



National Engineering and Science Olympiad 2026
Кейс отборочного этапа

Содержание

Кейс. Микробный топливный элемент: проект «NurEnergy»	2
Требования	4
Критерии к части А	4
Критерии к части Б	6
Критерии к части В	8
Правила оформления статей	9

Кейс. Микробный топливный элемент: проект «NurEnergy»

Стартап NurEnergy (Астана) выиграл грант на разработку пилотной установки микробного топливного элемента (microbial fuel cell, MFC) для металлургического комбината в Темиртау. Сточные воды комбината содержат хром Cr^{VI} и медь Cu^{2+} в концентрациях, в 15-40 раз превышающих санитарные нормативы, и одновременно являются потенциальным источником энергии за счёт окисления растворённой органики микроорганизмами-экзоэлектрогенами.

Дирекция комбината ставит перед командой три одновременных требования: (1) высокие показатели очищения воды от тяжёлых металлов; (2) генерировать электроэнергию, достаточную как минимум для питания насосов и контрольной электроники самой установки; (3) обеспечить устойчивую работу электродов не менее шести месяцев без замены.

Существующие в литературе MFC-системы существенно различаются материалом анода, типом катода, инокулятом и составом среды, и однозначного «лучшего» решения не существует. Ваша задача: выступить в роли научно-аналитической группы проекта, самостоятельно изучить литературу по теме и помочь Айбеку обосновать перед инвесторами выбор одной оптимальной конфигурации.

Работа представляет собой мини-обзор литературы и оформляется как аналитическая записка в формате обзорной научной статьи. Все материалы для обзора (статьи, обзоры, патенты) вы ищите самостоятельно. Работа разделена на три взаимосвязанные части (А, Б, В), каждая из которых соответствует определённому разделу будущей статьи. В ваши обязательства входят:

Часть А. Эффективность и классификация MFC-систем

Цель: сформировать систему координат, в которой можно сравнивать разные MFC-конфигурации между собой. Эта часть ляжет в основу раздела Introduction будущей статьи.

1. Описать общий принцип работы MFC (одно- и двухкамерные реакторы, протонообменная мембрана, окисление органики на аноде, восстановление на катоде) с опорой на минимум 6 рецензируемых источников за последние 7 лет.
2. Сформулировать от 6 до 10 критериев классификации MFC-систем (тип материала анода, тип катода, инокулят, конфигурация реактора, плотность мощности, кулоновская эффективность, стоимость, стабильность во времени и др.) и обосновать выбор именно этих критериев.
3. Самостоятельно выбрать в литературе три MFC-конфигурации (комбинация **углеродистый** анод (углеродный войлок, углеродная ткань, графитовая пластина, графитовый стержень, коммерческий активированный уголь, углеродные наностержни, оксид графена и т. д.) + катод + микроорганизм + субстрат/среда), которые вы будете сравнивать на протяжении всей работы. Кандидаты должны представлять реальное разнообразие подходов, а не близкие вариации одной идеи.
4. Свести описание трёх кандидатов в сравнительную таблицу с количественными показателями: плотность мощности (мВт м^{-2}), процент удаления загрязнителей (при отсутствии прямых количественных данных см. *Критерии к части А: «Полнота сравнительной таблицы»*), продолжительность стабильной работы, стоимость материалов.
5. Найдите теоретический максимум плотности мощности через:
 - А) Определите ЭДС ($E_{\text{cell}}^{\ominus}$): Найдите в литературе стандартные окислительно-восстановительные потенциалы для полуреакций на электродах. На аноде происходит окисление органики стоков (в расчетах обоснуйте выбор субстрата, например, ацетата или глюкозы). На катоде происходит восстановление тяжелых металлов (Cr^{VI} или Cu^{2+}).

$$E_{\text{cell}}^{\ominus} = E_{\text{cathode}}^{\ominus} - E_{\text{anode}}^{\ominus}$$

- В) Используя закон Ома и условие передачи максимальной мощности в нагрузку ($R_{\text{ext}} = R_{\text{int}}$), покажите предел удельной мощности:

$$P_{\text{an}} = \frac{(E_{\text{cell}}^{\ominus})^2}{4\rho d}$$

где ρ — удельное сопротивление среды с формулой $\rho = \sigma^{-1}$ (считайте, что в среднем MFC $\sigma = 10 \text{ мСм см}^{-1}$), а d — расстояние между анодом и катодом в реакторе (возьмите минимальный 1 см).

- С) Скорректируйте теоретическую мощность, сопоставив её с реальными практическими данными из вашего литературного обзора для выбранного кандидата (обычно реальные МТЭ выдают 30% от термодинамического максимума). Рассчитайте необходимую геометрическую площадь анода (S_{anode}) для покрытия нужд установки с 15 Вт генерации:

$$S_{\text{anode}} = \frac{P_{\text{target}}}{P_{\text{work}}}$$

Часть Б. Биохимические пути и механизмы переноса электронов

Цель: объяснить, почему одна система выдаёт высокие плотности мощности, а другая на порядок меньшие при сопоставимых субстратах. Эта часть формирует основной объём раздела Results.

1. Описать общую схему передачи электронов от микроорганизма к аноду: окисление субстрата (без необходимости расписывать пути катаболизма пошагово), образование восстановительных кофакторов (NADH, FADH₂), работа дыхательной цепи, передача электронов на анод как терминальный экзогенный акцептор.
2. Сравнить основные механизмы экстраклеточного переноса электронов (ЕЕТ) у электрогенных микроорганизмов: прямой перенос через цитохромы внешней мембраны, перенос через проводящие белковые структуры (нанопровода и пили), опосредованный перенос через эндогенные и экзогенные редокс-медиаторы. Конкретные белки, организмы и медиаторы вы определяете самостоятельно по результатам литературного поиска (минимум одна ссылка на каждый из трёх механизмов).
3. Объяснить, как свойства углеродного анода влияют на формирование биоплёнки и перенос электронов: роль площади поверхности и шероховатости для адгезии биоплёнки, влияние гидрофильности и кислородсодержащих/азотсодержащих функциональных групп поверхности на цитохром-опосредованный транспорт.
4. Для каждого из трёх выбранных в части А кандидатов указать доминирующий механизм ЕЕТ и объяснить, как именно сочетание материала анода и физиологии конкретного микроорганизма приводит к наблюдаемой плотности мощности и кулоновской эффективности.

Часть В. Сравнительный анализ и обоснование выбора

Цель: свести весь накопленный материал в обоснованное инженерное решение для проекта NurEnergy. Эта часть формирует разделы Discussion и Conclusion.

1. Провести качественный и количественный сравнительный анализ трёх кандидатов, пересчитав сырые данные в производные инженерно-ориентированные показатели: сводная таблица показателей по ключевым параметрам (мощность на единицу стоимости анода, удельная скорость удаления металла, прогнозируемая деградация, стоимость материалов), краткое обсуждение компромиссов между показателями. Статистические критерии типа теста Пирсона или ANOVA не требуются: это формат обзорной статьи, а не оригинального исследования.
2. Применить результаты сравнения к конкретным условиям NurEnergy: характер стоков комбината в Темиртау (Cr^{VI}, Cu²⁺ в высоких концентрациях), температурный режим, требования к стабильности и бюджету. Опирайтесь при этом на опубликованные данные по MFC-системам, удаляющим именно эти металлы.
3. Обосновать финальный выбор одной из трёх систем явным сопоставлением её показателей с тремя требованиями инвесторов из условия задачи. Признать ограничения выбора: что вы теряете, отказываясь от двух других кандидатов.
4. Сформулировать перечень дальнейших шагов: какие параметры нужно проверить экспериментально перед запуском пилота, какие риски (биообрастание, коррозия катода, изменение состава стоков, стабильность биоплёнки) могут потребовать корректировки выбора.

Требования

- 1. Научная обоснованность:** Вы должны опираться на актуальные рецензируемые публикации, цитировать надёжные источники (статьи в журналах с высоким импакт-фактором, обзоры, монографии). Аргументы должны основываться на подтверждённых экспериментальных данных, а не на общих утверждениях.
- 2. Системность классификации (Часть А)** (см. подробнее «Критерии к части А»): Критерии классификации должны быть чётко сформулированы, избыточны и непротиворечивы. Выбор именно этих критериев должен быть обоснован. Три выбранные MFC-конфигурации должны представлять реальное разнообразие подходов в литературе, а не близкие вариации одной идеи.
- 3. Глубина биохимического обоснования (Часть Б)** (см. подробнее «Критерии к части Б»): Механизмы экстраклеточного переноса электронов должны быть разобраны на уровне конкретных белков, путей и связей с физиологией микроорганизма. Связь между свойствами анода и биохимией биоплёнки должна быть объяснена причинно, а не декларативно. На защите эта часть проверяется устными вопросами.
- 4. Аргументированность выбора (Часть В)** (см. подробнее «Критерии к части В»): Финальный выбор одной системы должен быть подкреплён количественным сравнением и явно сопоставлен с тремя требованиями проекта NurEnergy. Компромиссы между кандидатами должны быть честно проговорены. Обоснование вида «у этой системы больше число» без объяснения причин не принимается.
- 5. Логичность, структура и академическая честность:** Материал должен быть структурирован по формату научной обзорной статьи без логических скачков и тематических разрывов. Текстовые заимствования не выше 40%. Использование генеративных моделей для написания содержательных разделов не допускается; обнаружение признаков машинной генерации (характерные обороты, ложные или несуществующие ссылки, отсутствие связи между утверждениями) приравнивается к нарушению академической честности.

Критерии к Части А

Всего	Вес (%)
20	30

Критерий	Макс. балл	Требования
Выбор и обоснование ключевых критериев классификации	4	<p>2 балла: сформулировано не менее 6 ключевых критериев классификации MFC, отражающих разнообразие подходов. Минимальный набор: <i>конфигурация реактора</i> (одно/двухкамерный), <i>материал анода</i>, <i>тип катода</i> (химический/биокарод/воздушный), <i>инокулят</i> (чистая культура/смешанная), <i>тип мембраны/отсутствие мембраны</i>, <i>субстрат</i>.</p> <p>2 балла: для каждого критерия дано краткое обоснование его релевантности для сравнительного анализа (например: «<i>материал анода напрямую влияет на адгезию биоплёнки и плотность мощности, что критично для требований энергогенерации</i>»).</p>

Разнообразие выбранных конфигураций	6	<p>По 2 балла за каждую из трёх выбранных конфигураций, если она фундаментально отличается от других минимум по трём из ключевых критериев из п.1.</p> <p>Недопустимо: вариации одного коммерческого угля или замена Pt/C на Pt-чёрный при одинаковой конфигурации. Этап требует выбора одного подхода из каждого принципиального направления (например: (А) <i>однокамерная мембранная MFC с воздушным катодом и смешанной культурой</i>; (В) <i>двухкамерная с химическим катодом для восстановления металлов и чистой культурой</i>; (С) <i>биокаатодная система с восстановлением кислорода</i>).</p>
Полнота сравнительной таблицы	6	<p>4 балла: таблица содержит все три выбранные конфигурации и заполнена полностью по следующим обязательным показателям: (1) <i>плотность мощности</i>, (2) <i>% удаления Cr^{VI} и Cu^{II}</i>, (3) <i>кулоновская эффективность (CE)</i>, (4) <i>продолжительность стабильной работы</i>, (5) <i>стоимостная оценка материалов</i>. Недопустимы пустые ячейки или «нет данных» для обязательных показателей при отсутствии прямых количественных данных указать расчётную оценку или обоснованный качественный диапазон, при условии, что он явно помечен как оценочный и опирается на аналогичные данные из литературы с ссылкой.</p> <p>2 балла: все показатели приведены к единым и сопоставимым единицам согласно международным стандартам оценки MFC. Мощность может быть нормализована по площади анода (Вт м^{-2}) или по объёму реактора (Вт м^{-3}), но способ нормализации должен быть явно указан. Плотность тока — в мА м^{-2} или А м^{-2}. Удаление металлов — в % от начальной концентрации. За несоответствие единиц (например, мкВт см^{-2} без пересчёта, смешение разных нормализаций без пояснения) — 0 баллов. Требование к унификации единиц вытекает из стандартных протоколов сравнительного анализа MFC: разные способы нормализации дают несопоставимые значения.</p>
Аналитическое резюме и глубина обсуждения	4	<p>3 балла: в тексте присутствует аналитическое резюме таблицы (не менее одного абзаца), выделяющее: (1) <i>ключевое достоинство</i> и (2) <i>ключевой недостаток</i> каждой из трёх конфигураций применительно к условиям проекта NurEnergy. Пример: «Конфигурация Б демонстрирует наивысшую эффективность удаления Cr^{VI} (95%), но её мощность в 20 раз ниже пороговой для автономного питания насосов, что требует пересмотра баланса»</p> <p>1 балл: проведено ранжирование трёх конфигураций по степени соответствия трем требованиям проекта NurEnergy (очистка, энергия, стабильность)</p>

Критерии к Части Б

Всего	Вес (%)
18	40

Критерий	Макс. балл	Требования
Полнота разбора метаболической цепочки	4	<p>3 балла: общая схема передачи электронов от микроорганизма к аноду раскрыта целостно: окисление субстрата (без необходимости расписывать пути катаболизма пошагово), образование восстановительных кофакторов (NADH, FADH₂), их роль в дыхательной цепи, передача электронов на терминальный экзогенный акцептор (анод). Указано, что движущей силой переноса является разность потенциалов между восстановленными кофакторами и поверхностью анода.</p> <p>1 балл: явно обозначена количественная связь между катаболизмом субстрата и максимально достижимой плотностью тока. Например: «<i>полное окисление 1 моль ацетата даёт 8 моль электронов и задаёт верхний предел кулоновского выхода 100%; реальные значения у изученных систем составляют 30-60% (со ссылками)</i>».</p>
Глубина сравнения механизмов ЕЕТ	6	<p>3 балла: каждый из трёх механизмов экстраклеточного переноса электронов разобран на уровне конкретных белков и/или молекул, найденных самостоятельно в литературе: прямой контактный перенос через цитохромы внешней мембраны, перенос через проводящие белковые структуры (нанопровода и пили), опосредованный перенос через эндогенные и экзогенные редокс-медиаторы. Для каждого механизма приведена не менее одной ссылки на рецензируемый источник, в котором описана его молекулярная природа.</p> <p>2 балла: для каждого механизма указаны характеристики, позволяющие проводить сравнение: расстояние действия (контактный или дистанционный), типичные значения плотности тока или скорости переноса, требования к организации биоплёнки (одиночные клетки, монослой, многослойная биоплёнка). Сравнение представлено в виде таблицы или структурированного текста, а не свободного описания.</p> <p>1 балл: выделены принципиальные компромиссы между механизмами с подкреплением из литературы. Например: «<i>опосредованный перенос работает без прямого контакта клетки с анодом, однако значительная часть электронов теряется на побочные акцепторы и диффузию медиатора из биоплёнки, что снижает кулоновский выход на 30-50% по сравнению с контактным переносом</i>».</p>

<p>Связь свойств углеродного анода с биохимией биоплёнки</p>	<p>4</p>	<p>2 балла: разобраны ключевые физические свойства углеродосодержащих анодов (углеродный войлок, углеродная ткань, графитовая пластина, графитовый стержень, активированный уголь, углеродные наностержни, оксид графена и т.п.), влияющих на адгезию и формирование биоплёнки: удельная площадь поверхности, шероховатость на микро- и наноуровне, открытая пористость. Показано, как эти параметры различаются у конкретных кандидатов, выбранных в Части А.</p> <p>2 балла: разобрано влияние химии поверхности углеродного материала на цитохром-опосредованный транспорт электронов: гидрофильность и гидрофобность, содержание кислородсодержащих групп (–COOH, –OH, характерных для оксида графена и активированного угля или появляющихся после кислотной, термической или плазменной обработки), азотсодержащих групп (после N-допирования). Объяснено, почему модифицированные углеродные материалы как правило дают более высокие плотности тока, чем немодифицированные аналоги.</p>
<p>Связка механизма ЕЕТ с тремя кандидатами из Части А</p>	<p>4</p>	<p>3 балла: для каждой из трёх конфигураций из Части А явно указан доминирующий механизм ЕЕТ, исходя из выбранного микроорганизма (или инокулята) и свойств выбранного углеродного анода. Связь анод-микроорганизм-механизм объяснена причинно, а не декларативно: показано, почему именно данное сочетание поверхности и физиологии приводит к доминированию того или иного механизма.</p> <p>1 балл: количественные значения плотности мощности и кулоновской эффективности из сравнительной таблицы Части А объяснены через выбранный механизм ЕЕТ. Например: <i>«низкая кулоновская эффективность смешанной анаэробной культуры на углеродном войлоке (около 18%) согласуется с доминированием медиаторного переноса и потерями электронов на сопутствующие метаногенные и сульфатредуцирующие сообщества».</i></p>

Критерии к Части В

Всего	Вес (%)
18	30

Критерий	Макс. балл	Требования
Сводная таблица и оценка показателей	6	<p>4 балла: сводная таблица содержит все три конфигурации и заполнена полностью по следующим нормализованным показателям: (1) <i>мощность на единицу стоимости анода</i> (2) <i>удельная скорость удаления Cr^{VI} и Cu^{2+}</i>, (3) <i>продолжительность стабильной работы</i>, (4) <i>стоимость материалов</i>. Пустые ячейки и «нет данных» не допускаются; при отсутствии прямых количественных данных указать расчётную оценку или обоснованный качественный диапазон, при условии, что он явно помечен как оценочный и опирается на аналогичные данные из литературы с ссылкой.</p> <p>2 балла: ниже таблицы приведено обсуждение компромиссов между показателями. Требуется причинно-следственное объяснение: например, «<i>высокая плотность мощности конфигурации А обусловлена развитой поверхностью анода, однако стоимость материала делает её нецелесообразной при масштабировании на объём стоков комбината</i>».</p>
Применение результатов к условиям кейса NurEnergy	6	<p>3 балла: каждое из трёх требований инвесторов (качество удаления металлов; энергетическая самодостаточность установки; стабильность не менее 6 месяцев) явно сопоставлено с количественными данными для каждого из трёх кандидатов.</p> <p>3 балла: анализ учитывает специфику стоков металлургического комбината в Темиртау: концентрации Cr^{VI} и Cu^{2+} в 15–40 раз выше санитарных нормативов, возможный диапазон температур производственных стоков, бюджетные ограничения пилотной установки. Используются опубликованные данные по МФС, работавшим именно с высококонцентрированными растворами тяжёлых металлов (не менее 2 таких ссылок). Если подобные данные в литературе отсутствуют, это явно оговаривается и предлагается обоснованная экстраполяция.</p>
Аргументированность финального выбора конфигурации	3	<p>3 балла: финальный выбор одной системы явно обоснован сопоставлением её показателей с каждым из трёх требований проекта. Решение может быть принято в условиях компромисса, где от участников требуется явная расстановка приоритетов, оценка устойчивости, ограничений и условности выбора.</p>

Перечень дальнейших шагов и анализ рисков	3	<p>2 балла: сформулировано не менее трех конкретных параметров, требующих экспериментальной проверки перед запуском пилота. Каждый параметр привязан к требованиям и реальным условиям проекта: например, «<i>скорость деградации биоплёнки при длительном воздействии Cr^{VI} выше 50 мг л⁻¹ — проверяется испытаниями 30 суток, поскольку большинство литературных данных получено при концентрациях ниже 20 мг л⁻¹»</i>. Перечень общих слов («необходима оптимизация условий») без конкретики не засчитывается.</p> <p>1 балл: идентифицировано не менее трёх специфических эксплуатационных рисков для выбранной системы.</p>
---	---	--

Правила оформления статей

Формат файла: *.doc, *.docx или *.pdf. Объем работы – до 35 страниц (включая приложения, список литературы и тому подобное). Шрифт – Times New Roman, кегль – 12. Межстрочный интервал – 1,5. Поля – 2 см со всех сторон. Все таблицы, графики, рисунки и иные иллюстративные материалы должны иметь наименование и при необходимости источник. Цитирование и оформление списка использованных источников осуществляются в соответствии со стилем APA 7th edition. Нумерация страниц является обязательной. Структура Кейса должна состоять из: титульного листа, содержащего наименование Олимпиады, Кейса, название Команды, этап Олимпиады, в рамках которого представлен Кейс (отборочный или финальный); Оглавления, содержащего структуру Кейса с указанием наименований разделов и номеров страниц; Введения, включающего описание поставленной проблемы, актуальности и цели работы; Основной части, содержащей анализ проблемы, используемые подходы, расчеты, аргументацию и предлагаемые решения; Заключения, включающего основные выводы и итоговые предложения Команды; Списка всех использованных источников; Приложений, при их наличии. Решение Кейса должно быть изложено в логичной, последовательной и аргументированной форме, позволяющей Жюри оценить качество анализа проблемы и обоснованность предложенных решений.

В текст документа включается следующая информация:

- 1. Титульная страница.** Название статьи; Фамилия, имя, отчество (полностью), основное место обучения всех авторов.
- 2. Аннотация.** 1 абзац (150–300 слов) под заголовком «Аннотация» с кратким изложением концепции статьи. В аннотации должны быть указаны предмет и цель работы, методология, основные результаты исследования, выводы. Аннотация не должна содержать ссылок на другие работы; Аннотация завершается 4-5 ключевыми словами.
- 3. Текст статьи.** Структура статьи: Аннотация, Вступление, Результаты (с двумя подразделами, соответствующими частям А и Б), Обсуждения, Заключение, Список литературы. Приветствуется разделение текста на тематические подразделы, снабженные соответствующими подзаголовками. Все сокращения, за исключением общеупотребительных, должны быть при первом употреблении расшифрованы.
- 4. Иллюстративный материал.** Иллюстративный материал (черно-белые и цветные фотографии, рисунки, диаграммы, схемы, графики, скриншоты) размещают в тексте статьи в месте упоминания (jpg). Шрифт в указанных графических объектах – не менее 11 кегля. Текст статьи должен содержать ссылки на все рисунки, диаграммы или таблицы. Подписи к рисункам должны быть отделены от рисунков, располагаться под рисунками, содержать порядковый номер рисунка (например, Таблица 1, Рисунок 1 и т.д.).
- 5. Библиография.** Список литературы указывается в конце статьи. Названия литературы и источников оформляются в соответствии APA 7th. Не менее 25 ссылок, из которых не менее 60% опубликованы за последние 5 лет.

- При выполнении Кейса **допускается** использование ресурсов сети Интернет, научных и учебных материалов, а также иных открытых источников информации. Уровень уникальности текстов решений должен составлять не менее 70% при проверке на сайте turnitin.com.
- При выполнении Кейса **не допускается**: плагиат, использование искусственного интеллекта в любых целях, присвоение результатов интеллектуальной деятельности третьих лиц, представление полностью или частично заимствованного текста без надлежащего цитирования, фальсификация данных, расчетов, выводов, источников или иных материалов, используемых при выполнении Кейса.
- Показатель искусственного интеллекта не должен превышать 20% при проверке на сайтах zerogpt.com, grammarly.com, учитывая возможные погрешности и случаи некорректного завышения результатов, в том числе при отсутствии использования искусственного интеллекта.
- Фиксируется факт нарушения только в случае, если оба детектора идентифицировали использование искусственного интеллекта выше 20%. При проверке с использованием сервисов учитывается, что данные системы могут допускать погрешности. В случае выявления нарушения требований настоящей главы Оргкомитет принимает решение по **дисквалификации** Команды.