

1. Название кейса

«Капля, которая копится» — изготовление металлического маслоприёмного лотка с решёткой и съёмной тарой под узел гидравлики, устраняющего масляные лужи на полу.

Рабочее название подчёркивает незаметность проблемы: одна капающая капля в секунду кажется мелочью, а за год это кубометр масла на полу, в огне и в стоке.

2. Паспорт кейса

Тема — промышленная безопасность, скользкие поверхности, пожарная и экологическая опасность масла. Уровень — 8–9 класс. Предметы: физика, ОБЖ, химия, технология. Длительность — 6 занятий по 2 академических часа плюс неделя наблюдений, то есть три недели календарно. Формат — команда 3–4 человека. Тип продукта — изделие в металле, установленное на оборудовании, отчёт без изделия не принимается. Класс опасности проблемы — падения с травмами, пожар, загрязнение, порча оборудования. Место выполнения — школьная мастерская, школьный физический кабинет для эксперимента и участок обслуживания гидравлики на предприятии. Работодатель-партнёр — алюминиевый завод, цех электролиза, кранового хозяйства. Стоимость материалов от 1500 до 2500 рублей. Возможность тиражирования высокая — десятки гидравлических узлов, редукторов и насосных станций на цех.

3. Организация и контекст

В цехе электролиза много гидравлики: механизмы замены и подъёма анодов, гидроцилиндры, насосные станции, приводы газосборных панелей, завалочные и вакуумные устройства. Гидросистемы работают под давлением, имеют множество соединений, шлангов, штоков цилиндров и уплотнений, которые со временем начинают подтекать. Это нормально для изношенного оборудования, но капли и струйки масла попадают на пол.

Масло — гидравлическое, турбинное или индустриальное — разливается под агрегатом и вокруг него. Пол в цехе бетонный или стальной решётчатый, часто посыпан абразивом, но масляная плёнка перекрывает абразив. Рядом с гидравликой почти всегда проходят горячие поверхности: паропроводы, выхлопы, корпуса нагретого оборудования, а в электролизном цехе и сами корпуса горячие. Отработанное масло вместе с водой уходит в канализацию или в поддон, который никто не считает.

Уборка луж ведётся постфактум: кто-то заметил, кто-то протёр ветошью, которая потом лежит рядом, и сама становится горючей. Учёт утечки не ведётся, потому что её не во что собрать и нечего померить.

4. Проблемная ситуация

Масляная лужа на полу создаёт сразу четыре опасности, и все они недооценены, потому что масло «просто капает».

Первая и самая частая — скольжение. Коэффициент трения подошвы по чистому бетону около 0,6, а по масляной плёнке падает до 0,1–0,2. Тормозной путь шагающего со скоростью 1,2 м/с человека равен $v^2/(2\mu g)$: на чистом полу это $1,44/(2 \times 0,6 \times 10)$, примерно 0,12 м, а на масле $1,44/(2 \times 0,15 \times 10)$, примерно 0,48 м, то есть в четыре раза длиннее. Человек не успевает удержаться и падает, часто на горячее оборудование или на инструмент.

Вторая — пожар. Температура вспышки гидравлического масла около 160–180 градусов, температура самовоспламенения 250–300 градусов. Горячая поверхность рядом с лужей или подтёк на горячий трубопровод — это тление и открытый огонь, а растекшееся масло расширяет пожар по полу.

Третья — экология и отходы. Масло — опасный отход. Капающая секундная капля объёмом около 0,05 мл даёт 180 мл в час, это 4,3 литра в сутки и около полутора кубометров в год с одного соединения. Это и потерянное масло, и платный отход, и попадание в стоки.

Четвёртая — порча оборудования и репутации: масло въедается в пол, собирает пыль, маскирует другие утечки и создаёт вид неряшливого участка.

Формулировка проблемы для учеников: **у капающего масла нет пути, кроме пола, а пол — это скольжение, огонь, отходы и порча оборудования одновременно.**

5. Исходные данные

Типовые величины, фактические берутся обмером и сбором на месте.

Скорость подтекания: соединение капает со скоростью от 1 капли в несколько секунд до устойчивой струйки. Капля около 0,05 мл. При одной капле в секунду это 180 мл в час, 4,3 литра в сутки, около 1,5 кубометра в год. Периодичность уборки сейчас: по факту, от одного раза в сутки до одного раза в неделю.

Коэффициент трения подошвы: по чистому бетону около 0,6, по масляной плёнке 0,1–0,2. Скорость шага 1,2 м/с. Ускорение свободного падения 10 м/с². Тормозной путь на чистом полу около 0,12 м, на масле около 0,48 м.

Температурные пороги масла: вспышка 160–180 градусов, самовоспламенение 250–300 градусов. Температура ближайших горячих поверхностей измеряется пирометром на месте и может превышать эти значения.

Эксперимент, который команда ставит сама, без риска. Первый опыт — измерение коэффициента трения по маслу. На ровную плиту кладут резиновую колодку, имитирующую подошву, тянут её динамометром равномерно и записывают силу срыва и силу равномерного движения. Повторяют на сухой плите и на плите,

смазанной тонкой плёнкой растительного или индустриального масла. Отношение сил даёт отношение коэффициентов трения и объясняет, почему тормозной путь вырастает в разы. Второй опыт — измерение утечки: под каплющее соединение или под имитацию капают N капель в мерный стакан, считают объём капли, пересчитывают на сутки, неделю и год. Третий замер — температура ближайших горячих поверхностей бесконтактным пирометром, чтобы понять, попадает ли масло на то, что выше его температуры вспышки.

Наблюдение на участке, безопасное и без контакта: сколько масляных луж под агрегатом и вокруг него, какова их площадь, как часто их протирают и куда девают ветошь. Считается и фотографируется из безопасной точки.

6. Цель кейса

Измерить реальную утечку масла и рост скольжения на масляной плёнке, рассчитать годовой объём потерь и тормозной путь на масле, спроектировать и **изготовить в металле** маслоприёмный лоток с бортами, съёмной тарой и настильной решёткой, установить его под узел гидравлики и доказать измерением, что на полу под агрегатом не остаётся масляных луж.

7. Задачи участников

Первая — объяснить опасность через три расчёта: рост тормозного пути на масле, годовой объём утечки и соотношение температуры вспышки масла с температурой nearby поверхностей.

Вторая — поставить опыт с динамометром на сухой и масляной плите, построить столбчатую диаграмму сил и вывести отношение коэффициентов трения.

Третья — измерить скорость подтекания конкретного соединения, пересчитать на сутки, неделю и год, перевести в деньги и в объём опасного отхода.

Четвёртая — провести наблюдение: сколько луж под агрегатом, их площадь, частоту уборки и куда уходит ветошь, зафиксировать фото «было».

Пятая — спроектировать лоток: негорючий металл, борта, уклон к горловине, съёмная тара под сбор, настильная решётка сверху, чтобы по лотку можно было ходить и ставить инструмент, объём, подобранный так, чтобы тара не переполнилась между уборками, и сливная горловина, чтобы не переворачивать.

Шестая — изготовить изделие в мастерской по техпроцессу, включая заправку кромок, герметизацию швов и окраску.

Седьмая — нанести маркировку: знак «Масло», надпись о периодичности выноса, инвентарный номер, дату монтажа.

Восьмая — установить под агрегатом и провести короткий инструктаж работников.

Девятая — провести контрольное наблюдение: сколько масляных луж на полу под агрегатом после установки лотка за неделю.

Десятая — подготовить предложение о тиражировании с расчётом стоимости и защитить проект, включая обязательный блок «что мы не учли».

8. Ожидаемый продукт

Основной и обязательный — **изготовленный и установленный** металлический маслоприёмный лоток из листа толщиной не менее 1,5 мм с герметичными швами, бортами, уклоном к горловине, съёмной тарой для собранного масла, настильной решёткой сверху и сигнальной маркировкой.

Сопроводительные материалы обязательны: расчёт роста тормозного пути на масле и годового объёма утечки в литрах, деньгах и тоннах отхода; диаграмма опыта с динамометром на сухой и масляной плите; эскиз лотка с размерами и расчётом объёма под периодичность уборки; технологическая карта изготовления; протокол приёмки по десяти позициям; таблица наблюдений «было и стало» в количестве и площади масляных луж за неделю, с фото; форма регулярного наблюдения и графика выноса тары; письмо-предложение работодателю о тиражировании; фотоинструкция «как пользоваться и куда сливать» для работников участка.

Не принимается как продукт макет, плакат, презентация или 3D-модель без изделия.

9. Обязательные требования и критерии приёмки

Обязательных требований десять, нарушение любого означает, что работа не принята.

Первое: лоток целиком из негорючего металла, без пластика в зоне масла и огня. Второе: швы герметичны, лоток держит масло и не течёт по швам. Третье: борта и уклон к горловине обеспечивают стекание, в лотке не остаётся луж в неположенных местах. Четвёртое: объём тары подобран расчётом так, чтобы она не переполнялась между плановыми выносами. Пятое: тара съёмная, с горловиной для слива, вынос не требует переворачивания всего лотка. Шестое: настильная решётка выдерживает вес человека и инструмент, не скользит и не прогибается. Седьмое: лоток не мешает обслуживанию агрегата и не создаёт новой опасности споткнуться. Восьмое: маркировка нанесена и читается с двух метров. Девятое: изделие установлено и используется, собранное масло сдаётся как отход, а не выливается в сток. Десятое: наблюдения и опыты проведены без риска, без контакта с маслом голыми руками, данные не подкручены.

Критерии приёмки в баллах, всего сто. Исключение масляных луж на полу, то есть соответствие по требованиям 1–6, — 25 баллов. Корректность опытов и расчётов с диаграммами — 20 баллов. Качество изготовления и герметичность лотка — 15

баллов. Доказательность результата, то есть снижение числа и площади луж на полу после установки — 15 баллов. Готовность к тиражированию, то есть типовая развёртка, расчёт объёма и смета — 10 баллов. Обучение работников участка — 10 баллов. Честная самооценка и границы решения — 5 баллов.

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

10. Ограничения и допущения

Ограничения. Толщина листа от 1,5 мм, тоньше прогнётся под решёткой и человеком. Швы герметизируются пайкой, сваркой или термостойким герметиком по согласованию, потому что масло должно держаться. Работа в цехе только в сопровождаемой группе, без подхода к ковшу, корпусу под током и токопроводам, без контакта с горячими поверхностями. Резка, гибка и сверловка под надзором, сварка только в мастерской. Масло в эксперименте берут в минимальном количестве, работают в перчатках, разливать в кабинете запрещено. Бюджет до 3000 рублей на команду.

Допущения. Объём капли 0,05 мл и скорость подтекания приняты типовыми и уточняются замером. Коэффициенты трения подошвы справочные и зависят от модели обуви, поэтому в опыте измеряют отношение, а не абсолюты. Температура вспышки масла берётся по марке, фактическую уточняют по паспорту масла на участке. Считается, что лоток стоит под точечной утечкой, а не в зоне большого пролива; для крупных проливов нужен отдельный расчёт объёма.

11. Ресурсы

Материалы: стальной лист 1,5–2 мм на корпус лотка, расходуется примерно на 800–1200 рублей; полоса и прутки на решётку — 400 рублей; съёмная металлическая тара 10–20 литров — 300 рублей; герметик термостойкий или припой — 200 рублей; грунт и эмаль, сигнальная — 350 рублей; знаки и инвентарный номер — 250 рублей. Итого около 2000–2500 рублей.

Для эксперимента: ровная плита, резиновая колодка, динамометр, мерный стакан, масло в минимальном количестве, бесконтактный пирометр, перчатки, журнал наблюдений.

Мастерская: листогиб, сверлильный станок, высечные ножницы, сварочный или паяльный пост под надзором, тиски, надфили, покрасочная зона.

Со стороны работодателя: допуск на экскурсию, сопровождающий-механик, разрешение поставить лоток под агрегат, паспорт масла и данные о периодичности уборки, порядок сдачи отработанного масла как отхода, согласование окраски и знака, отвод места под изготовление.

Люди: руководитель проекта от школы, мастер мастерской, учитель физики для расчётов и опыта, инженер по охране труда и инженер-эколог предприятия.

12. Этапы и контрольные точки

Этап первый, погружение: инструктаж по охране труда, разбор четырёх опасностей масла, расчёт тормозного пути и годового объёма утечки. Одно занятие. Контрольная точка — расчёты приняты, каждый объясняет, почему капля в секунду это кубометр в год.

Этап второй, опыты: динамометр на сухой и масляной плите, замер капли и пересчёт, замер температур пирометром. Одно занятие. Контрольная точка — диаграмма трения построена, видно падение в разы; объём утечки в литрах и деньгах посчитан.

Этап третий, обмер и наблюдение: выход на предприятие, обмер зоны под агрегатом, подсчёт луж и площади, фото «было». Одно занятие. Контрольная точка — эскиз с обмерами подписан механиком, сведено число луж за неделю.

Этап четвёртый, проектирование: эскиз лотка, расчёт объёма под периодичность уборки, узел горловины, узел решётки. Одно занятие. Контрольная точка — развёртка вычерчена в масштабе, объём обоснован расчётом.

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

Этап шестой, изготовление: резка, зачистка, гибка, герметизация швов, сборка решётки, окраска. Два занятия. Контрольная точка — лоток собран, залит пробным количеством воды и не течёт, решётка держит вес.

Этап седьмой, монтаж и обучение: установка под агрегатом, инструктаж работников, размещение графика выноса. Одно занятие. Контрольная точка — работники подтверждают порядок пользования и сдачи масла.

Этап восьмой, контрольное наблюдение и итоговая защита: недельный подсчёт луж на полу, таблица «было и стало», защита перед работодателем. Одно занятие плюс неделя. Контрольная точка — луж на полу под агрегатом нет или их площадь резко снизилась, протокол подписан инженером по охране труда, получен письменный отзыв.

Жёсткое правило: без зачёта на пятом этапе раскрой металла запрещён, а без завершённых опытов с трением и объёмом проект не допускается к защите.

13. Сопровождение

От школы руководитель проекта ведёт расчёты и опыты, учитель физики отвечает за корректность измерений трения и пересчёта утечки, учитель технологии и мастер ведут изготовление под надзором.

От работодателя наставник из ремонтной службы согласовывает место, габариты и объём лотка под конкретный агрегат и периодичность уборки, инженер по охране труда проводит приёмку с правом вето по любому из десяти требований, инженер-эколог подтверждает корректность схемы сдачи масла как отхода.

Формат: чек-лист на каждом этапе с подписью наставника, общий чат команды с наставником, график наблюдений, доступный наставнику онлайн.

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

В школьном кабинете при опыте с трением: масло наносят тонкой плёнкой в минимальном количестве на поддоне, сразу убирают, не ходят по смазанной поверхности, работают в перчатках, разливы немедленно вытирают и выносят ветошь в металлическую тару с крышкой. Пирометром измеряют без касания нагретых тел.

В мастерской: резка, гибка, сверловка, сварка и пайка только под надзором, в очках, маске и крагах, вдали от горючего; кромки и швы зачищают сразу; удаление окалины щёткой.

На предприятии: команда находится только в сопровождаемой группе, только по маршруту, только в каске, фартуке и обуви с защитным носком и в перчатках, стойких к маслу. Запрещено подходить к ковшу с расплавом, к корпусу под током и токоподводам, трогать горячие поверхности, переносить тару с маслом, сливать что-либо в сток, наклоняться под работающий агрегат. Обмер ведут с безопасной позиции.

Критерий допуска команды: сто процентов подписей в журнале инструктажа, наличие СИЗ, письменное согласие родителей.

15. Конфиденциальность и данные

Электролизный цех — режимный объект. Запрещена съёмка корпусов, щитов управления, систем АСУ ТП, планов цеха, логотипов контрагентов и любых табличек с технологическими параметрами. Команда публикует и показывает только собственный лоток и лабораторные опыты, без фона с оборудованием цеха; если фон неизбежен, он размывается или кадр кадрируется, люди в кадр не попадают.

В отчёте не указываются фамилии работников, номера цехов и агрегатов, марка и режимные параметры масла и оборудования, объёмы производства.

Данные об утечках, происшествиях, объёмах отходов и штрафах относятся к служебной информации и приводятся только в обобщённом виде и только с письменного согласия предприятия.

Наблюдения и опросы анонимные, без имён и должностей. Итоговые материалы проходят согласование с предприятием до размещения в открытом доступе, на конкурсе или в портфолио.

16. Использование результата

Немедленно на предприятии лоток вводится как штатное приспособление, ставится на учёт с инвентарным номером, собранное масло начинает учитываться и сдаваться как отход по графику выноса, а фото инструкция становится элементом порядка на участке.

Тиражирование. На цех приходится десятки подтекающих гидравлических и редукторных узлов. Типовая развёртка и расчёт объёма позволяют ставить лотки под каждый узел без доработок. Ориентир — около 2000 рублей за штуку при изготовлении в мастерской.

Экономическое обоснование для работодателя складывается из нескольких частей. Экономия масла: одна капающая секундная капля — это около полутора кубометров в год, а это десятки тысяч рублей потерянного гидромасла на узел. Снижение травматизма от падений на скользком полу. Снижение пожарной нагрузки: масло перестаёт попадать на горячие поверхности и в промасленную ветошь. Экология и платежи: масло учитывается и сдаётся как отход легально, а не уходит в стоки, что снимает риск штрафа. Опять же, стоимость лотка на порядки меньше стоимости одного падения, пожара или экоштрафа.

Образовательный результат. Методика «измерить незаметную утечку, перевести её в год и в деньги, показать опасность трения цифрой, сделать собирающее изделие» переносится на десятки кейсов: сбор любых жидкостей, учёт утечек воздуха и воды, защита от скольжения, отдельный сбор отходов.

Портфолио — работа подаётся на инженерный конкурс с отзывом работодателя, причём сочетание физического опыта по трению, экологического расчёта и изготовленного изделия делает её сильной и многопредметной заявкой.

17. Экспертиза со стороны работодателя

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

В оценочной ведомости эксперта семь позиций. Соответствует ли лоток задаче сбора масла без луж на полу и без слива в сток — 25 баллов. Не переполнится ли тара между уборками, то есть верно ли посчитан объём — 20 баллов. Учтён ли специфический риск цеха: соседство горячих поверхностей, горячая ветошь,

абразив на полу, необходимость ходить по лотку — 15 баллов. Готово ли изделие к тиражированию по развёртке без доработок — 15 баллов. Корректны ли опыты и расчёты, нет ли подкрутки данных — 10 баллов. Доказана ли эффективность наблюдением после установки — 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, не внедрять с указанием причины.

Типовые вопросы эксперта и сильные ответы команды.

На вопрос «почему металл, а не пластиковый поддон, он дешевле» отвечают: пластик горит, а масло горючее, и рядом горячие поверхности; кроме того, пластик от масла разрушается и течёт. Металл держит и не горит.

На вопрос «зачем решётка сверху, ведь масло летит вниз» отвечают: под агрегатом ходят и ставят инструмент, без решётки в лоток наступят, опрокинут тару или споткнутся, и он перестанет работать. Решётка даёт ходить и ставить, а масло стекает сквозь неё.

На вопрос «откуда вы взяли объём тары» отвечают: из замера скорости подтекания. Мы посчитали литры в сутки и подобрали объём так, чтобы тара не переполнилась между вашими плановыми выносами, иначе лоток сам станет источником лужи.

На вопрос «вы измеряли трение реально или взяли из справочника» отвечают: измерили отношением сил срыва на сухой и масляной плите динамометром, а справочник использовали только для пояснения. Мы намеренно не считали абсолютный коэффициент, потому что он зависит от обуви, а вот во сколько раз он падает — это наш замер.

На вопрос «куда девать собранное масло» отвечают: никуда сами не льём. Тара сдаётся как отход по вашему порядку, мы лишь сделали её учитываемой и сменной, а порядок сдачи подтвердил инженер-эколог.

На вопрос «что вы не учли» — обязательный пункт на пять баллов — отвечают честно: не рассчитывали лоток на крупный залповый пролив при разрыве шланга, он рассчитан на штатную утечку; не проверяли стойкость покрытия к конкретному маслу, возможен вариант из оцинковки; не согласовывали, не мешает ли лоток доступу к агрегату при ремонте и не придётся ли его каждый раз убирать; не учитывали, что при отрицательных температурах густое масло будет стекать медленнее, чем вода при нашей опрессовке.

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