

Брожение у микроорганизмов

Брожение

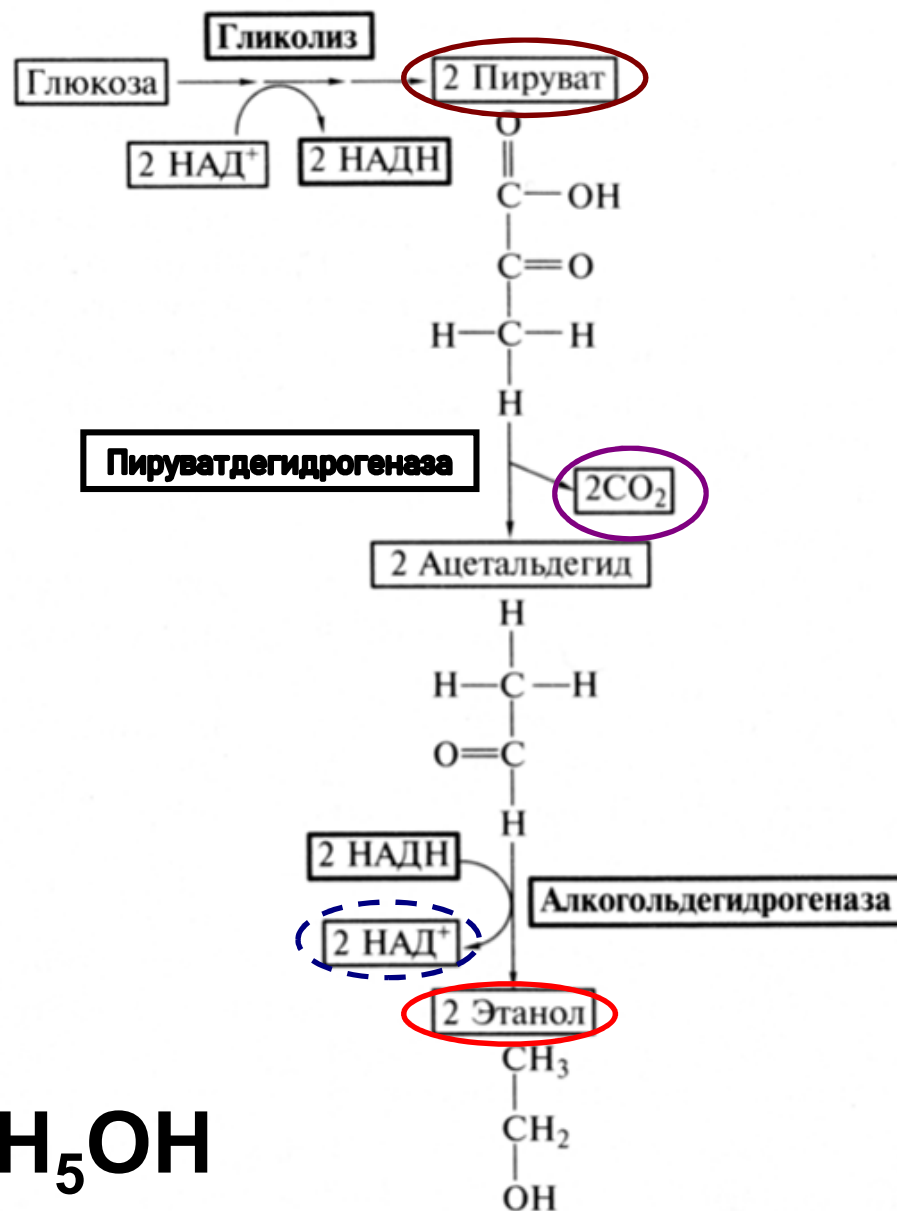
характеризует энергетическую сторону способа существования нескольких групп эубактерий, при котором они осуществляют в анаэробных условиях окислительно-восстановительные превращения органических соединений, сопровождающиеся выходом энергии, которую эти организмы используют.

Процесс брожения связан с расщеплениями органических молекул субстрата, в результате которых на окислительных этапах процесса высвобождается часть свободной энергии, заключенной в молекуле субстрата, и происходит ее запасание в молекулах АТФ

Сбраживаемые субстраты - углеводы, спирты, органические кислоты, аминокислоты, пурины, пиримидины

Продукты брожений - различные органические кислоты (молочная, масляная, уксусная, муравьиная), спирты (этиловый, бутиловый, пропиловый), ацетон, а также CO_2 и H_2

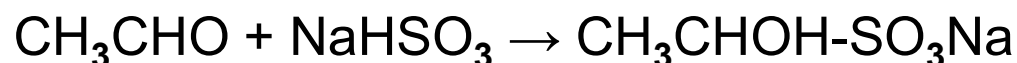
Спиртовое брожение



Формы брожения по Карлу Нейбергу (Нойберг) :

I форма брожения по Нейбергу – это нормальное дрожжевое брожение;

II форма брожения по Нейбергу. Изменение состава продуктов брожения. Например, связать ацетальдегид бисульфитом

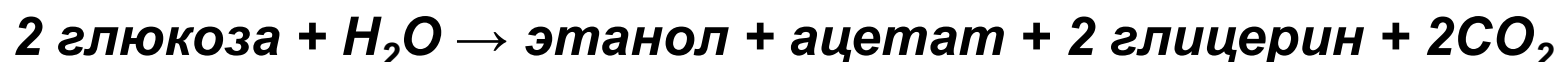


Комплекс не может больше акцептировать электроны. Они начинают передаваться от НАД Н₂ на диоксиацетонфосфат, который восстанавливается до 3-фосфоглицерина и дефосфорилируется с образованием глицерина:

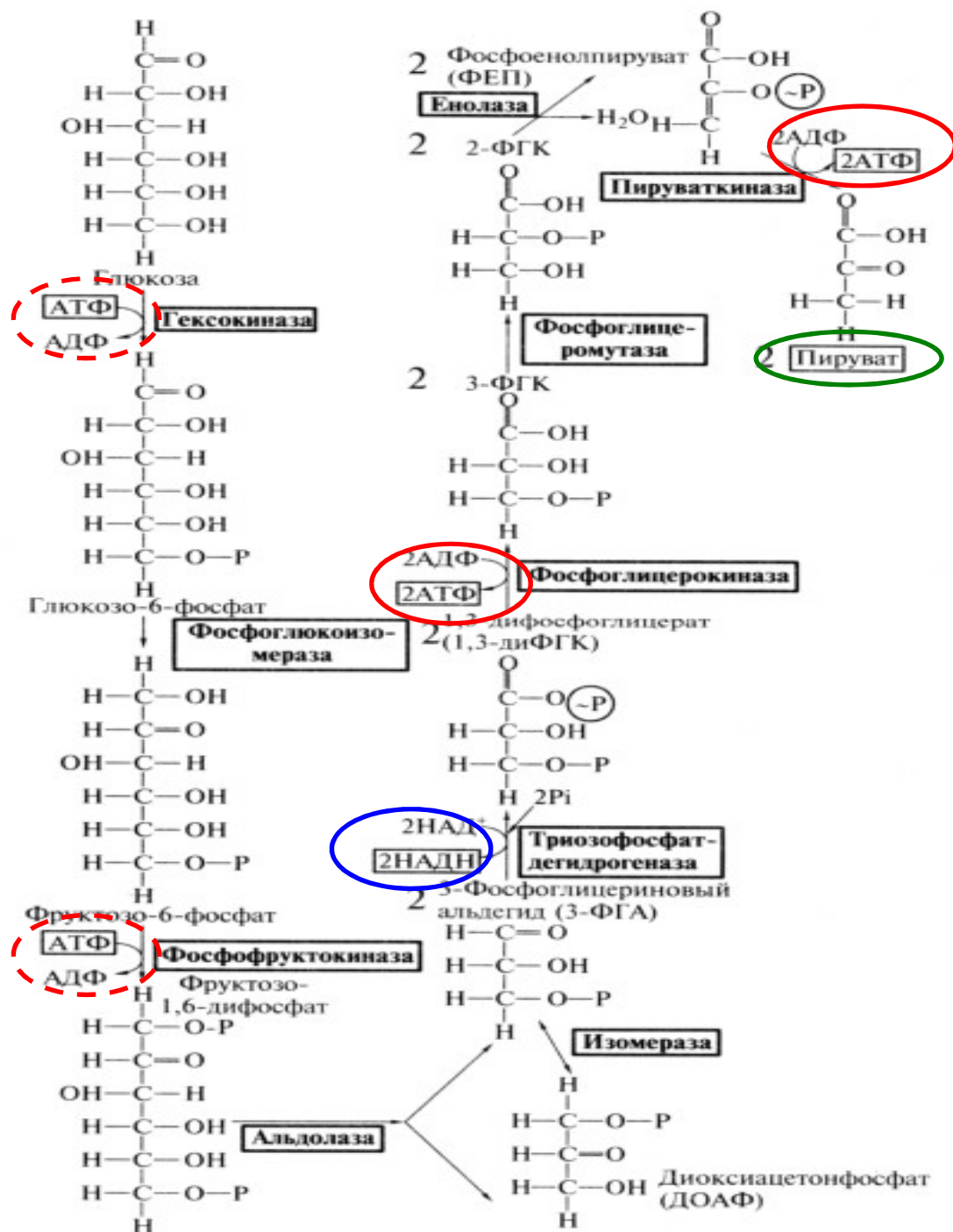


III форма брожения по Нейбергу. Брожение в присутствии NaHCO₃.

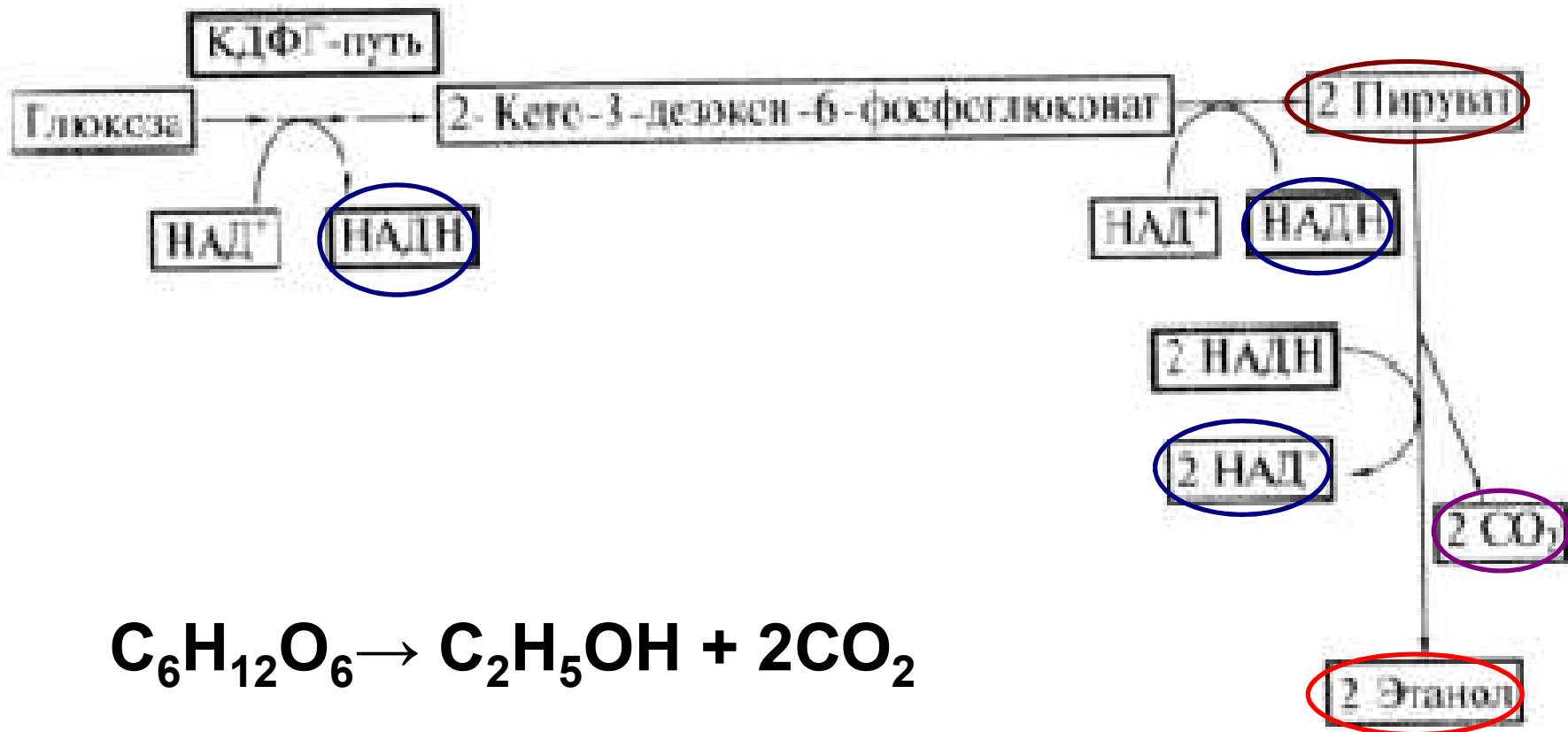
Ацетальдегид окисляется НАД-зависимой дегидрогеназой в уксусную кислоту, образовавшийся НАДН+Н⁺ используется для восстановления ацетальдегида в этанол:



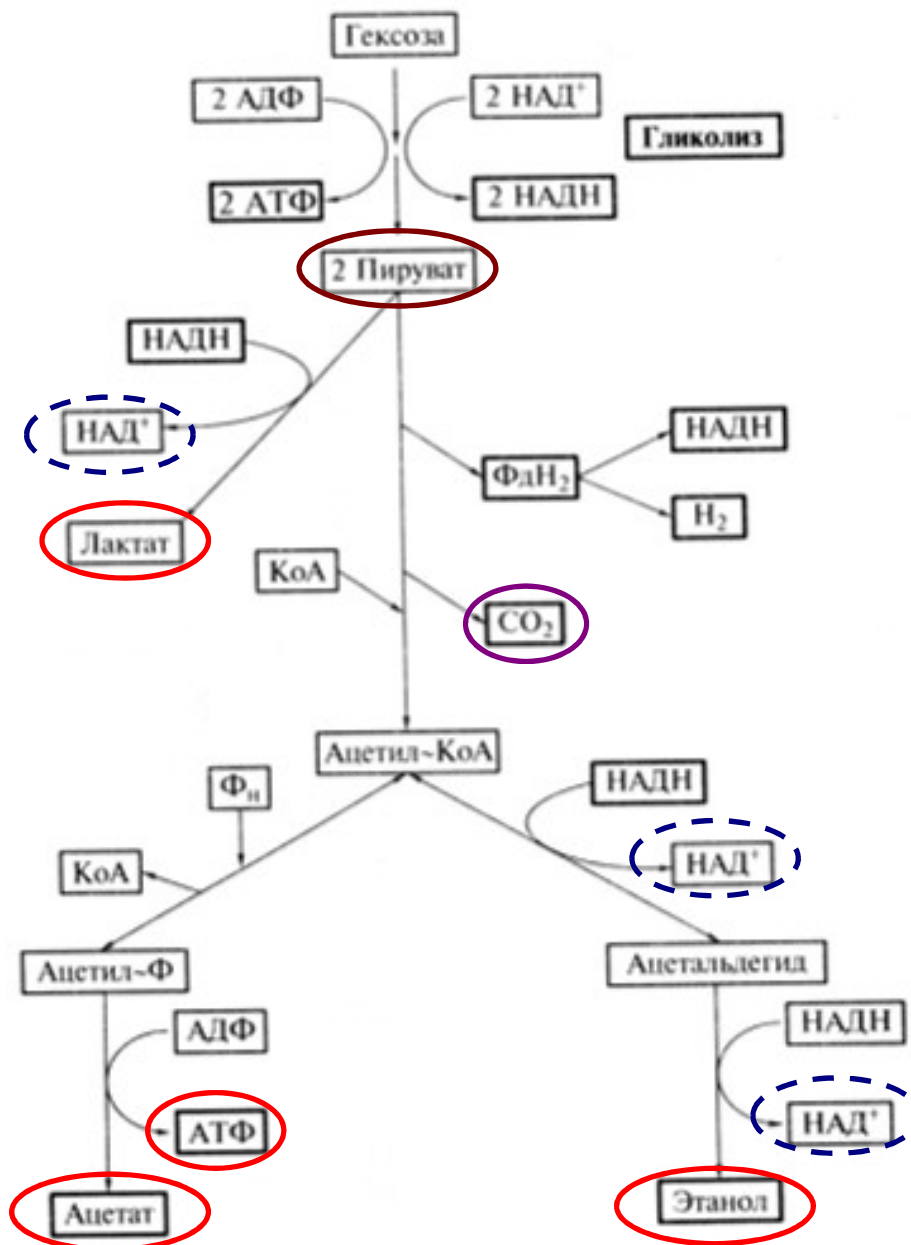
Гликолиз



Спиртовое брожение *Zytophanas mobilis*



Спиртовое брожение некоторых энтеробактерий и клостридий



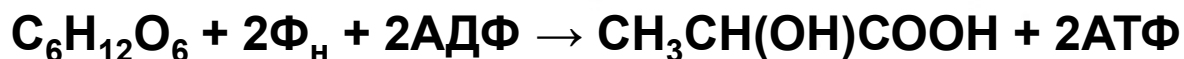
Молочнокислое брожение

Процесс осуществляют филогенетически неродственные м/о, объединяемые по признаку образования молочной кислоты (представители порядков *Lactobacillales*, *Bacillales* класса *Bacilli* и сем. *Bifidobacteriaceae* класса *Actinobacteria*). Они различны по морфологии, но все грам+, не образуют спор (кроме представителей сем. *Sporobacillaceae*)

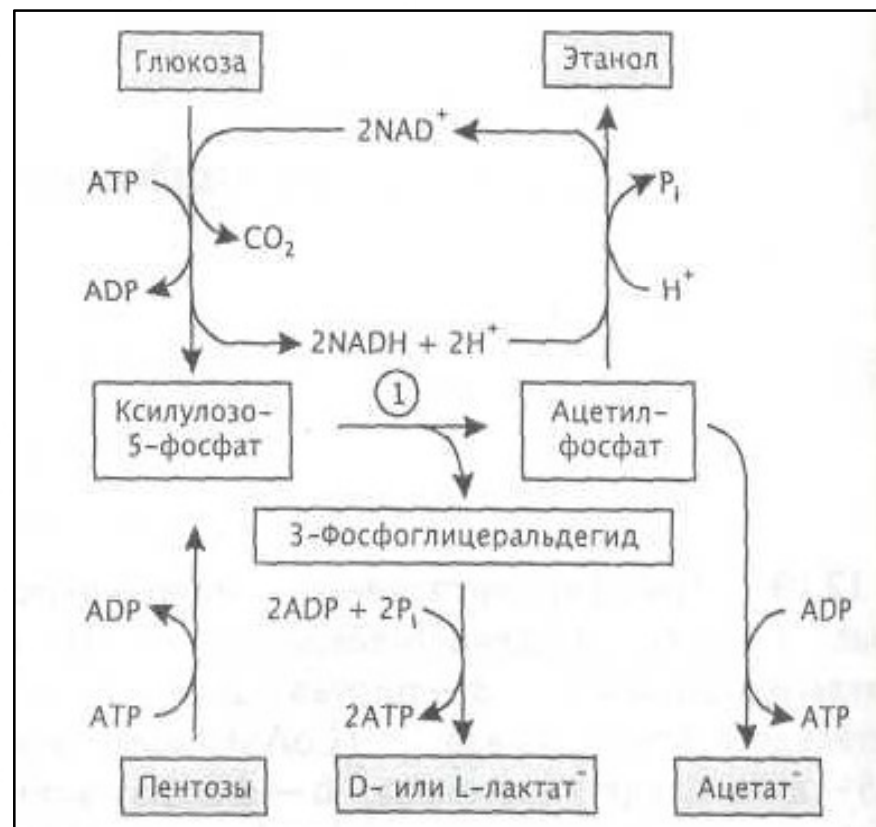
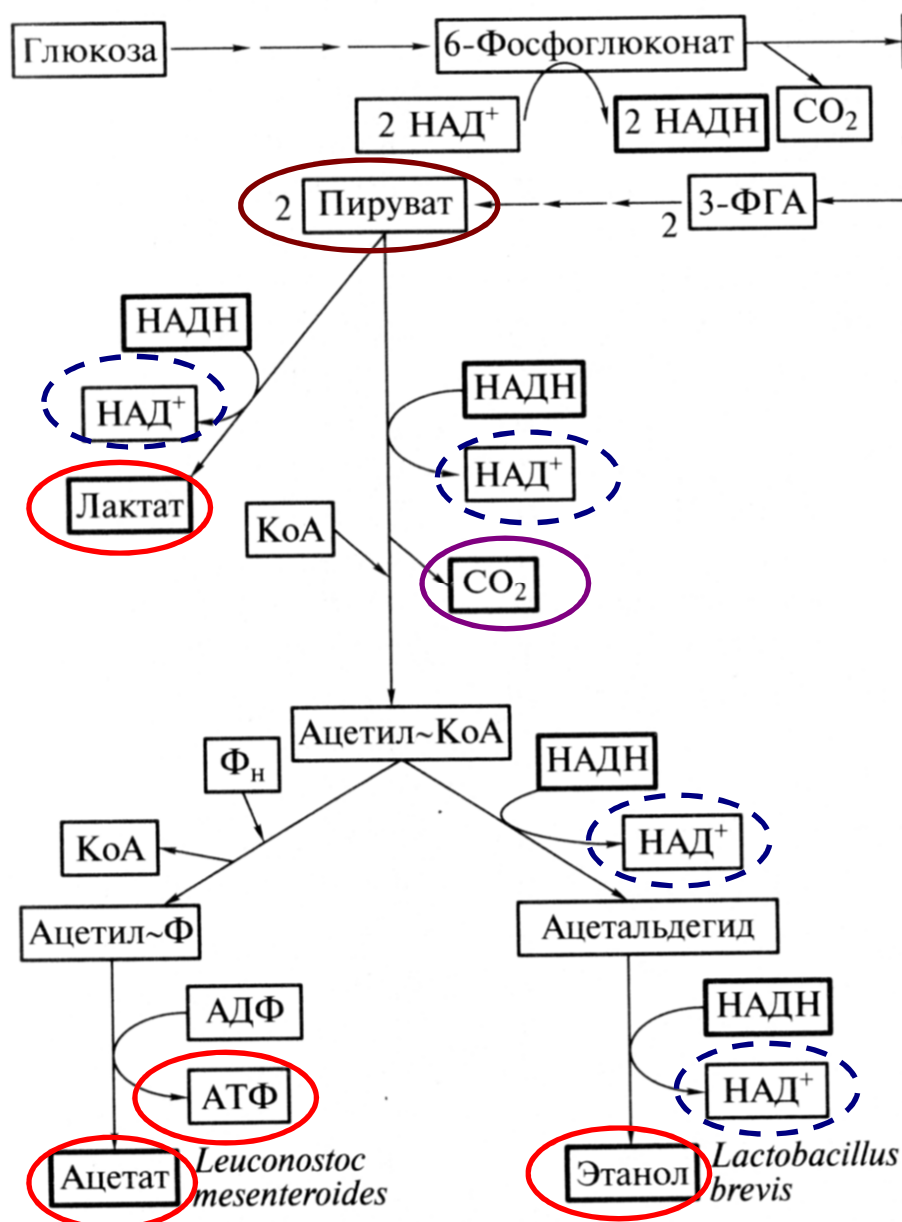
гомоферментативное молочнокислое брожение характерно сбраживание сахаров через гликолиз. В результате образуется ~90% лактата и только 10% приходится на другие продукты (ацетат, ацетоин, этанол)

гетероферментативное молочнокислое брожение сахара сбраживаются через пентозофосфатный путь и лактата образуется ~50%

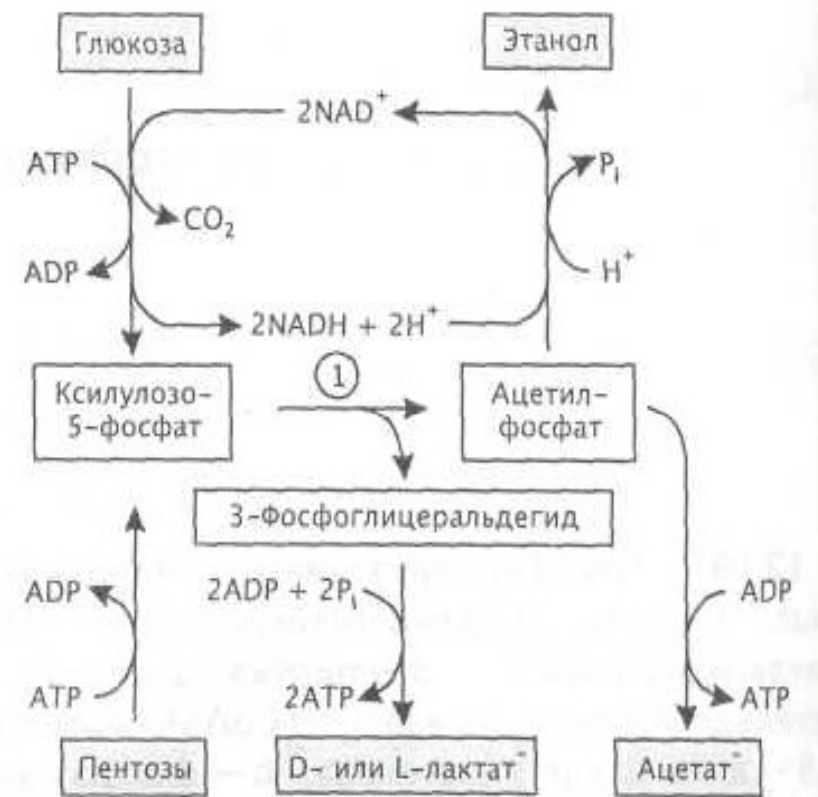
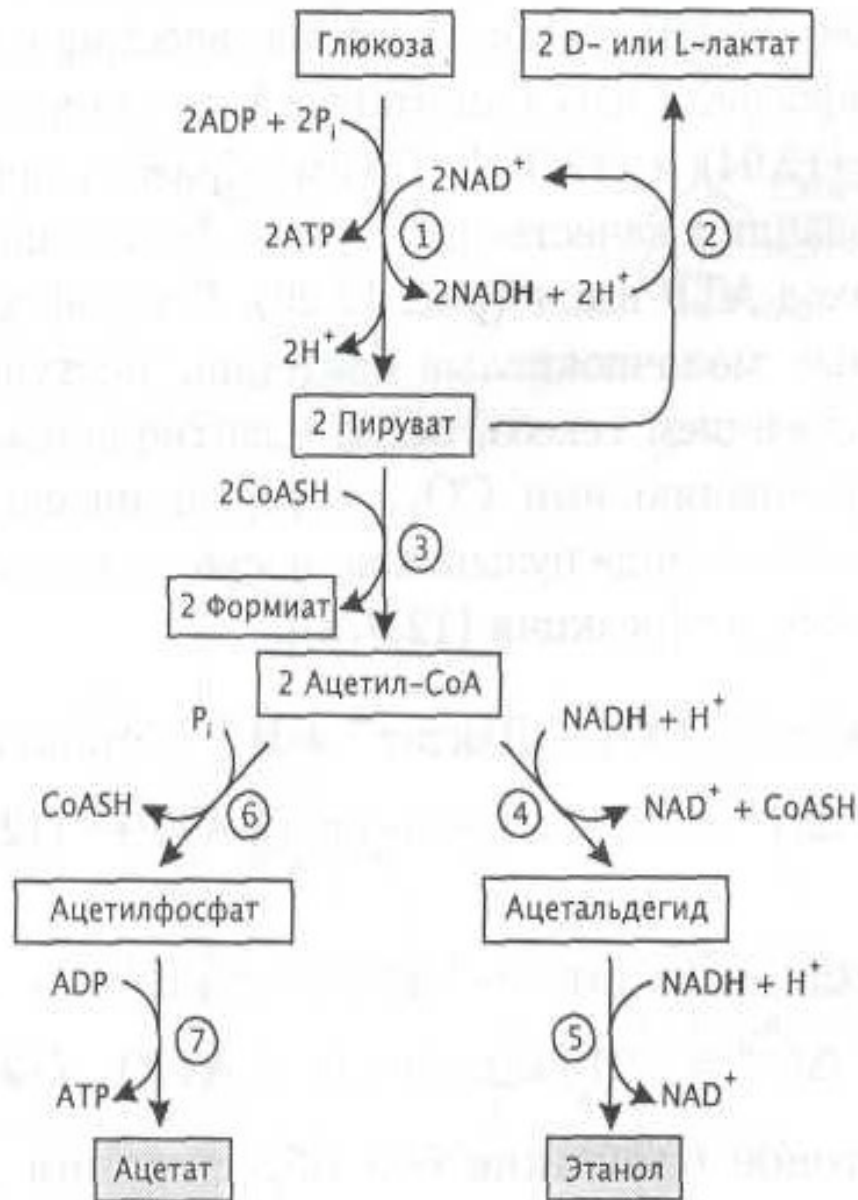
Гомоферментативное
молочнокислое брожение



Гетероферментативное молочнокислое брожение

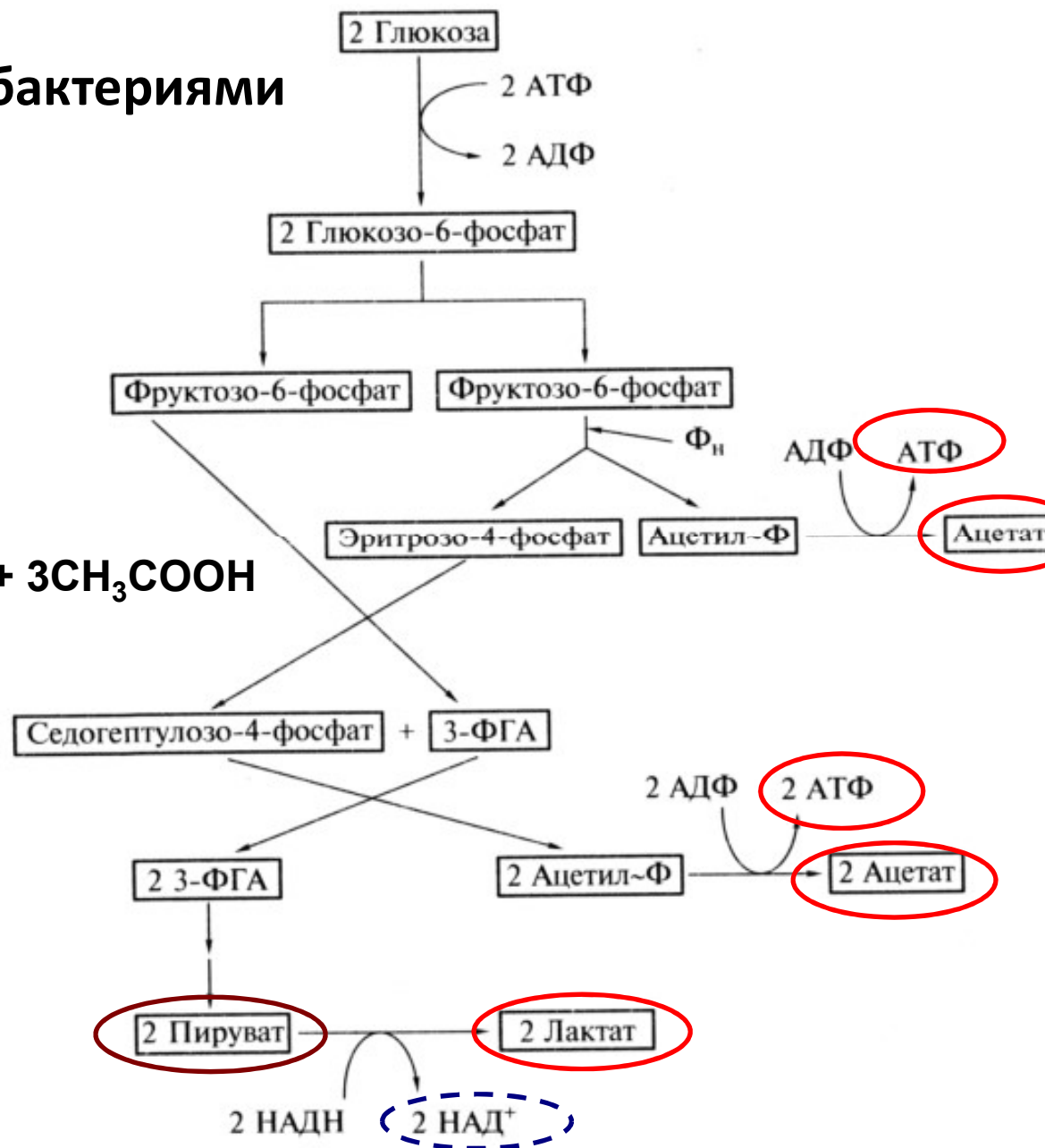


Гетероферментативное молочнокислое брожение

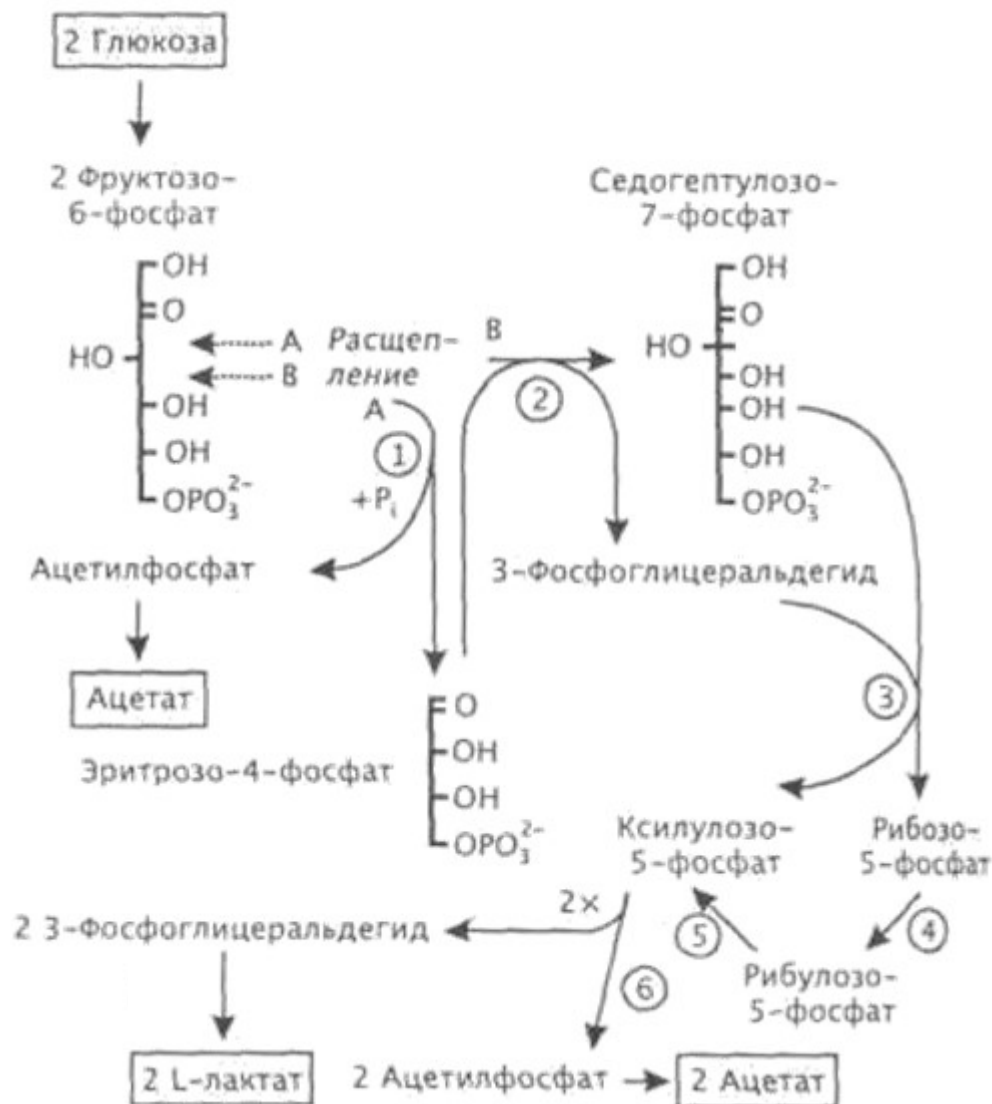


Гетероферментативное молочнокислое брожение,

осуществляемое бифидобактериями



Гетероферментативное молочнокислое брожение,



Путь брожения у *Bifidobacterium bifidum*.

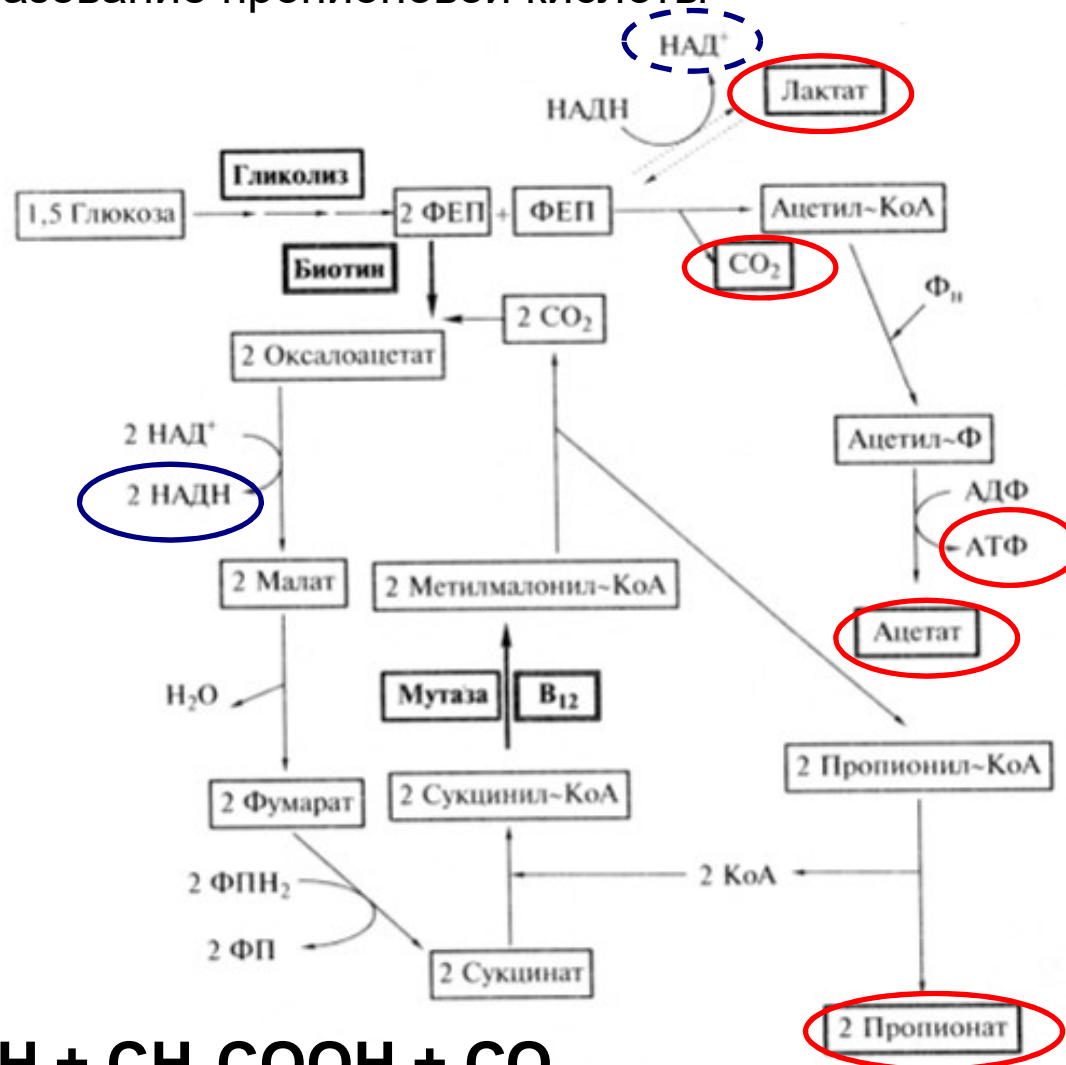
- 1 – фосфокетотлаза-1;
- 2 – трансальдоллаза;
- 3 – транскетотлаза;
- 4 – рибозо-5-фосфат-изомераза;
- 5 – рибулозо-5-фосфат-эпимераза;
- 6 – фосфокетотлаза-2.



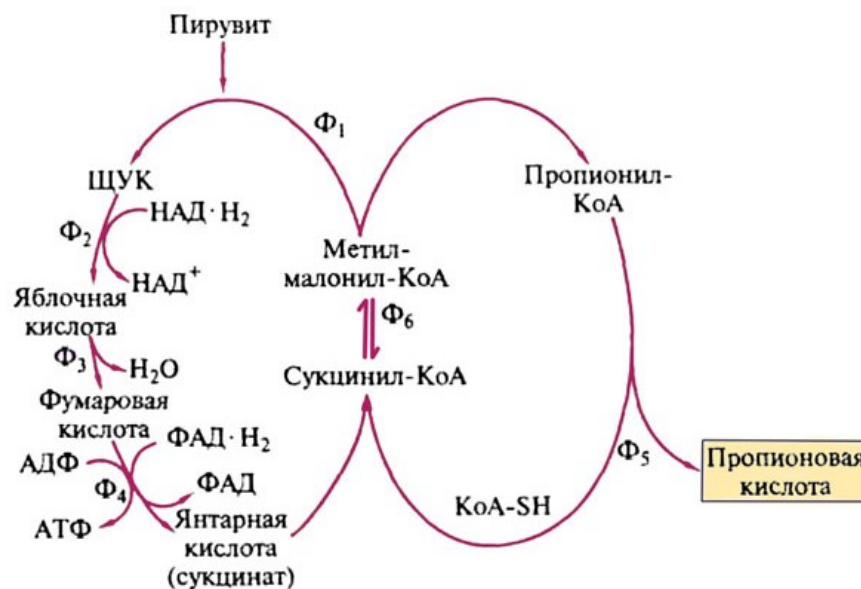
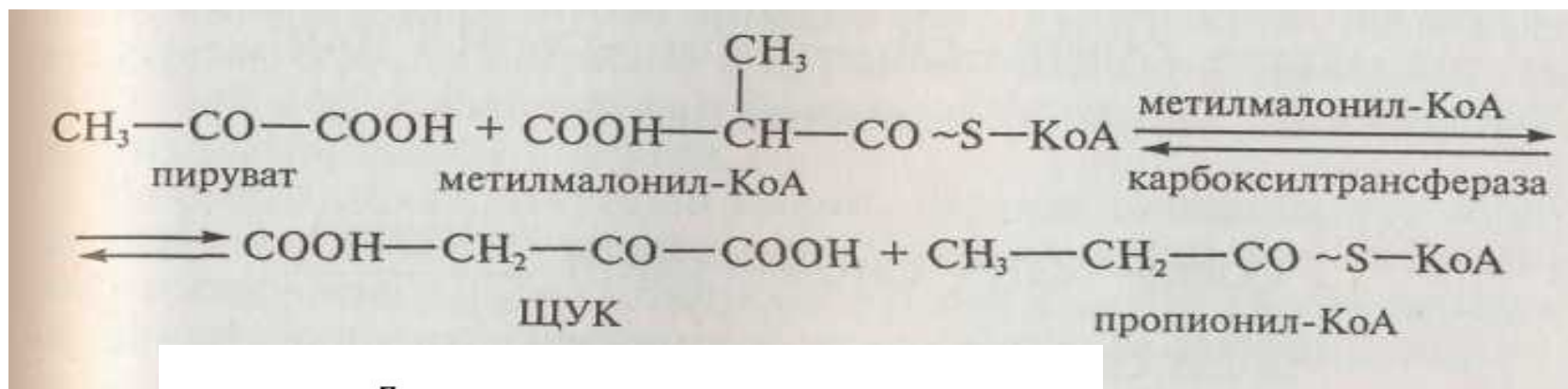
Пропионовокислое брожение

Основная группа м/о, способных осуществлять такое брожение, относится к подпорядку *Propionibacterineae* класса *Actinobacteria*

Метилмалонил-КоА-путь образование пропионовой кислоты

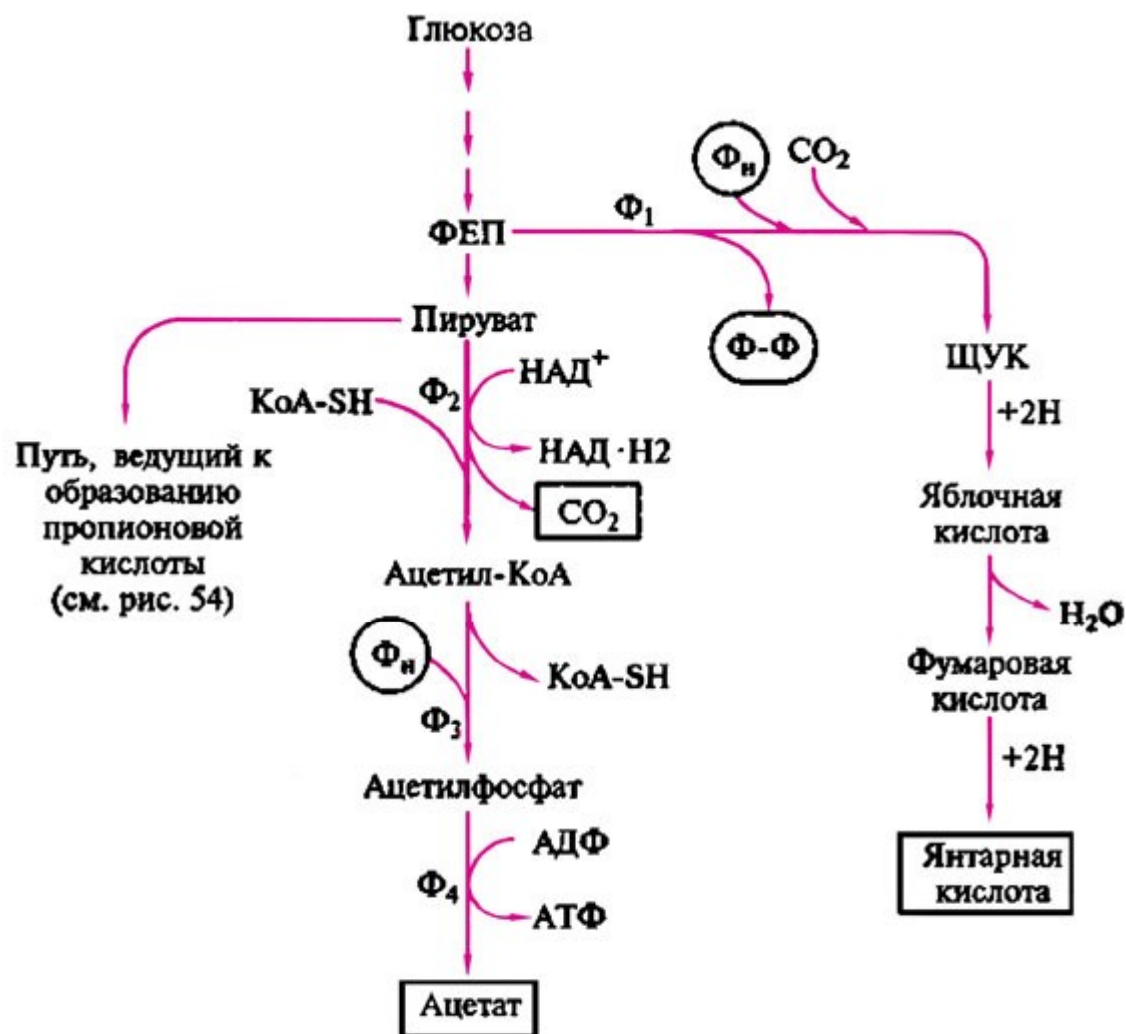


Пропионовокислое брожение



. Превращение пировиноградной кислоты в пропионовую при пропионовокислом брожении:

Φ_1 — метилмалонил-KoA-карбоксилтрансфераза; Φ_2 — малатдегидрогеназа; Φ_3 — фумараза; Φ_4 — фумаратредуктаза; Φ_5 — KoA-трансфераза; Φ_6 — метилмалонил-KoA-мутаза (по Dagley, Nicholson, 1973; Rose, 1971)

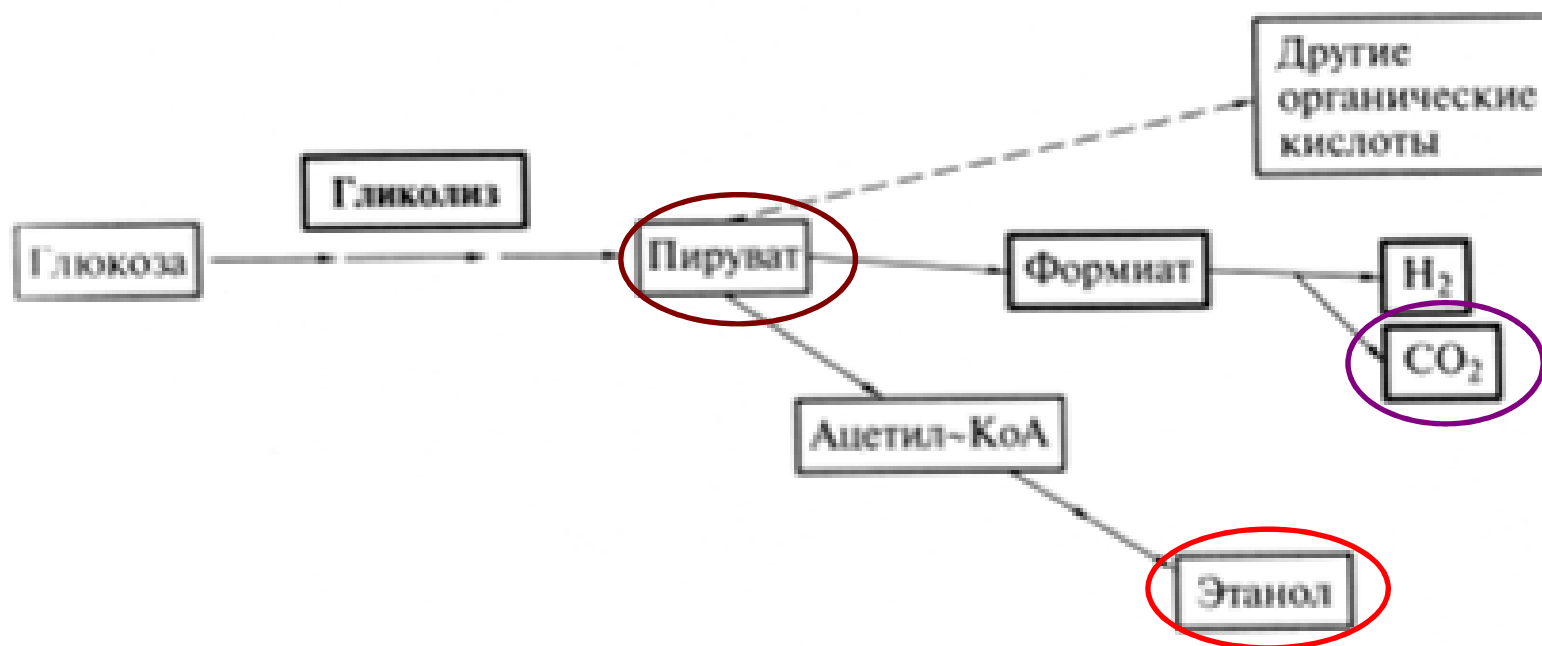


Пути образования янтарной, уксусной кислот и CO₂ пропионовыми бактериями:

Ф₁ — ФЕП-карбокситрансфосфорилаза; Ф₂ — пируватдегидрогеназа; Ф₃ — фосфотрансацетилаза; Ф₄ — ацетаткиназа

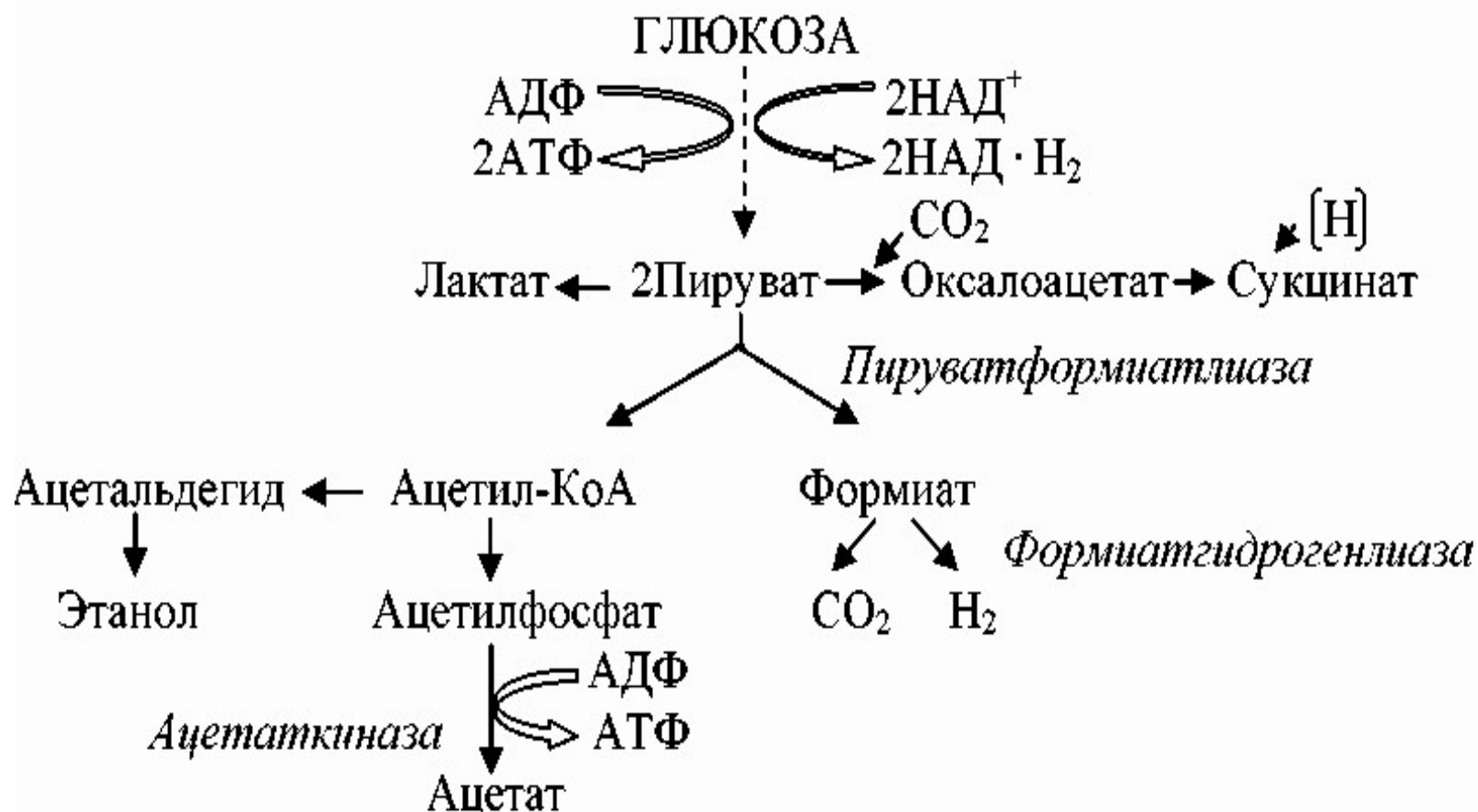
Смешанное (муравьинокислое) брожение

Порядок *Enterobacteriales* содержит несколько родов: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Shigella*, *Salmonella*, *Erwinia*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Serratia* и др.

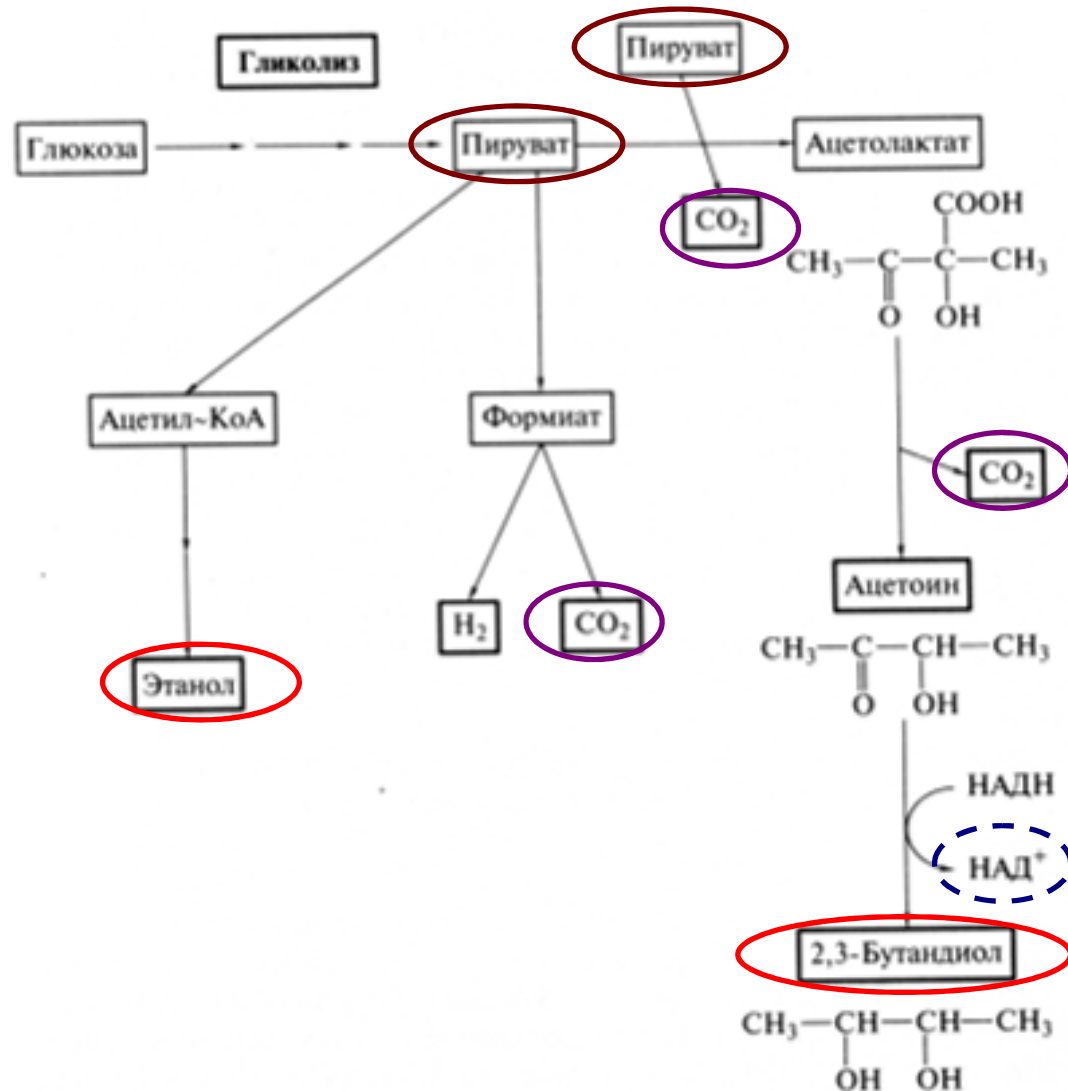


Смешанное (муравьинокислое) брожение

Порядок *Enterobacteriales* содержит несколько родов: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Shigella*, *Salmonella*, *Erwinia*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Serratia* и др.

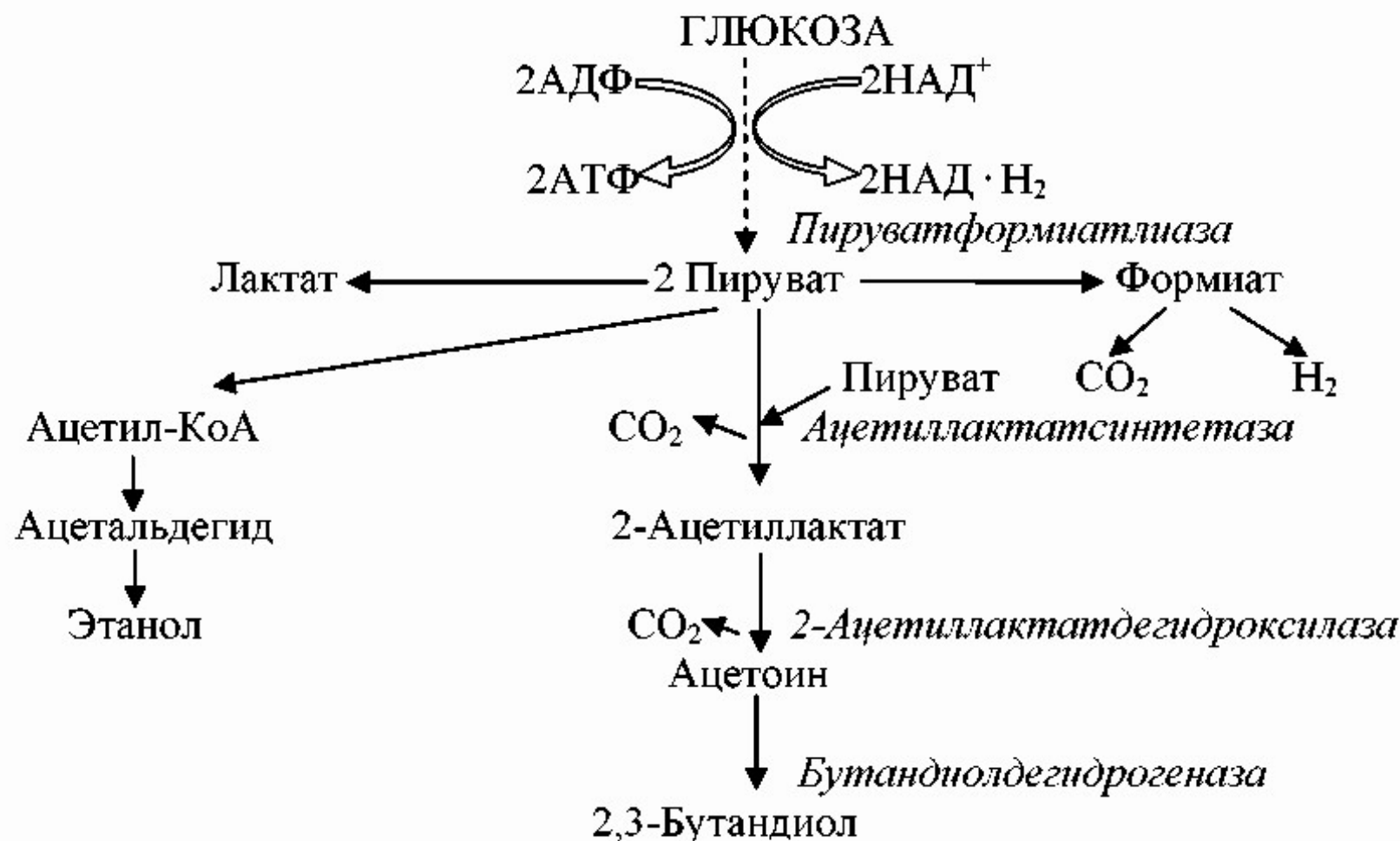


Бутандиоловое (муравьинокислое) брожение



Для родов *Enterobacter*, *Serratia*, *Erwinia*, а также некоторых видов рода *Bacillus* характерна несколько модифицированная схема, где преобладают не органические кислоты, а 2,3-бутандиол.

Бутандиоловое (муравьинокислое) брожение



Для родов *Enterobacter*, *Serratia*, *Erwinia*, а также некоторых видов рода *Bacillus* характерна несколько модифицированная схема, где преобладают не органические кислоты, а 2,3-бутандиол.

Маслянокислое и ацетобутиловое брожение

Осуществляют брожение м/о рода *Clostridium*, относящиеся к семейству *Clostridiaceae*, строгие анаэробы (*C.pasterianum*, *C.kluyveri*), другие аэротолерантны (*C.histolyticum*, *C.acetobutylicum*):

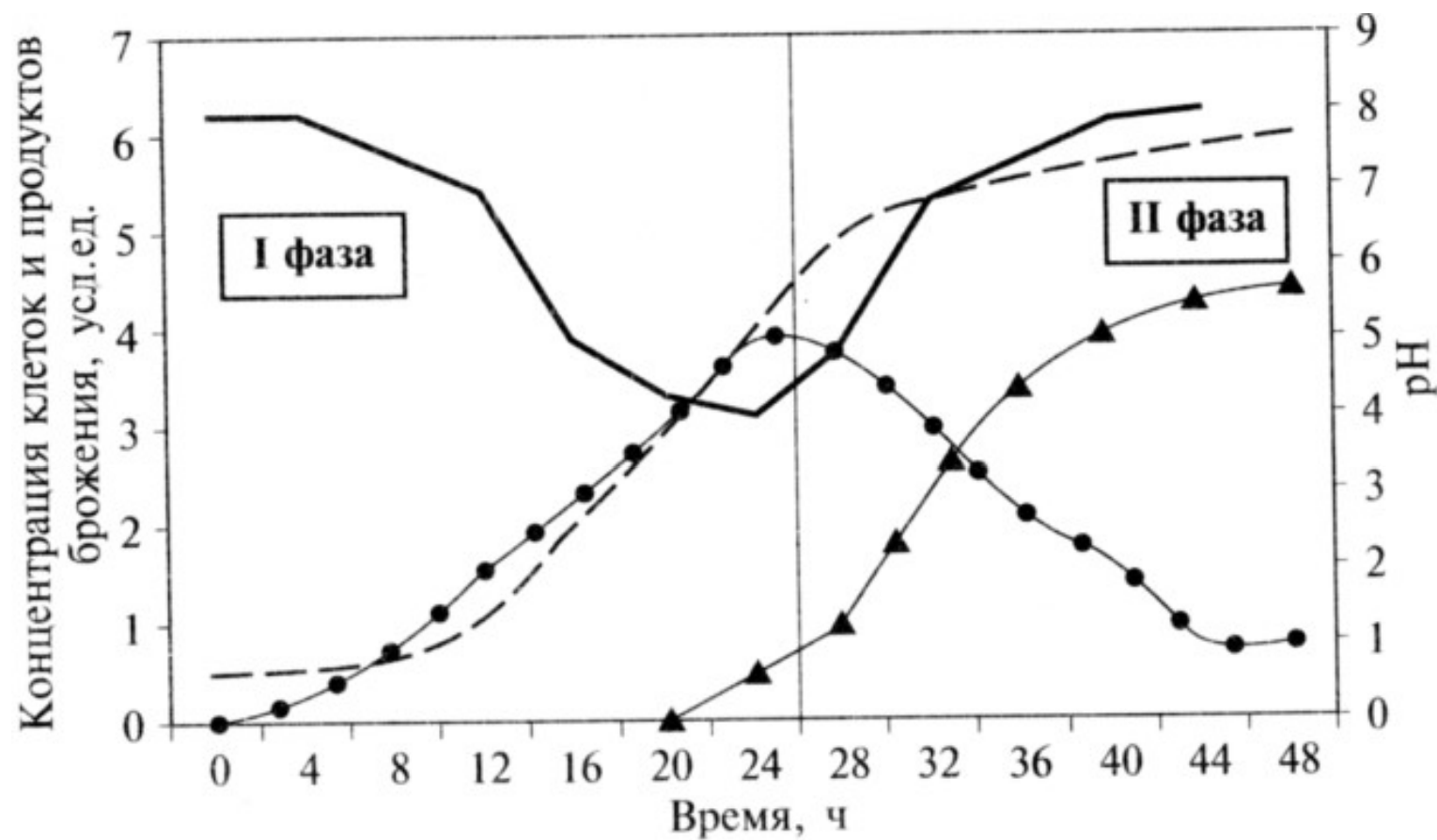
Сахаролитические клостридии растут на сахаросодержащих и полисахаридных средах;

протеолитические (или пептидолитические) способны использовать белки и аминокислоты, среди них много болезнетворных форм;

пуринолитические клостридии гидролизуют нуклеиновые кислоты и сбрасывают пурины и пиримидины.

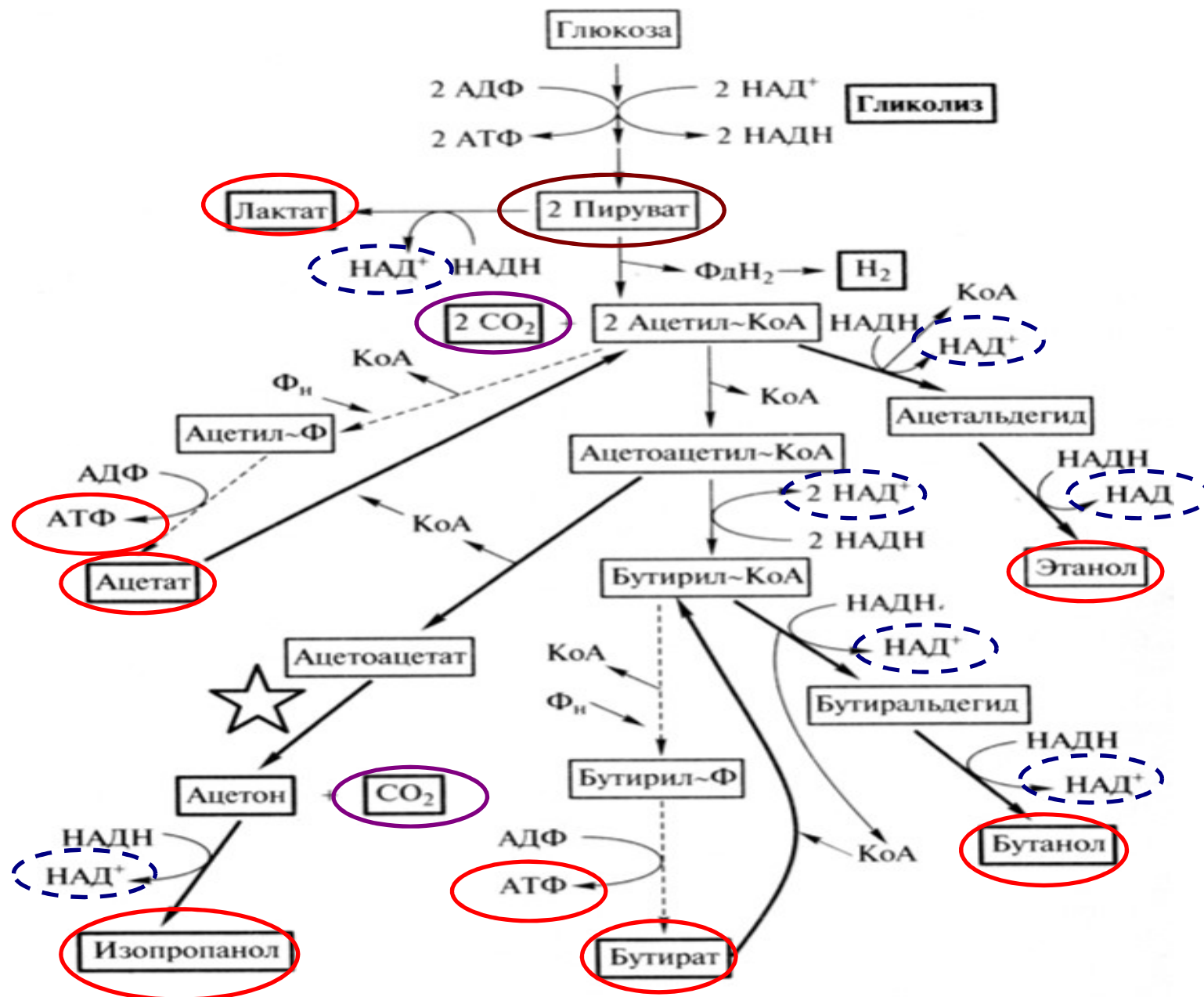
Этот вид брожения характеризуется четко выраженной *двуфазностью*.

Двухфазное маслянокислое и ацетонобутиловое брожение клостридий



--- биомасса; —> нейтральные продукты; —•— кислоты; — pH

Маслянокислое и ацетонобутиловое брожение



Гомоацетатное брожение

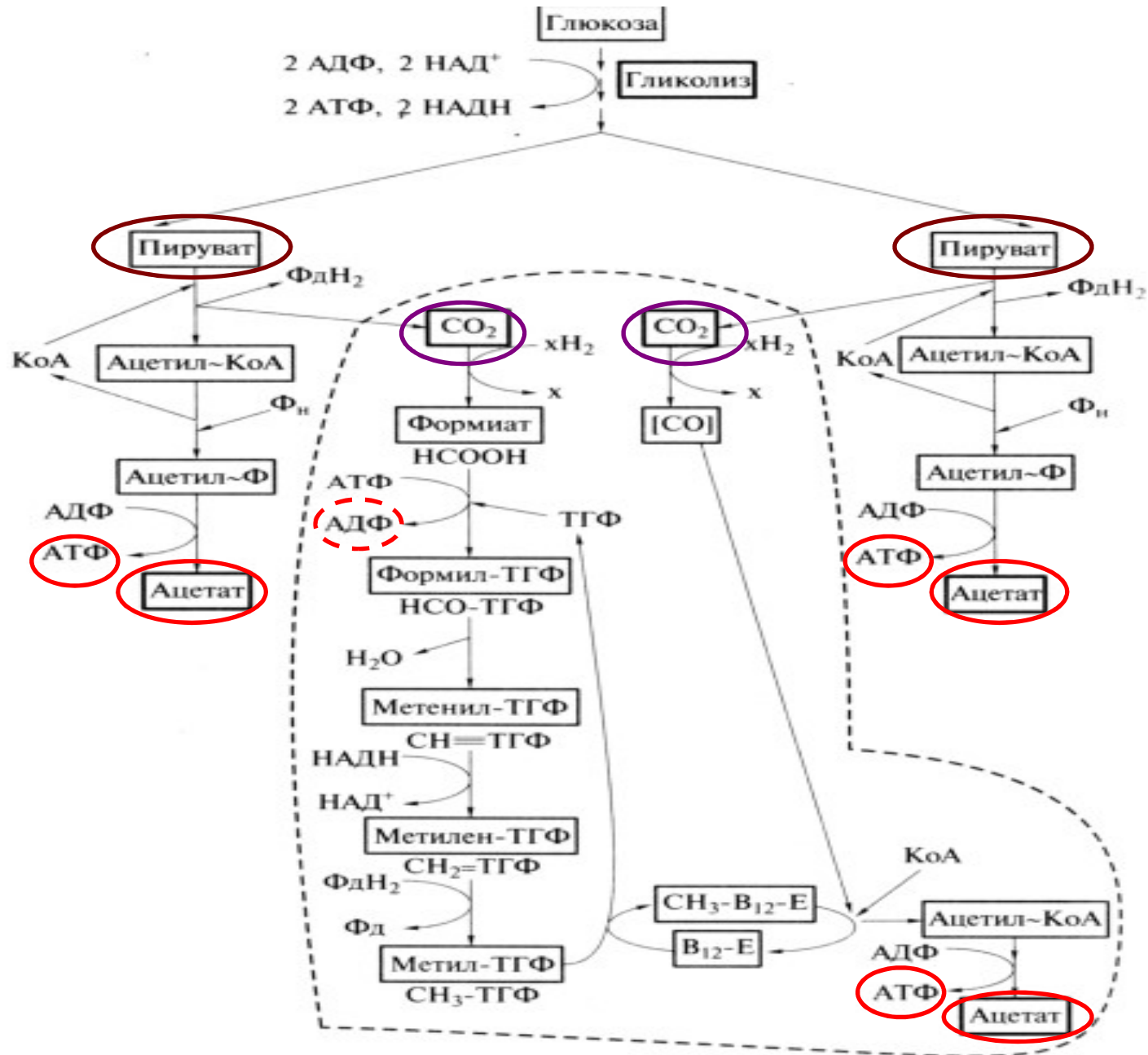
Мембраны гомоацетогенов содержат ферменты гидрогеназу, НАДН:ферридоксин-оксидоредуктазу, пирролохинолинхинонзависимую метанолдегидрогеназу, СО-дегидрогеназу, метилен-ТГФ-редуктазу и протонзависимую АТФсинтазу.

Гомоацетогенные м/о распространены во многих таксономических группах. Это представители родов *Clostridium* (*C.thermoaceticum*, *C.formicoaceticum*, *C.thermoautotrophicum* (растет при 75°C), *Acetobacterium*, *Acetoanaerobium*, *Acetogenium*, *Eubacterium*, *Peptostreptococcus*). Это все представители домена *Bacteria*.

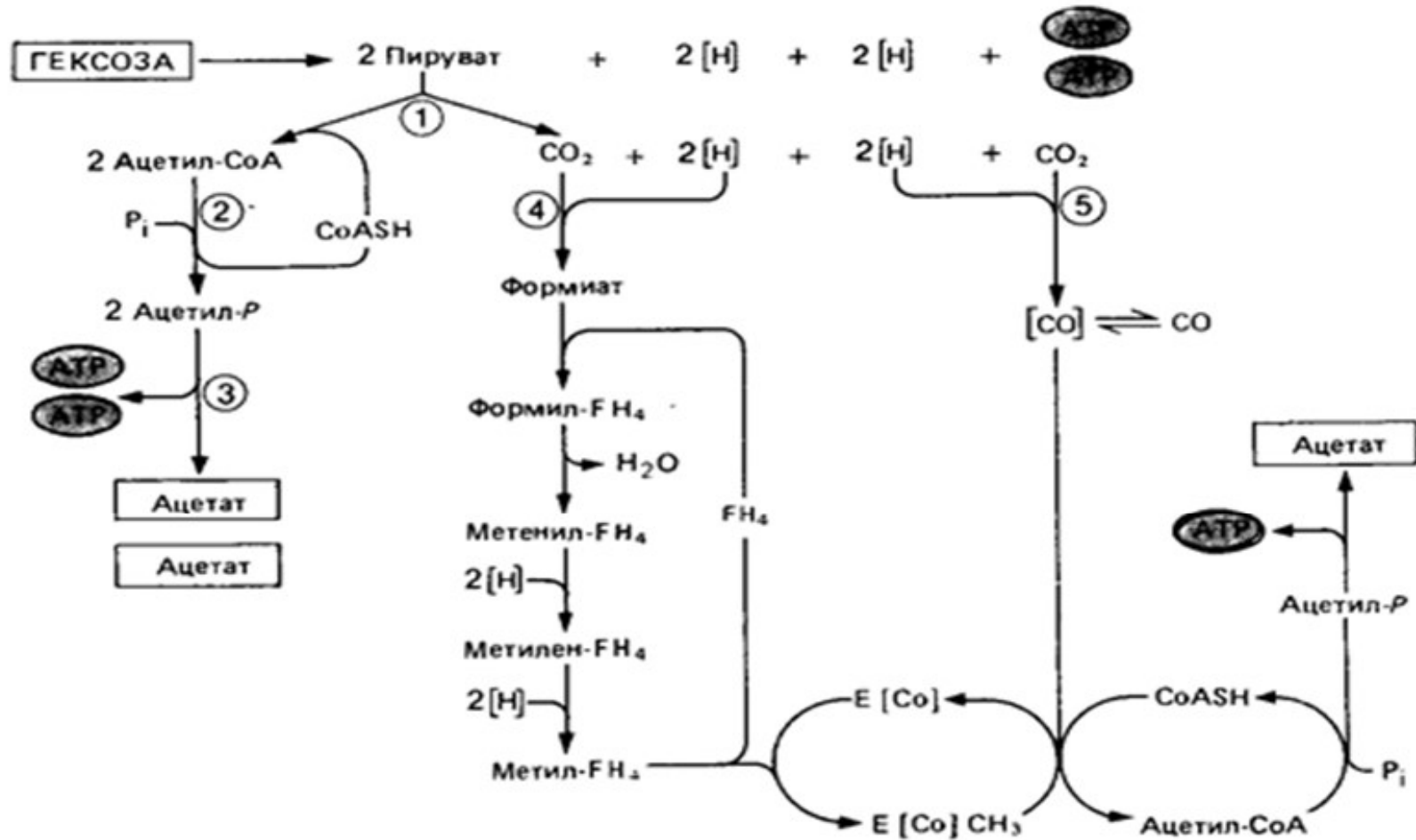
Продукт брожения – уксусная кислота. Часть реакций протекает за счет *анаэробного дыхания*. М/о, осуществляющие гомоацетатное брожение - это строгие анаэробы, способные перерабатывать богатый набор субстратов.

гомоацетогены расположены между бродильщиками и организмами, дышащими анаэробно, поскольку 2 молекулы ацетата дает брожение, а третья получается за счет анаэробного карбонатного дыхания.

Гомоацетатное брожение



Гомоацетатное брожение



E[Co] – корриноидный белок; **FH₄** – тетрагидрофолат;
[H] – водородные эквиваленты в виде **NADH₂** или **FdH₂**;
CO – экзогенная окись углерода, **[CO]** – связанная.