

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 03 » апреля 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Профессионально-ориентированный перевод
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 72 (2)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 18.04.01 Химическая технология
(код и наименование направления)

Направленность: Химическая технология целлюлозно-бумажного производства
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины – формирование способности применять современные коммуникативные технологии на иностранном языке для академического и профессионального взаимодействия (УК-4).

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Задачи дисциплины:

формирование знаний:

- практические приёмы письменного перевода профессионально-ориентированных текстов;
- методы и приемы поиска, анализа и систематизации информации.

формирование умений:

- представлять результаты научной и профессиональной деятельности на иностранном языке в виде аннотаций, резюме, тезисов, презентаций;
- анализировать, создавать и переводить научные и профессионально-ориентированные тексты;

формирование навыков:

- владения научной и профессиональной терминологией
- работы с информационно-поисковыми системами

1.3. Входные требования

Требования к предметным результатам освоения курсов «Профессиональный иностранный язык» основной образовательной программы высшего образования по направлению подготовки

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
УК-4	ИД-1УК-4.	Знает <ul style="list-style-type: none">• практические приёмы письменного перевода профессионально-ориентированных текстов;• методы и приемы поиска, анализа и систематизации информации	Знает виды и средства современных коммуникативных технологий; правила и возможности применения коммуникативных технологий в условиях академического и профессионального взаимодействия на русском и иностранном языках	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
УК-4	ИД-2УК-4.	<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • представлять результаты научной и профессиональной деятельности на иностранном языке в виде аннотаций, резюме, тезисов, презентаций. • анализировать, создавать и переводить профессионально-ориентированные тексты; 	<p>Умеет использовать коммуникативные технологии для поиска, обмена информацией и установления профессиональных контактов; представлять результаты научной и профессиональной деятельности на русском и иностранном языках; участвовать в академических и профессиональных дискуссиях; анализировать, создавать и редактировать и переводить научные и профессионально-ориентированные тексты.</p>	Индивидуальное задание
УК-4	ИД-3УК-4.	<p>Владеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • научной и профессиональной терминологией • навыками работы с информационно-поисковыми системами 	<p>Владеет навыками академического и профессионального взаимодействия; научной и профессиональной терминологией; навыками работы с информационно-поисковыми системами.</p>	Индивидуальное задание

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	36	36	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)			
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	32	32	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	36	36	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	72	72	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Раздел 1. Развитие научного направления	0	0	0	0
Развитие научного направления				
Тема 1. Научно-исследовательская деятельность магистратуре.	0	0	4	4
Чтение, перевод и анализ профессионально-ориентированных текстов. Участие в профессиональной дискуссии «Молодой специалист в России и за рубежом». Проблемы переводимости/непереводимости. Монологическое и диалогическое высказывание о целях, задачах научной и профессиональной деятельности. Изучение общенаучной и специальной лексики, грамматики, обеспечивающей профессиональную коммуникацию.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Тема 2. Перспективы научного направления	0	0	4	4
Чтение, перевод и анализ профессионально-ориентированных текстов. Лексические и грамматические трансформации. Монологическое и диалогическое высказывание о перспективах научной и профессиональной деятельности. Отработка практических навыков по отстаиванию своей точки зрения и по оспариванию предлагаемой точки зрения. Изучение общенаучной и специальной лексики, грамматики, обеспечивающей профессиональную коммуникацию.				
Раздел 2. Научные исследования	0	0	0	0
Научные исследования				
Тема 3. Основные направления научных исследований.	0	0	4	4
Работа с информационно-поисковыми системами. Подготовка обзора разработки научного направления в России. Механизмы терминообразования и словообразования. Установление структурно-смысловых связей текста Адекватная передача содержания средствами родного языка. Группировка информации, ее обобщение и анализ				
Тема 4. Магистерская диссертация	0	0	4	4
Структура научной публикации. Особенности магистерской диссертации. Изучение общенаучной и специальной лексики, грамматики, обеспечивающей профессиональную коммуникацию. Перевод. Адекватная передача содержания средствами родного языка. Понимание на слух аутентичной монологической и диалогической речи.				
Раздел 3. Научные исследования в Европе.	0	0	0	0
Научные исследования в Европе.				
Тема 5. Основные направления исследований в Европе.	0	0	4	4
Чтение, перевод и анализ профессионально-ориентированных текстов Установление структурно-смысловых связей текста. Группировка информации, ее обобщение и анализ. Отработка практических навыков защиты докладов в виде презентации.				
Тема 6. Основные научные центры Европы	0	0	4	4
Ознакомительное чтение. Определение основной идеи текста. Изучение особенностей научного стиля (тезисы). Отработка практических навыков поиска и реферирования научных статей.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Раздел 4 Научные исследования в США, Китае Научные исследования в США, Китае	0	0	0	0
Тема 7. Основные направления исследований в США, Китае	0	0	4	6
Чтение, перевод и анализ профессионально-ориентированных текстов Определение основной идеи текста. Компрессия прочитанного. Изучение особенностей научного стиля (статья).				
Тема 8. Основные научные центры США, Китая	0	0	4	6
Чтение, перевод и анализ профессионально-ориентированных текстов Изучение особенностей научного стиля (аннотация, реферат).				
ИТОГО по 2-му семестру	0	0	32	36
ИТОГО по дисциплине	0	0	32	36

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Цели, задачи научной и профессиональной деятельности
2	Перспективы научного направления
3	Обзор основных направлений научных исследований в России
4	Особенности магистерской диссертации
5	Обзор основных направлений исследований в Европе.
6	Обзор основных направления исследований в США, Китае
7	Подготовка реферативного обзора двух научных статей по теме магистерской диссертации
8	Обсуждение реферативного обзора двух научных статей по теме магистерской диссертации

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем; отработка у обучающихся навыков взаимодействия в составе коллектива; закрепление основ теоретических знаний. Проведение занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на занятии.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Агабекян И. П. Английский для инженеров : учебное пособие для втузов / И. П. Агабекян, П. И. Коваленко. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002.	28
2	Бондарева В. Я. Немецкий язык для технических вузов : учебник для втузов / В. Я. Бондарева, Л. В. Синельщикова, Н. В. Хайрова. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2009.	51
3	Загрязкина Т. Ю. Французский язык для студентов естественно-научных и технических специальностей : учебное пособие для вузов / Т. Ю. Загрязкина, Л. С. Рудченко, Е. В. Глазова. - Москва: Гардарики, 2004.	68

2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Базанова Е.М. Английский язык : Upper-Intermediate-Advanced : учебник для вузов / Е.М. Базанова, И.В. Фельснер. - М.: Дрофа, 2002.	7
2	Ельцова М. Н. Современный мир / Moderne Welt : учебное пособие на немецком языке / М. Н. Ельцова, Г. Г. Шайрадзянова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012.	1
3	Попова И. Н. Французский язык : учебник для вузов / И. Н. Попова, Ж. А. Казакова, Г. М. Ковальчук. - Москва: Nestor Academic Publishers, 2003.	1
4	Тищенко И. А. Немецкий язык для технических вузов : учебное пособие / И. А. Тищенко. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2010.	2
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Е. А. Алешугина Профессионально ориентированный английский язык для магистрантов : Учебное пособие для вузов / Е. А. Алешугина, Г. К. Крюкова, Д. А. Лошкарева. - Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,	http://elib.pstu.ru/Record/iprbooks88516	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Ельцова М. Н. Современный мир / Moderne Welt : учебное пособие на немецком языке / М. Н. Ельцова, Г. Г. Шайрадзянова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks161805	локальная сеть; свободный доступ

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Фролова Т. П. Обучение аннотированию научных статей на английском языке : учебно-методическое пособие / Пермский национальный исследовательский политехнический университет Т. П. Фролова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2018.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib6166	локальная сеть; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 8.1 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Elsevier "Freedom Collection"	https://www.elsevier.com/
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Springer Nature e-books	http://link.springer.com/ http://jwww.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.com/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Практическое занятие	Компьютер	1

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Практическое занятие	Проектор	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Профессионально-ориентированный перевод»
Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки:	18.04.01 Химическая технология
Направленность (профиль) образовательной программы:	Химическая технология энергетических конденсированных систем
Квалификация выпускника:	Магистр
Выпускающая кафедра:	Иностранные языки и связи с общественностью
Форма обучения:	Очная
Курс: 2	Семестр: 3
Трудоёмкость:	
Кредитов по рабочему учебному плану:	2 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	72 ч.
Форма промежуточной аттестации:	
Зачёт:	2 семестр

Пермь 2023

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (2-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля и зачетов. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	КЗ	Т/КР	Диф.зачет	Зачёт
Усвоенные знания						
З.1 Знает практические приёмы письменного перевода профессионально ориентированных текстов; • методы и приемы поиска, анализа и систематизации информации	С					ТВ
З.2 Знает национальные, этнокультурные особенности населения страны изучаемого языка	С					ТВ
Освоенные умения						
У.1 Уметь представлять результаты научной и профессиональной деятельности на иностранном языке в виде аннотаций, резюме, тезисов, презентаций. • анализировать, создавать и переводить профессионально ориентированные тексты; Умеет использовать коммуникативные технологии для поиска, обмена информацией и установления профессиональных контактов; представлять результаты научной и профессиональной деятельности на русском и иностранном языках; участвовать в академических и.				КР		ПЗ
У.2 Умеет грамотно, доступно излагать профессиональную информацию в процессе межкультурного взаимодействия в научной и профессиональной сфере				КР		ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 Владеет • научной и профессиональной терминологией • навыками работы с информационно поисковыми системами.				КР		КЗ
В.2 Владеет навыками преодоления коммуникативных барьеров в процессе межкультурного взаимодействия в научной и профессиональной сфере				КР		КЗ

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное

тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме рубежной контрольной работы после изучения каждого модуля учебной дисциплины.

2.2.1. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Научные исследования в России», вторая КР – по модулю 2 «Научные исследования зарубежом».

Типовые задания первой КР:

1. Диктант на основе текстов из модуля 1;
2. Чтение и перевод профессионально-ориентированного текста.
3. Выполнение лексико-грамматических заданий после текста: вставить в предложения, пропущенные слова из предложенного списка; продолжить предложения из левого столбца, используя словосочетания из правого столбца

Типовые задания второй КР:

1. Перевод слов и словосочетания из модуля 2;
2. Чтение и перевод профессионально-ориентированного текста.
3. Выполнение лексико-грамматических заданий после текста: вставить в предложения, пропущенные слова из предложенного списка; продолжить предложения из левого столбца, используя словосочетания из правого столбца;
4. Составление аннотации текста.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется

индивидуальное комплексное задание студенту.

Темы индивидуальных заданий

1. подготовка доклада и презентации на тему «Актуальные исследования по направлению подготовки».

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех заданий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. практические приёмы письменного перевода профессионально ориентированных текстов;

2. методы и приемы поиска, анализа и систематизации информации

3. Составление глоссария

4. Структура научной публикации

Типовые вопросы и практические задания для контроля усвоенных умений:

1. Побеседовать о научных исследованиях по направлению подготовки;

2. Побеседовать о научно-исследовательской работе в магистратуре;

3. Подготовить аннотацию и реферат прочитанного текста.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Представить обзор по прочитанным аутентичным статьям с опорой на презентацию.

2. Подготовить сообщение об известных научных и производственных центрах в России;
3. Подготовить сообщение об известных научных и производственных центрах за рубежом

2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

Life cycle net energy assessment of sustainable H₂ production and hydrogenation of chemicals in a coupled photoelectrochemical device

A transition from fossil to renewable energy is urgently needed to alleviate the climate problem caused by greenhouse gases (GHG) emitted from fossil-fuel-based energy generation. However, many renewable energy generation technologies, such as wind turbines and photovoltaic panels, rely heavily on intermittent sources; the supply of energy, therefore, has an unavoidable mismatch with the global energy demand. To overcome this limitation, energy needs to be stored. One promising option is to utilize sunlight to produce green hydrogen via solar water splitting. The hydrogen can be re-used to generate energy when the demand is high, either for stationary applications, as a mobile transportation fuel, or as a feedstock for various chemical transformations. Over the past decade, research on solar water splitting devices has achieved significant progress in terms of the demonstrated solar-to-hydrogen (STH) efficiencies. The highest efficiencies (up to 30%[1](#)) have been demonstrated using an indirect approach of combining photovoltaic (PV) cells and electrolyzers. Efficiency values exceeding 10% have been reported for direct solar water splitting with an integrated photoelectrochemical (PEC) device that combines both light absorption and electrochemical conversion functionalities within a single unit[2,3](#). Such a configuration offers potential advantages over the indirect approach in terms of thermal coupling to improve the electrochemical reaction kinetics as well as the possibility to use cheaper and more abundant catalysts due to the 10–100× lower current densities[4](#).

Despite the impressive progress that has been made in this field, several techno-economic analyses (TEA) and net energy assessments (NEA) have indicated that the PEC approach is still not energetically and economically competitive for large-scale implementation. The levelized cost of hydrogen (LCOH) produced from PEC systems has been estimated to be ~10 USD/kg H₂, which is about an order of magnitude higher than that from steam methane reforming (~1.5 USD/kg H₂)[5](#). In terms of the energy demand, a large-scale PEC facility requires up to 214 MJ/kg H₂[6](#), which is >20 times higher than the energy required by coupling wind turbines and electrolyzers (9.1 MJ/kg H₂[7](#)) and exceeds the energy content of the hydrogen itself (120 MJ/kg H₂, based on the lower heating value). A potentially attractive solution to increase the competitiveness of PEC systems is by coupling hydrogen production with the synthesis of valuable chemicals in a single reactor[8,9](#). For example, instead of oxygen evolution, alternative oxidation reactions, such as the oxidation of 5-hydroxymethylfuran-2-carbaldehyde or the oxidation of sugars and lignocellulose, have been investigated[10](#). Alternatively, a hydrogenation catalyst (homogeneous or heterogeneous) can be introduced to the catholyte, so that H₂ generated at the cathode can be partially used in situ to hydrogenate, e.g., biomass-derived feedstocks into valuable chemicals. This co-generation approach offers a route toward achieving an LCOH that is competitive with the current market price of hydrogen and increases the overall economic feasibility of PEC technology. The net energy balance of such systems, however, has not yet been studied in depth.

In this study, the coupling of homogeneously catalyzed hydrogenation of itaconic acid (IA) to methyl succinic acid (MSA) with hydrogen production inside a PEC water splitting device is evaluated. IA has been identified by the US Department of Energy as one of the 12 building blocks that possess the potential to be transformed subsequently into several high-value bio-based chemicals or materials¹¹. MSA is a valuable chemical compound (with an estimated global market size of up to ~15,000 t—see Supplementary Note 1), whose derivatives are ubiquitously used as solvents in cosmetics¹², polymer synthesis¹³, binders in powder coatings¹⁴, and organic synthesis, especially for pharmaceutical synthesis^{15,16}. Hydrogenation of IA to produce MSA has been reported using hydrogenation catalysts in a conventional hydrogenation reactor at 25–150 °C and 1–140 bar H₂^{17,18,19,20}. The feasibility of our proposed coupled approach is investigated by conducting a net energy balance assessment under various parametric scenarios and comparing the results with the benchmark values for conventional MSA production. Using several NEA metrics, we quantify the benefits of the coupled approach for the energy-generating performance of a PEC water splitting device.

<https://www.nature.com/articles/s41467-023-36574-1>

22.03.2023 - Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH

Grüner Wasserstoff: Wie photoelektrochemische Zellen wettbewerbsfähig werden könnten

Die photoelektrochemische Zelle: Sonnenlicht erzeugt in der mit Katalysator beschichteten Solarzelle (rechts) eine Photospannung, die Wassermoleküle spaltet. An der linken Elektrode entsteht Wasserstoff, auf der rechten Seite Sauerstoff. Ein Teil des H₂ reagiert mit Itaconsäure (IA) weiter zu wertvoller Methylbernsteinsäure (MSA).

Mit Sonnenlicht lässt sich grüner Wasserstoff in photoelektrochemischen Zellen (PEC) direkt aus Wasser erzeugen. Bisher waren Systeme, die auf diesem 'direkten Ansatz' basieren, energetisch nicht wettbewerbsfähig. Die Bilanz ändert sich jedoch, sobald ein Teil des Wasserstoffs in PEC-Zellen in-situ für erwünschte Reaktionen genutzt wird. Dadurch lassen sich wertvolle Chemikalien für die chemische und pharmazeutische Industrie produzieren. Die Zeit für die Energie-Rückgewinnung des direkten Ansatzes mit der PEC-Zelle kann damit drastisch verkürzt werden, zeigt eine neue Studie aus dem HZB.

Wasserstoff kann durch Elektrolyse von Wasser hergestellt werden, im Idealfall mit Strom aus Windkraft oder Solarmodulen. Dieser "grüne" Wasserstoff soll eine wichtige Rolle im Energiesystem der Zukunft spielen. In den letzten zehn Jahren hat die solare Wasserspaltung erhebliche Fortschritte gemacht: Die besten Elektrolyseure, die die benötigte Spannung aus PV-Modulen oder Windkraft beziehen, erreichen bereits Wirkungsgrade von bis zu 30%. Dies ist der indirekte Ansatz.

Direkter Ansatz in der PEC-Zelle

Am HZB-Institut für Solare Brennstoffe arbeiten mehrere Teams an einem direkten Ansatz zur solaren Wasserspaltung: Sie entwickeln Photoelektroden, die Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln, außerdem in wässrigen Lösungen stabil sind und die

Wasserspaltung katalytisch fördern. Diese Photoelektroden bestehen aus Lichtabsorbern, die mit Katalysatormaterialien beschichtet sind und die aktive Komponente einer photoelektrochemischen Zelle (PEC) bilden. Die besten PEC-Zellen, die auf kostengünstigen und stabilen Metalloxidabsorbern basieren, erreichen bereits Wirkungsgrade von nahezu 10%. Obwohl PEC-Zellen immer noch weniger effizient sind als PV-getriebene Elektrolyseure, haben sie auch einige Vorteile: So lässt sich in PEC-Zellen die Wärme des Sonnenlichts nutzen, um die Reaktionen zu beschleunigen. Und da die Stromdichten bei diesem Ansatz zehn- bis hundertmal niedriger sind, können teure Katalysatoren durch preiswerte Katalysatoren aus reichlich vorhandenen Materialien ersetzt werden.

Noch nicht wettbewerbsfähig

Bisher haben technisch-ökonomische Analysen (TEA) und Nettoenergiebewertungen (NEA) gezeigt, dass das PEC-Konzept für eine großtechnische Umsetzung noch nicht wettbewerbsfähig ist. Wasserstoff aus PEC-Systemen kostet heute etwa 10 USD/kg, etwa sechsmal mehr als Wasserstoff aus der Dampfreformierung von fossilem Methan (1,5 USD/kg). Außerdem ist der kumulative Energiebedarf für die PEC-Wasserspaltung schätzungsweise vier- bis zwanzigmal höher als für die Wasserstofferzeugung mit Windturbinen und Elektrolyseuren.

Die Idee: wertvolle Chemikalien

„Hier wollten wir einen neuen Ansatz einbringen“, sagt Dr. Fatwa Abdi vom HZB-Institut für Solare Brennstoffe. Im Rahmen des UniSysCat-Exzellenznetzwerks mit Prof. Reinhard Schomäcker und Prof. Roel van de Krol untersuchte Abdis Gruppe, wie sich die Bilanz verändert, wenn ein Teil des produzierten Wasserstoffs im selben Reaktor (in situ) mit Itaconsäure (IA) zu Methylbernsteinsäure (MSA) weiterreagiert.

Energie-Rückgewinnungszeiten

Sie berechneten zunächst, wie viel Energie zur Herstellung der PEC-Zelle aus Lichtabsorbern, Katalysatormaterialien und anderen Materialien wie Glas benötigt wird und wie lange sie funktionieren muss, um diese Energie in Form von chemischer Energie als Wasserstoff oder MSA zu erzeugen. Für Wasserstoff allein beträgt diese „energetische Amortisationszeit“ etwa 17 Jahre, wenn man von einem bescheidenen Wirkungsgrad von 5% bei der Umwandlung von Sonnenenergie in Wasserstoff ausgeht. Wenn nur 2% des erzeugten Wasserstoffs für die Umwandlung von IA in MSA verwendet werden, halbiert sich die energetische Amortisationszeit, und wenn 30% des Wasserstoffs in MSA umgewandelt werden, kann die Produktionsenergie nach nur 2 Jahren wiedergewonnen werden. „Das macht das Verfahren viel nachhaltiger und wettbewerbsfähiger“, sagt Abdi. Ein Grund: Die für die Synthese von MSA in einer solchen PEC-Zelle benötigte Energie beträgt nur ein Siebtel des Energiebedarfs herkömmlicher MSA-Produktionsverfahren.

Ein flexibles System

„Das System ist flexibel und kann auch andere wertvolle Chemikalien herstellen, die derzeit am Standort benötigt werden“, erklärt Abdi. Der Vorteil ist, dass die festen Komponenten der PEC-Anlage, die den größten Teil der Investitionskosten ausmachen, gleichbleiben; lediglich der Hydrierkatalysator und das Einsatzmaterial müssen ausgetauscht werden. „Dieser Ansatz bietet eine Möglichkeit, die Produktionskosten für grünen Wasserstoff erheblich zu senken und erhöht die wirtschaftliche Machbarkeit der PEC-Technologie“, sagt Abdi. „Wir haben das Verfahren sorgfältig durchdacht, und der nächste Schritt besteht darin, im Labor zu testen, wie gut die gleichzeitige Herstellung von Wasserstoff und MSA in der Praxis funktioniert.“

<https://www.chemie.de/news/1179910/gruener-wasserstoff-wie-photoelektrochemische-zellen-wettbewerbsfaehig-werden-koennten.html>