

Проветривание удалённых участков рудника

Направление: Энергетика и вентиляционные сети

Цель: Предложить меры, обеспечивающие воздухом удалённые зоны рудника, и оценить энергозатраты.

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

Удалённым рабочим зонам не хватает воздуха из-за утечек и распределения потоков. Для специалиста по вентиляции предложите меры по доставке воздуха в обе зоны. Передайте схему, расчёт расходов и затрат, а также план проверки.

1 Решение для удалённых зон

Необходимо улучшить распределение воздуха и снизить потери/энергию при проветривании удалённых участков. Пользователь — специалист, который должен объяснить, почему воздух доходит до обеих рабочих зон, как изменяется потребность и какие измерения позволяют проверить расчёт.

Предложите комплекс мер и правило выбора режима вентилятора. Требуется собственное инженерное решение на общей сети: изменение путей утечки, сопротивлений, оборудования, регулирования или организации контроля. Одно значение частоты без схемы мер и проверки других режимов не закрывает задачу.

2 Общая стационарная сеть

Сеть открытая, без рециркуляции: атмосферный вход → общая ветвь → узел разветвления → три параллельных пути (зона А, зона Б, утечка) → сборный узел → вентилятор → отдельный атмосферный выход. Вход и выход — разные физические границы с нулевым относительным давлением. Возврат воздуха к входу не моделируется.

Ветвь	Исходное R, Па/(м³/с)²
Общая	0,05
Зона А	2
Зона Б	3
Утечка	0,5

$$\Delta p = RQ|Q|; Q_{\text{общ}} = Q_A + Q_B + Q_{\text{ут}}; H = 1200n^2 - 0,5Q_{\text{общ}}^2$$

Q — м³/с, Δp, H — Па; n = частота/номинальная частота. Общая ветвь последовательно с параллельными; КПД вентилятора 0,80 постоянен в учебной модели.

Исходное оборудование работает при n = 1. Для регулируемого привода допустимо 0,6 ≤ n ≤ 1; меньшие значения в общей проверке не допускаются. Электрическая мощность P = H Q_общ / (1000 × 0,80), кВт. Характеристика и сеть не являются паспортом реального вентилятора.

Общий режим	Минимум А / Б, м³/с	Доля 6000 ч/год
Низкий	8 / 8	0,20
Основной	12 / 10	0,60
Высокий	14 / 12	0,20

Расходы учебные. Эти расчёты не устанавливают нормативный допуск по составу/скорости воздуха, газу или безопасности реального рудника.

3 Что нужно доказать

- Рассчитайте исходные расходы и давление; выявите, какие требования выполняются, а какие нет. Исходная база может не обеспечить все потребности — это результат проверки, а не разрешение снизить их.
- Предложите изменение сети/оборудования и правило управления. Для каждого общего режима покажите расходы А/Б/утечки, давление, n , мощность и ограничения.
- Необязательное развитие: проверьте повышение исходного сопротивления ветви Б на 25 % при неизменном проекте и объясните реакцию/границу применимости.
- Покажите, как будут измеряться расходы/перепады, идентифицироваться сопротивления и подтверждаться потребность зон; различайте расчётную и реальную проверку воздуха.

Свои изменения должны иметь независимые характеристики, стоимость и основание. Если предложен другой вентилятор, дайте его характеристику, КПД и область работы. Если изменён проход или утечка, объясните геометрию и сопротивление, а не назначайте уменьшение расхода/мощности как готовый эффект.

4 Справка по отдельным мерам и экономике

Для старта разрешено пользоваться независимыми учебными параметрами: площадь путей утечки 100 м²; закрытие доли α от 0 до 0,90 изменяет $R_{\text{ут}} = 0,5/(1 - \alpha)^2$. Стоимость закрытой площади 2000 руб./м², ежегодное обслуживание 5 % её CAPEX (капитальные затраты). Регулируемый привод стоит 120000 руб., сервис 8000 руб./год. Это свойства отдельных мер; сочетание, степень закрытия и режим не заданы. Другие технически обоснованные меры разрешены. Параметры проекта и правило режима выбирает команда.

Тариф 6 руб./кВт·ч; 6000 ч/год распределены по таблице режимов; горизонт 5 лет. Общий сервис существующего вентилятора одинаков у всех и из разности затрат исключается. CAPEX и дополнительный OPEX (текущие эксплуатационные расходы) своего проекта учитываются отдельно; цены постоянны, без НДС/дисконтирования/остаточной стоимости. Покажите энергию и полную стоимость; чувствительность тарифа ± 20 % необязательна. Не называйте разность с базой, которая не обеспечивает требуемый расход, доказанной экономией равнозначной услуги: одновременно покажите дефицит и цену обеспечения потребности.

Результат — схема, расчётная записка/таблица режимов, правило управления/контроля, экономика и план будущего обследования. Программный код необязателен. Закон $\Delta p = RQ^2$ и характеристика вентилятора — необходимые физические входы, а не предписание одного метода решения.

5 Свободный выбор и развитие

Команда самостоятельно выбирает: меры снижения потерь/изменения ветвей и оборудование; правило регулирования и мониторинг расхода; состав измерений и план идентификации сети.

Можно углубить ядро или выбрать полезное развитие. Примеры ниже необязательны и не образуют перечень бонусов.

- Режимы переменной потребности — Таблица/правило выбора режима, соблюдение обеих потребностей и сравнение энергии.
- Идентификация утечки/сопротивления — Достаточность предложенных измерений и сценарий ошибки параметра.
- Добавление рабочей ветви — Новый расчёт с балансами и границей применимости исходного оборудования.

6 Материалы, собственные данные и проверка

Общие исходные условия обязательны для сопоставимости; дополнительные проверки отмечены как необязательное развитие. Отдельный CSV/XLSX для этого инженерного проекта не требуется. Независимая справка по свойствам компонентов не является готовой конструкцией: совместимость и параметры своего проекта обосновывает команда.

Разрешены открытые, собственные измеренные и синтетические дополнения с источником, единицами, допущениями и ограничениями. Общие исходные условия и проверка трёх заданных потребностей сохраняются; необязательные сценарии можно исследовать отдельно. Покажите, что изменилось благодаря дополнению, и отдельно сохраните результат на общей базе. Синтетические данные обозначьте как учебные и укажите их ограничения.

В проектной заявке и презентации представьте результат ядра, расчёт/демонстрацию и ограничения. Для расчётного проекта достаточно читаемой записки и схемы; для программного результата приложите инструкцию запуска и воспроизводимый пример. Дополнительные материалы служат проверке проекта и не меняют официальный состав заявки.

Жюри использует официальные критерии конкурса: 70 баллов на отборе и 80 в финале. Решения, полностью выполнившие ядро, различаются качеством доказательств, реализуемостью, переносимостью и экономическим обоснованием; совпадение с контрольным проектом и число расширений не требуются.

Расчетные допущения

- Численные параметры учебного сценария не являются измерениями предприятия.

Входные материалы и их использование

Материал	Для чего используется
Паспорт объекта и общие сценарии Исходные условия и сценарии задачи	Общая база проверки собственного решения. Обязательные данные для общего расчёта.

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.

Примечание для лиги школ

Расход Q — объём воздуха, проходящий за единицу времени; перепад давления — разность давлений между концами ветви. Коэффициент R характеризует сопротивление ветви в выданной зависимости: при большем сопротивлении для того же расхода нужен больший перепад. Мощность характеризует затраты энергии за единицу времени и зависит одновременно от расхода, давления и КПД. Эти величины нельзя подменять друг другом.

В узле расходы входящих и выходящих потоков сохраняются. Параллельные ветви между одними и теми же узлами имеют одинаковый перепад давления, но расходы в них могут различаться. На последовательных участках перепады давления складываются. Рабочая точка — согласованный расход и напор, при которых характеристика вентилятора соответствует сопротивлению всей сети. Параметр n — отношение частоты вращения к номинальной, а не частота в герцах. Проверка каждого режима означает совместное соблюдение этих связей и заданных потребностей зон.

Аналог — существующий подход или устройство для той же функции, сравниваемый по понятным признакам, например распределению воздуха, энергозатратам и обслуживанию. Учебные потребности уже заданы: искать нормативные расходы реального рудника для этого расчёта не требуется. Проверка сети не устанавливает промышленную безопасность воздуха и не заменяет будущие измерения и обследование.

Доступное основное решение

Достаточно выбрать меры и одно постоянное n на весь год, обеспечивающее высокий спрос обеих зон. Такая рабочая точка проверяется также по низкому и основному спросу, а энергия рассчитывается за все 6000 ч. Таблица трёх режимов и доли часов сохраняются. Переменное регулирование, сопротивление $B + 25\%$ и тариф $\pm 20\%$ — необязательное развитие. Стоимость регулируемого привода учитывается, если он нужен выбранному проекту.

Можно считать без специальной программы. Для положительных расходов обозначьте $S = 1/\sqrt{RA} + 1/\sqrt{RB} + 1/\sqrt{R_{yt}}$. Перепад на параллельных ветвях $p = 1200n^2/(1 + 0,55S^2)$. Затем $Q_j = \sqrt{(p/R_j)}$, $Q_{\text{общ}}$ — сумма трёх расходов, $N = p + 0,05Q_{\text{общ}}^2$. Эти выражения следуют из общей модели и не задают выбор мер или n . Сначала проверьте исходную сеть при $n = 1$, затем выбранный проект.