

МЕТАБОЛИЗМ МИКРООРГАНИЗМОВ

Энергетический
метаболизм

Конструктивный
метаболизм

Общая характеристика типов метаболизма

Метаболизм – это совокупность биохимических процессов, протекающих в клетках микроорганизмов и обеспечивающих их жизнедеятельность. Метаболизм складывается из двух процессов: энергетического метаболизма (катаболизма) и конструктивного метаболизма (анаболизма).

Энергетический метаболизм (катаболизм) – это совокупность реакций окисления различных восстановленных органических и неорганических соединений, сопровождающихся выделением энергии и восстановительных эквивалентов (атомов водорода, электронов, гидрид-ионов).



Конструктивный метаболизм (анаболизм) – это совокупность реакций биосинтеза, в результате которых за счет веществ, поступающих извне, и промежуточных продуктов (амфиболитов), образующихся при катаболизме, синтезируется вещество клеток.

Этот процесс связан с потреблением свободной энергии, запасенной в молекулах АТФ или других богатых энергией соединениях, а также восстановительных эквивалентов.



Метаболизм микроорганизмов чрезвычайно разнообразен. Микроорганизмы используют в качестве источников энергии и углерода большой спектр органических и неорганических веществ благодаря синтезу различных ферментов.

Ферменты микроорганизмов делятся на:

- экзоферменты,
- эндоферменты.

Экзоферменты – гидролазы, выделяющиеся из клетки наружу. Разрушают сложные полимерные молекулы исходных субстратов до более простых, мономерных:

белки → аминокислоты,

полисахариды → моносахариды,

липиды → жирные кислоты, глицерол.



Эндоферменты относятся ко всем известным классам ферментов. Они локализируются внутри клетки (на мембранах, рибосомах или в растворенном состоянии в цитоплазме).

Набор ферментов (экзоферментов и эндоферментов) изменяется в зависимости от условий, в которых обитают микроорганизмы.

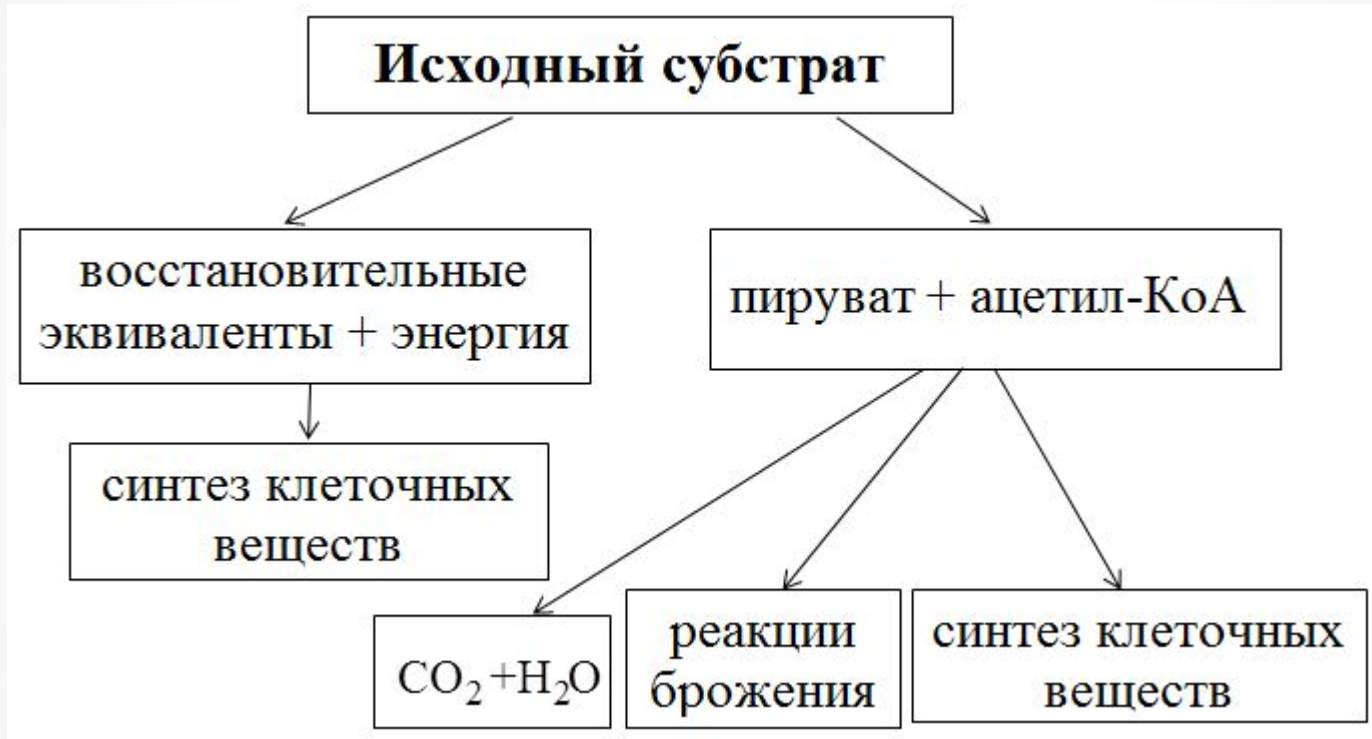
Ферменты делятся на конститутивные и индуцибельные.

Конститутивные ферменты синтезируются независимо от наличия субстратов и обнаруживаются в более или менее постоянных концентрациях.

Индукцибельные ферменты синтезируются в ответ на появление в среде субстрата-индуктора.



Процесс ферментативного окисления субстратов происходит по схеме:



В процессе метаболизма превращения субстратов и энергии сопровождаются переносом восстановительных эквивалентов с помощью кофакторов:

НАД,

НАДФ,

ФАД,

ФМН.

Окисленные формы переносчиков восстановительных эквивалентов: НАД⁺, НАДФ⁺, ФАД, ФМН.

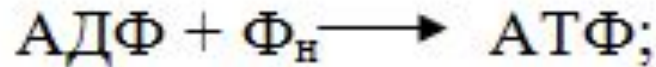
Восстановленные формы переносчиков восстановительных эквивалентов: НАДН, НАДФН, ФАДН₂, ФМНН₂.



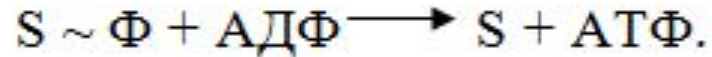
Общая характеристика энергетического метаболизма

Синтез молекул АТФ из АДФ и фосфатов может происходить двумя способами:

- окислительным фосфорилированием в дыхательной или фотосинтетической электронтранспортной цепи. Этот процесс у микроорганизмов связан с мембранами или их производными, поэтому его называют *мембранным фосфорилированием*. Синтез АТФ в данном случае происходит при участии фермента АТФ-синтазы:



- фосфорилированием на уровне субстрата. При этом фосфатная группа переносится на АДФ от вещества (субстрата), более богатого энергией, чем АТФ:



Такой способ синтеза АТФ получил название *субстратного фосфорилирования*. В клетке реакции субстратного фосфорилирования не связаны с мембранными структурами и катализируются растворимыми ферментами промежуточного метаболизма.

Все окислительно-восстановительные реакции энергетического метаболизма у хемотрофных микроорганизмов можно разделить на три типа:

- аэробное дыхание, или аэробное окисление;
- анаэробное дыхание;
- брожение.



Основной процесс энергетического метаболизма многих микроорганизмов – *аэробное дыхание*, при котором донором водорода или электронов являются органические (реже неорганические) вещества, а конечным акцептором – молекулярный кислород.

Основное количество энергии при аэробном дыхании образуется в электронтранспортной цепи, т. е. в результате мембранного фосфорилирования.



Анаэробное дыхание – это процесс окисления органических субстратов или молекулярного водорода с использованием в качестве конечного акцептора электронов не молекулярного кислорода, а других неорганических веществ (нитрата – NO_3^- , нитрита – NO_2^- , сульфата – SO_4^{2-} , сульфита – SO_3^{2-} , CO_2 , S^0 , ферриона – Fe^{3+} , манганата – Mn^{4+} , селената – SeO_4^{2-} , арсената – AsO_4^{3-} , хлората – ClO_3^- , перхлората – ClO_4^-), а также органических веществ (фумарата, диметилсульфоксида, триметил-N-оксида и др.).

Молекулы АТФ в процессе анаэробного дыхания образуются в основном в электронтранспортной цепи, т. е. в результате реакций мембранного фосфорилирования, но в меньшем количестве, чем при аэробном дыхании.



Брожение – совокупность анаэробных окислительно-восстановительных реакций, при которых органические соединения служат как донорами, так и акцепторами электронов.

Как правило, доноры и акцепторы электронов образуются из одного и того же субстрата, подвергающегося брожению (например, из углевода).

Сбраживанию могут подвергаться различные субстраты, но лучше других используются углеводы. АТФ при брожении синтезируется в результате реакций субстратного фосфорилирования.



Наиболее выгодным типом окислительно-восстановительных реакций у бактерий, в результате которых генерируется наибольший запас энергии в виде молекул АТФ, является аэробное дыхание.

Наименее выгодным типом энергодающих реакций является брожение, сопровождающееся минимальным выходом АТФ.

Поскольку большинство микроорганизмов в качестве источника энергии использует углеводы, и в первую очередь глюкозу, рассмотрим основные пути ее расщепления или катаболизма.



Три пути катаболизма глюкозы

У микроорганизмов возможны три пути катаболизма глюкозы:

1. гликолиз, или фруктозодифосфатный путь, или путь Эмбдена –Мейергофа – Парнаса (по имени исследователей, внесших большой вклад в изучение этого процесса);
2. окислительный пентозофосфатный путь, или гексозомонофосфатный путь, или путь Варбурга – Диккенса – Хореккера;
3. 2-кето-3-дезоксиглюконолатный путь (КДФГ-путь), или путь Энтнера – Дудорова.

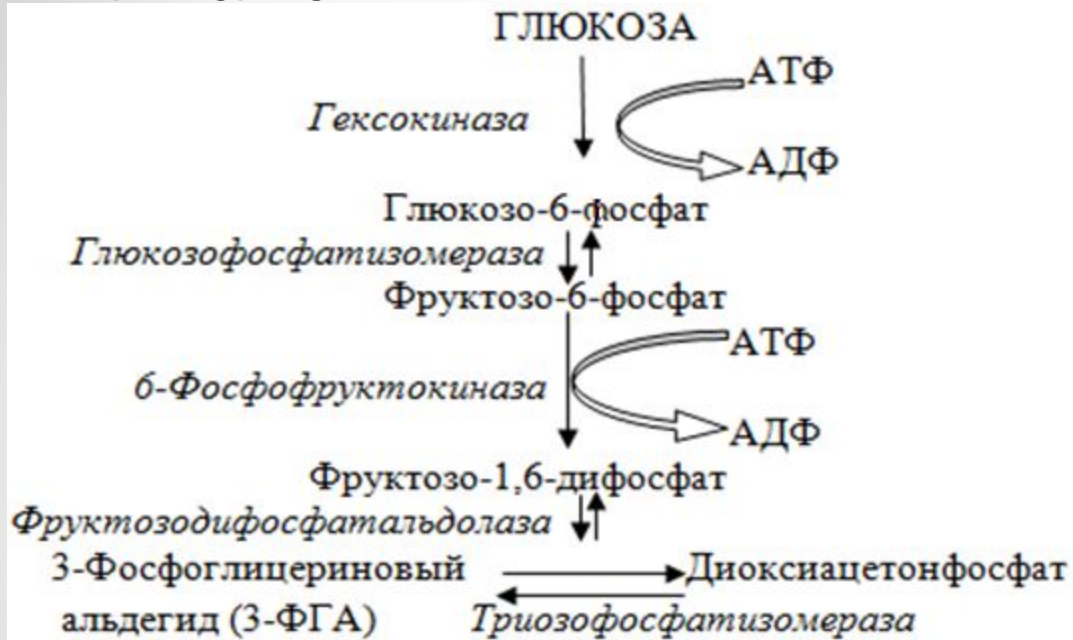


Все перечисленные пути катаболизма глюкозы у микроорганизмов могут протекать при разных типах энергетического метаболизма:

- аэробное дыхание,
- анаэробное дыхание,
- брожение.



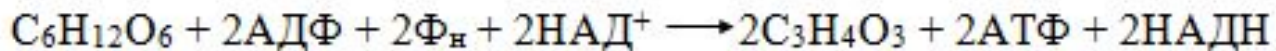
Гликолиз



При гликолитическом расщеплении одной молекулы глюкозы образуется четыре молекулы АТФ, в которых аккумулируется освобожденная энергия.

Поскольку в начале процесса на активирование глюкозы были затрачены две молекулы АТФ, чистый выход АТФ на одну молекулу глюкозы составляет две молекулы.

Суммарное уравнение гликолиза можно записать следующим образом:



Пентозофосфатный путь

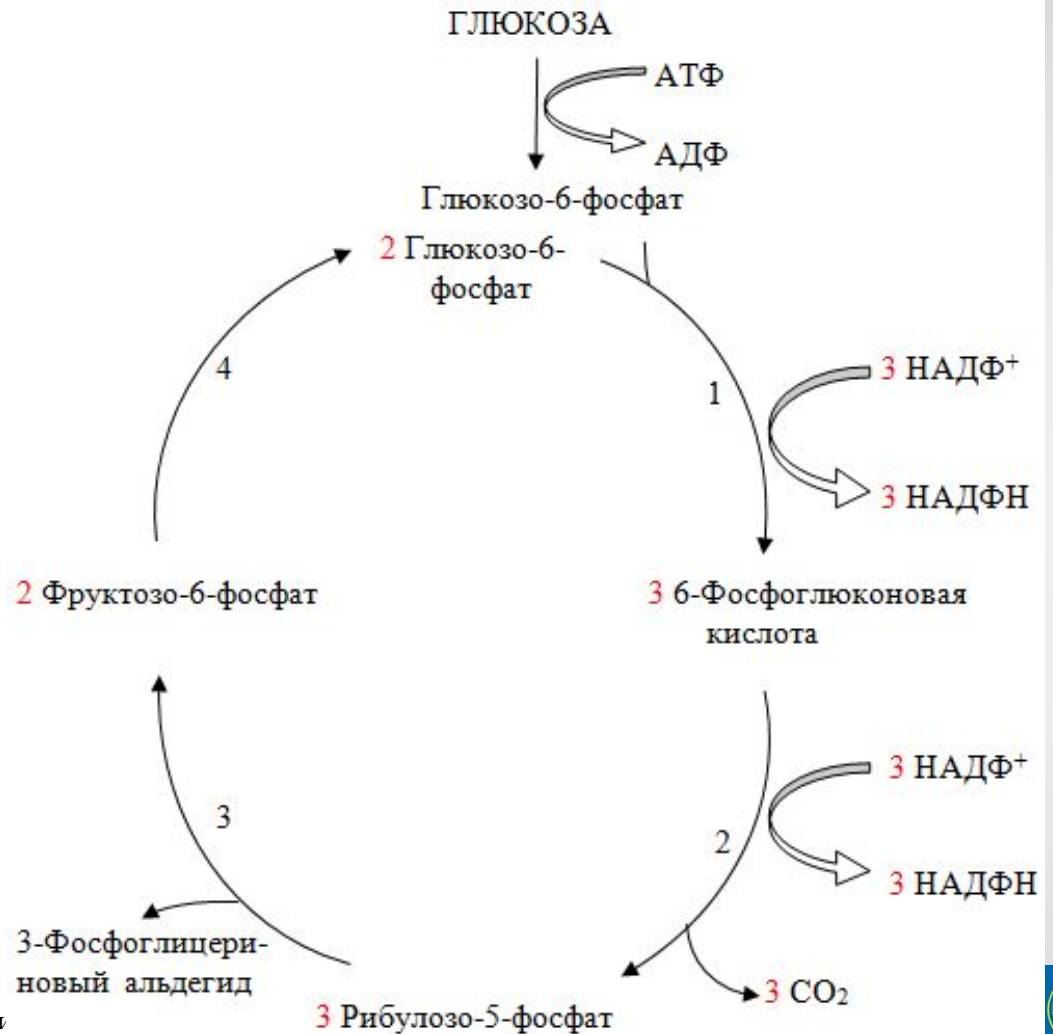
Окислительный
пентозофосфатный путь:

1 – глюкозо-6-фосфат-
дегидрогеназа;

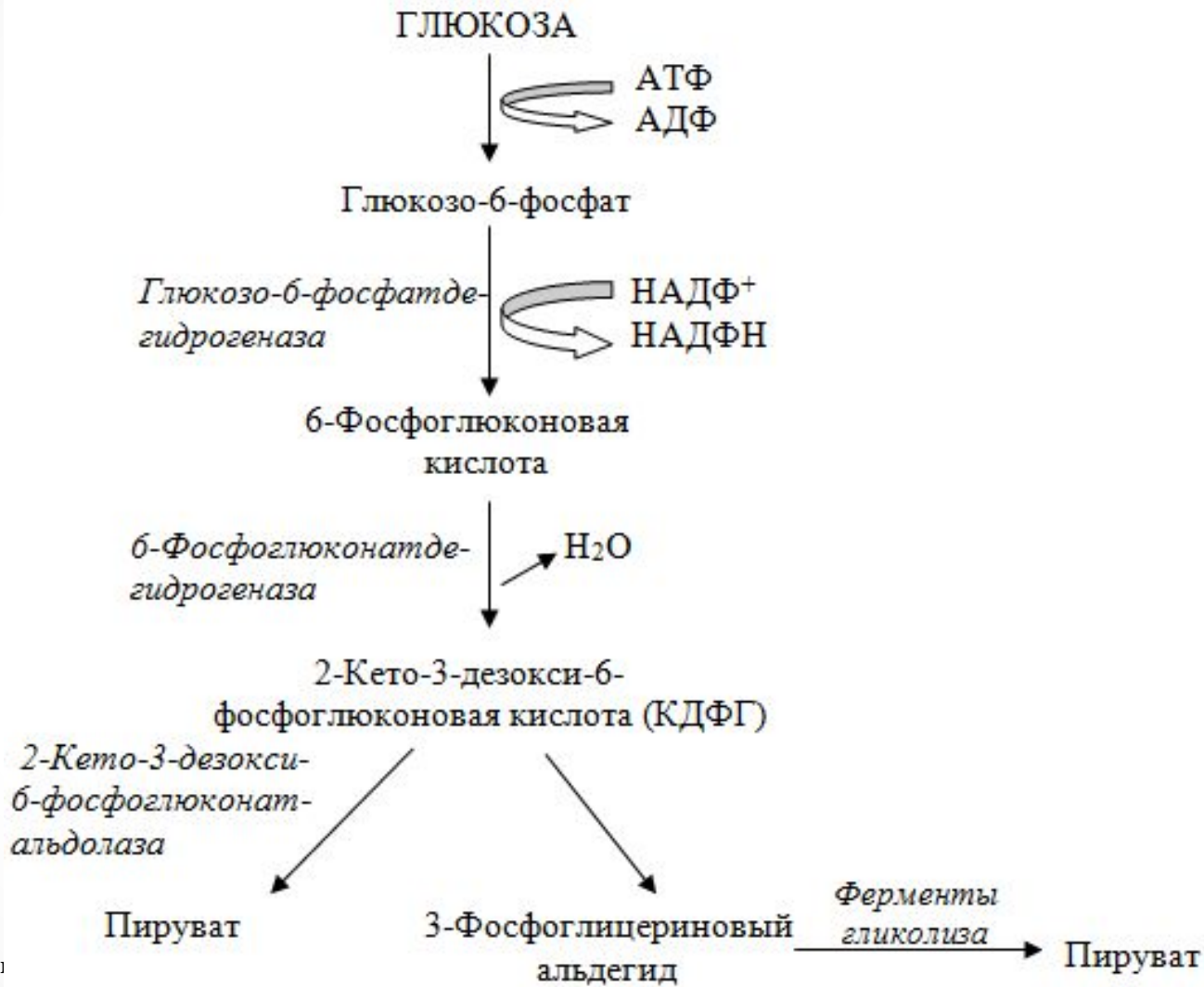
2 – глюконат-6-фосфат-
дегидрогеназа;

3 – трансальдолаза и
транскетолаза;

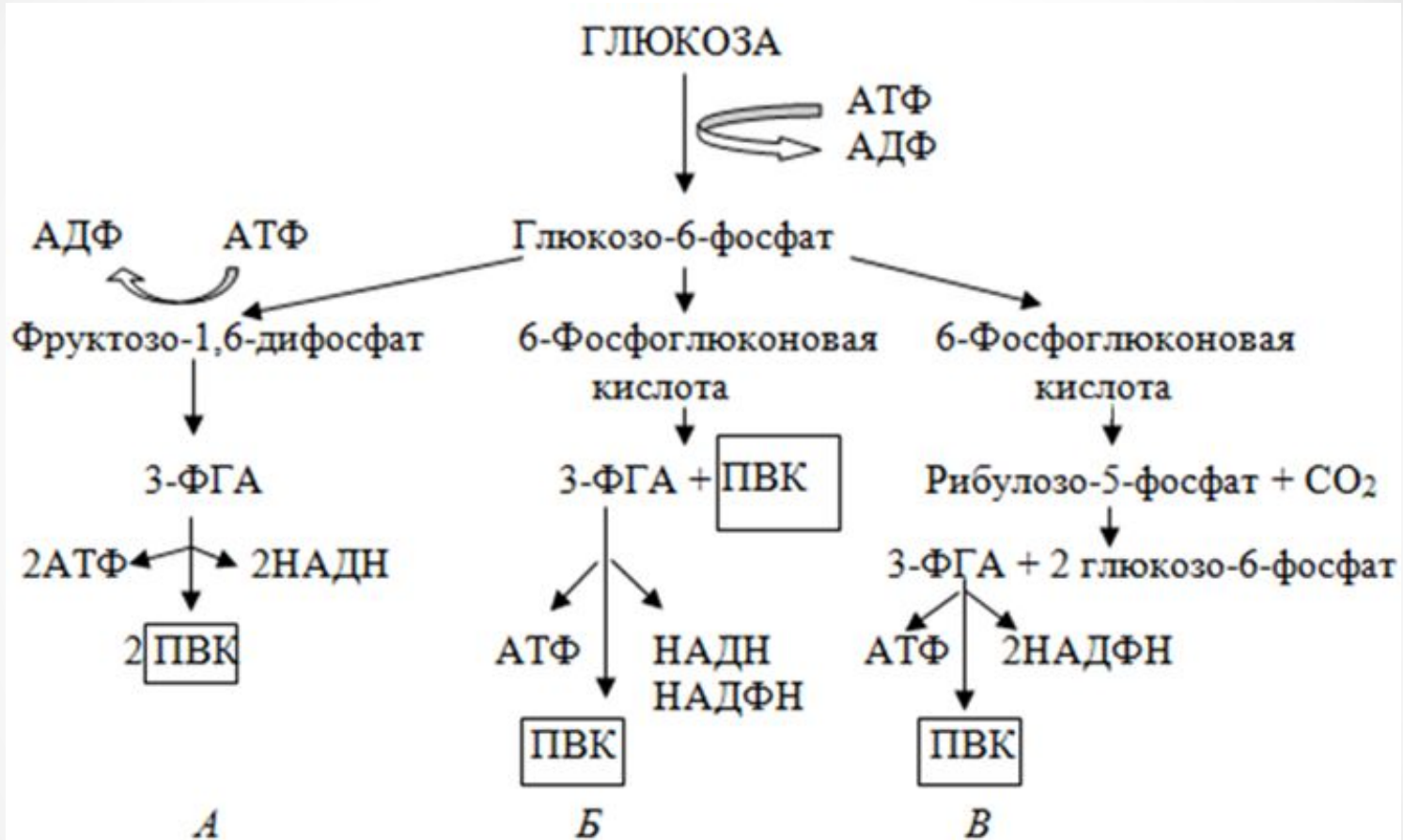
4 – фосфо-
глюкоизомераза



Путь Энтнера-Дудорова



Сравнительная характеристика путей катаболизма глюкозы в клетках прокариот



A – гликолиз; *B* – путь Энтнера – Дудорова; *B* – пентозофосфатный путь