



Задача №8: «Не тормози!»  
Команда: «Карбораны»

# Условие задачи:

Считается, что автотранспорт вредит экологии в основном за счет выхлопных газов. Но у современного автомобиля есть несколько деталей, постоянный износ которых также может приводить к выделению **опасных веществ**.

Предположите, какие **вредные соединения** могут **накапливаться** в **окружающей среде** в результате износа тормозных колодок. Опишите **химические процессы**, которые приводят к образованию этих веществ.

**Цель:** предложить химические процессы, происходящие при износе тормозных колодок.

**Задачи:**

1. Предположить, какие опасные соединения могут **накапливаться** в **окружающей среде** в результате износа тормозных колодок.
2. Описать химические процессы, которые приводят к образованию этих веществ.

Понятие «вредное соединение»

**«Что русскому хорошо,  
то немцу – смерть!»**

# Ограничения

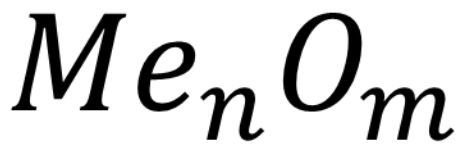
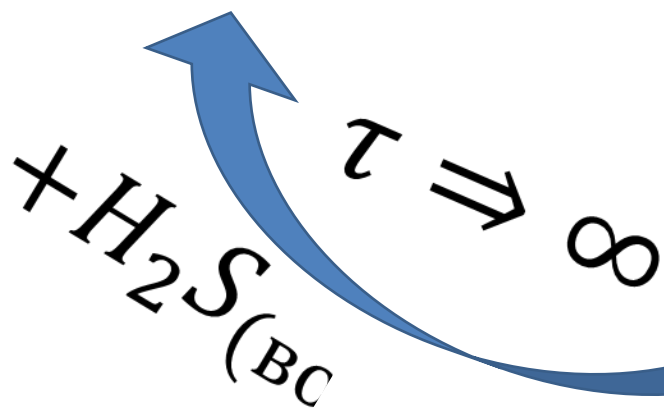
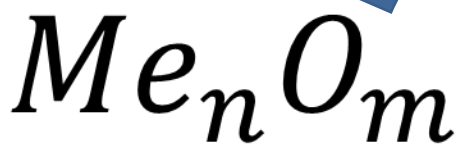
1. Примем «Вредные соединения» – опасные для человека.
2. Вредные соединения ~ класс опасности  
(класс опасности  $\leq 3$ )
3. Современные колодки – колодки сделанные не позднее 2000-го года.

# первое решение

(**термодинамический** аспект)

Восстановление

Обжиг



Износ

# Вывод по первому решению:

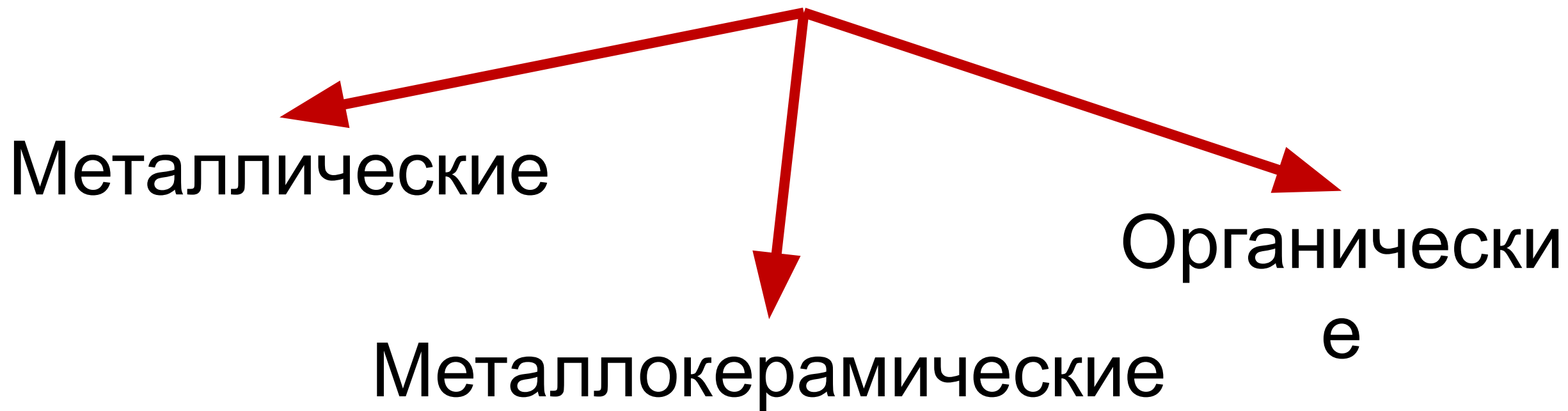
**Вредные соединения  
накапливаться не могут!**

при  $\tau \Rightarrow \infty \Rightarrow$  рассеивание по поверхности Земли

Процессы: сумма всех стадий от добычи  
руды до образования того же соединения  
при  $\tau \Rightarrow \infty$  будет равна 0.

второе решение  
(**кинетический** аспект)

**Тормозные колодки**





[2]

# Органические

Объект	Вещественный состав	Элементный состав
Связующие компоненты		
Вулканизирующий компонент		
Основные добавки		
волокнистый наполнитель - базальтовое волокно		
Вид порошкового наполнителя		

[10]

# Металлические

Объект	Вещественный состав	Элементный состав
Абразив		
Модификатор трения		
Регулятор трения		
Наполнитель		
Связующий элемент – сплавы металлов		

[11]

# Металлокерамическ

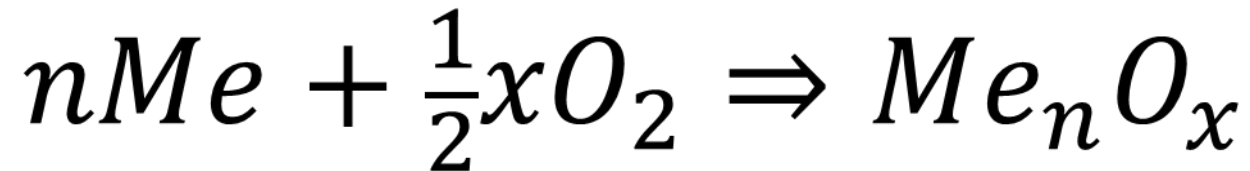
ие

Объект	Вещественный состав	Элементный состав
Абразив		
Модификатор трения		
Регулятор трения		
волокнистый наполнитель – базальтовое и керамическое волокно		
Связующий элемент		11

# Химические процессы

Окисление кислородом воздуха:

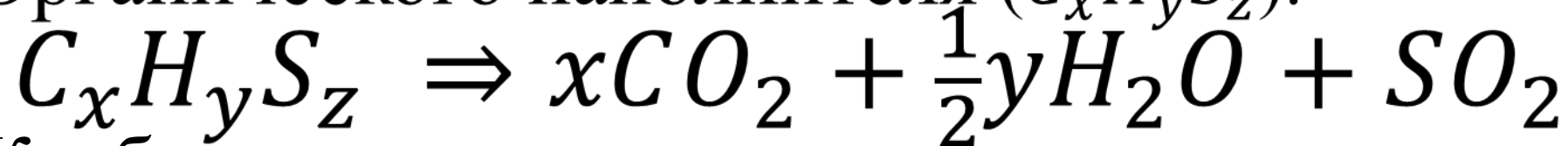
Металлов (  $Me = Cu, Zn$  ):



Неметаллов (  $C$  ):



Органического наполнителя ( $C_xH_yS_z$ ):

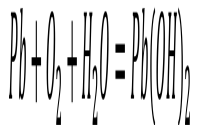
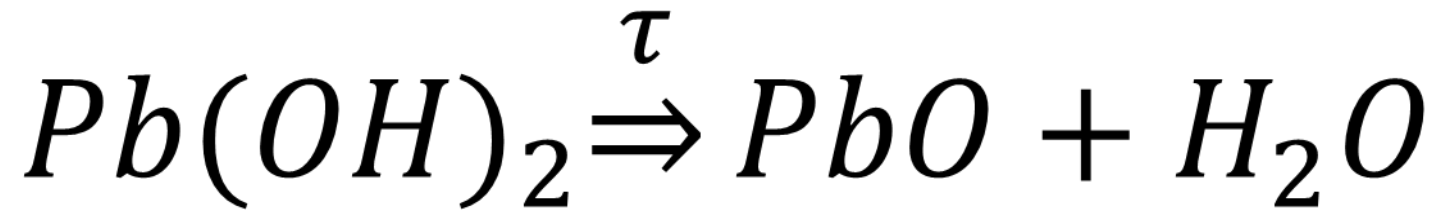
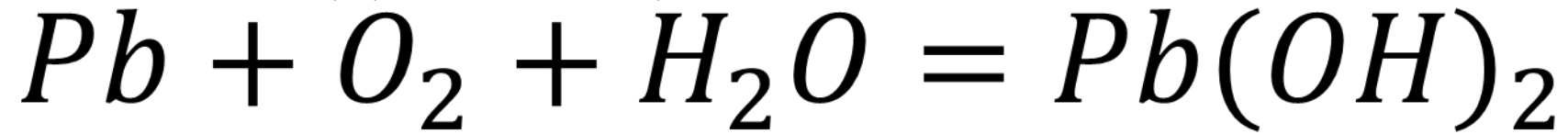


Карбониллов:

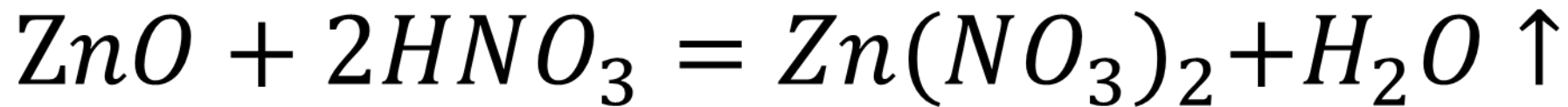
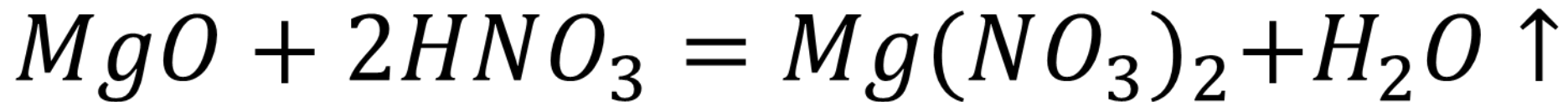
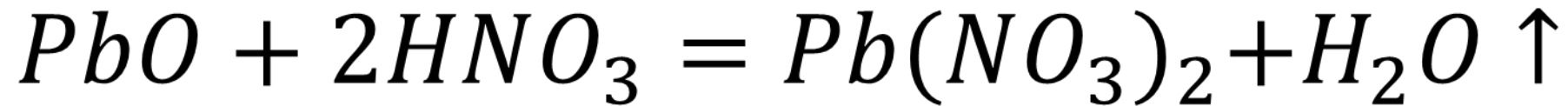
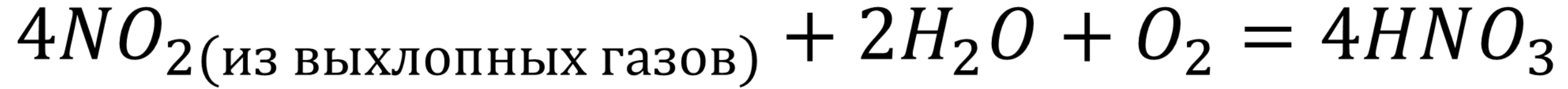


# Химические процессы

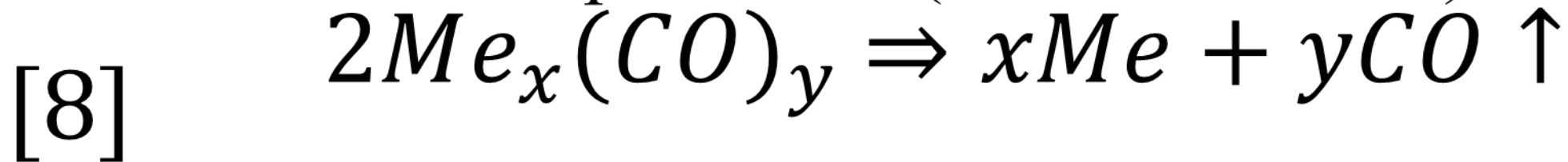
Получение оксида свинца:



# Химические процессы



Разложение карбониллов (  $Me = Fe, Ni, Co$  ):



# Вредные вещества

Тип колодок	Вредные вещества
Органические	
Металлические	
Металлокерамические	

[7][9]

# Вывод:

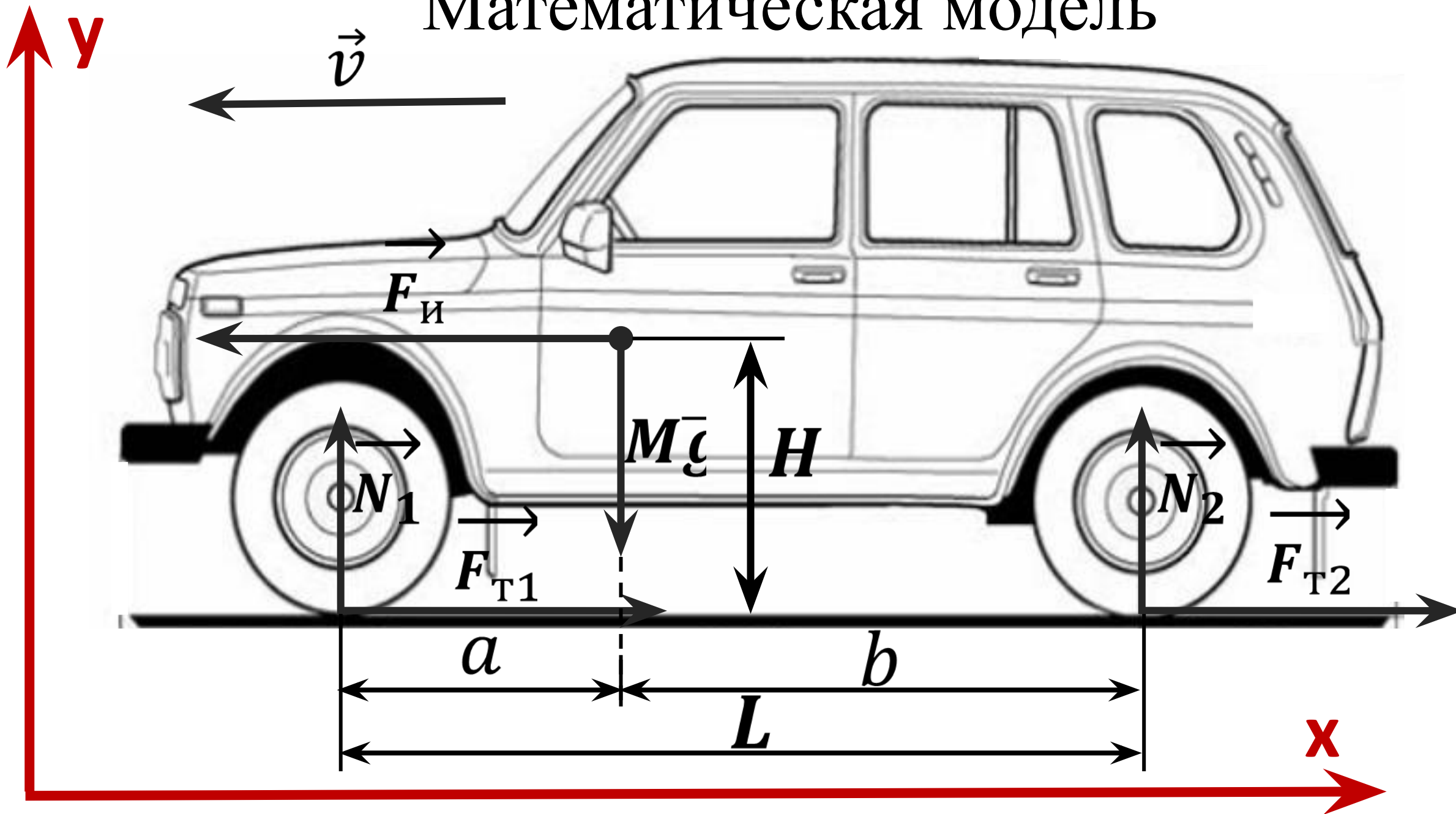
В ходе нашего решения мы разобрали химические процессы происходящие в процессе износа тормозных колодок, а также указали опасные вещества, выделяющиеся в окружающую среду.



# Ограничения к математической модели:

1. Все математические расчеты мы будем проводить для машины ВАЗ – 2131.
2. Условия торможения примем:
  - a. Торможение происходит на сухой грязной дороге.
  - b. Температура окружающего воздуха 25 °С.

# Математическая модель



# Математическая модель

Первый закон

ОХ:  $F_{T1} + F_{T2} - F_{И} = 0$

OY:  $N_1 + N_2 - Mg = 0$

Уравнение замедления: Нагрузки на оси при

$$a_z = \frac{F_{И}}{Mg\sigma_{вр}}g$$

торможении:  $N_1 = \left(1 + \frac{\varphi H}{b}\right)Mg\frac{b}{L}$

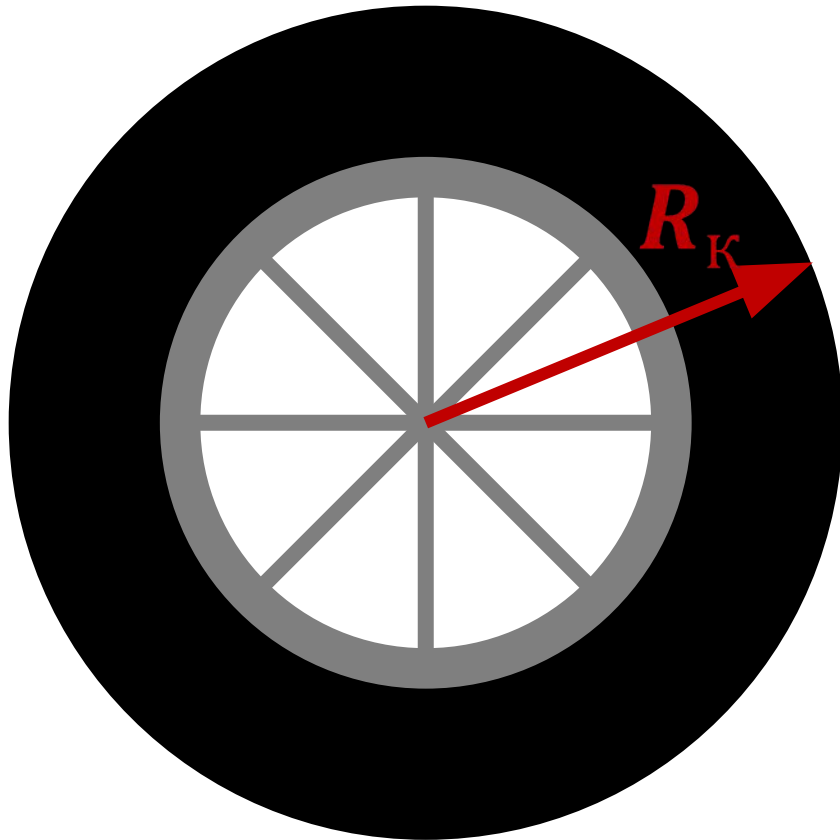
$$N_2 = \left(1 - \frac{\varphi H}{a}\right)Mg\frac{a}{L}$$

Расчет максимальной тормозной

силы:  $F_T^{max} = F_{T1} + F_{T2} = \varphi(N_1 + N_2)$

[3]

# Математическая модель



$$n_{\text{об.}} = \omega_0 \tau$$

# Математическая модель

Равенство соотношений нагрузок и сил трения  
приложенных осям:

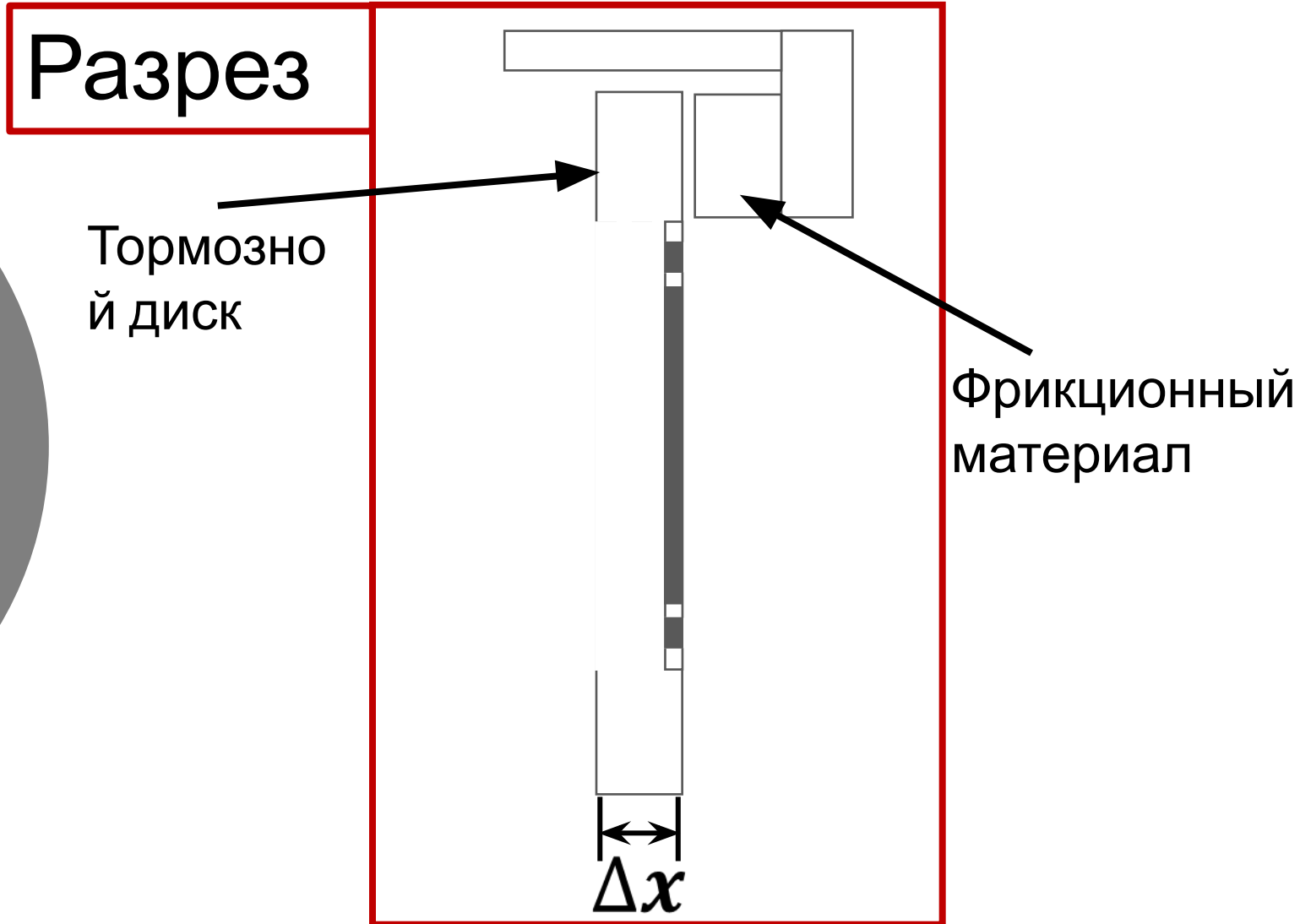
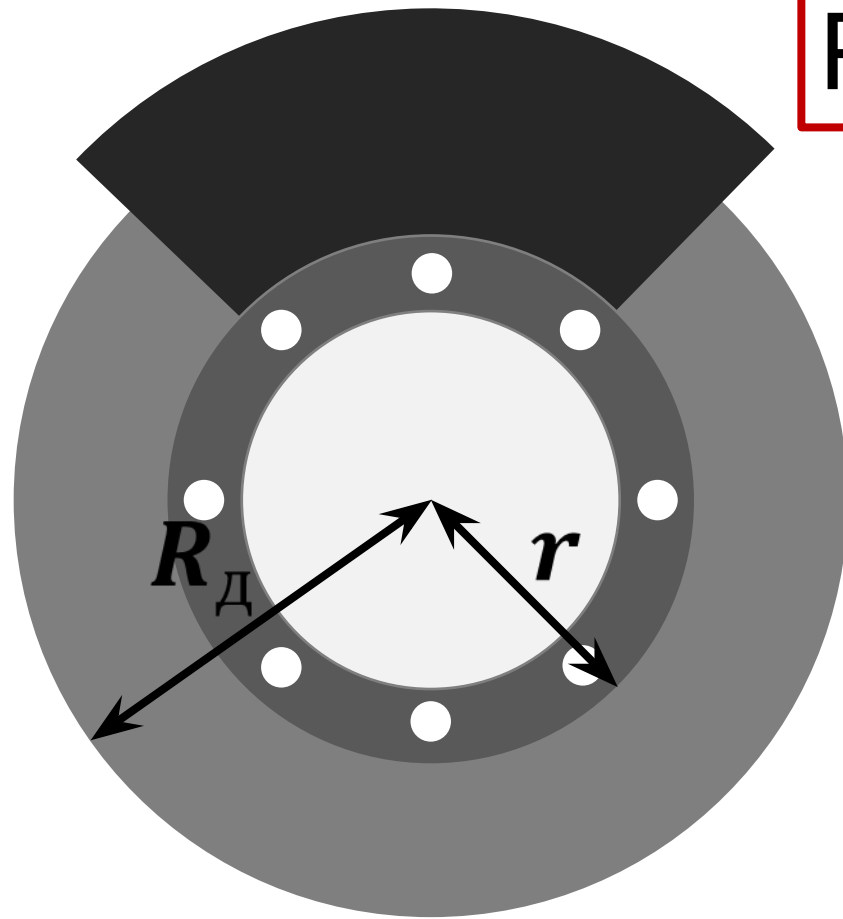
$$\frac{F_{T1}}{F_{T2}} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{b + \varphi H}{a - \varphi H} [3]$$

Расчет тормозного

пути:

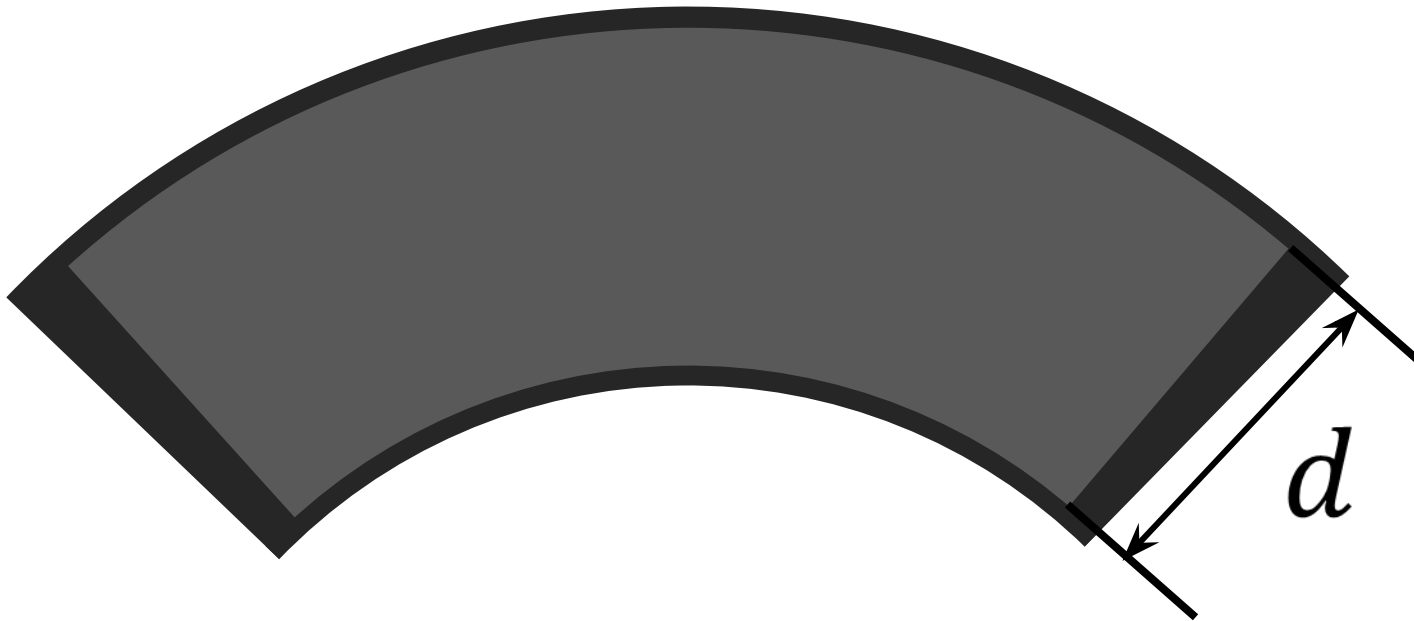
$$l_T = \frac{v^2}{2a_z}$$

# Математическая модель Тормозная система:

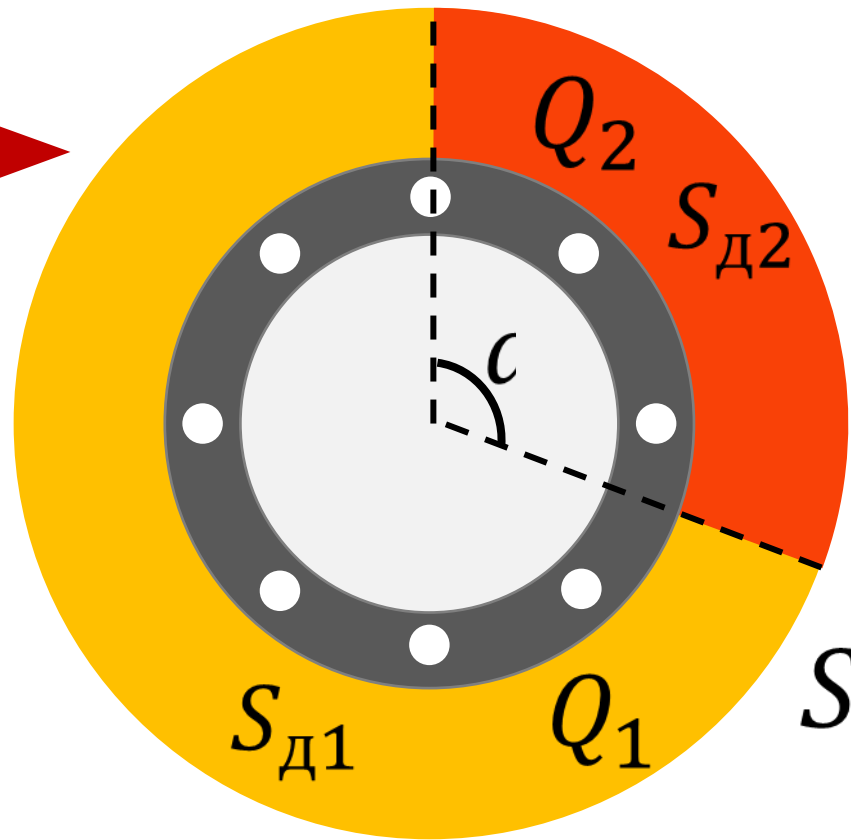
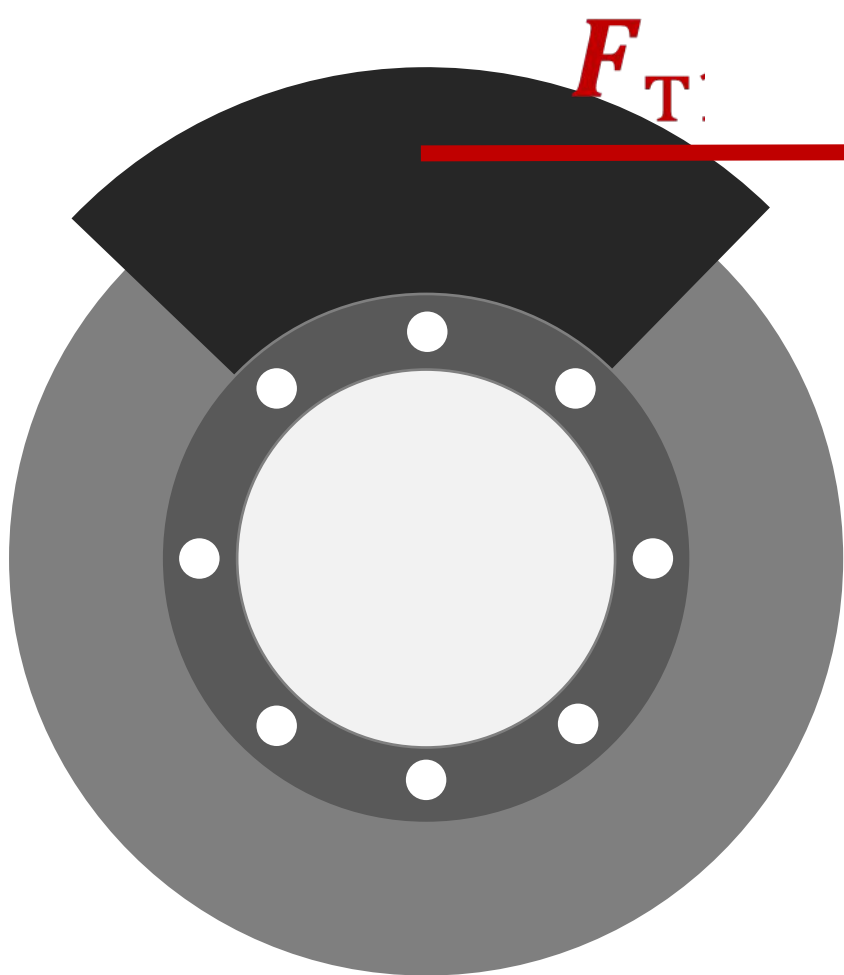


# Математическая модель

$$d \approx R_{\text{Д}} - r$$



# Математическая модель



$$l_d = 2\pi R_d$$

$$l_{\text{кол.}} = n_{\text{об.}} l_d$$

$$A_{\text{тр.}} = F_{\text{T1}} l_{\text{кол.}}$$

$$S_{d1} = \pi R_d^2 - S_{d2};$$

$$S_{d2} = (\pi R_d^2 - \pi r^2)(n_{\text{об.}} - z_{\text{об.}});$$

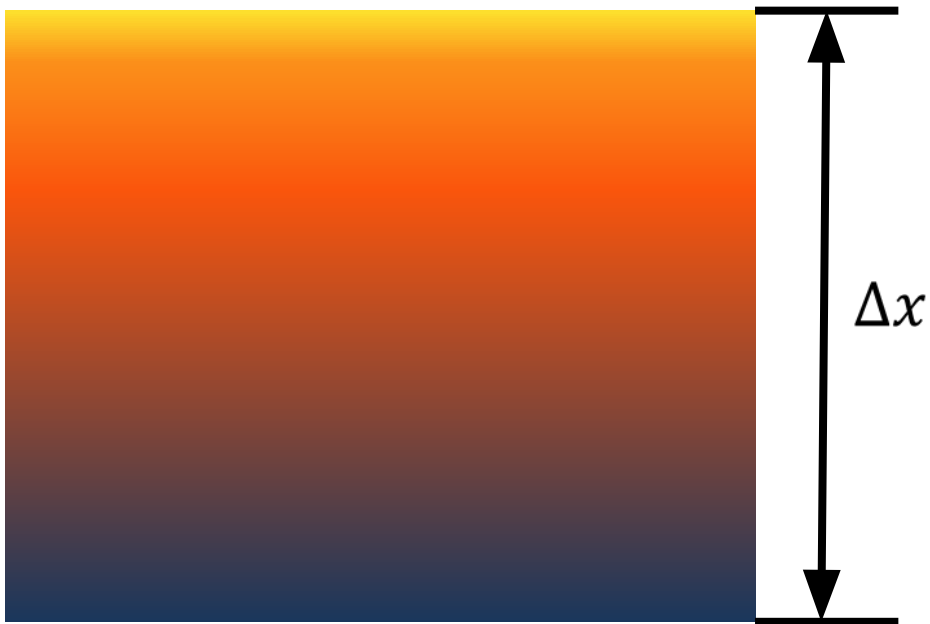
$$Q_1 = A_{\text{тр.}} - Q_2; \quad Q_2 = F_{\text{T1}} l_d (n_{\text{об.}} - z_{\text{об.}});$$



# Математическая модель

Уравнение теплопроводности:

$T_{12}$



$T_0$

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S \Delta \tau$$

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности

$\Delta T / \Delta x$  – градиент температуры

$S$  – площадь поперечного сечения

$\Delta \tau$  – время

$$\Delta \tau = \frac{v}{a_z}$$

# Математическая модель

Расчет максимальной ( $T_2$ ) и минимальной ( $T_1$ ) температур:

$$T_1 = \frac{Q_1 \Delta x}{\lambda S_{д1} \Delta \tau} + T_0$$

$$T_2 = \frac{Q_2 \Delta x}{\lambda S_{д2} \Delta \tau} + T_0$$

Интервал температур:

$$T = [T_1; T_2] = [288; 289\text{K}]$$

# Математическая модель

Величина	Название	Значение
	Масса ВАЗа 2131	1850
	Теплопроводность АЧС-6	21,2
	Расстояние между осями ВАЗа 2131	2700
	Расстояние между передней осью и ЦМ	848
	Расстояние между задней осью и ЦМ	1852
	Коэффициент сцепления грязного асфальта	0,35
	Скорость автомобиля	38,06

# Математическая модель

Величина	Название	Значение
	Коэффициент учета вращающихся масс	1,1
	Частота оборотов коленчатого вала двигателя	5000
	Радиус тормозного диска	271,7
	Радиус отверстия	108

# Литература

1. Патент США №6164423, опубликованный 26 декабря 2000 г.
2. «Способ получения фрикционных полимерных материалов» патент RU 2430936 2005 год.
3. «К методике анализа и выбора распределения тормозных сил между осями с учетом требований правил №13 ЕЭК ООН» А.Н. Туренко, 2011 г., с. 2-4
4. «Экспериментальное определение массовой скорости выгорания резины» А.А. Киреев, к.х.н., доцент, НУГЗУ, А.Б. Каракулин, адъюнкт, НУГЗУ, К.В. Жерноклёв, к.х.н., доцент, НУГЗУ, 2014 г., с. 83
5. «О моделировании термического разложения полибутадиена с учетом образования полимерного каркаса», А.М. Липанов, А.А. Бокисев, 2013 г., с. 237-238
6. «Теория автомобиля», В.В. Селифонов, А.Ш. Хусаинов, В.В. Ломакин 2004 г., с. 8-14
7. «Протокол расчета класса опасности отхода» Д.В. Афанасьев, 2017 год. С. 4-20
8. Лидин Р.А. и др. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. — 3-е изд., испр. — М.: Химия, 2000. — 480 с.
9. «Приборы и методы контроля и мониторинга воздействия автотранспорта на атмосферный воздух северных городов» Цыплакова Елена Германовна, 2014 г., с. 19 – 53
10. Борисов Ю.С. Справочник механика машиностроительного завода Организация и конструкторская подготовка ремонтных работ Том 1 Изд.2, 2002г. с. 217
11. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка Издание 6, 2001г, с. 487
12. Руководство по эксплуатации ВАЗ 2131, 2007 г., с. 78- 82

[8][4]

# Химические процессы в органических колодках

Характеристика реакций	Тип реакций	реагенты	Продукты соответственно реагентам	Условия проведения реакций
Окисление веществ кислородом	Окисление металлов	1) <i>Cu</i> 2) <i>Zn</i>		
	Окисление неметаллов	1) <i>C</i>		
	Окисление карбониллов			
	Полное горение			

[8][4]

# Химические процессы в органических колодках

Характеристика реакций	Тип реакций	реагенты	Продукты соответственно реагентам	Условия проведения реакций
Окисление веществ кислородом	Окисление гидроксида свинца			
Термическое разложение	Разложение карбониллов		1) $Ni, CO$ 2) $Co, CO$ 3) $Fe, CO$	

# Энтальпия образования сульфида и оксида меди

$$FeO: H_0 = -264,0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$FeS_2: H_0 = 39,0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$



# Состав минерала базальт

Оксид	Содержание, %
$\text{SiO}_2$	47—52
$\text{TiO}_2$	1—2,5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14—18
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2—5
$\text{FeO}$	6—10
$\text{MnO}$	0,1—0,2
$\text{MgO}$	5—7
$\text{CaO}$	6—12
$\text{Na}_2\text{O}$	1,5—3
$\text{K}_2\text{O}$	0,1—1,5
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,2—0,5

# Класс опасности

**Класс опасности** – условная величина вредного воздействия на организм человека, которая определяется следующими показателями:

1. ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны,
2. средняя смертельная доза при введении в желудок, мг на 1 кг массы тела,
3. средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг на 1 кг массы тела,
4. Коэффициент возможности ингаляционного отравления

Наименование показателя	Норма для класса опасности			
	IV	III	II	I
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	более 10,0	1,1—10,0	0,1—1,0	менее 0,1
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг на 1 кг массы тела	более 5000	151—5000	15—150	менее 15
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг на 1 кг массы тела	более 2500	501—2500	100—500	менее 100
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	более 50 000	5001—50 000	500—5000	менее 500
Коэффициент возможности ингаляционного отравления(КВИО)	более 300	30—300	29—3	менее 3
Зона острого действия	более 54,0	18,1—54,0	6,0—18,0	менее 6,0
Зона хронического	более 10,0	10,0—5,0	1,0—3,5	менее 3,5

# Количество опасных веществ

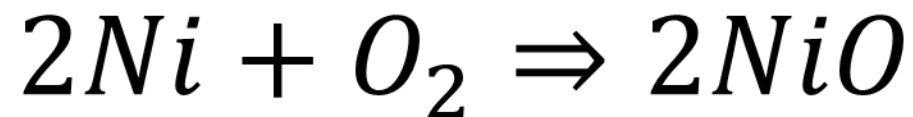
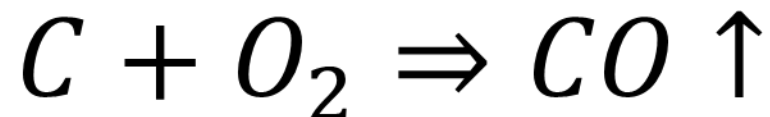
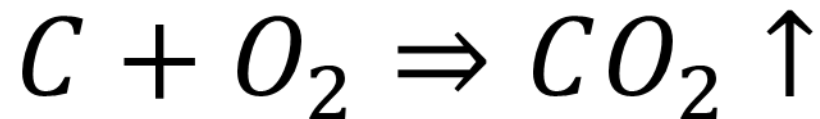
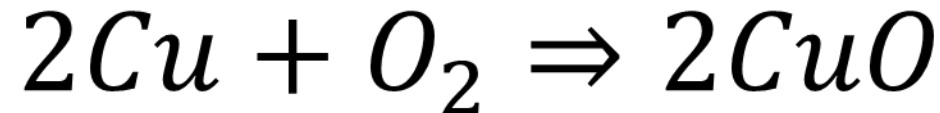
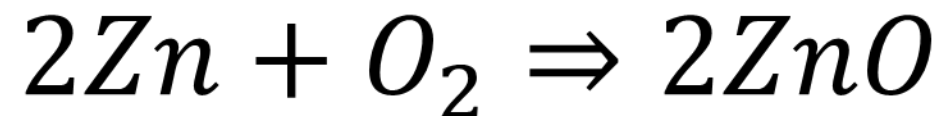
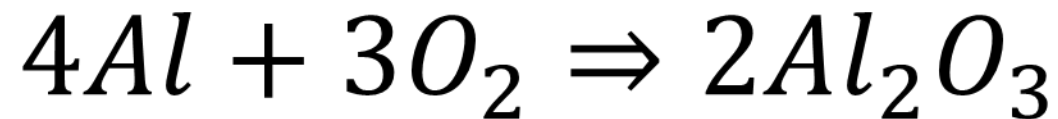
$$N_{\text{опасн.в-в}} = f(x)$$

$$x = n_{\text{авт.}} + I_{\text{торм.}} + \text{состав} + F_{\text{торм.}}^{\text{max}}$$

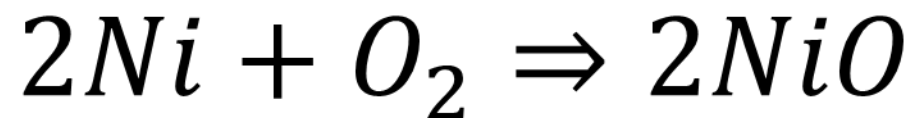
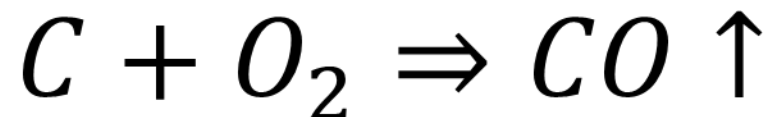
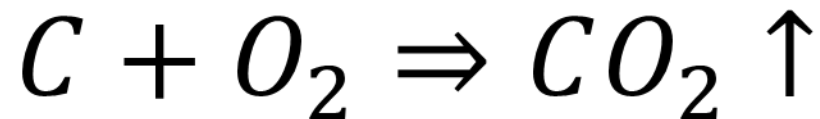
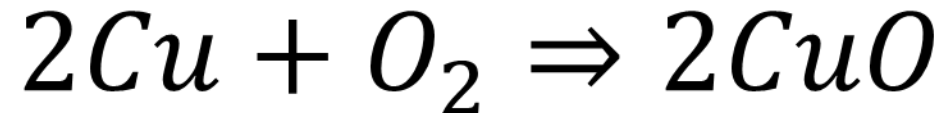
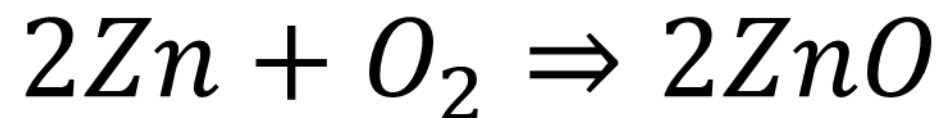
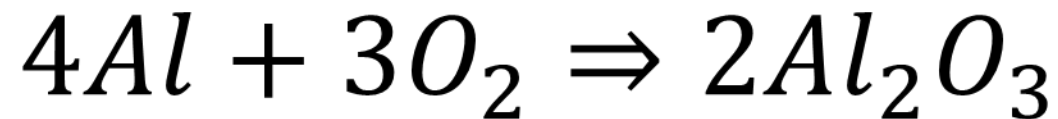


Теоретическая оценка ПДК невозможна!

**Реакции окисления  
кислородом воздуха  
неорганических веществ**

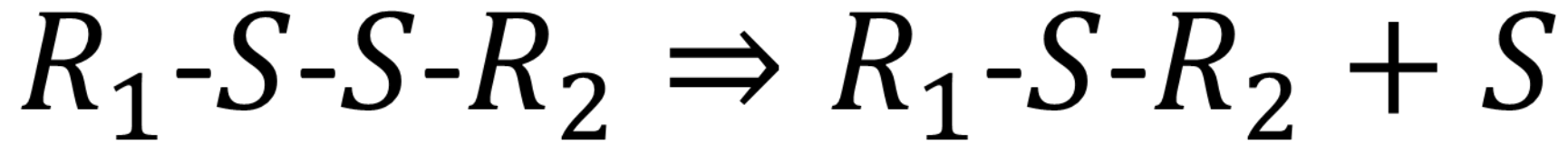


**Реакции окисления  
кислородом воздуха  
неорганических веществ**

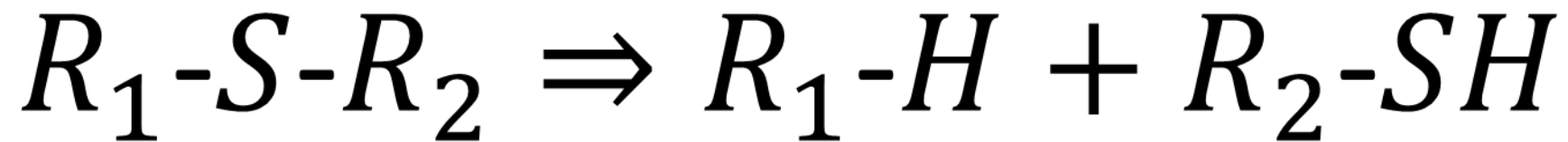


# Химизм процесса пиролиза органического наполнителя

Первая стадия пиролиза:

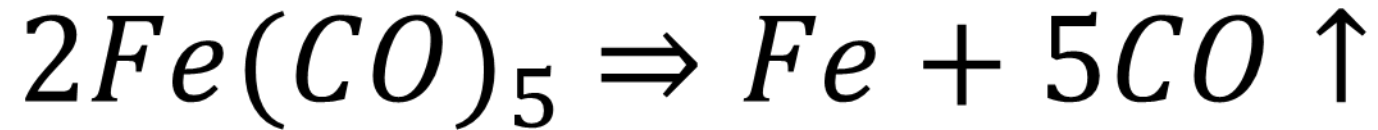


Вторая стадия пиролиза:



# Реакции термического разложения с неорганическими

Термическое разложение ~~веществами~~ карбониллов:



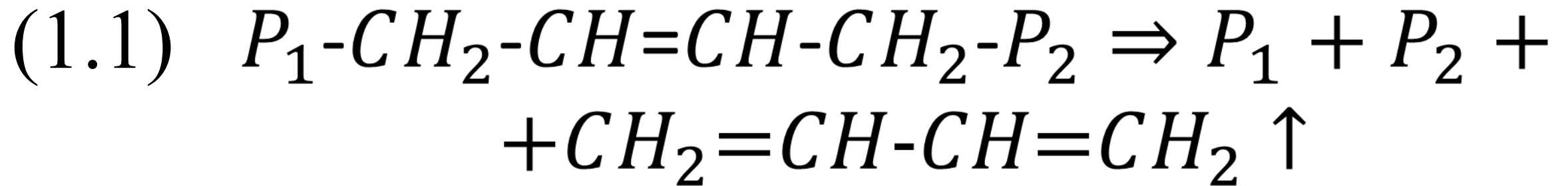
Термическое разложение антипиренов:





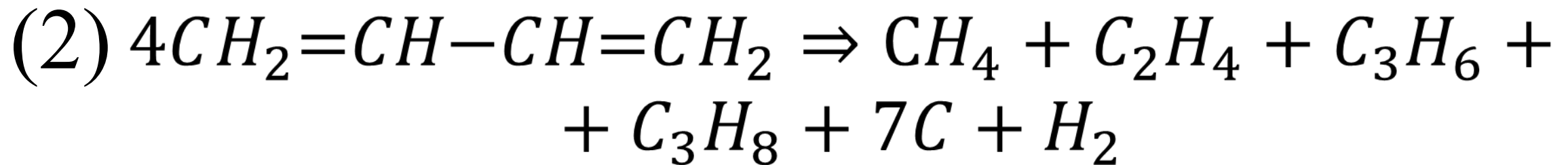
# Химизм процесса пиролиза резины

Промежуточные процессы пиролиза  
резины ( $R_1-H$ ):



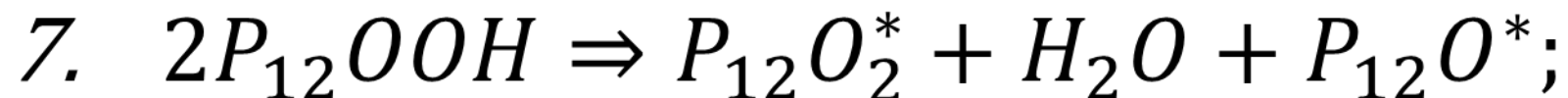
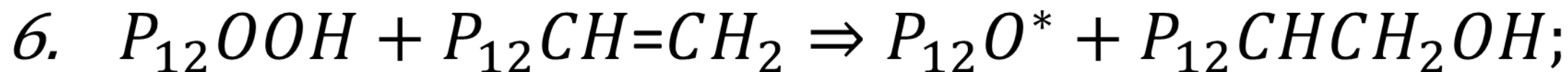
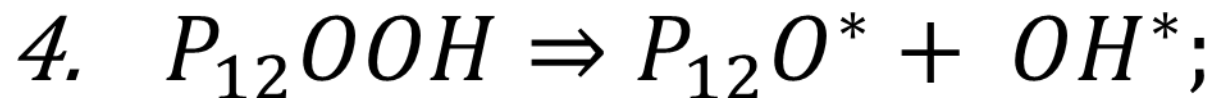
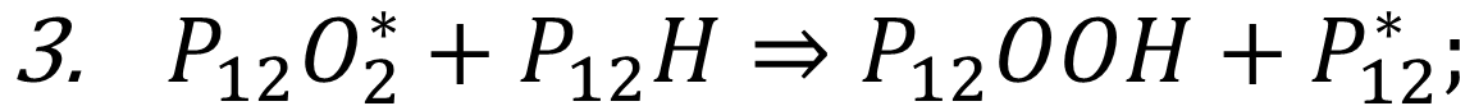
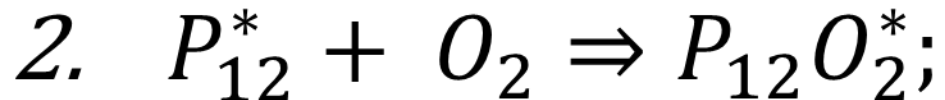
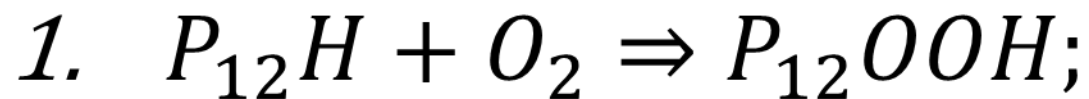
# Химизм процесса пиролиза резины

Конечная стадия пиролиза  
бутадиена:



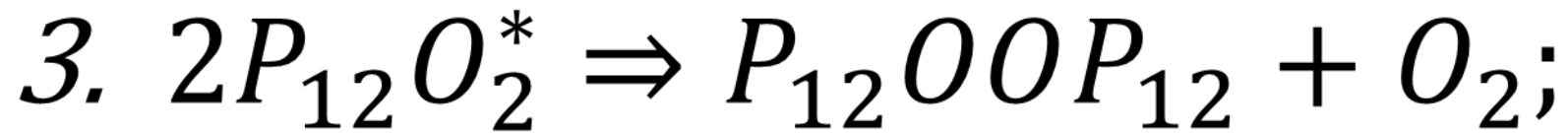
# Химизм процесса горения резины ( $R_1 - H$ )

Продолжение цепей



# Химизм процесса горения резины ( $R_1 - H$ )

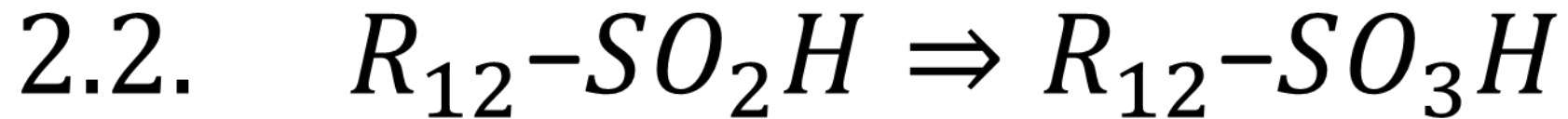
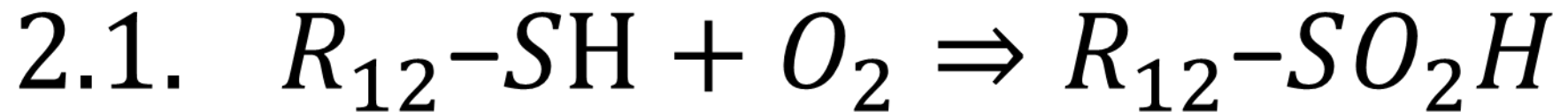
Обрыв цепей



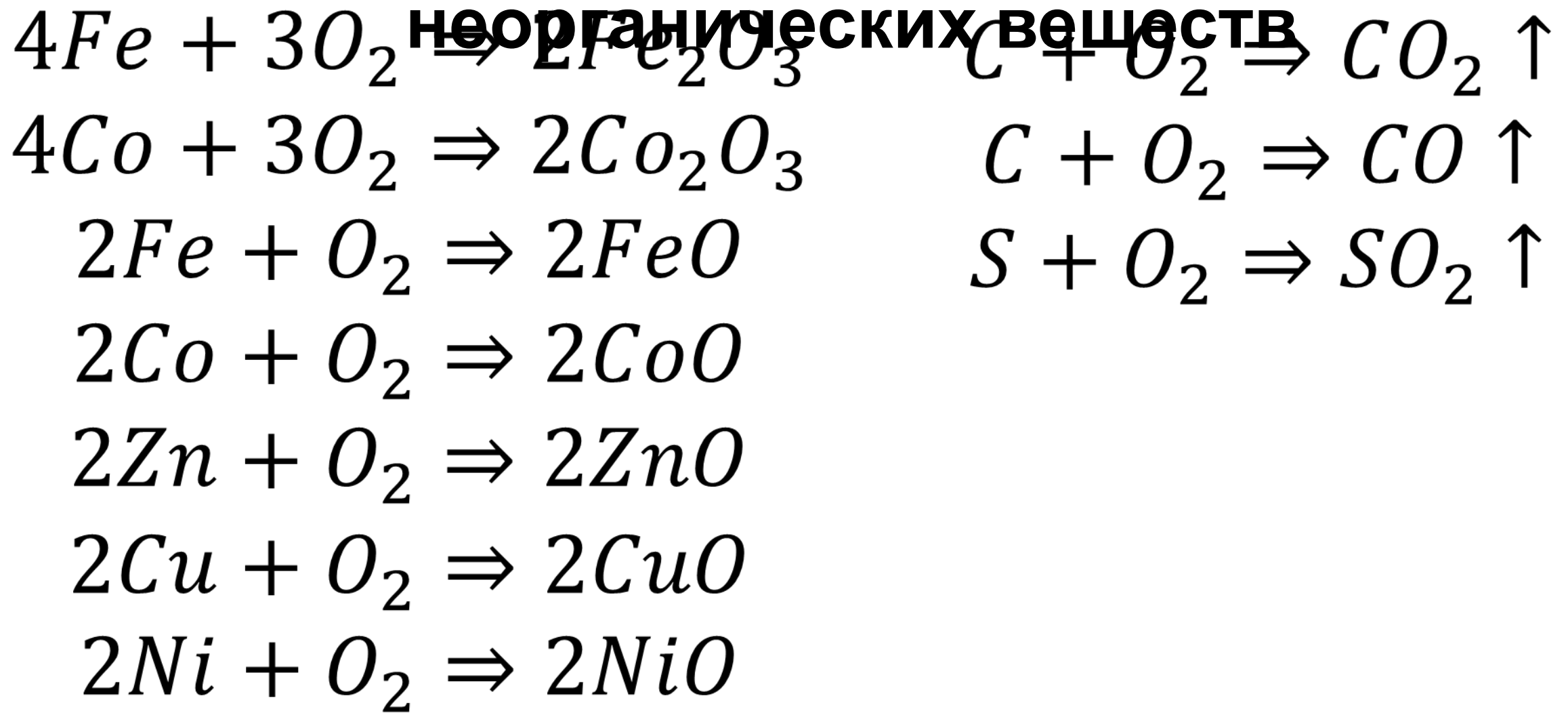
# Химизм процесса горения резины ( $R_1-S-S-R_2$ )

1.  $R_1-S-S-R_2 + \frac{1}{2}O_2 \Rightarrow R_1-S(O)-S-R_2$
2.  $R_1-S(O)-S-R_2 + \frac{1}{2}O_2 \Rightarrow R_1-SO_2-S-R_2$
3.  $R_1-SO_2-S-R_2 + O_2 \Rightarrow R_1-SO_2-SO_2-R_2$
4.  $R_1-SO_2-SO_2-R_2 + O_2 + 2H^* \Rightarrow 2R_{12}-SO_3H$

**Химизм процесса горения  
резины (  $R_1-SH$  ) при  $t^\circ$**

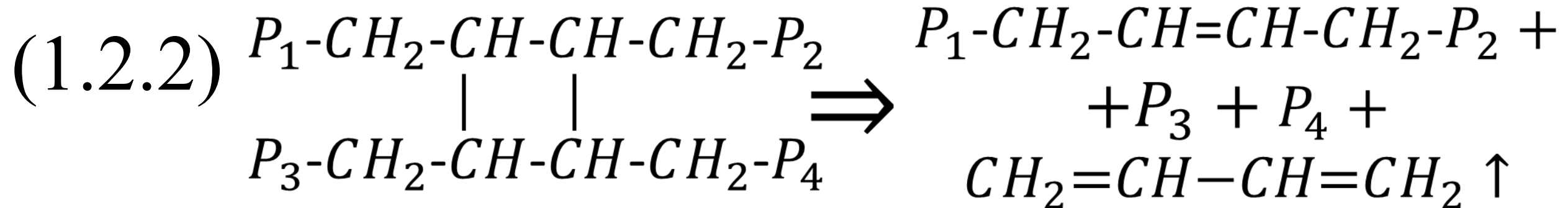
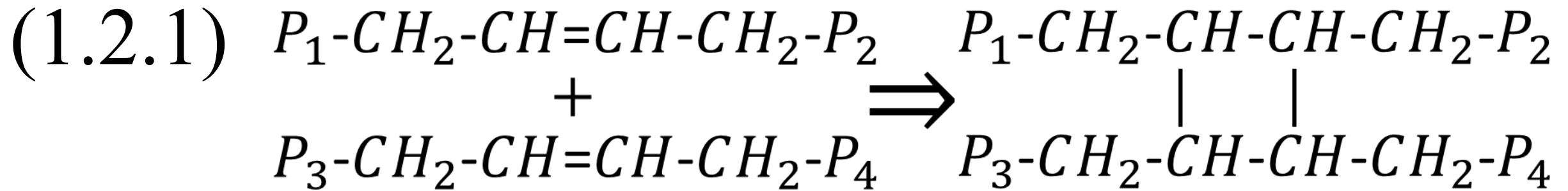


# Реакции окисления кислородом воздуха



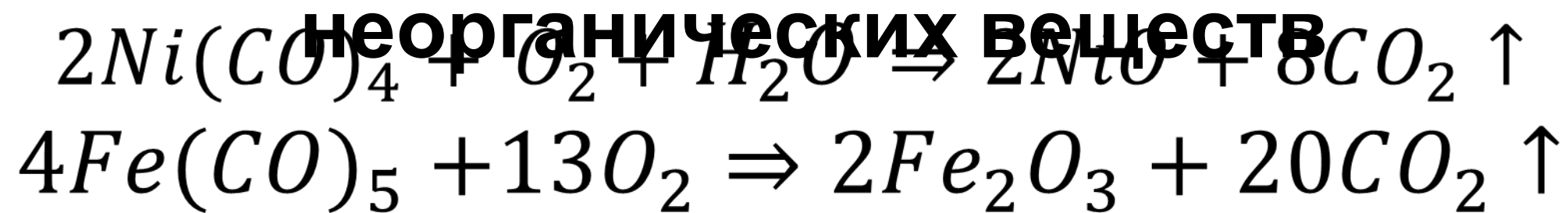
# Химизм процесса пиролиза резины

Промежуточные процессы пиролиза  
резины ( $R_1-H$ ):



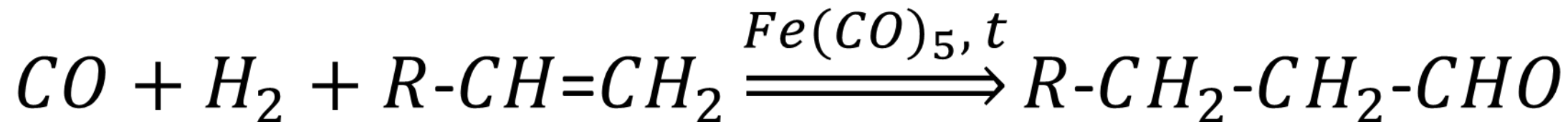


# Реакции окисления кислородом воздуха

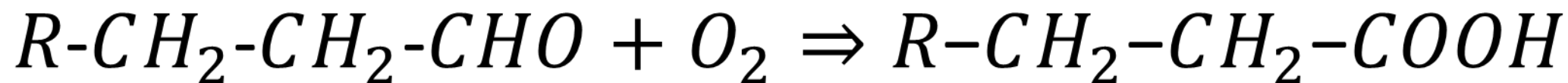


# Реакции продуктов горения с исходными веществами

Реакция угарного газа и водорода с альдегидами органическими соединениями в присутствии карбонила металла:



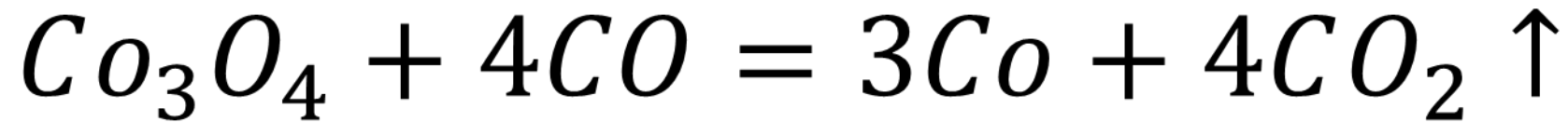
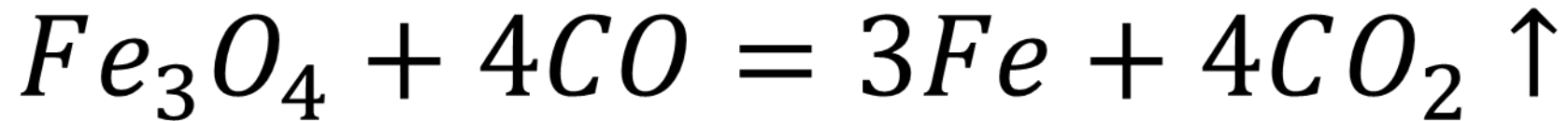
Окисление альдегидов до карбоновых кислот кислородом воздуха:



# Реакции продуктов горения с исходными

## веществами

Взаимодействие сульфоновых кислот с парами воды (100 - 200°C):



# Реакции продуктов горения с исходными веществами

Реакция металлов с угарным газом — получение карбониллов:

