

# Основы промышленной ЭКОЛОГИИ

Кузнецов Владимир Алексеевич,  
профессор  
кафедры «Зеленая химия для устойчивого  
развития» РХТУ имени Д.И. Менделеева

## Лекция 1

- 1. Введение.**
- 2. Техногенный кругооборот веществ.**

# Основная литература

Зайцев В.А., Промышленная экология: учебное пособие - М.; БИНОМ Лаборатория знаний, 2012 — 382с.

Зайцев В.А. Промышленная экология [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В. А. Зайцев – 2-е изд. (эл.) –Электрон. Текстовые данные ( 1 файл pdf – 385 с.). – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015  
<http://avidreaders.ru/read-book/promyshlennaya-ekologiya-uchebnoe-posobie.html>

# Дополнительная литература

Зайцев В.А., Крылова Н.А. Промышленная экология.-  
М.; РХТУ.2002 -175 с

Торочешников Н.С., Родионов А.И., Кельцев Н.В.,  
Клушин В.Н. Техника защиты окружающей  
среды. - М; Химия, 1981 - 368 с

Акинин Н.И. Промышленная экология: принципы, подходы,  
технические решения. Учебное пособие, 2-е издание.  
Издательство: ИД интеллект. 2011.

# По Гекелю

ЭКОЛОГИЯ – это наука об отношениях организмов с окружающей средой

В энциклопедическом словаре 1990 года -  
«наука об отношениях растительных и животных организмов и образуемых ими сообществ с между собой и с окружающей их средой»

# **ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**

**Понятие «промышленная экология» появилось в начале 80-х годов прошлого века, а уже в 1983 г. в МХТИ им. Д. И. Менделеева (переименован в РХТУ) была организована кафедра под таким названием и начал читаться специальный лекционный курс с тем же наименованием для студентов химиков-экологов.**

*Курс лекций был разработан*  
**профессором РХТУ им. Д.И. Менделеева  
Зайцевым Валентином Алексеевичем**

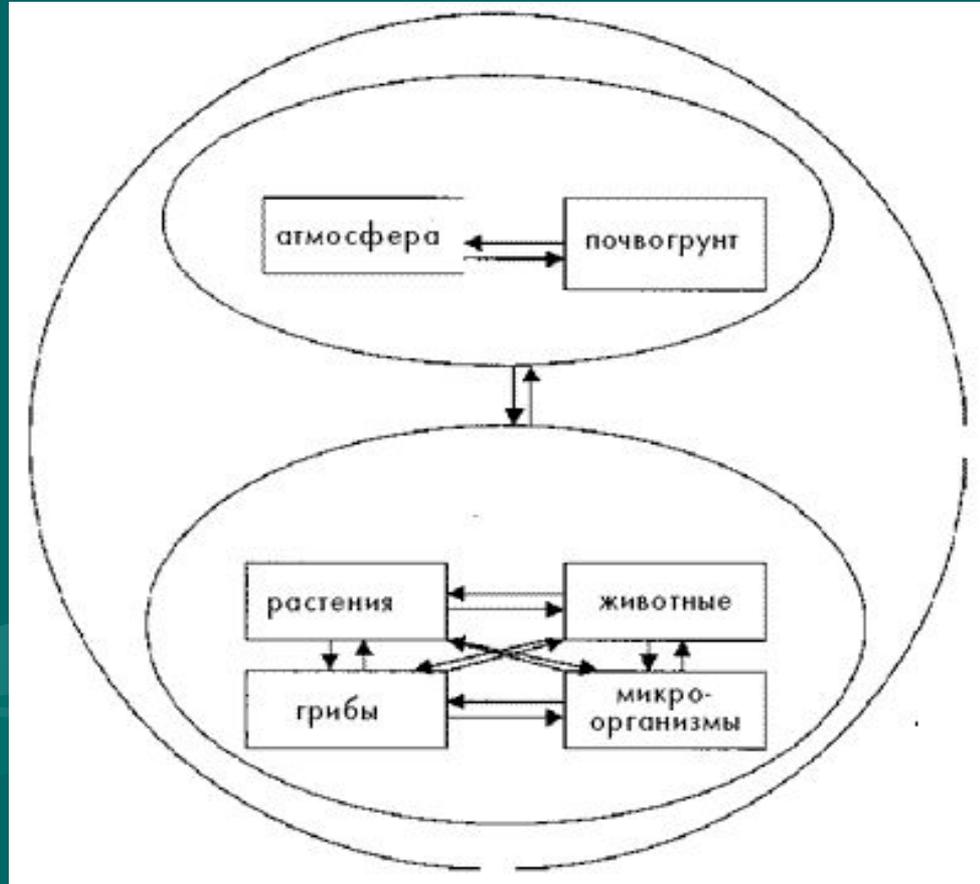
**Промышленная экология рассматривает (изучает) взаимосвязь (и взаимозависимость) материального, в первую очередь промышленного, производства, человека и других живых организмов со средой их обитания, т.е.**

**предметом изучения промышленной экологии являются эколого-экономические системы.**

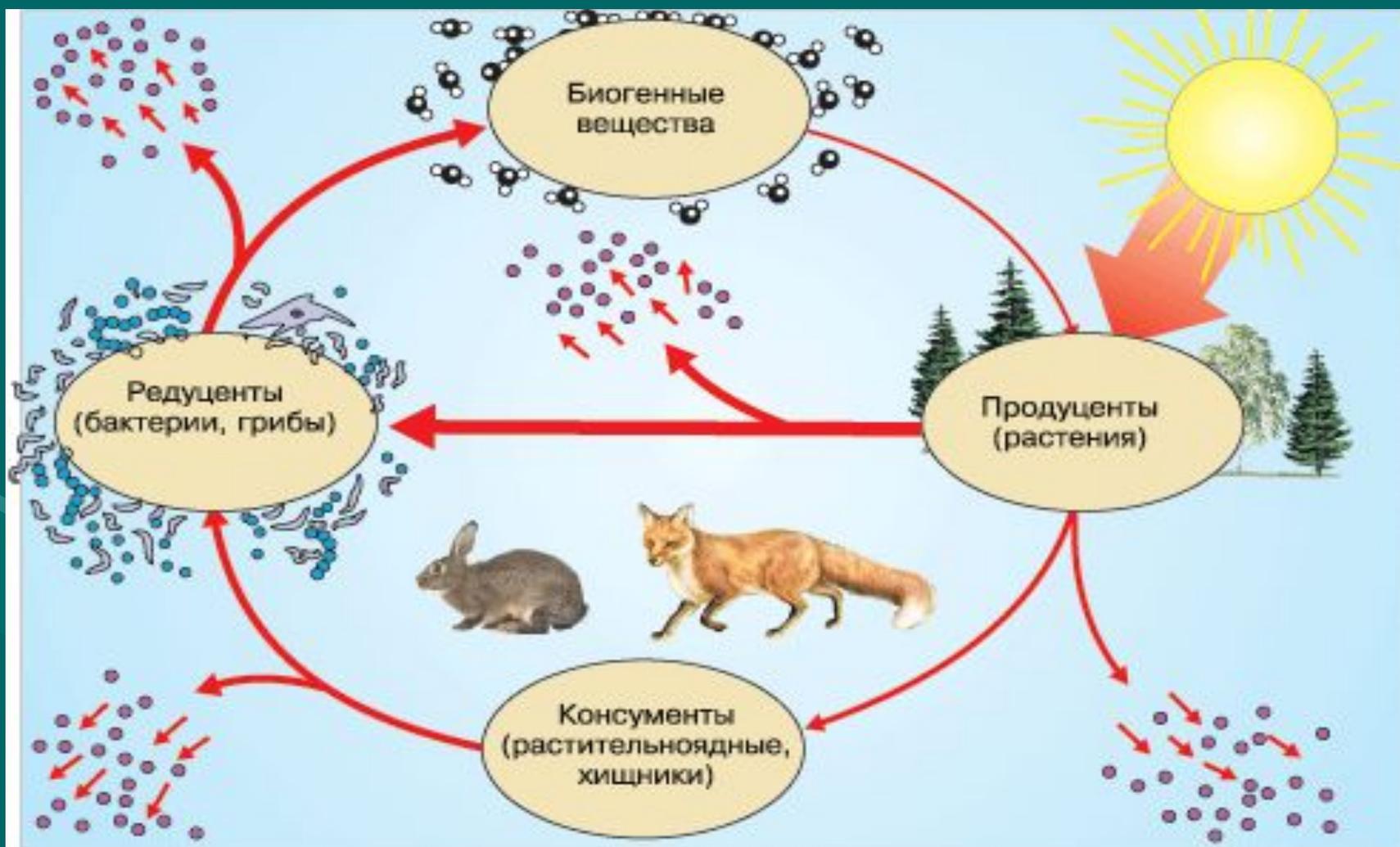
**«Промышленная экология является системно ориентированным подходом к объединению экономической деятельности людей и управлению материальным производством с фундаментальными биологическими, химическими и физическими глобальными системами».**

Жизнь на Земле не существует вне организмов,  
популяций, сообществ и экосистем.

## Экосистема



# Необходимые компоненты экосистем



# Большой геологический круговорот элементов

- Континентальное выветривание горных пород. Образование подвижных соединений.
- Перенос этих соединений в моря и океаны.
- Отложение на дне морей и океанов. Метаморфоз.
- Новый выход пород на дневную поверхность.

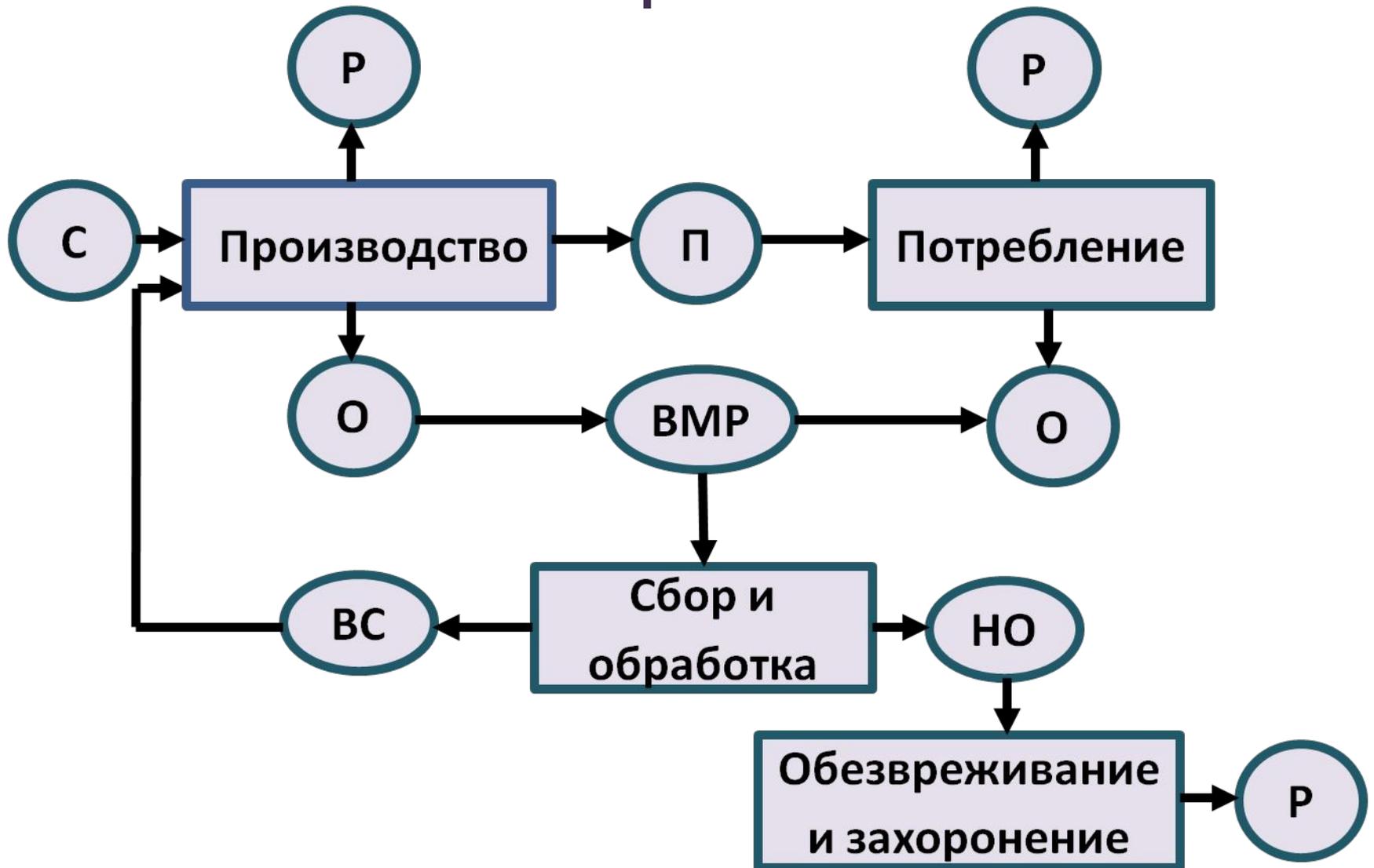
# Биологический (малый) круговорот

- Извлечение и поглощение растениями углерода и кислорода из атмосферы и азота, водорода, кислорода, кальция, фосфора и др. элементов.
- Построение растительных организмов.
- Разложение отмерших растительных организмов и освобождение заключенных в них элементов.
- Вовлечение элементов в новый круговорот.

# Сравнение малого и большого кругооборота

- Большой – вымывание элементов с поверхности.
- Малый удерживает биологически важные элементы и поднимает их на поверхность.
- Малый – не замкнут, часть элементов выходит, другие вовлекаются в него.
- По мере развития жизни на Земле масса элементов участвующих в малом круговороте возрастает.

# ТЕХНОГЕННЫЙ КРУГООБОРОТ ВЕЩЕСТВА



# Масштабы техногенного кругооборота

**Из 120 Гт ископаемых материалов и биомассы, мобилизуемых за год мировой экономикой, только 9 Гт (7,5 %) преобразуется в процессе производства в материальную продукцию.**

**Из этих 9 Гт, более 80 % возвращается в основные фонды производства.**

**Только 1,6 Гт составляют личное потребление людей, причем 2/3 этой массы относится к нетто-потреблению продуктов питания.**

**В природных экосистемах производство и разложение сбалансированы, в них нет отходов: отходы одних организмов служат средой обитания для других и таким образом осуществляется практически замкнутый кругооборот веществ в природе.**

**В природных экосистемах около 90% энергии расходуется на разложение и возвращение веществ в биогеохимический кругооборот.**

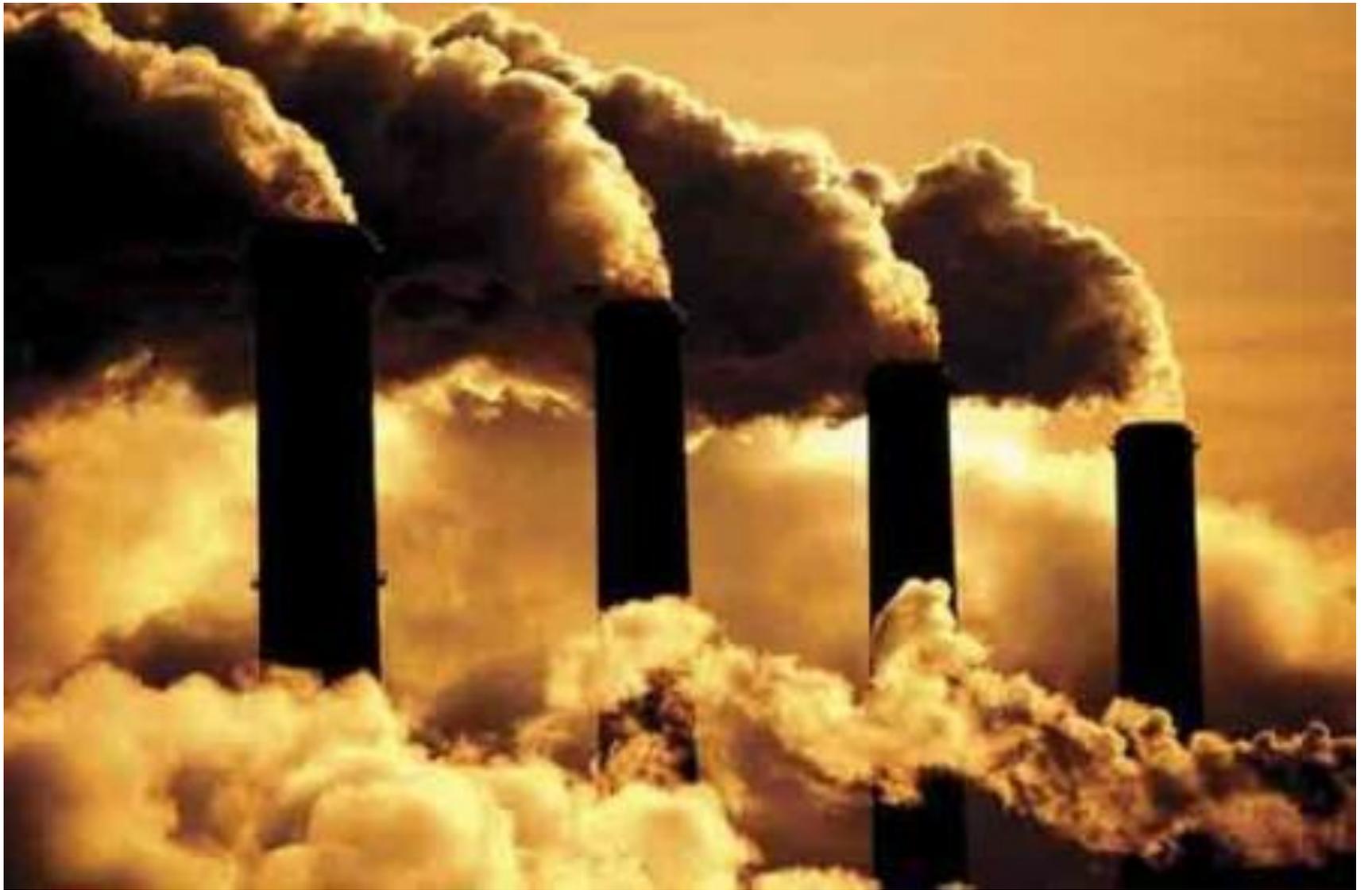
**В социально-экономических системах около 90% материальных ресурсов переходит в отходы, а основное количество энергии используется в производстве и потреблении.**

**Поэтому главной задачей промышленной экологии является нахождение путей для рационального использования природных ресурсов, предотвращения их исчерпания, деградации и загрязнения окружающей среды, а в конечном итоге - совмещение техногенного и биогеохимического кругооборотов веществ.**

A Soviet propaganda poster with a yellow background. The top half features a stylized illustration of a factory with several tall, red smokestacks. Thick, grey smoke billows from the stacks, filling the upper portion of the frame. The bottom half of the poster is a solid red block containing white text. The text is in a bold, sans-serif font, with the top line being larger than the bottom line.

**ДЫМ  
ТРУБ**

**ДЫХАНЬЕ  
СОВЕТСКОЙ РОССИИ**







# Возможные пути развития человечества

<b>Возможные направления развития человечества</b>	<b>Основополагающий принцип</b>	<b>Основной путь развития</b>
<b>Биоцентризм</b>	Человек для биосферы	Отказ от благ цивилизации. «Назад к природе»
<b>Антропоцентризм</b>	Биосфера для человека	Постоянный рост потребления ресурсов биосферы и удовлетворение постоянно растущих потребностей человечества за счет технического прогресса
<b>Устойчивое развитие</b>	Гармонизация отношений человека и биосферы	Удовлетворение потребностей человечества с учетом возможностей биосферы

# Кракая история охраны природы за 60 лет

Годы	Форма охраны природы	Важнейшие события	Парадигма, «лозунг времени»
1960-е	Отсутствие обеспокоенности о судьбе природы	Первые публикации, имевшие большой общественный резонанс	«Размыкающийся круг»
1970-е	Снижение уровня загрязнения окружающей среды («высокие трубы» и «тонкие фильтры»)	1-я Международная конференция по окружающей среде и развитию (Стокгольм, 1972)	1. Экология 2. Развитие
1980-е	Разработка технологических систем, снижающих воздействие на природу: технологии «замкнутого цикла» и безотходного производства	Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию «Наше общее будущее» (1987)	Экологическое развитие

Начало XXI  
века –н.вр.

Новый  
Глобальный  
курс на  
зеленую  
экономику.

Всемирный  
Экономический  
Форум 2009 г.

В основе  
зеленой  
экономики -  
чистые или  
«зеленые»  
технологии  
("cleantech" или  
greentech),

**БЕЗОТХОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ –  
СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ  
ЭКОЛОГИИ И ОСНОВА ПРОИЗВОДСТВ  
ПРИ УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ**

# Время исчерпания мировых запасов важнейших металлов при различных сценариях

Металлы	Мировые запасы, млн. т	Средне-годовой прирост потребления, %	Индекс исчерпания ресурсов, годы			
			При совр. сырьев. базе	При 10-кратн. увелич. запасов	С учетом 50% рецикл.	С учетом 95-98% рецикл.
<b>Железо</b>	<b>100000</b>	<b>1,3</b>	<b>109</b>	<b>267</b>	<b>319</b>	<b>598</b>
<b>Алюминий (из бокситов)</b>	<b>1 170</b>	<b>5,1</b>	<b>35</b>	<b>77</b>	<b>91</b>	<b>135</b>
<b>Медь</b>	<b>308</b>	<b>3,4</b>	<b>24</b>	<b>76</b>	<b>95</b>	<b>170</b>
<b>Молибден</b>	<b>5,4</b>	<b>4,0</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>104</b>	<b>165</b>
<b>Хром</b>	<b>775</b>	<b>2,0</b>	<b>112</b>	<b>222</b>	<b>256</b>	<b>416</b>
<b>Титан</b>	<b>147</b>	<b>2,7</b>	<b>51</b>	<b>127</b>	<b>152</b>	<b>255</b>

# ТЕХНОЛОГИЯ

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Слово «технология» греческого происхождения и имеет дословный перевод «наука о ремесле». С современной точки зрения мы можем определить *технологию как науку о способах массового производства продукта.*

**Понятие «технология» имеет несколько значений.**

**1) *Технология* – преобразующая, творческая, продуктивная деятельность человека, направленная на создание культуры как второй природы, а не только связанная с материальным производством (Е.А.Лутцева).**

**2) *Технология* - совокупность производственных методов и процессов в определённой отрасли производства, а также научное описание способов производства (Ожигов).**

**3) *Технология* - (от греч . *techne* - искусство, мастерство, умение ), совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе производства продукции;  
научная дисциплина, изучающая физические, химические, механические и др. закономерности, действующие в технологических процессах.**

**Технологией называют также сами операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса (БСЭ).**

# Технологии бывают механические и химические

## Механическая технология

изучает процессы, связанные с изменением формы и физических свойств перерабатываемого сырья главным образом, путем механических операций.

Например, изготовление изделий из древесины – деревообрабатывающие технологии, изготовление изделий из металла – машиностроение и т.д.

## Химическая технология

изучает процессы, связанные с изменением состава и химических свойств перерабатываемого сырья за счет протекания химических реакций.

# ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

## неорганические

- 1) основной неорганический синтез – производство кислот щелочей, солей и минеральных удобрений;
- 2) тонкий неорганический синтез – производство препаратов, реактивов, лекарственных препаратов, редких металлов и т.д.;
- 3) металлургия – производство черных и цветных металлов;
- 4) силикатные производства – производство вяжущих веществ, керамики и стекла;
- 5) ядерно-химическая технология.

## Органические

- 1) основной органический синтез;
- 2) тонкий органический синтез;
- 3) переработка нефти и газов;
- 4) нефтехимический синтез;
- 5) переработка растительного и животного сырья;
- 6) высокомолекулярные технологии –  
производство синтетического каучука, пластмасс, химических волокон и других высокомолекулярных соединений;
- 7) биотехнологии –  
производство кормовых дрожжей, аминокислот, ферментов, антибиотиков и т.д.

# Разработка любой химической технологии опирается на знания трёх общеинженерных дисциплин

общую химическую технологию (ОХТ)	процессы и аппараты химической технологии (ПАХТ)	промышленную теплотехнику (ПТ)
<p>Наука, изучающая теоретические основы разработки технологий для различных классов химических реакций.</p>	<p>Наука о принципах организации и расчета химико-технологических процессов, а также проектирования технологической аппаратуры.</p>	<p>Общетехническая дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования <u>теплоты</u>, а также принцип действия и конструктивные особенности тепло- и <u>парогенераторов</u>, а также принцип действия</p>

# *Основные понятия химической технологии*

*1. Химическое производство – совокупность процессов и операций, осуществляемых в машинах и аппаратах и предназначенных для переработки сырья путем химических превращений в необходимый продукт.*

# Основные понятия химической технологии

**Природные ресурсы** – часть всей совокупности природных условий существования человечества и компоненты окружающей его среды, используемые в процессе общественного производства для удовлетворения материальных и культурных потребностей общества.

Природные ресурсы включают в себя совокупность минеральных ресурсов недр и мирового океана, почву, воду, воздух, растительный и животный мир.

# **Основные понятия химической технологии**

**Первичные минеральные ресурсы (ПМР)** - часть природных минеральных ресурсов, являющихся исходным сырьем процессов переработки полезных ископаемых для производства (выделения) полезных компонентов , представляющих ценность для промышленности.

**Вторичные минеральные ресурсы (ВМР)** – минеральное сырьё, содержащееся в отходах производства или потребления , переработка которого технологически возможна и экономически целесообразна для получения конечной продукции, эквивалентной по своим свойствам продукции из первичного минерального сырья.

Вторичное сырьё – отходы производства или потребления, заменяющие первичное сырьё и применяемые для производства основной или дополнительной продукции.

# **Основные понятия химической технологии**

**Ценные компоненты сырья** – составляющие сырьё компоненты, извлечение которых возможно и экономически целесообразно при современном уровне техники.

**Попутные компоненты** – компоненты первичного и вторичного минерального сырья, не являющиеся ведущими при типизации сырья, извлечение или вовлечение в химический передел которых возможно и экономически целесообразно при современном уровне техники.

## Основные понятия химической технологии

**Сырье** - исходный материал, поступающий на переработку и обладающий стоимостью.

**Реагент** - вещество, принимающее непосредственное участие в целевой химической реакции, называется .

Реагент – это главный, но не единственный компонент сырья.

**Примеси** - все компоненты сырья, которые не участвуют в целевой реакции.

# Основные понятия химической технологии

**Целевой продукт** – продукт, ради которого организован данный ХТП.

Если целевой продукт используется в качестве исходного материала в другом производстве, то он называется **полупродуктом**.

**Побочные продукты** - все остальные продукты образующиеся в данном ХТП .

Побочные продукты могут получаться как в целевой, так и в побочных реакциях.

Если побочный продукт используется, то его называют **вторичным сырьем**

Если побочный продукт не находит применения, его называют **отходом**.

**Химико-технологический процесс состоит из трех последовательно осуществляющихся элементарных стадий:**

**1 -подвод реагирующих компонентов в зону реакции;**

**2 - химические реакции;**

**3 - отвод полученных продуктов из зоны реакции.**

**Подвод** реагирующих компонентов в зону реакции совершается путем молекулярной диффузии или конвекции.

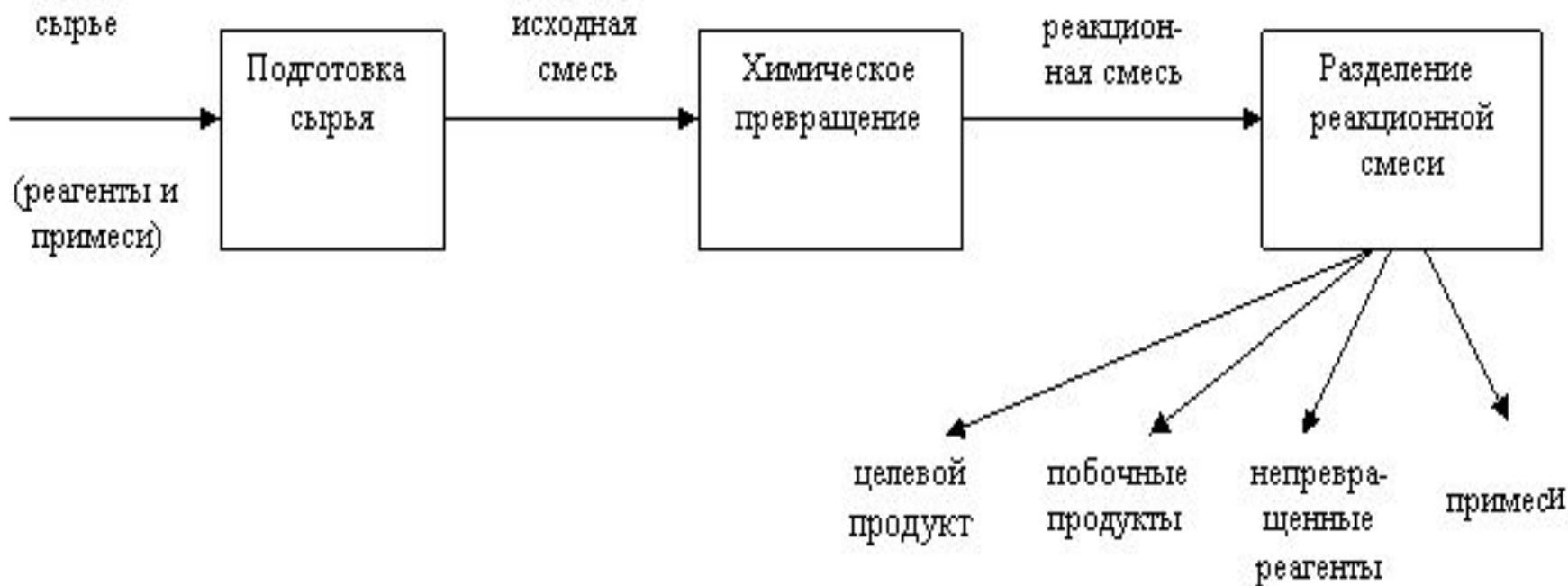
При интенсивном перемешивании компонентов конвективный процесс называют **турбулентной диффузией**.

**Отвод** полученных продуктов из зоны реакции может производиться так же, как и подвод реагирующих компонентов, т.е. **диффузией или конвекцией**

Процессы, в которых совершается переход вещества из одной фазы в другую через поверхность раздела фаз, называются *массопередачей*.

# Основные понятия химической технологии

## 2. Химико-технологический процесс (ХТП) – часть химического производства, состоящая из трех основных стадий:



## **Классификация ХТП по характеру протекания**

**2) периодические процессы** – протекают в три стадии: загрузка сырья и вспомогательных материалов, протекание технологического процесса и выгрузка полупродукта или готового продукта.

Например, большинство пищевых технологических процессов (выпечка хлеба, кондитерские производства и т. д.),

периодические биотехнологические процессы (производство ферментов, биоженьшеня, грибов-вешенки и т.д.),  
варка стали в мартеновских печах;

## **Классификация ХТП по характеру протекания**

**1) непрерывные процессы** – в систему непрерывно подаются исходные компоненты и непрерывно удаляются готовые продукты.

Например, процессы крекинга нефти, непрерывные процессы микробиологического синтеза, доменные процессы выплавки чугуна.

Указанные технологические процессы могут длиться от запуска до остановки на ремонт;

## **Классификация ХТП по характеру протекания**

**3) комбинированные** – производственный процесс протекает с использованием периодических и непрерывных стадий.

Например, биологическая очистка сточных вод является непрерывным процессом, но удаление накопившегося активного ила осуществляется периодически;

получение чугуна путем варки стали из природных железных руд осуществляется в непрерывном режиме, а варка стали в конверторах осуществляется периодически.

# Классификация по характеру циклов ХТП

1) **процессы с разомкнутой или открытой схемой** – большинство технологических процессов, в которых водные и воздушные потоки после использования выбрасываются в окружающую среду;

2) **процессы с замкнутой схемой** – в которых осуществляется циркуляция водных и воздушных потоков, а также используются и твердые отходы собственного производства;

3) **процессы со смешанной схемой** – циркуляция потоков осуществляется на отдельных стадиях технологического цикла.

# Процессы с замкнутым циклом,

Эти процессы являются основой мало- и безотходных промышленных предприятий, так как их осуществление исключает выбросы вредных веществ в окружающую среду, а все виды отходов вновь используются в технологическом цикле в виде вторичного сырья или вторичных ресурсов.

# *Основные характеристики химико-технологического процесса*

## *Конверсия (степень превращения)*

$$\alpha = \frac{N_{\text{прев.}}}{N_{\text{под.}}} = \frac{N_{\text{под.}} - N_{\text{непревр.}}}{N_{\text{под.}}}$$

где  $N_{\text{под.}}$ ,  $N_{\text{прев.}}$ ,  $N_{\text{непревр.}}$  – соответственно количество поданного, превращенного и непревращенного реагента. Эти величины можно задавать в единицах количества вещества (моль, кмоль) или в единицах массы (г, кг и др.). Степень превращения выражают в долях или в процентах; в последнем случае выражение (1) для расчета  $\alpha$  умножают на 100.

Часто, особенно в непрерывных процессах, конверсию рассчитывают через концентрацию реагента в исходной и реакционной смеси:

$$\alpha = \frac{C_0 - C}{C_0} 100\%$$

где  $C_0$  – концентрация реагента в исходной смеси,  $C$  – концентрация реагента в реакционной смеси. Выражение справедливо лишь в том случае, когда реакция протекает без изменения объема реакционной смеси.

# Селективность (избирательность, избирательная конверсия)

$$S = \frac{N_{\text{прев. в цел. прод.}}}{N_{\text{общ. прев.}}}$$

$N_{\text{прев. в целев. прод}}$  - количество реагента, пошедшее на образование целевого продукта;

$N_{\text{общ. прев.}}$  – общее количество превращенного реагента.

## **Селективность (избирательность, избирательная конверсия)**

Эти величины можно задавать в единицах количества вещества (моль, кмоль) или в единицах массы (г, кг и др.).

Полную селективность выражают в долях или процентах; в последнем случае выражение для  $S$  умножают на 100.

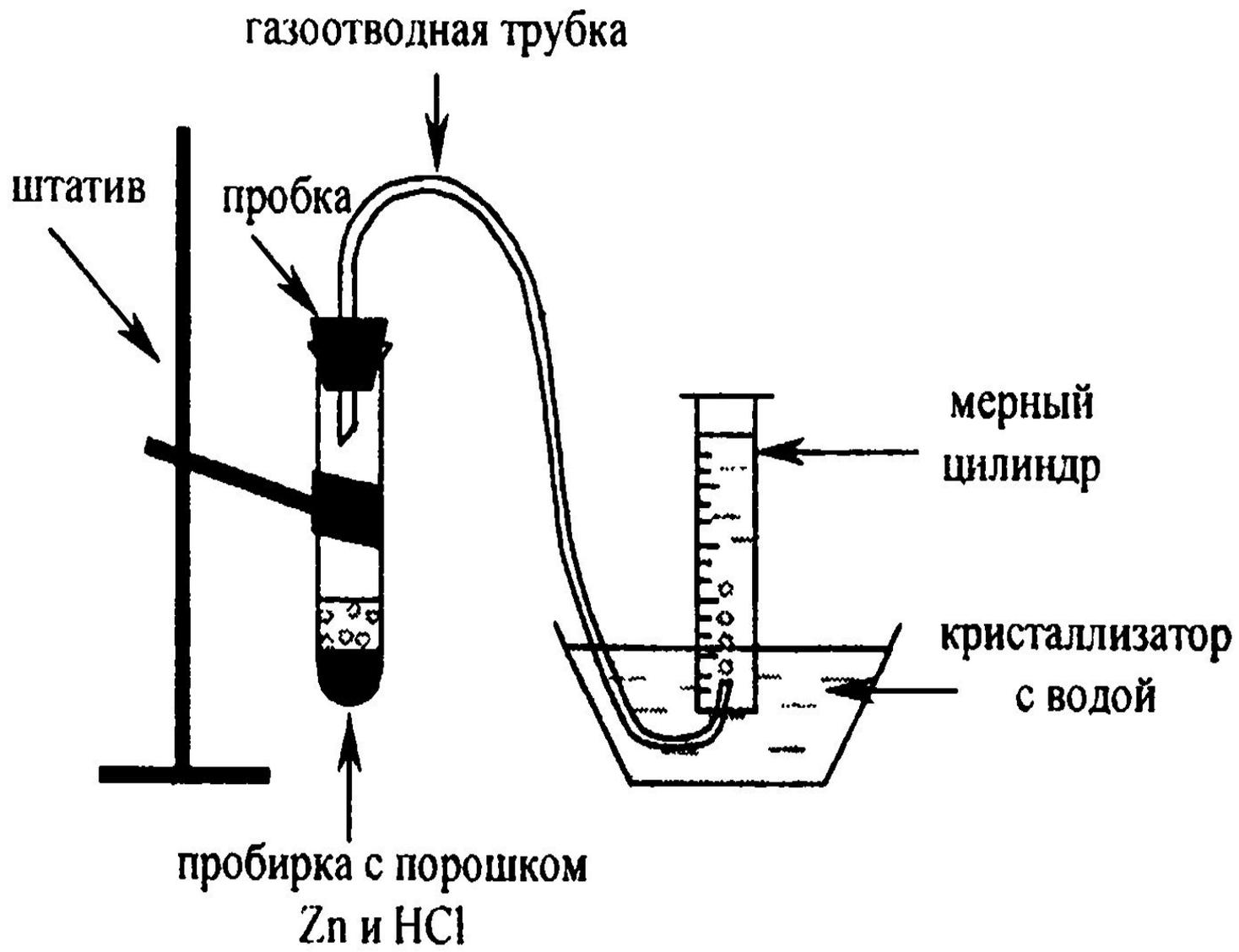
# Выход продукта

Это отношение практически полученной массы или объема **продукта** к теоретически возможной массе или объему (в %):

Максимальная масса (объем) **продукта**, которая может быть получена из данного сырья, рассчитывается по уравнению реакции, при этом учитывается содержание в сырье реагента, подлежащего превращению.

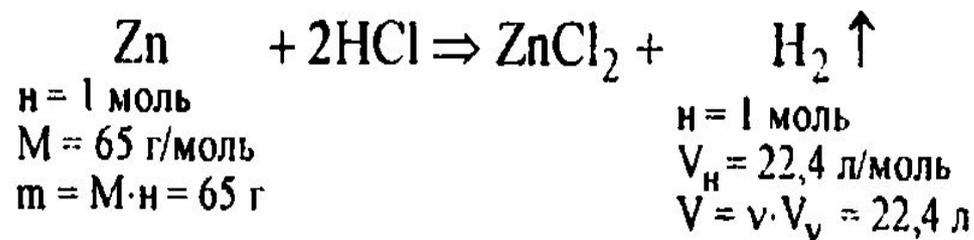
## *Объёмная доля выхода продукта*

$$\eta = \frac{V_{\text{практический продукта}}}{V_{\text{теоретический продукта}}} \times 100 \%$$



В пробирке начинается выделение водорода, который по трубке поступает в мерный цилиндр и вытесняет из него воду. Объем вытесненной воды равен объему полученного водорода ( $V_{H_2(\text{практ.})}$ ).

Для того, чтобы узнать  $V_{H_2(\text{практ.})}$ , запишем реакцию взаимодействия Zn и HCl.



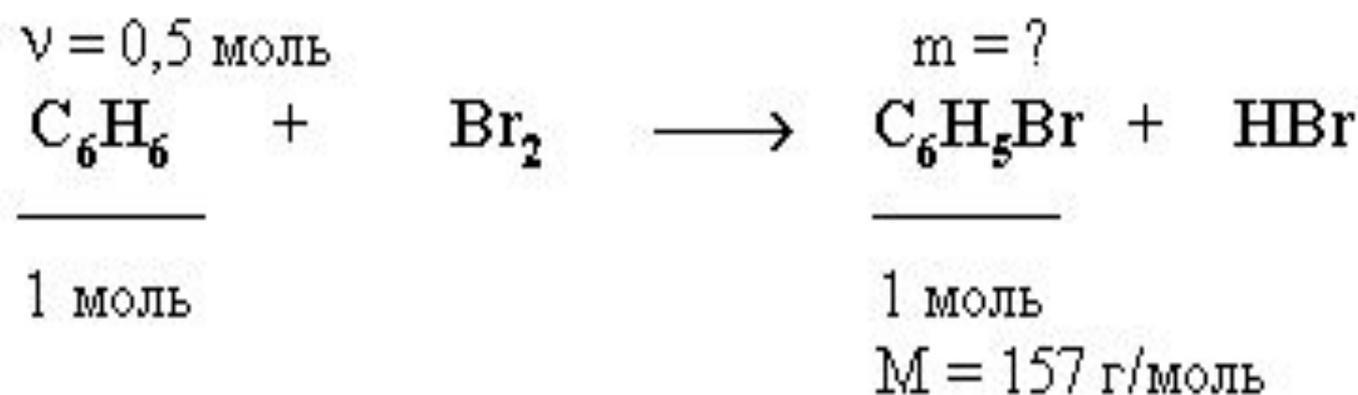
Предварительно взвесив цинк, рассчитаем теоретически объем водорода.

$$V_{H_2(\text{теор.})} = m_{Zn} \cdot \frac{V}{m} = m_{Zn} \frac{22,4}{65} = 0,345 m_{Zn};$$

тогда выход водорода можно получить по формуле:

$$W = \frac{V_{H_2(\text{практ.})}}{V_{H_2(\text{теор.})}} \cdot 100 \% = \frac{V_{H_2(\text{практ.})}}{0,345 m_{Zn}} \cdot 100 \% = 2,9 \cdot \frac{V_{H_2(\text{практ.})}}{m_{Zn}} 100 \%$$

**Краткие условия:**



**Решение**

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,5 \text{ моль}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})_{\text{теор}} = \nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) =$$

$$= 0,5 \text{ моль} \cdot 157 \text{ г/моль} = 78,5 \text{ г}$$

$$\omega(\text{выхода } \text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})_{\text{практ}}}{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})_{\text{теор}}} = \frac{70 \text{ г}}{78,5 \text{ г}} = 0,89 \text{ (89\%)}$$

**Ответ:**  $\omega(\text{выхода } \text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 0,89 \text{ (89\%)}$

# БЕЗОТХОДНОЕ ИЛИ ЧИСТОЕ ПРОИЗВОДСТВО

«Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду.»

«Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использования отходов», 1979 г.

# БЕЗОТХОДНОЕ ИЛИ ЧИСТОЕ ПРОИЗВОДСТВО

«Безотходная технология – это такой способ производства продукции (процесс, предприятие, территориально-производственный комплекс), при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле сырьевые ресурсы-производство-потребление-вторичные сырьевые ресурсы таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования»

ЕЭК ООН, 1984 г.

# БЕЗОТХОДНОЕ ИЛИ ЧИСТОЕ ПРОИЗВОДСТВО

«Чистая технология – это метод производства продукции при наиболее рациональном использовании сырья и энергии, который позволяет одновременно снизить объем вырабатываемых в окружающую среду загрязняющих веществ и количество отходов, получаемых при производстве и эксплуатации изготовленных продуктов.»

ЕЭК ООН



При создании безотходных производств приходится решать ряд сложнейших организационных, технических, технологических, экономических, психологических и других задач.

Для разработки и внедрения безотходных производств можно выделить ряд взаимосвязанных принципов.

# ***Принцип системности***

*Каждый отдельный процесс или производство рассматривается как элемент динамичной системы — всего промышленного производства в регионе (ТПК), как элемент эколого-экономической системы в целом, включающей кроме материального производства и другой хозяйственно-экономической деятельности человека, природную среду (популяции живых организмов, атмосферу, гидросферу, литосферу, биогеоценозы, ландшафты), а также человека и среду его обитания. Таким образом, принцип системности, лежащий в основе создания безотходных производств, должен учитывать существующую и усиливающуюся взаимосвязь и взаимозависимость производственных, социальных и природных процессов.*

# ***Комплексность использования ресурсов***

Этот принцип требует максимального использования всех компонентов сырья и потенциала энергоресурсов.

Как известно, практически все сырье является комплексным, и в среднем более трети его количества составляют сопутствующие элементы, которые могут быть извлечены только при комплексной его переработке.

# Цикличность материальных потоков

К простейшим примерам циклических материальных потоков можно отнести замкнутые водо- и газооборотные циклы.

В конечном итоге последовательное применение этого принципа должно привести к формированию сначала в отдельных регионах, а впоследствии и во всей техносфере сознательно организованного и регулируемого техногенного круговорота вещества и связанных с ним превращений энергии.

В качестве эффективных путей формирования циклических материальных потоков и рационального использования энергии можно указать на комбинирование и кооперацию производств, создание ТПК, а также разработку и выпуск новых видов продукции с учетом требований повторного ее использования.

# **Ограничения воздействия производства на окружающую природную и социальную среду**

Этот принцип в первую очередь связан с сохранением таких природных и социальных ресурсов, как атмосферный воздух, вода, поверхность земли, рекреационные ресурсы, здоровье населения.

Следует подчеркнуть, что реализация этого принципа осуществима лишь в сочетании с эффективным мониторингом, развитым экологическим нормированием и многозвенным управлением природопользованием.

# Рациональность организации производства

Определяющими здесь являются требование разумного использования всех компонентов сырья, максимального уменьшения энерго-, материало- и трудоемкости производства и поиск новых экологически обоснованных сырьевых и энергетических технологий, с чем во многом связано снижение отрицательного воздействия на окружающую среду и нанесение ей ущерба, включая смежные отрасли народного хозяйства.

Конечной целью в данном случае следует считать оптимизацию производства одновременно по энерготехнологическим, экономическим и экологическим параметрам.