

Стехиометрия процессов культивирования микроорганизмов

План

1. Основные принципы стехиометрии
2. Вывод «формулы» биомассы микроорганизмов
3. Расчет выхода биомассы на углеродный субстрат
4. Определение стехиометрических соотношений в реальных процессах ферментации

1.

Основные принципы стехиометрии

- В химических процессах:

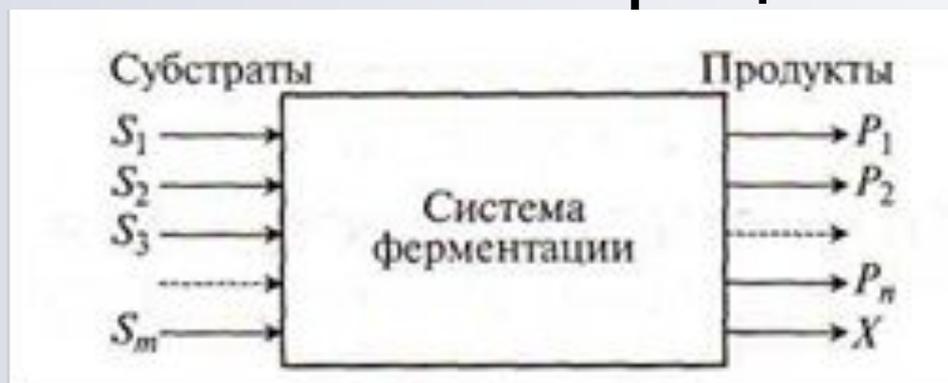


Подбор стехиометрических коэффициентов в уравнении (n_A , n_B , n_C , n_D) осуществляем на основании **закона сохранения материи**

1.

Основные принципы стехиометрии

- В биохимических процессах:



Общее количество элементов, включенное в структуры клетки, равно количеству, взятому клеткой из питательной среды

1.

Основные принципы стехиометрии

- В биохимических процессах:

Субстраты

Продукты

n_C [углеродный субстрат]

n_N [азотный субстрат]

n_P [фосфорный субстрат]

n_{O₂} [O₂]

....

n_X [биомасса]

=

n_{CO₂} [CO₂]

n_{H₂O} [H₂O]

...

(n_X+1) [биомасса]

n_P [продукт
метаболизма]

1.

Основные принципы стехиометрии

- В биохимических процессах:

Субстраты

Продукты

n_C [углеродный субстрат]

n_N [азотный субстрат]

n_P [фосфорный субстрат]

n_{O₂} [O₂]

....

n_{CO₂} [CO₂]

n_{H₂O} [H₂O]

...

=

n_X [биомасса]

n_P [продукт
метаболизма]

2. Вывод «формулы» биомассы

■ Каков элементный состав биомассы?

Таблица 1 – Элементный состав биомассы микроорганизмов (по данным элементного анализа)

Тип микроорганизмов	Элементный состав, %						
	С	Н	О	N	P	S	Зола
Дрожжи	47,0	6,5	30,0	7,5	1,5	1,0	6,5
Бактерии	53,0	7,0	20,0	12,0	3,0	1,0	4,0
«Усредненный»	50,0	8,0	20,0	14,0	3,0	1,0	4,0

2.

Вывод «формулы» биомассы

Таблица 2 – Расчет числа грамм-атомов элементов в 100 г сухой биомассы

Тип микроорганизмов	Элементный состав, %					
	C/12	H/1	O/16	N/14	P/31	S/32
Дрожжи	3,92	6,5	1,88	0,54	0,05	0,03
Бактерии	4,42	7,0	1,25	0,86	0,1	0,03
«Усредненный»	4,17	8,0	1,25	1,0	0,1	0,03

«Формула»

дрожжи

C_{3,92} H_{6,5} O_{1,88} N_{0,54} P_{0,05} S_{0,03}

бактерии

C_{4,42} H_{7,0} O_{1,25} N_{0,86} P_{0,1} S_{0,03}

«усредненная» биомасса

C_{4,17} H_{8,0} O_{1,25} N_{1,0} P_{0,1} S_{0,03}

2.

Вывод «формулы» биомассы

С-моль - условный моль, приведенный к одному атому углерода

	«Формула»	С-моль
дрожжи	C3,92 H6,5 O1,88 N0,54 P0,05 S0,03	CH1,66 O0,48 N0,14
бактерии	C4,42 H7,0 O1,25 N0,86 P0,1 S0,03	CH1,58 O0,28 N0,19
«усредненная» биомасса	C4,17 H8,0 O1,25 N1,0 P0,1 S0,03	CH1,92 O0,3 N0,24

**Формула Стоутхаммера
С-моля биомассы**



Молекулярная масса С-моля:

$$M_r = 1 \cdot 12 + 1,8 \cdot 1 + 0,5 \cdot 16 + 0,2 \cdot 14 = 24,6$$

**С этого момента забудем о существующих мелких различиях в
составах биомассы микроорганизмов!**

3.

Расчет выхода биомассы на углеродный субстрат

- Таблица 2 – Расчет стехиометрического выхода биомассы для различных субстратов

Субстрат	Химическая формула	Молекулярная масса субстрата	Молекулярная масса С-моля субстрата	Стехиометрический выход биомассы	Фактически измеренный выход биомассы, г/г
Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	180	30	0,82	0,5
Крахмал	$(C_6H_{12}O_6)_n$	180n	30	0,82	0,5
Целлюлоза	$(C_6H_{12}O_6)_n$	180n	30	0,82	0,5
Этанол	C_2H_5OH	46	23	1,07	0,75
Метанол	CH_3OH	32	32	0,77	0,5
Парафины (н-алканы)	$(CH_2)_nH_2$	$14n + 2$	~ 14	$\sim 1,76$	1,0
Метан	CH_4	16	16	1,54	0,62

4.

Определение стехиометрических соотношений в реальных процессах ферментации

Проблемы расчета реальных процессов ферментации:

- затраты субстратов на поддержание жизнедеятельности микроорганизмов (непроизводительные затраты)
- фактический выход сильно зависит от условий и скорости роста биомассы
- одновременно протекающие процессы катаболизма и анаболизма

Стехиометрические коэффициенты определяются из экспериментальных данных по потреблению субстрата и образованию продуктов биохимического взаимодействия

4.

Материальный баланс стадии ферментации

$$m_{\text{ст.ПС}} + m_{\text{пос.мат.}} + m_{\text{O}_2\text{потр.}} \pm m_{\text{вл.возд.}} + (m_{\text{долив.}}) + m_{\text{ст.пеног.}} = m_{\text{к.ж.}} + m_{\text{CO}_2} + m_{\text{брызг.}} + (m_{\text{отлив.}})$$

$m_{\text{ст.ПС}}$ - масса стерильной питательной среды, кг

$m_{\text{пос.мат.}}$ - масса посевного материала, кг

$m_{\text{O}_2\text{потр.}}$ - масса кислорода, потребленного из воздуха в процессе ферментации, кг

$m_{\text{вл.возд.}}$ - масса влаги, принесенной (унесенной) из ферментатора, кг

$m_{\text{долив.}}/m_{\text{отлив.}}$ - масса доливов (отливов), если предусмотрены технологией, кг

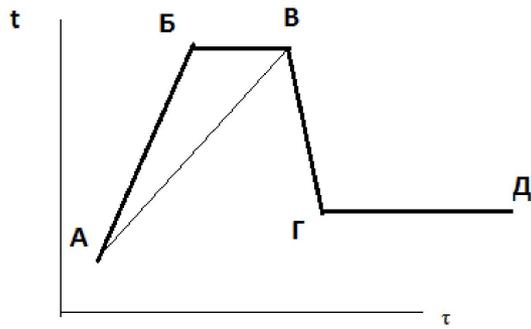
$m_{\text{ст.пеног.}}$ - масса стерильного пеногасителя, кг

$m_{\text{к.ж.}}$ - масса культуральной жидкости, кг

m_{CO_2} - масса CO₂, выделившегося в процессе ферментации, кг

$m_{\text{брызг.}}$ - масса жидкости, унесенной из ферментатора в виде брызг, кг

4.



Тепловой баланс ферментатора (на режиме ГД)

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$

Q_1 - тепло, поступающее с исходными компонентами (питательная среда, посевной материал, воздух на стерилизацию), кДж

Q_2 - тепло, поступающее с теплоносителем, кДж

Q_3 - тепловой эффект биосинтеза, кДж

Q_4 - тепловой эффект перемешивания, кДж

Q_5 - тепло, уходящее с культуральной жидкостью, кДж

Q_6 - тепло, уходящее с отработанным воздухом, кДж

Q_7 - тепло, на нагрев (охлаждение) аппарата, кДж

Q_8 - тепло, затраченное на испарение влаги из воздуха, кДж

Q_9 - потери тепла в окружающую среду, кДж

4.

Тепловой эффект биосинтеза (жизнедеятельности микроорганизмов)

- $Q_3 = Q_{ж} = Q_{M_0} + Q_S - Q_M - Q_P$

Q_{M_0} – тепло, вносимое посевным материалом, кДж

Q_S – тепло, вносимое с компонентами питательной среды, кДж

Q_M – тепло, уходящее с мицелием, кДж

Q_P – тепло уходящее с продуктами биосинтеза, кДж

$$Q = m_i \cdot q_{сг.i}$$

находим либо считаем

4.

Тепловой эффект перемешивания

- $Q_4 = N \cdot \tau_{\text{пер.}} \cdot 3600$

N – мощность, затрачиваемая на перемешивание
(мощность электродвигателя), Вт

τ – время перемешивания, ч