

**Fraunhofer**

**UMSICHT**

Институт экологических технологий, безопасности и энергетики  
им. Фраунгофера (UMSICHT)

Резюме исследования циркулярной (циркулярной) экономики в  
отношении химической промышленности

Г.Оберхаузен, март 2017

Fraunhofer UMSICHT

По поручению Союза химической промышленности (VCI)

Северный Рейн-Вестфалия

### Краткий обзор (резюме проекта)

#### Постановка цели исследования:

Союз химической промышленности, Северный Рейн-Вестфалия, поручил Институту экологических технологий, безопасности и энергетики им. Фраунгофера (UMSICHT) провести исследование касательно циркулярной экономики (циркулярной экономики). В рамках исследования (с июня по декабрь 2016) были разработаны потенциальные возможности, а также пределы циркулярной экономики в отношении химической промышленности в Германии.

#### Порядок действий:

Работа основана на обширном поиске научной литературы. Существующее ноу-хау института так же было включено в презентацию. На основе собранной информации были выработаны ключевые вопросы, которые обсуждались в интервью экспертов с целью привлечения стороннего опыта в проект. Интервью использовались, в частности, для устранения выявленных пробелов в знаниях в литературе и для поддержки выводов экспертов по результатам исследования. Это обеспечило обоснованный список ограничений и потенциала циркулярной экономики.

#### Изображение 1:

##### Порядок действий в исследовании

##### Источники информации:

Анализ и оценка литературы,  
Интервью экспертов

Текущая ситуация, ограничения, противоречивые цели (компромиссы) и потенциал циркулярной экономики.

Наглядно и научно обоснованно.

#### Определение циркулярной экономики для этого исследования:

Принимая во внимание разработку концепции циркулярной экономики, Fraunhofer UMSICHT разработал и использовал следующее определение для этого исследования:

---

## Определение циркулярной экономики от Фраунгофера UMSICHT

»В циркулярной экономике используемые вещества остаются в круговороте веществ за пределами жизненного цикла товаров. Отходы, выбросы, диссипативные потери и, следовательно, и потребление сырья из окружающей среды должны быть максимально сокращены.

Важными элементами для реализации циркулярной экономики являются повторное и дальнейшее использование товаров, вторичная переработка материалов и сырья, а также конструирование товаров, которое обеспечивает цикл без потери качества. В то же время следует избегать накопления веществ, затрудняющих циркуляцию, и накопление загрязняющих веществ. Срок эксплуатации товаров должен быть как можно более длительным, а их возврат в цикл в конце срока использования должен быть максимально быстрым.

Дополнительным условием, которое существенно определяет качество циркулярной экономики, является минимально возможная потребность в энергии, которая в идеале покрывается за счет возобновляемых ресурсов – для поддержания циркуляции. Вещества, которые не могут быть переработаны, должны использоваться для получения энергии из отходов (энергетической утилизации).

Материалы, у которых нельзя избежать диссипативных потерь, должны быть разлагаемыми.

Концепция циркулярной экономики может применяться в равной степени к регионам, отраслям, предприятиям или отдельным товарам.»

---

### Рассматриваемые материальные потоки:

Чтобы наглядно представить потенциал и границы циркулярной экономики, были подробно изучены три материальных потока: шины, лопасти ветрогенератора, и ЖК-экраны.

### Пределы и потенциалы(возможности) для шин:

Шины представляют собой сложную комбинированную деталь, механический рециклинг которой затруднен из-за разнообразия и адгезии компонентов и, прежде всего, из-за необратимого сшивания резинового матричного материала. Поэтому для сегодняшней вторичной переработки отработанных шин характерно каскадное использование, при котором образуются многочисленные вторичные продукты, такие как эластичный асфальт, маты для защиты от падения, гранулы для искусственного газона и т.д.. С точки зрения валовой добавленной стоимости и показателей занятости вторичный рынок для продуктов на основе отработанных шин в настоящее время достигает примерно 1/6 первичного рынка.

Для увеличения циркулярности особенно целесообразны следующие два подхода:

1. Значительное увеличение «переработанного содержимого» («recycled content») за счёт использования вторичного сырья или каркасов (или других элементов шины) в производстве новых шин.

2. Интенсификация исследований и разработок в отношении новых концепций для восстановления протектора шины и девулканизации резины (включая разработку новых материалов для шин, которые могут быть обратимо сшиты), а также для удаления вредных веществ (н-р, полициклических ароматических углеводородов, тяжёлых металлов) из шин.

С другой стороны, увеличение степени вторичной переработки изделий с истекшим сроком службы (EoL) было бы нецелесообразным в случае такого материала, как резина, процесс производства которого не может быть просто изменен или повторен, но привело бы к «изобретению» новых вторичных применений.

Однако можно предположить, что многое из того, что можно сделать экономически выгодно с отработанными шинами и особенно с резиновой крошкой с сегодняшней точки зрения, уже происходит. В противном случае доля энергетической утилизации сокращалась бы значительно быстрее, чем в настоящее время.

Стр.3

### **Пределы и потенциал(возможности) для лопастей ветрогенератора:**

Лопаста для ветрогенераторов состоят в различных пропорциях из смолы, бальзового дерева, стекловолокна или углеродных волокон, жёсткого пенопласта, черных и цветных металлов и красок). Лопаста являются важными элементами стратегии энергоснабжения: они должны соответствовать высоким требованиям к материалам при небольшом весе и, следовательно, позволяют использовать роторы большого диаметра.

После окончания срока службы лопасти должны быть высококачественно утилизированы. Некоторые из старых установок в настоящее время полностью демонтируются, собираются и эксплуатируются в других местах. Этот «залог» будет более сложным в будущем из-за эффекта насыщения. Дополнительными ограничениями являются увеличивающиеся размеры установок и, следовательно, растущие затраты на логистику и принятие подходящих мест размещения. С точки зрения циркулярной экономики дальнейшая эксплуатация установок после временного периода 20 лет при соблюдении всех правил техники безопасности является возможным подходом, если не существует удовлетворительных путей переработки материалов и дальнейшая эксплуатация не препятствует достижению целей расширения Закона о возобновляемых источниках энергии.

В настоящее время лопасти со старых установок часто хранятся на складе, потому что нет подходящих высококачественных путей переработки. Использование измельченных лопастей (со всеми проблемами техники безопасности на производстве при измельчении) на цементном заводе является одним из способов использования энергосодержания лопастей и интеграции основных компонентов стекловолокна в цемент.

Высококачественная вторичная переработка лопастей, повторное использование идентичных стекловолокон в новых лопастях, в настоящее время технически неосуществима. Однако также отсутствуют области применения для повторного использования. Потенциальными возможностями применения могут быть

использование стекловолоконной муки в качестве замены первичного материала («стекловолокно - стекло») или использование «стекловолокно - наполнитель» в строительной химии и полимерной промышленности.

Однако исследования циркулярной конструкции, подходящих процессов вторичной переработки и альтернативных материалов для замены армированных стекловолокном пластиков лопастей должны быть продолжены. При этом следует обратить внимание на возможные конфликты целей в отношении выхода энергии при эксплуатации установки и возможности вторичной переработки. Необходимо обратить внимание на то, что в дальнейшем большие диаметры ротора должны быть реализуемы.

#### **Пределы и потенциал (возможности) ЖК-экранов:**

Мониторы с плоским экраном – это сложные продукты с высоким содержанием вторсырья, а также с некоторым содержанием загрязняющих веществ.

При первоначальной обработке устройств, конструкция которых во многом определяется необходимостью удаления загрязняющих веществ, образуется большое количество фракций, пригодных для высококачественной вторичной переработки, таких как железные и алюминиевые металлы или печатные платы.

Для пластиковой фракции вторичная переработка за счёт нагрузки антипиренами целесообразна только для частичного потока. Содержащиеся стратегически важные металлы, особенно индий в случае ЖК-экранов, в настоящее время не восстанавливаются из-за отсутствия структур для переработки и экономических стимулов. В дополнение к жидкокристаллическим экранам индий также используется в сплавах и припайках, фотоэлектрических модулях, а также в светоизлучающих и лазерных диодах, и поэтому является актуальным в качестве сырья для европейской промышленности, даже если в ЕС нет производственных площадок для ЖК-экранов компьютеров.

Также в отношении подготовки к повторному использованию имеются существенные препятствия, например, из-за повреждения при сборе или отсутствия запасных частей. Такие меры, как более пригодный для повторного использования дизайн продукта и улучшенная маркировка продукта (идентификация продуктов), могут устранить существующие препятствия и ещё больше развить круговую экономику для ЖК-экранов компьютеров.

Страница 4.

#### **Обзор и переносимость трёх материальных потоков:**

Три материальных потока были сравнены в следующей таблице.

Таблица 1: Рассматриваемые продукты/материальные потоки

<b>Показатель</b>	<b>Автомобильная шина</b>	<b>Лопастей ветрогенераторов</b>	<b>ЖК-экраны</b>
<b>Структура, состав</b>	Сложный композиционный материал	Достаточно простой композиционный материал	Сложный продукт, состоящий из множества различных

			компонентов и материалов
<b>Срок эксплуатации/ срок службы</b>	До 8 лет, определяется остаточной высотой рисунка протектора	Как правило, через 20 лет; в зависимости от конкретной установки 15-25 лет; определяется износом (усталостью) материала или мерами по повышению эффективности (переоснащение)	Прим. 6,6 лет (первичное и повторное использование); определяется модой и тенденциями
<b>Пункты сбора (места возникновения отходов) и логистика</b>	платный сбор в цехах и пунктах приёма вторсырья по всей Германии	Нерегулируемый, сильно колеблющийся во времени и пространстве; в местах расположения ветроэлектрических установок; в основном по всей Германии, в настоящее время акцент на север	Сбор общественными организациями по ликвидации отходов и торговле (юридически регламентируется Законом об электрическом и электронном оборудовании), (ElektroG-2015)
<b>Кол-во отходов в Германии в год</b>	568 000 т/г (2015)	В среднем 3000 т/г в период с 2012 по 2016	Прим. 17000 т/г, 3 млн. шт. (2013), оценка основана на данных (Sellin-2016) и (Elektrocycling-2015)
<b>Состояние циркуляции</b>	Каскадное использование и вторичное использование	Процесс переработки для отделения от композиционных материалов на стекловолокнистой основе не существует; энергетическая вторичная переработка на цементных заводах	Переработка драгоценных металлов, а также отдельных видов пластмасс; переработка критических металлов неэкономична (н-р, для индия)
<b>Потенциальные компромиссы (конфликты целей) (Trade-offs)</b>	Безопасность движения (безопасность транспортного средства), расход топлива, шумовое излучение	Дальнейшее использование; экспорт старых установок за рубеж; возможные потери производительности из-за других материалов лопасти.	Потребность производителей в конфиденциальности в отношении структуры и состава в условиях глобальной конкуренции;

			безопасность продукции
<b>Переносимость на другие материальные потоки</b>	Эластомерные изделия, такие как уплотнения, виброгасители; силиконовые изделия для кухни, эластичные и вспененные полиуретановые компоненты	Классические армированные стекловолокном полимеры (стеклопластик) – применение, такое, как лодки, навесы для автомобилей, автомобиль для жилья, инвентарь для игр, другие материалы армированные углеродным волокном, такие как стеклопластик в самолетостроении и автомобилестроении	Прочие электрические и электронные приборы и компоненты

Стр.5

#### **Возможные компромиссы (Trade-offs):**

При оптимизации всей системы необходимо учитывать все фазы жизненного цикла, так как оптимум отдельной фазы не обязательно должен быть общим оптимумом для продукта. При многих оптимизациях необходимо рассматривать компромиссы (конфликты целей), это означает, что взаимозависимости часто имеют противоположные эффекты по отношению к данной целевой системе: например, если одно свойство продукта оптимизировано, другое может ухудшиться одновременно.

Конкретными примерами конфликтов целей (Trade-offs) (см.таблицу 1) для шин, возможно, являются более высокий расход топлива, сниженные адгезионные свойства или повышенный уровень шума из-за использования более перерабатываемых материалов. В случае лопастей замена стеклопластика металлическими листами или древесиной может привести к снижению производительности в связи с более низкими выходами ветра установок на этапе использования (что имеет решающее значение для стратегии энергоснабжения). Хотя эти теоретически возможные материальные альтернативы могут быть переработаны в хорошо отлаженных процессах рециркуляции, основываясь на современных знаниях, они не будут достигать одинаковой длины лопастей при идентичных характеристиках материала.

В случае жидкокристаллических экранов, например, требования производителей к конфиденциальности, касающиеся структуры и состава в условиях глобальной конкуренции, препятствует потребностям в информации, которые необходимы для разработки, и, прежде всего, широкомасштабного внедрения инновационных процессов переработки.

Это относится, в частности, к созданию процессов переработки критических металлов, которые присутствуют только в небольших концентрациях в старых устройствах. Другой конфликт целей может быть в области безопасности продукции. Например, в некоторых компонентах необходимо использовать огнестойкие пластики. В зависимости от природы веществ, используемых для огнезащиты, это частично препятствует способности к вторичному использованию этих компонентов экрана. Использование других материалов должно быть тщательно проверено на экологичность и стоимость.

Поэтому при принятии решений о циркулярной экономике следует учитывать все фазы жизненного цикла, чтобы выявлять нежелательные конфликты целей (Trade-offs) и по возможности избегать их.

### **Пакет циркулярной экономики ЕС и циркулярная экономика:**

В исследовании описываются требования и разработки, которые могут возникнуть в результате использования пакета циркулярной экономики ЕС для циркулярной экономики. Они касаются производства и проектирования изделия, потребления, управления отходами, вторичного сырья, пластмасс и пластиковых отходов, критического сырья, строительных отходов и отходы от сноса зданий и сооружений (строительного мусора), биомасс и биопродуктов, а также инноваций и инвестиций.

Одним из следствий пакета циркулярной экономики может быть, например, то, что потребителю предоставляется информация об окружающей среде, связанная с продуктом, чтобы он мог принять это во внимание как при принятии решения о покупке, так и на этапе использования (например, ремонтпригодность, материалы вторичной переработки). Целью является создание долговечных, жизнеспособных и инновационных продуктов на рынке

Стр.6

### **Необходимость и аргументы в пользу циркулярной (циркулярной) экономики:**

Концепция циркулярной (циркулярной) экономики в этом исследовании классифицируется с учётом различных точек зрения. Если циркулярная экономика желательна в качестве долгосрочной цели, путь к ее реализации должен идти через конкурентоспособные промежуточные шаги, чтобы не ставить под угрозу эту цель.

В пользу циркулярной экономики могут говорить различные аргументы, такие как добавочная стоимость за счет вторичной переработки (Recycling), нехватка ресурсов, сокращение конкуренции и снижение выбросов, надёжность поставок и снижение структурных рисков при сырьевом обеспечении.

### **Системный взгляд и возможные противоречивые цели циркулярной(циркулярной) экономики:**

Системный взгляд на циркулярную экономику позволяет выявить основные противоречивые цели. В результате, семь пунктов можно суммировать как центральные проблемы для реализации циркулярной экономики.



---

## Центральные проблемы трансформации в циркулярную экономику

- 1) Ключевую роль в реализации циркулярной экономики играет разработка пригодных к вторичной переработке продуктов. Для их реализации необходимо, чтобы они были конкурентоспособны по отношению к неперерабатываемым продуктам. Конкурентоспособность при этом также должна учитывать эффективность и характеристики продуктов с точки зрения производства и использования.
  - 2) Должна быть увеличена циркулярная доля (материалы вторичной переработки, recycled content) в производстве товаров в виде отремонтированных или восстановленных продуктов, переработанных компонентов и переработанных материалов и сырья. В то же время, в качестве основного требования должны быть гарантированы безопасность продукта и экологические стандарты.
  - 3) В общем, должны быть приняты во внимание существующие процедуры обращения с продуктами и отходами. Технологии сортировки, разделения и технологии подготовки продукта к последующей переработке включая системы для логистики в течении всего жизненного цикла и идентификации материалов, должны развиваться дальше. Важную роль при этом играет тесная координация с разработкой продуктов, пригодных для вторичной переработки.
  - 4) Иногда очень большая разница во времени между потребностями в сырье и доступностью вторичного сырья и связанные с этим проблемы количества, качества и приёмкой, требуют новых методов прогнозирования и долгосрочной стратегии в отношении сырья.
  - 5) Материальные потери при диссипативных и экологически чистых применениях<sup>1</sup> должны быть уменьшены. Материалы, потери которых неизбежны или преднамерены, должны быть достаточно быстро разлагаемыми.
  - 6) Потребности в сырье, которые не могут быть охвачены циклом или которые необходимы для удовлетворения потребностей в энергии циркулярной экономики, должны добываться из возобновляемых источников (необходимо учитывать конкуренцию в области пищевого производства).
  - 7) Циркулярная (циркулярная) экономика и ее структура не должны противодействовать другим важным общественным целям, таким как преодоление последствий изменения климата, переход на альтернативные источники энергии или сокращение бедности.
- 

<sup>1</sup> Это, например, материалы, которые должны оставаться в окружающей среде, такие как горшки для растений или решетки для пола.

### Состояние перехода к циркулярной (циркулярной) экономике:

Рассмотрение состояния трансформации в круговую экономику опускает с небес на землю.

Исходя из общего объема использованного материала в 62 млрд. тонн, доля переработки составляе около 6,5% во всем мире и 13% в ЕС-27 (см. Изображение 2) (Haas-2015). Это также мера циркулярности мировой экономики или ЕС. Циркулярность в Германии по этой модели составляла около 17% в 2014 году (данные из DESTATIS-2016).

### **Изображение 2:**

Материальные потоки и циркулярная циркуляция в ЕС в 2005 году – все значения в миллиардах тонн, согласно данным (Haas-2015).

Перевод слов в схеме:

### **EU-27 – EC-27**

Nettoimport 1.2 – Чистый импорт 1.2

Inländische Rohstoffentnahme 5.5 – забор сырья внутри страны 5.5

Verarbeitete Materialien 7.7– перерабатываемые материалы 7.7

Energetische Nutzung 3.5 – использование в энергетических целях 3.5

stoffliche Nutzung 4.2 – материальное использование 4.2

Abraum 0.1 – вскрышная порода(вскрышные работы)

Kurzlebige Produkte 0.7 – недолговечные продукты 0.7

Lageraufbau 3.5 – увеличение остатков незавершённых и готовых изделий на складе 3.5

Abbruch 1.7 – разборка 1.7

EoL-Abfälle 2.4 – EoL- отходы с истёкшим сроком службы 2.4

Inländisch verarbeiteter Output 5.0 – переработанный внутри страны Output 5.0

Recycling 1.0 – вторичная переработка 1.0

Zirkularität 13% - циркулярность 13%

- Fossile Brennstoffe – ископаемые виды топлива
- Biomasse – биомасса
- Metalle –металлы
- Abraum – вскрышная порода
- Industrieminerale – промышленные минералы
- Baustoffe -строительные материалы

### **В ЕС только 13% материала перерабатывается:**

Можно сделать заключение, что в настоящее время циркулирует лишь небольшая часть всего переработанного материала. Ни мир, ни ЕС, ни Германия не находятся в непосредственной близости реализованной циркулярной экономики, если выбрать все используемые материалы в качестве базовой величины. Около 45% этих материалов сегодня используются в энергетических целях и поэтому не являются циркулярными.

Поэтому растущий отказ от ископаемых энергоносителей в энергосистеме в сочетании с более широким использованием возобновляемых источников энергии (например, на основе немецкой модели перехода на альтернативные источники энергии) помогло бы значительно увеличить циркулярность даже без рециркуляции материала. Для перехода к циркулярной экономике

вторичная переработка (Recycling) является дополнительным структурным элементом, если она может быть осуществлена экономически, экологически и конкурентоспособно. Однако вторичная переработка (Recycling) сама по себе не будет достаточной, потому что, во-первых, расход материалов на ископаемые энергоносители по-прежнему очень высок, а во-вторых, глобальные запасы сырья и материалов в отношении долговечных продуктов и зданий постоянно и быстро увеличиваются ( и этот материал может быть восстановлен (возвращён) с только задержкой по времени).

Доступ к запасам сырья и материалов (антропогенным запасам) возможен только в том случае, если, с одной стороны, в любое время имеется достаточная информация об используемом наборе материалов и количествах материала, а с другой стороны, существует пригодность к дальнейшему применению, модуляризации, модернизации компонентов, удобная для переработки конструкция и экономичная технология ресайклинга.

### Препятствия на пути реализации циркулярной экономики:

На Изображении 3 показаны технологические, экономические и экологические проблемы и ограничения для перехода от «линейной экономики» к циркулярной экономике. Технические проблемы заключаются, например, в проектировании изделия или диссипативных потерях.

Стр.8

Экологическими проблемами являются, например, конкретные потребности в энергии и сырье для переработки или критические выбросы. Экономическими проблемами являются, в том числе, цены на вторичное сырьё по сравнению с первичным сырьем и обращение с побочными продуктами.

Изображение 3:

Пределы и проблемы циркулярной экономики, собственная представление

	Пределы и проблемы циркулярной экономики			
	В технологическом плане	В экологическом плане	В экономическом плане	
Линейная экономика	Оптимизированный по производительности и миниатюризированный дизайн продукта	Повышение удельных энергетических и сырьевых потребностей	Очень высокая стоимость вторичного сырья	Циркулярная экономика
	Сшитые материалы	Критические вещества	Ценовая связь	
	Химические сплавы	Критические выбросы	Побочные продукты	

	Композиционные материалы			
	Перевод в удобное для переработки состояние и разделение		Отсутствие системы поощрений	
	Процессы старения и распада		Отсутствие прогнозируемости	
	Диссипативные потери			
	Produktperformance (производительность продукта)	Trade-offs	Возможность вторичной переработки	

### Инновационные процессы и инновационные импульсы

Циркулярная экономика требует инновационных процессов и инноваций, которые также обеспечат основу для новых бизнес-моделей. Для этого необходимы движущие силы или факторы, которые могут прийти из рыночной экономики и/или политической и стратегической области (см. Изображение 4).

Изображение 4:

Движущие силы для преобразования в круговую экономику, собственное представление

Политические и стратегические факторы		Факторы рыночной экономики
например, стратегии устойчивого развития, соглашения о защите климата, обезуглероживание (декарбонизация), сырьевые стратегии, стратегия энергоснабжения, немецкая программа ресурсоэффективности (ProgRess)	Циркулярная экономика	Н-р, металлы, стекло, бумага, частично пластмассы, текстиль (признанные системы)
		2016 Не отмечается факторов рыночной экономики, которые выходят за рамки устоявшихся систем

Изображение 5 подытоживает процесс преобразование в круговую экономику. Процесс обрамлен цифровизацией и интеллектуальными бизнес-моделями. Для реализации циркулярной экономики важно улучшить обмен и взаимодействие между участниками (идея инновационной платформы).

Кроме того, экспериментальные и демонстрационные установки, финансируемые за счет государственного или частно-государственного партнерства, важны для материальных потоков, которые (с экономической точки зрения) не подлежат вторичной переработке на сегодняшний день, для приобретения навыков и знаний. Исследовательские программы по разработке материалов и продуктов, а также критерии измерения циркулярности важны для измерения успеха и обеспечения обмена информацией между производством и переработкой. Сюда относится также маркировка всего жизненного цикла. Дизайн продукта может способствовать циркулярной экономике путём модуляризации компонентов продукта (замена, ремонтпригодность, восстановление). В конечном счёте, создание цифрового, временного и пространственного регистра контента товаров длительного пользования важно для реализации новых бизнес-моделей посредством цифровизации циркулярной экономики.

Изображение 5:

Меры по увеличению циркуляции в промышленно развитых странах  
Пояснения к схеме:

Zirkularität- Циркулярность

Digitalisierung – Цифровизация

Business Development- интеллектуальные бизнес-модели

Zeit- Время

- Пространственный и временной регистр материала (virtual feedstock)
- Экономичные установки для сложных продуктов
- Модуляризация компонентов продукта
- Маркировка материальной смеси в продуктах в течение всего жизненного цикла
- Разработка материалов для циркулярной экономики
- Опытно-экспериментальные установки для сложных продуктов
- Инновационная платформа для сырьевой промышленности и разработки продуктов

Циркулярная экономика как вариант будущего для Северного Рейн-Вестфалии (NRW)?

В заключение в исследовании анализируется, является ли циркулярная экономика будущим вариантом(опцией) для Северного Рейн-Вестфалии. В результате инновационная стратегия страны и план защиты климата могли бы привести к синергетическим, экономически целесообразным инновационным проектам. В результате Северный Рейн-Вестфалия мог бы сыграть новаторскую роль не только в Германии, но и в Европе в плане устойчивого развития.