

# ФЕРМЕНТАТИВНАЯ ОБРАБОТКА ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОСИНТЕЗА ЭТАНОЛА

**Уткина А.В.**  
(научный руководитель – к.х.н., доцент Е.В. Ожумкова)  
Кафедра биотехнологии, химии и стандартизации, Тверской государственный технический университет, 170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22; e-mail: alena.svet.00@yandex.ru

«Тверская область является одним из центров выращивания льна и первичной переработки льноволокна. В настоящее время в регионе формируется промышленный льняной кластер – это позволит обеспечить рост вклада региона в **импортозамещение** сырья для легпрома»

Руденя И.М., губернатор Тверской области



Известные традиционные методы переработки льняных отходов сопряжены с высокими **финансовыми затратами** и высокой нагрузкой на **экологию** Тверского региона.

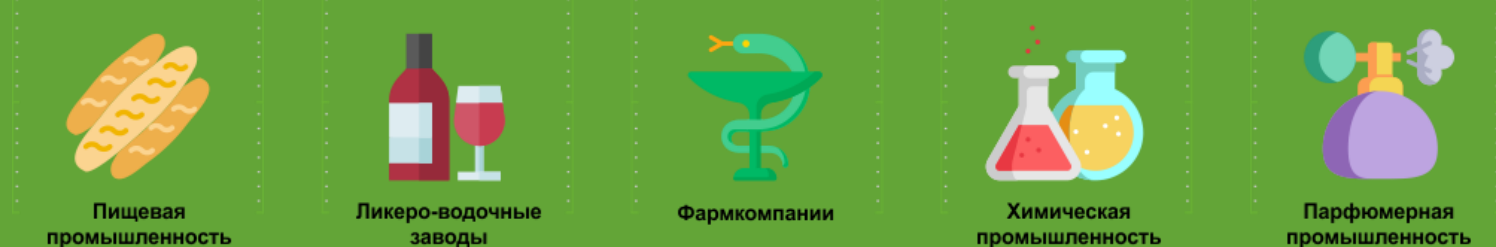
## ОСНОВНЫЕ СТАДИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА:

- Предварительная обработка целлюлозы и гемицеллюлозы для повышения доступности.
- Ферментативный гидролиз полисахаридов до простых сахаров.
- Микробиологическая ферментация простых сахаров (гексозы и пентозы) в этанол.
- Разделение и концентрирование этанола.

### ПОЧЕМУ ФЕРМЕНТЫ?

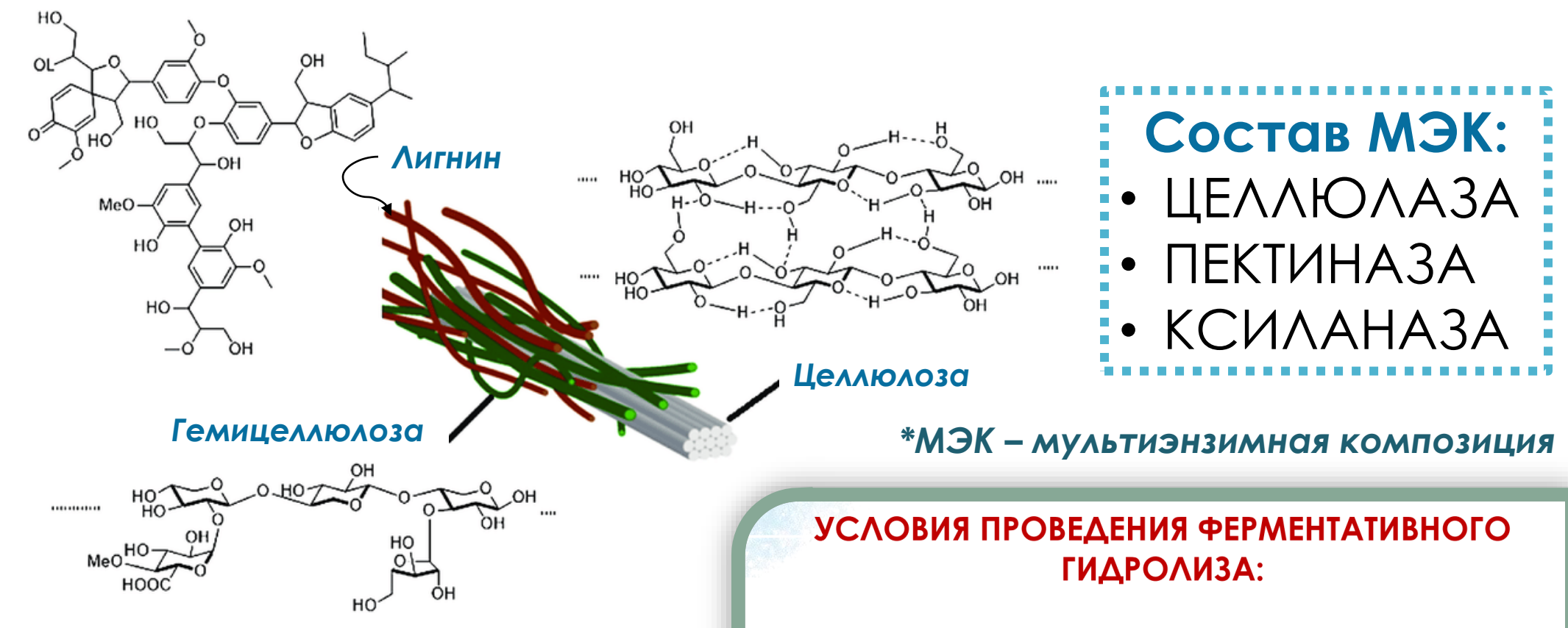
- Работают в мягких условиях при температуре 45-50°C и pH 4,8-5,0.
- Эффективное и высокое извлечение моносахаридов.
- Не образуются ингибиторы роста дрожжей.
- Нет склонности к коррозии.
- Сокращение затрат на утилизацию и рециркуляцию.

ОСНОВНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ ПРОДУКТА



## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ:

Образец	Массовые доли, % на а.с.в.			
	Целлюлозы по Кюршнеру	Пентозанов	Кислотонерастворимого лигнина	Зола
Костра льна	40,9±0,1	34,6±0,1	19,1±0,1	5,3±0,05



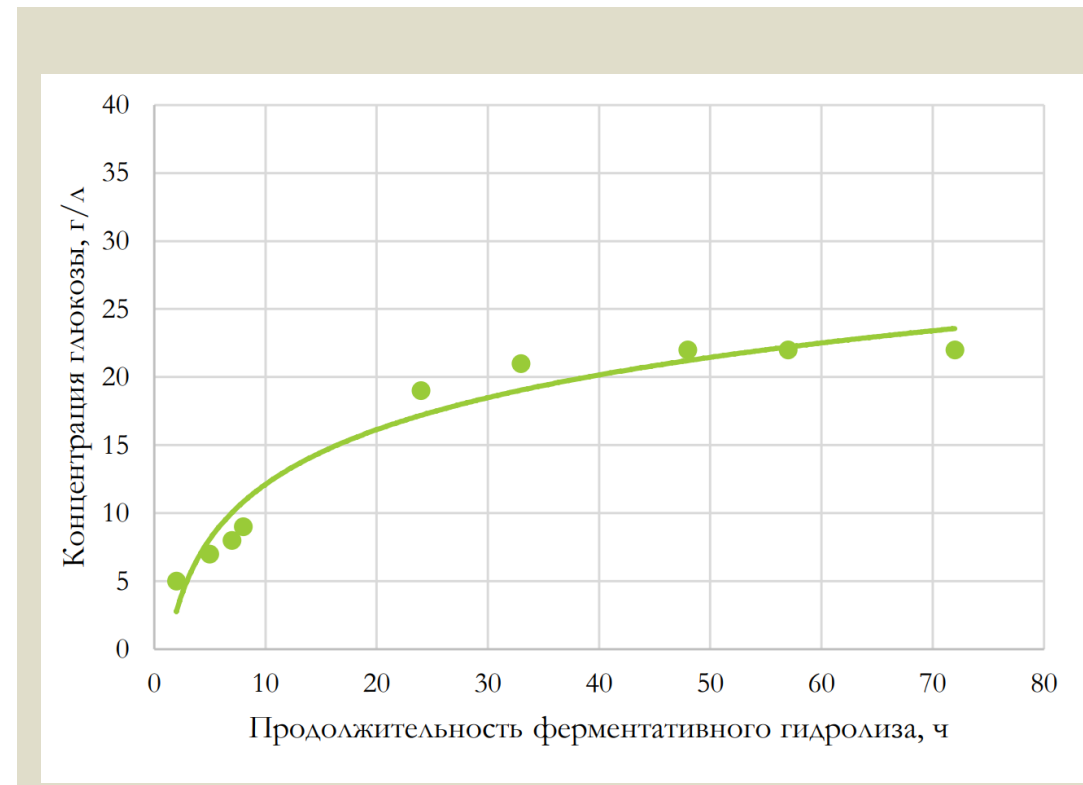
**УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА:**

- pH=5 (ацетатный буфер)
- Начальная концентрация субстрата – 50,0 г/л
- Температурный режим – (50±2) °C

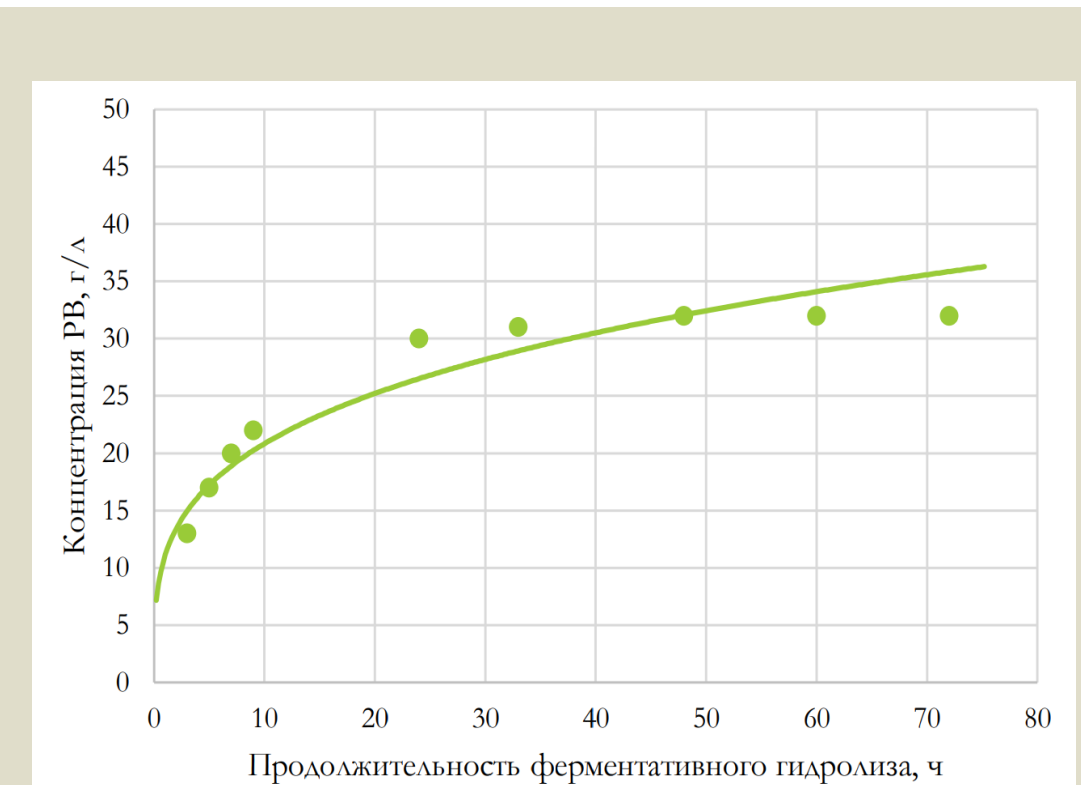
**ОПТИМАЛЬНЫЙ СОСТАВ МЭК**

Максимальная конечная концентрация **редуцирующих веществ (РВ)** достигается при следующих концентрациях ферментных препаратов, мг/г субстрата:

«Целлюлаза» - 150  
«Пектиназа» - 45  
«Ксиланаза» - 30

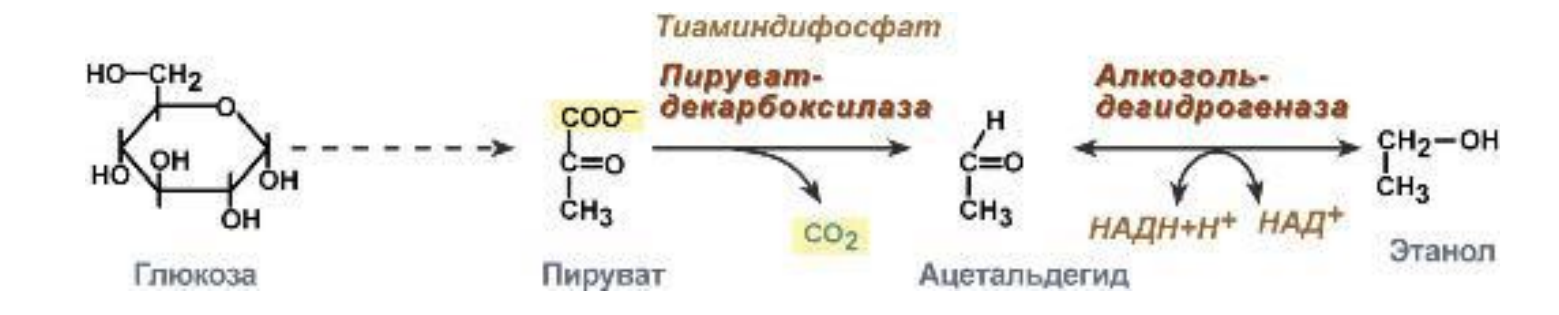


Зависимости концентрации глюкозы от продолжительности ферментативного гидролиза при концентрациях МЭК 225 мг/г субстрата



Зависимости концентрации редуцирующих веществ (РВ) от продолжительности ферментативного гидролиза при концентрациях МЭК 225 мг/г субстрата

## СХЕМА СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ:



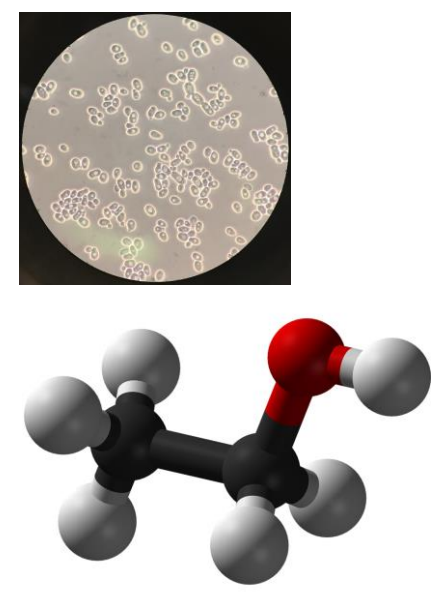
## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОТДЕЛЬНОЙ СТАДИИ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА ПЕРЕД ЕЕ СОВМЕЩЕНИЕМ СО СПИРТОВЫМ БРОЖЕНИЕМ:

Продолжительность отдельной стадии гидролиза, ч	Общее количество дрожжевых клеток, млн КОЕ/мл	Количество почкующихся клеток, %
8	5,5-8,0	7
15	17,0-21,0	12-25
24	17,0-24,0	12-25
39	17,0-27,5	12-25
48	17,0-28,5	12-25
72	6-30,5	12

Продолжительность стадии ферментативного гидролиза 8 – 15 часов создает неблагоприятные условия для жизнедеятельности дрожжей из-за высокой вязкости среды (большое количество негидролизованного субстрата).

**Наибольшее количество клеток дрожжей наблюдается при 72-часовом несовмещенном гидролизе (30,5 млн КОЕ/мл)**

- Отдельная стадия ферментативного гидролиза (72 часа)
- Охлаждение реакционной массы до 28 °C
- Внесение 15% засевных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*
- Сбраживание, совмещенное с осахариванием, в анаэробных статических условиях в течение 5 сут.



№	1	2	3	4	5	6
Продолжительность отдельной стадии гидролиза, ч	8	15	24	39	48	72
Концентрация биоэтанола, % об	0,7	1,2	2,1	1,9	1,7	1,3

При внесении дрожжей концентрация редуцирующих веществ снижалась в результате их преобразования в биоэтанол.

**Накопление глюкозы идет медленнее, чем накопление редуцирующих веществ (РВ), но доля глюкозы в РВ не остается постоянной и медленно растет.**

\*Преобразование РВ в биоэтанол проходит неполно (*Saccharomyces cerevisiae* не способны усваивать пентозы)