

1. Название кейса

«Кожух, который закрывают» — восстановление защитного ограждения ременной передачи вентилятора газоочистки (или другого оборудования, оснащённого ременной или цепной передачей) с обеспечением доступности обслуживания.

Рабочее название подчёркивает суть: проблема не в отсутствии металла, а в том, что ограждение не возвращают в рабочее состояние.

2. Паспорт кейса

Тема — промышленная безопасность, механические опасности. Уровень — 7–9 класс. Предметы: технология, физика, ОБЖ, черчение. Длительность — 8 занятий по 2 академических часа, это 4 недели. Формат — команда из 4–5 человек. Тип продукта — изделие в металле, установленное на оборудовании; отчёт без изделия не принимается. Класс опасности проблемы — тяжёлая травма от затягивания в точку захвата. Место выполнения — школьная мастерская и территория работодателя. Работодатель-партнёр — алюминиевый завод, цех электролиза, участок газоочистки. Стоимость материалов около 4 500 рублей за сталь или 6 400 за дюраль. Возможность тиражирования высокая — до 30–60 однотипных передач на цех.

3. Организация и контекст

Работа ведётся на участке газоочистки электролизного цеха. Воздух, отсасываемый от электролизёров, содержит пыль оксида алюминия и фториды; его очищают в рукавных фильтрах, а тягу создают вентиляторы с клиновидной ременной передачей от электродвигателя.

Передача расположена на раме, на высоте от сорока сантиметров до полутора метров от площадки обслуживания — то есть в зоне свободного доступа человека: до неё можно дотянуться, проходя мимо, нагибаясь, убирая пролитое масло, поднимая упавший инструмент.

Участок работает круглосуточно. Обслуживание ремней выполняет слесарь-ремонтник: ослабляет натяжку, меняет ремень, регулирует соосность шкивов. Типовая операция повторяется три-шесть раз в месяц на одну передачу.

4. Проблемная ситуация

На передаче снят защитный кожух. Он не выбрасывается — он лежит рядом, на раме или под вентилятором. Причина не в халатности: чтобы снять кожух, нужно выкрутить шесть-восемь прикипевших болтов, на это уходит 10–15 минут, и после ремонта его проще оставить снятым, чем ставить обратно. Так «временно» длится месяцами.

Открытая передача — это точка захвата: в месте входа ремня в шкив обе поверхности движутся навстречу и затягивают всё, что попало. Вырвать руку невозможно, обхват шкива усиливается при попытке её вытащить.

Дополнительно: снятый и брошенный кожух сам становится причиной травмы — за него цепляются, об него ударяются, он лежит в проходе.

Формулировка проблемы для учеников: инженерное ограждение, которое нельзя быстро закрыть, перестаёт быть ограждением.

5. Исходные данные

Узел типовой, подлежит обязательному обмеру на месте. Диаметр шкива двигателя 250 мм при частоте вращения 1500 об/мин. Диаметр шкива вентилятора 500 мм. Межосевое расстояние 800 мм. Ширина шкива 60 мм. Мощность двигателя 5,5 кВт.

Расчётные величины команда получает сама. Скорость ремня по формуле $v = \pi \cdot d \cdot n_1 / 60$ получается 19,6 м/с, это примерно 70 км/ч. Передаточное число $i = D/d$ равно 2. Момент на валу двигателя по формуле $T = 9550 \cdot P / n_1$ равен 35 Н·м. Сила, тянущая в точку захвата, $F = T/(d/2)$ составляет около 280 Н — это вес двадцати восьми килограммов. Кинетическая энергия затянутой спецовки массой 0,2 кг по формуле $E = mv^2/2$ равна примерно 39 Дж. Расчётная длина ремня по формуле $L = 2a + \pi(D+d)/2 + (D-d)^2/4a$ получается около 2800 мм.

Нормативные ориентиры. Зазор от вращающихся частей до стенки — не менее 40 мм. Отверстия в ограждении подбираются по таблице допустимой глубины доступа согласно ГОСТ 12.2.085 или ISO 13857: при ширине щели до 4 мм глубина не нормируется, при 10–20 мм доступно 200 мм. Высота площадки и габариты — по обмеру.

Нормы времени для сравнения: снятие кожуха «как сейчас» занимает 10–15 минут, целевое время открытия и закрытия нового — не более 20 и 10 секунд соответственно.

6. Цель кейса

Спроектировать и изготовить в металле защитное ограждение ременной передачи, которое, с одной стороны, исключает доступ человека в точку захвата, а с другой — закрывается быстрее, чем остаётся открытым, и доказать эффективность измерением, а не мнением.

7. Задачи участников

Первая — обмерить узел на остановленном оборудовании и построить эскиз с натуры. Вторая — рассчитать кинематику и силы, то есть скорость, передаточное

число, момент, силу и энергию, и сформулировать на их языке, почему человек не может сопротивляться приводу. Третья — спроектировать развёртку кожуха с соблюдением зазоров и таблицы отверстий и проверить проект макетом из картона. Четвёртая — разработать конструкцию, решающую корневую причину: откидная крышка на петлях с быстросъёмным стержнем, четыре защёлки вместо болтов, смотровое окно, вентиляционные отверстия диаметром 4 мм. Пятая — изготовить изделие в школьной мастерской по техпроцессу, включая зачистку и загибку кромок в фальц. Шестая — покрасить в сигнальный жёлтый цвет и нанести инвентарный номер со знаком. Седьмая — установить на остановленном оборудовании по согласованию с механиком. Восьмая — испытать по протоколу и оформить таблицу «было и стало». Девятая — подготовить предложение работодателю о тиражировании с экономическим обоснованием. Десятая — защитить проект перед комиссией, включая блок «что мы не учли».

8. Ожидаемый продукт

Основной и обязательный — изготовленное и установленное ограждение из листа толщиной 1,5 мм, с откидной крышкой, смотровым окном из монолитного поликарбоната и вентиляционной сеткой диаметром 4 мм.

Сопроводительные материалы тоже обязательны: эскиз с обмерами и развёртка в масштабе; фото или видео макета из картона на остановленном узле; расчётная записка с шестью величинами, формулами и подстановкой; технологическая карта изготовления по пятнадцати операциям; протокол испытаний по девяти позициям; таблица «было и стало» с фото; форма журнала осмотра кожуха на одну страницу; письмо-предложение работодателю о тиражировании.

Не принимается как продукт макет, плакат, презентация или трёхмерная модель без изделия.

9. Обязательные требования и критерии приёмки

Обязательных требований восемь, и нарушение любого означает, что работа не принята.

Первое: кожух охватывает оба шкива, обе ветви ремня, натяжной ролик и выступающие болты. Второе: зазор до вращающихся частей не менее 40 мм, контакта нет, что проверяется мелом. Третье: все отверстия не шире 4 мм либо глубина доступа в пределах нормы. Четвёртое: режущие кромки заправлены в фальц, порез рукавицы не возникает. Пятое: крепёж болтовой или защёлки, проволока запрещена. Шестое: окно из поликарбоната, не из стекла. Седьмое: изделие установлено на оборудовании, а не сдано на полку. Восьмое: ни одного замера на ходу и ни одного опыта над собой.

Критерии приёмки в баллах, всего сто. Исключение доступа в точку захвата — 25 баллов, проверяется тестом рукавом на палке и замером отверстий. Быстрота

закрытия — 15 баллов, секундомер: открыть не дольше 20 секунд, закрыть не дольше 10. Качество изготовления — 15 баллов, это кромки, крепёж, окрас, отсутствие дребезга. Корректность расчётов — 15 баллов за шесть величин, единицы и обоснование. Доказательность результата — 15 баллов за таблицу «было и стало» с цифрами и фото. Готовность к тиражированию — 10 баллов за типовую развёртку, смету и журнал осмотра. Честная самооценка — 5 баллов за осознанные границы и незакрытые вопросы.

Порог принятия — 70 баллов при обязательном зачёте по всем восьми требованиям.

10. Ограничения и допущения

Ограничения. Толщина листа от 1 до 1,5 мм, потому что толще школа не согнёт. Оборудование останавливает и обесточивает только персонал завода. Резка, гибка на станке и сверловка — под надзором. Сварочные и отрезные работы в цехе запрещены, только мастерская. Не встраиваем концевик в цепь управления двигателем, потому что включение в схему АСУ ТП делает электромонтёр с допуском. Допустимое электропитание ученических устройств — 12–24 В от разрешённой розетки через вилку. Бюджет не выше 7000 рублей на команду.

Допущения проговариваются явно и проверяются на месте. Габариты из пятого раздела типовые, фактические берутся обмером, пересчёт обязателен. Передаточное число и мощность не меняются. Средство не меняет режим работы вентилятора и не ухудшает охлаждение двигателя, что проверяется температурой корпуса после тридцати минут работы. Кожух не является несущим элементом и не нагружает раму. Коррозионная стойкость обеспечивается окраской, а не маркой стали.

11. Ресурсы

Материалы для стального варианта: лист холоднокатаный 08кп толщиной 1,5 мм размером 1000 на 1250 — 1600 рублей; поликарбонат монолитный 4 мм размером 400 на 400 — 900 рублей; петли со съёмным стержнем — 300 рублей; четыре барашковые защёлки — 400 рублей; метизы М8 с шайбами Гровера — 350 рублей; грунт и эмаль RAL 1003 — 700 рублей; знаки и инвентарный номер — 300 рублей. Итого около 4550 рублей.

Мастерская школы должна дать листогибочный станок, сверлильный станок, высечные ножницы, УШМ под надзором, тиски, надфили, чертилка, кернер, штангенциркуль и покрасочную зону.

Для измерений нужны рулетка на 5 метров, штангенциркуль, щуп, секундомер в телефоне, шумомер-приложение, тепловизор в аренду или термоадаптер, маркеры и мел.

Со стороны работодателя требуются допуск на экскурсию, сопровождающий-механик, остановка узла на сорок минут для обмера и монтажа, паспорт вентилятора и чертёж рамы по возможности, согласование лакокрасочных материалов и отвод места для покраски и складирования.

Люди: руководитель проекта от школы, наставник-производственник, мастер мастерской, инженер по охране труда предприятия.

12. Этапы и контрольные точки

Этап первый, погружение: инструктаж по охране труда, разбор механизма захвата, расчёт скорости, момента, силы и энергии. Одно занятие. Контрольная точка — расчёт принят, сформулировано, почему нельзя сопротивляться приводу.

Этап второй, обмер: выход на предприятие, эскиз с натуры, фото «было». Одно занятие. Контрольная точка — эскиз с обмерами подписан механиком.

Этап третий, проектирование: развёртка, выбор зазоров, таблица отверстий, узел крышки. Одно занятие. Контрольная точка — макет из картона примерен на остановленном узле.

Этап четвёртый, защита проекта: внутренняя экспертиза до раскроя листа. Одно занятие. Контрольная точка — решение «в раскрой», иначе материал испорчен.

Этап пятый, изготовление: резка, зачистка, фальц, гибка, сверловка, сборка. Два занятия. Контрольная точка — кожух собран, кромки безопасны.

Этап шестой, окраска: обезжиривание, грунт, два слоя, знаки. Одно занятие. Контрольная точка — покрытие и инвентарный номер готовы.

Этап седьмой, монтаж и испытания: установка по ЛОТО, протокол из девяти проверок. Одно занятие. Контрольная точка — протокол подписан инженером по охране труда.

Этап восьмой, итоговая защита: таблица «было и стало», предложение о тиражировании, защита перед работодателем. Одно занятие. Контрольная точка — оценка комиссии и письменный отзыв работодателя.

Жёсткое правило: без зачёта на четвёртом этапе раскрой листа запрещён.

13. Сопровождение

От школы руководитель проекта даёт одну консультацию на этапе, мастер мастерской обеспечивает постоянный надзор на опасных операциях, учитель физики проверяет расчёты, учитель технологии ведёт техпроцесс.

От работодателя наставник из ремонтной службы сопровождает обмер, согласование конструкции и монтаж, а инженер по охране труда проводит приёмку и имеет право вето по любому из восьми обязательных требований.

Формат работы — чек-лист на каждом этапе с подписью наставника, один общий чат команды и наставника, три выезда на предприятие: обмер, примерка макета, монтаж.

Разрешающие документы: допуск на территорию, инструктаж по охране труда с подписью, страховка от несчастного случая, письменное согласие родителей, приказ по школе.

14. Безопасность и доступ

На предприятии команда находится только в составе сопровождаемой группы, только по маршруту, только в каске, фартуке и обуви с защитным носком. Рукава застёгнуты, волосы убраны, перчатки-краги у вращающегося оборудования не носить, потому что их и затягивает. Обмер и примерка проводятся только на остановленном и обесточенном узле по системе ЛОТО: оборудование отключено, повешен плакат «Не включать! Работают люди», ключ у мастера. Запрещено запускать оборудование, самому снимать или ставить ограждения, влезать в кожух газохода, подходить к токоподводам и ковшу, что-либо нюхать и пробовать. Фото- и видеосъёмка — только в разрешённых местах и с разрешения.

В мастерской резка, гибка, сверловка и работа с УШМ идут только под надзором, в очках и антипорезных рукавицах. Обязательна зачистка кромок сразу после реза. Удалять стружку щёткой, не рукой и не сдувом.

Испытание на захват проводится только манекеном или рукавом, закреплённым на палке. Опыт над собой запрещён и является основанием для снятия с проекта.

Критерий допуска команды — сто процентов подписей в журнале инструктажа, наличие средств защиты и письменное согласие родителей.

15. Конфиденциальность и данные

Электролизный цех — режимный объект. Запрещены съёмка корпусов, щитов управления, систем АСУ ТП, логотипов контрагентов, планов цеха и любых табличек с технологическими параметрами.

Команда публикует и показывает только собственный узел — передачу вентилятора, без фона с оборудованием цеха. Если фон неизбежен, он размывается или кадр кадрируется.

В отчёте не указываются фамилии работников, номера цехов и оборудования, режимные параметры вроде силы тока ванн, состава электролита или производительности.

Данные замеров — зазоры, уровни шума, температуры — передаются работодателю и могут публиковаться только с его письменного согласия.

Опросы работников анонимные, без имён и должностей, иначе команда теряет доверие и доступ.

Итоговые материалы проходят согласование с предприятием до размещения в открытом доступе, на конкурсе или в портфолио.

16. Использование результата

Немедленно на предприятии изделие вводится в эксплуатацию как штатное ограждение, ставится на учёт с инвентарным номером и включается в график осмотров.

Тиражирование. В цехе от тридцати до шестидесяти однотипных передач. Типовая развёртка, разработанная командой, позволяет изготовить партию. Ориентир — 4550 рублей за штуку и одна смена на изготовление.

Экономическое обоснование для работодателя складывается из трёх частей. Прямая экономия на шуме: кожух снижает шум передачи на 3–5 дБ, что уменьшает нагрузку на персонал в зоне. Предотвращённый ущерб: один случай тяжёлой травмы с потерей трудоспособности обходится предприятию в сотни тысяч рублей с учётом расследования, простоев, роста взносов и репутации. Снижение времени обслуживания: операция осмотра сокращается с 10–15 минут до десяти секунд.

Образовательный результат — типовая методика «ограждение, которое закрывают», переносимая на цепные передачи, шпиндели, валы и барабаны, то есть на пять-семь школьных кейсов из одного.

Портфолио — работа может быть подана на инженерный конкурс или проектную олимпиаду с отзывом работодателя.

17. Экспертиза со стороны работодателя

Оценивают инженер по охране труда с правом вето, механик участка и инженер по надёжности.

В оценочной ведомости эксперта семь позиций. Соответствует ли изделие требованиям к ограждениям вращающихся частей — 25 баллов. Будет ли оно реально закрываться или через месяц снова будет лежать рядом — 20 баллов. Выдержит ли цеховые условия: вибрацию, пыль, фториды, уборку — 15 баллов. Готово ли к серийному изготовлению по развёртке без доработок — 15 баллов. Корректны ли расчёты и обоснование — 10 баллов. Доказана ли эффективность измерением — 10 баллов. Понимает ли команда границы своего решения — 5 баллов. Итого сто.

Вердикт один из трёх: внедрять как есть, внедрять после доработки с перечнем замечаний, или не внедрять с указанием причины.

Типовые вопросы эксперта и сильные ответы команды.

На вопрос «почему не проволока, у нас так везде» отвечают: проволока не проверяется, перегнивает от фторидов и вибрации, рвётся, не держит рукав, а её обрывок, попавший в ремень, уносит шкив и подшипник, тогда как у нас четыре защёлки и десять секунд.

На вопрос «вы проверяли, что рукав не затягивает, рукой» отвечают: нет, рукавом на палке на остановленном узле, плюс замер зазора и отверстий по таблице допустимой глубины доступа, а опыт над собой запрещён.

На вопрос «почему отверстия именно четыре миллиметра» отвечают: по таблице глубины доступа палец в такую щель не проходит, и глубина не нормируется, при этом двигатель охлаждается.

На вопрос «как быть с заменой ремня» отвечают: крышка не снимается, а откидывается на петлях со съёмным стержнем и остаётся на месте, плюс ЛОТО.

На вопрос «что будет, когда облезет краска и появится коррозия» отвечают: заложен ремонт через обезжиривание и подкраску, в журнале осмотра есть графа состояния покрытия, а для агрессивной зоны предлагаем вариант из дюрала или нержавеющейки — дороже, но без окраски.

На вопрос «что вы не учли» — обязательный пункт на пять баллов — отвечают честно: не проверяли стойкость лакокрасочного покрытия к фторидам, не рассчитывали прочность при случайном ударе, не согласовывали заземление кожуха с энергетиком, не оценивали рост температуры двигателя после закрытия, нужен замер через тридцать минут работы.

Результат экспертизы — письменный отзыв на одной странице с подписью и печатью, входит в состав сдаваемых материалов.