продувки к исчезновению загрязнений.

## 6 Ваши проектные решения

Вы выбираете комбинацию водоулавливания, насадки и водоподготовки, продувку, программу контроля и обслуживание. Рассчитайте унос, температуру и общий CAPEX своего проекта. Качественно сопоставьте свою концепцию с иной на той же базе; предложенные карточки — независимые свойства, не готовая программа.

## 7 Материалы для работы

Таблицы и зависимости в постановке — общий учебный паспорт. CSV в приложениях — удобные копии/справки, а не обязательный обучающий датасет. Компоненты можно сочетать, масштабировать в объявленных пределах или заменить обоснованными характеристиками.

## 8 Свои данные и развитие

Вы вправе использовать собственные измерения, открытые источники, новые технологии и синтетические данные. Укажите источник/способ получения, дату или версию, условия использования, единицы, допущения и ограничения переноса. Общие обязательные объект, нагрузки, периоды и экономическая база сохраняются; эффект расширения показывайте

отдельно. Наличие большого набора, программного кода или большого числа функций само по себе не преимущество. Простое обоснованное решение может быть лучшим.

Ниже — необязательные направления. Можно выбрать свой путь развития или глубже проработать основной результат; количество расширений само по себе не повышает оценку.

- Компоновка и расчёт ветровой устойчивости/сопротивления с проверяемыми источниками.
- Собственная модель солей/взвеси или управления продувкой с измеримым планом верификации.
- Жизненный цикл, доступ для очистки, частичная модернизация и поэтапная проверка.

## 9 Проверка и сдача

- Балансы воды/солей замкнуты; продувка не отрицательна и  $C$  не превышает учебный предел.
- Температура не ниже влажного термометра; эффект ограничен спросом, собственные нужды и загрязнение учтены.
- Качество воды и промышленный эффект не объявлены доказанными одной моделью; план проверки конкретен.

Передайте схему/эскиз и воспроизводимую расчётную записку или таблицу с исходными формулами, сравнение базы/проекта, экономику и план проверки. Код и физическое изделие необязательны, если прямо не требуется демонстрация. Проектная заявка и презентация — по приложениям 4 и 8 положения.

## Входные материалы и их использование

| Материал              | Назначение, роль и применение                              |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|
| Общие условия расчёта | Масштаб установки и общая расчётная база.                  |
| Условия               | Погодные и рабочие режимы.                                 |
| Водоуловители         | Характеристики устройств для ограничения капельного уноса. |
| Насадки               | Характеристики устройств для охлаждения воды.              |

## Общие требования конкурса

Решение оформляется проектной заявкой и презентацией по приложениям 4 и 8 положения. Презентация: PDF, не более 16 слайдов и 25 МБ. На финале доклад до 10 минут и вопросы до 5 минут.

## Доступное основное решение

Достаточно одной выбранной комбинации водоуловителя и насадки с программой контроля и обслуживания. Сравните её с базой при обеих летних погодах и остальном годе. Подбор промышленной химической дозировки не требуется.

Для каждой погоды последовательно найдите унос  $D$ , необходимую продувку  $B$ , подпитку  $M$  и кратность  $C$ . Затем для двух летних состояний найдите температуру и полезный холод. В годовом итоге сохраните 8760 ч водного режима и 2190 ч лета. Все цены, ограничения и собственные нужды сохраняются; дополнительные исследования не обязательны.