



# Производство недорогого протеина из метана в России

Алексей Аблаев  
НаноТайга  
Москва, Россия  
[info@nanotaiga.ru](mailto:info@nanotaiga.ru)

Эдвард Хэмрик  
Hamrick Engineering  
Майами, США  
[info@cellofuel.com](mailto:info@cellofuel.com)

---

## Глобальные тренды производства электроэнергии

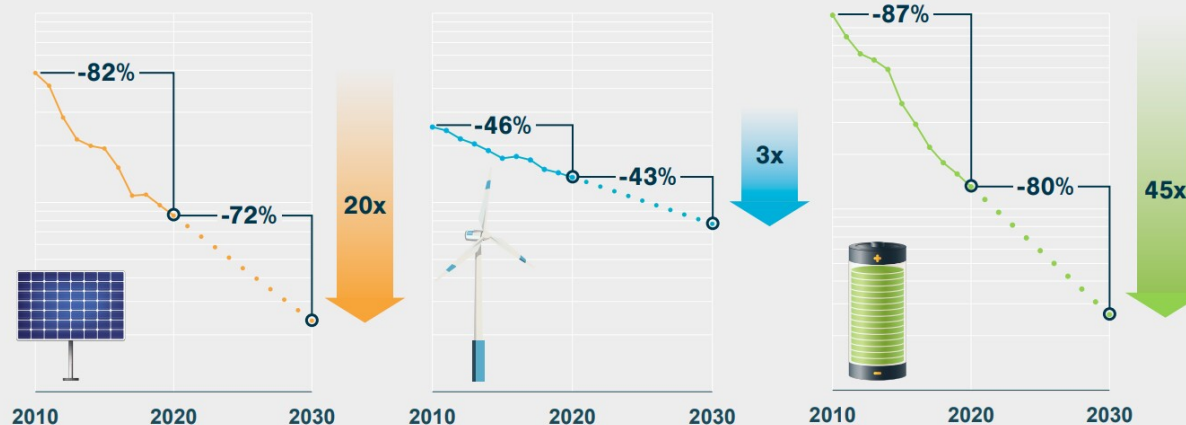
(Источник: *Tony Seba at rethinkx.com*)

Китай лидирует в этом технологическом прорыве. Возможные ограничения ресурсов для производства солнечных панелей. Менее рентабельны в северных широтах.

### 100% Solar, Wind, and Batteries is the Cheapest System by 2030

Falling costs drive technology disruptions. Solar and wind are already the cheapest new generation options, and cost less than existing coal, gas, and nuclear power plants in many areas. The cost of SWB systems will fall another 70% by 2030, making disruption inevitable.

\$/kWh (logarithmic plot)

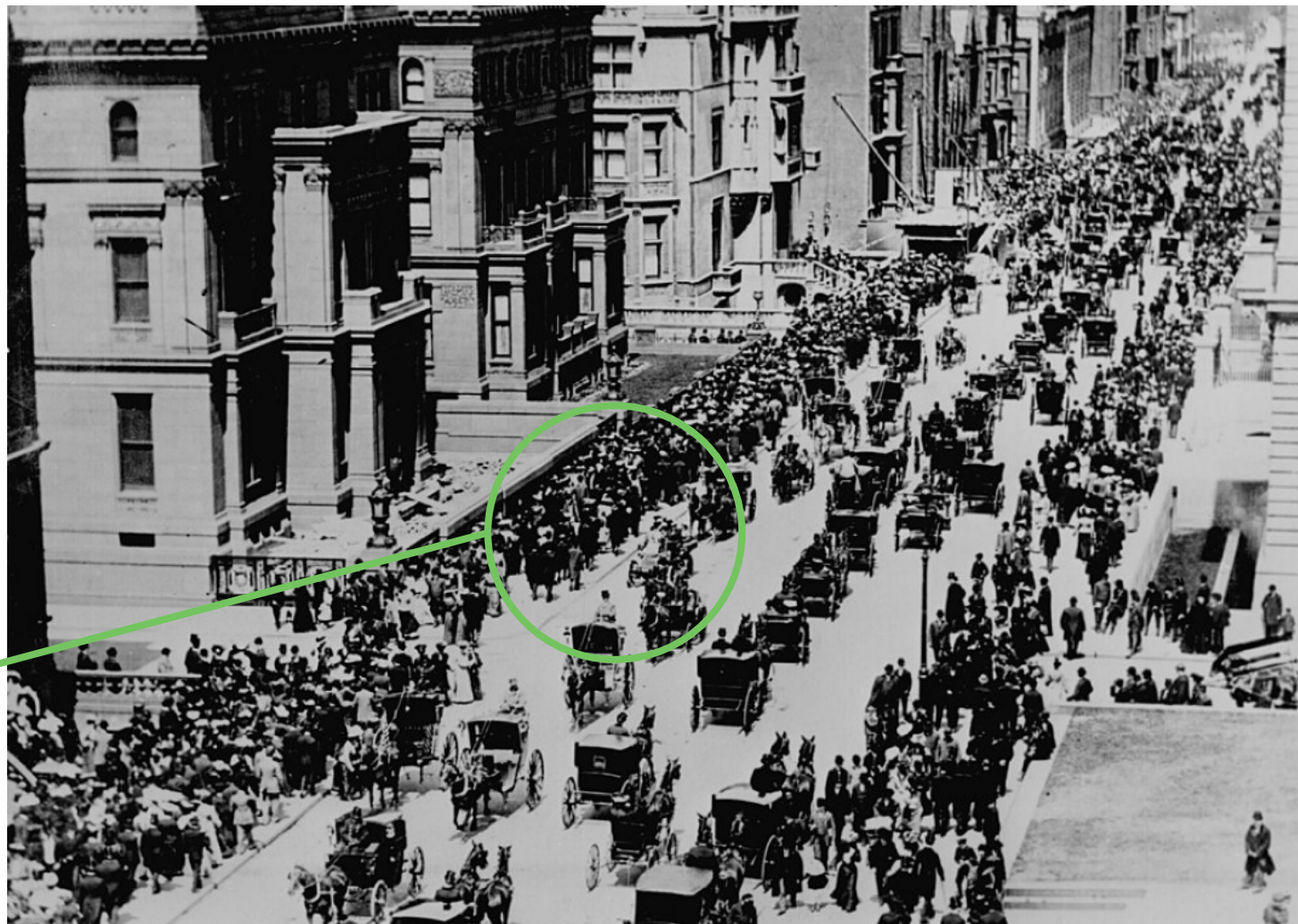


- » **We are beyond the rupture point, and the bulk of disruption will unfold rapidly over the next decade.**
- » **Electricity from a 100% SWB system in 2030 will cost less than 3 cents per kilowatt-hour.**
- » **New investments in coal, gas, or nuclear power is financially unviable.**
- » **Existing coal, gas, and nuclear assets will be stranded.**

## Разрушение рынка

5-ая авеню, Нью-Йорк  
**1900 год**

Где автомобили?





## Разрушение рынка – новая фаза

5-ая авеню, Нью-Йорк  
**1913 год**

ГДЕ ЛОШАДИ?



## Глобальные тренды в производстве транспортного топлива

- Сегодня 50% нефти в мире используется для автомобильного транспорта, еще 5% приходится на биоэтанол.
- Автомобильный транспорт переходит на аккумуляторные электромобили (BEV). Китай и Tesla доминируют на рынке. Большинство новых автомобилей в Китае — BEV. Через 10 лет большинство производителей автомобилей с двигателями внутреннего сгорания обанкротятся.  
VW, GM, Ford, Toyota имеют огромные долги, быстро движутся к банкротству.
- В мире производится 129 млн тонн топливного этанола в год, используя 256 млн тонн сахара и крахмала.  
Можно произвести 129 млн тонн белка в год из этих сахаров и крахмала.
- Население увеличится с 8 млрд до 10 млрд человек в ближайшие 20 лет.  
При 80 г белка на человека в день потребуется дополнительно не менее 160 млн тонн белка в год.

## Глобальные тренды в производстве электроэнергии

- Из природного газа производится 6 300 ТВтч электроэнергии в год во всем мире, потребляя 891 Мт природного газа
- Себестоимость производства электроэнергии из солнечной энергии меньше, чем из природного газа
- Поскольку производство электроэнергии переключается на фотовольтаику, избыток природного газа в следующие 20 лет в конечном итоге может производить 450 млн тонн белка в год из этого природного газа.
- Избыток газа из NordStream 1 и 2 составляет 110 млрд м<sup>3</sup>. (75 млн тонн в год)  
Россия сжигает на факелах 10 млн долларов в день (3,6 млрд долларов в год)  
Избыток газа Norstream может приносить доход в размере 75-150 млрд долларов в год от производства и продажи протеина одноклеточных (Single Cell Protein, SCP)

## Глобальные источники недорогого газа

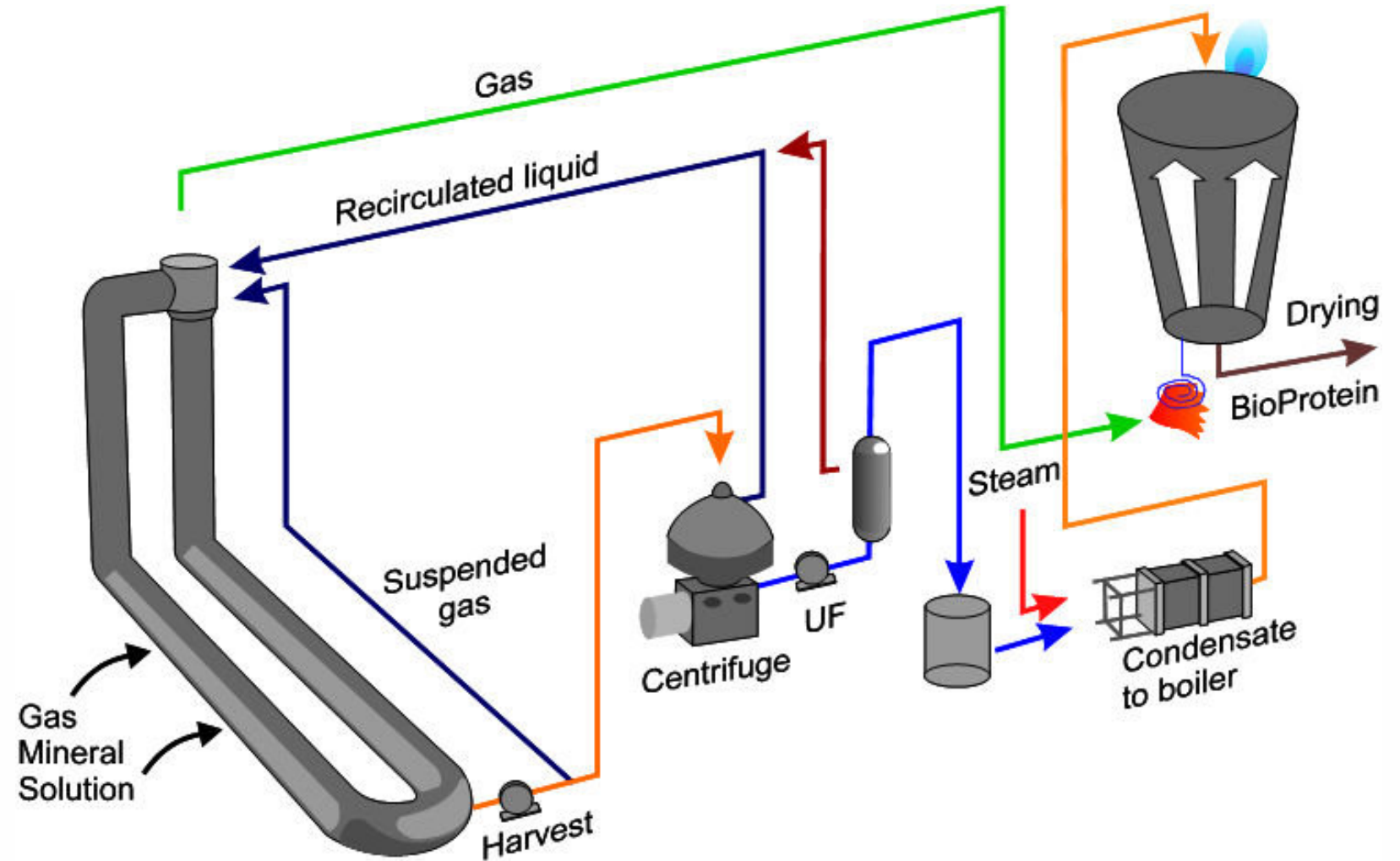
- В России большое количество избыточного природного газа и факельного газа, еще больше нерентабельного природного газа – трубопроводы дорогие.
- Катар и Бахрейн имеют большие излишки природного газа, ограниченные мощностями по сжижению.
- В США большие запасы нерентабельного природного газа – трубопроводы дорогие.
- Весь этот природный газ может удовлетворить все мировые потребности в белке.
- Люди предпочитают рыбу и курицу текстурированному белку. Протеин одноклеточных (SCP) имеет очень хороший коэффициент конверсии корма с рыбой и курицей.
- Beyond Meat — белок из гороха, бобов мунг, конских бобов, коричневого риса не такой вкусный, как лосось и курица.

## Если так все просто – в чем проблема?

- В Советском Союзе тысячи инженеров мирового класса работали над созданием SCP (Гаприн) из природного газа.
- Дания и Норвегия десятилетиями работали над созданием белка одноклеточных (SCP) из метана.
- Германия производила белок одноклеточных (SCP) из отработанного сульфитного щелока в 1930-х и 1940-х годах.
- Россия в настоящее время производит SCP из природного газа (Protelux)
- ПОЧЕМУ ВСЕ ЭТИ ПРОЕКТЫ ПРОВАЛИЛИСЬ?  
  
Соевый белок дешевле - \$2/кг.



# Protein from Natural Gas - Norferm



## Protein from Natural Gas - Norferm



## Protein from Natural Gas - Protelux



## Протеин из природного газа – статус проектов

- Биопроtein (Methylococcus capsulatus) производился с 1997 по 2005 год на заводе Norferm в Тьелдбергоддене, к северу от Тронхейма, Норвегия.
- Построен в 1997 году, производил 20 000 тонн биопротеина в год, закрыт в 2005 году после убытка в 9 миллионов долларов в год - не мог конкурировать с ценой на соевый белок.
- Protelux производит Биопроtein с 2018 года на заводе в Ивангороде Ленинградской области, недалеко от границы с Эстонией.
- Строительство завода обошлось в 3,5 млрд рублей, «Протелюкс» никогда не был прибыльным — не может конкурировать с ценами на соевый белок.
- Cargill и Calysta объявили о создании совместного предприятия с использованием той же технологии, что и Protelux, строительство которого началось в 2017 году. Текущий снимок со спутника показывает большой пустой участок земли — не может конкурировать с ценой на соевый белок.

**Урок: необходимо производить белок по цене менее 2 долларов за кг, чтобы конкурировать с соевым белком.**



# Протеин из природного газа – как добиться успеха

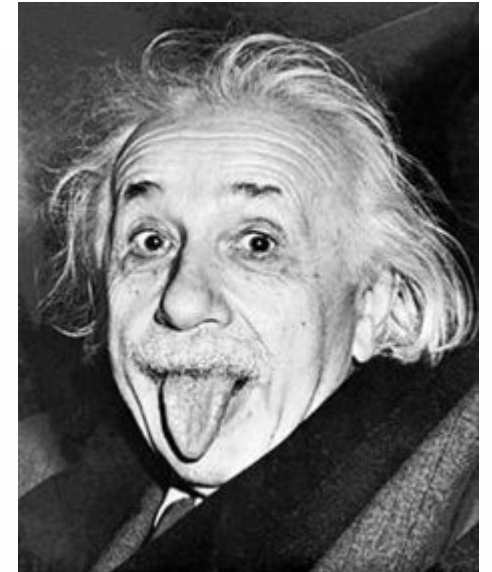
**Albert Einstein**

The definition of insanity is doing the same thing over and over again and expecting different results

---

**Альберт Эйнштейн**

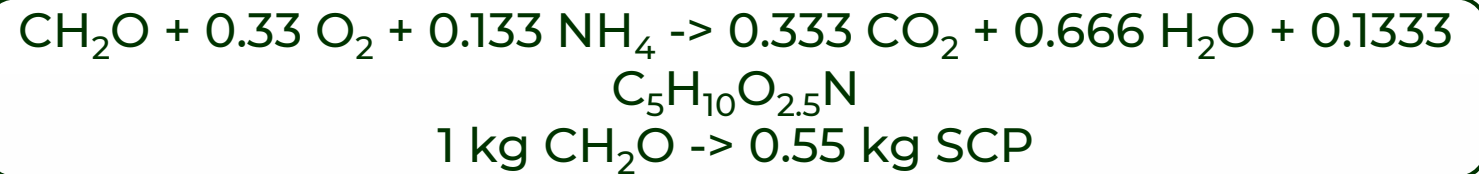
Безумие - это делать одно и то же снова и снова и ожидать при этом иного результата



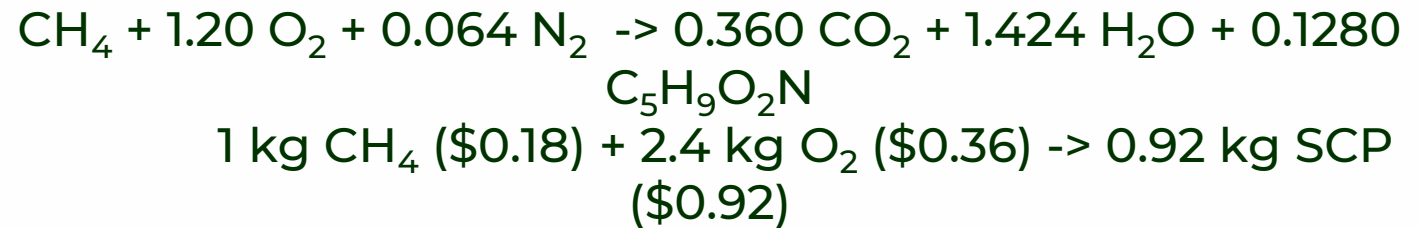


## Белок одноклеточных из углеводов и метана – стехиометрия

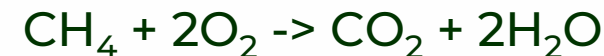
Белок одноклеточных из углеводов



Белок одноклеточных из метана



Сжигание метана



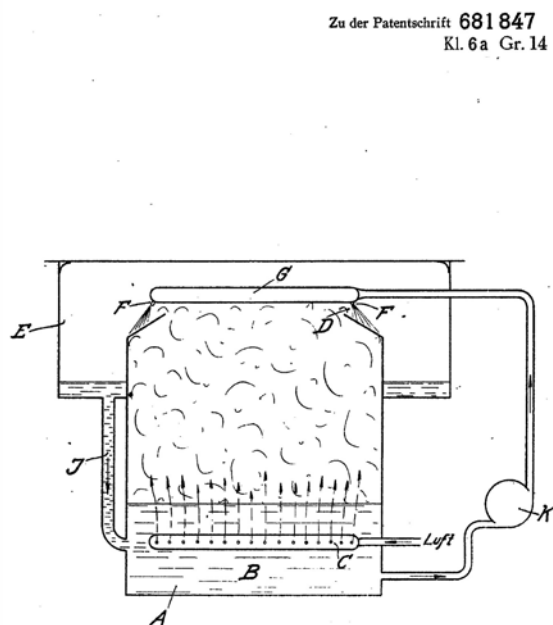
## Белок одноклеточных из углеводов и метана – стехиометрия

### ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ

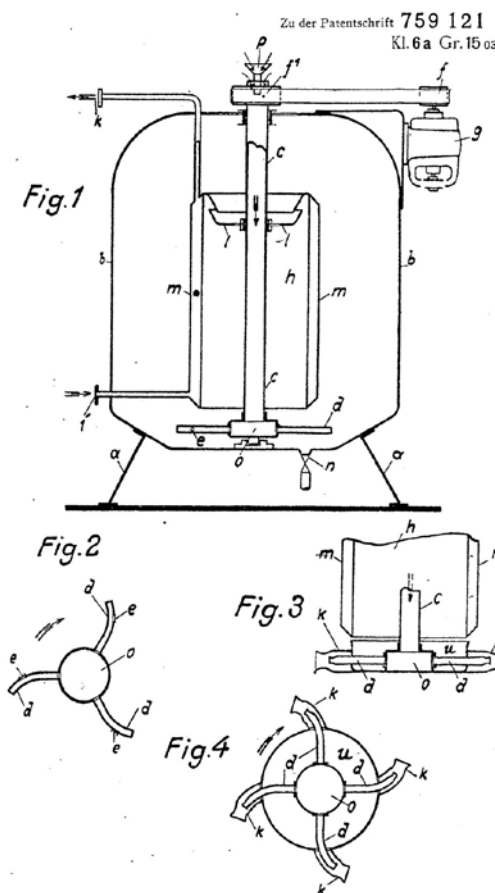
- 1 Белок (SCP) из метана требует в 3,6 раза больше кислорода, чем из углеводов. Это большая проблема, так как кислород плохо растворяется в воде.
- 2 Белок (SCP) из метана производит лишь  $1/3$   $\text{CO}_2$  по сравнению со сжиганием метана. Хороший способ уменьшить углеродный след метана.

# Предыдущие решения – пенные ферментеры

1937 – Stob Fermenter



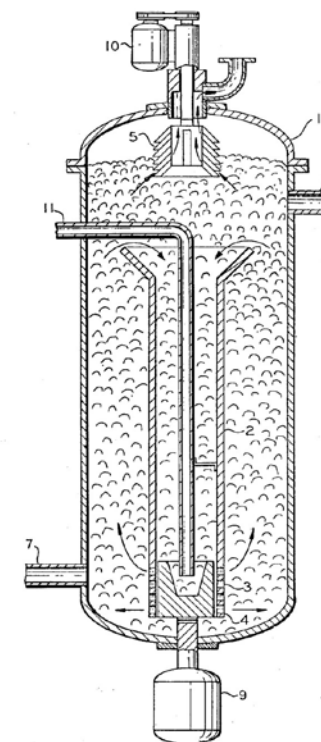
1940 – Waldhof Fermenter



1976 – Phillips Petroleum

U.S. Patent Sept. 28, 1976

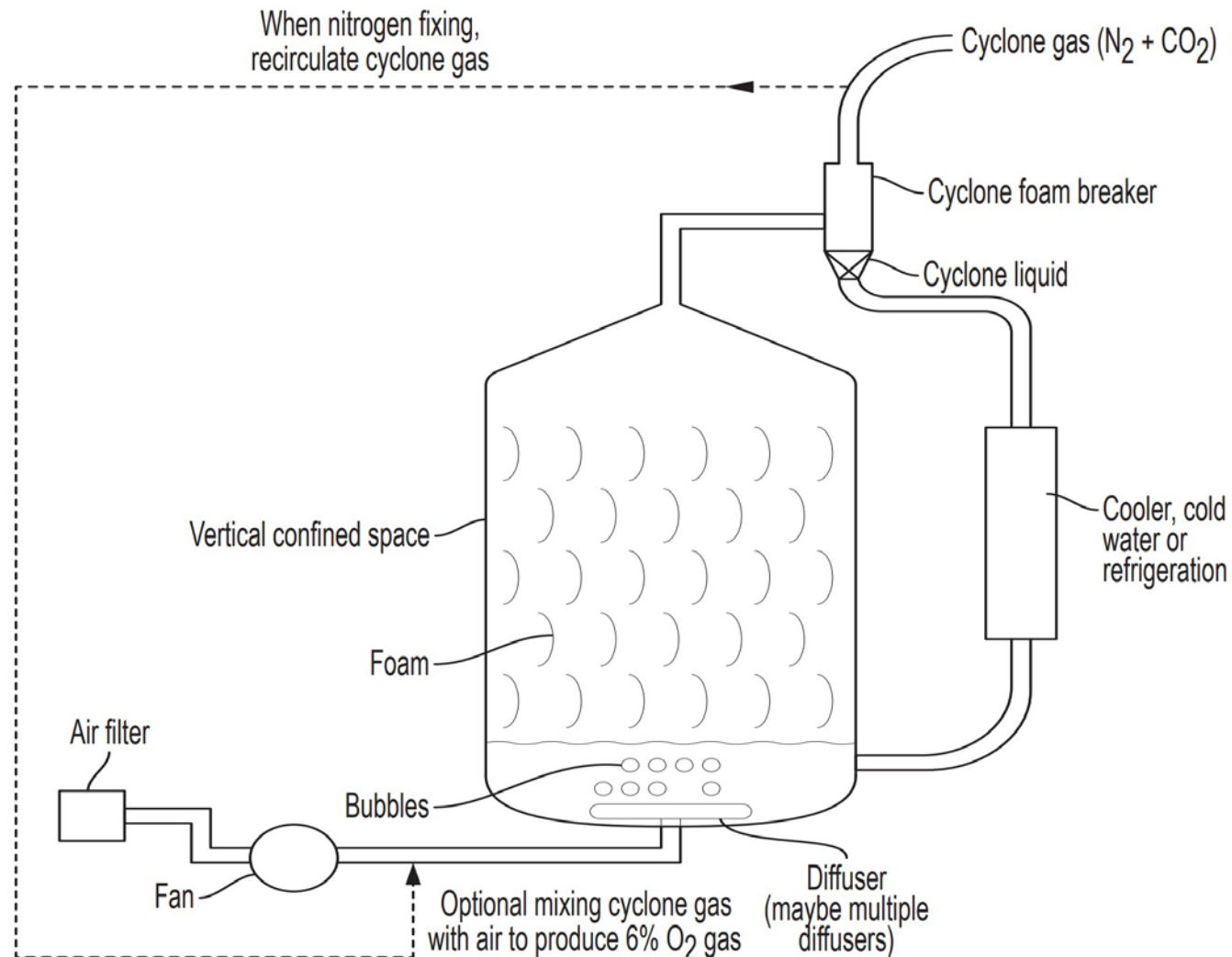
3,982,998



# Протеин из природного газа – как добиться успеха

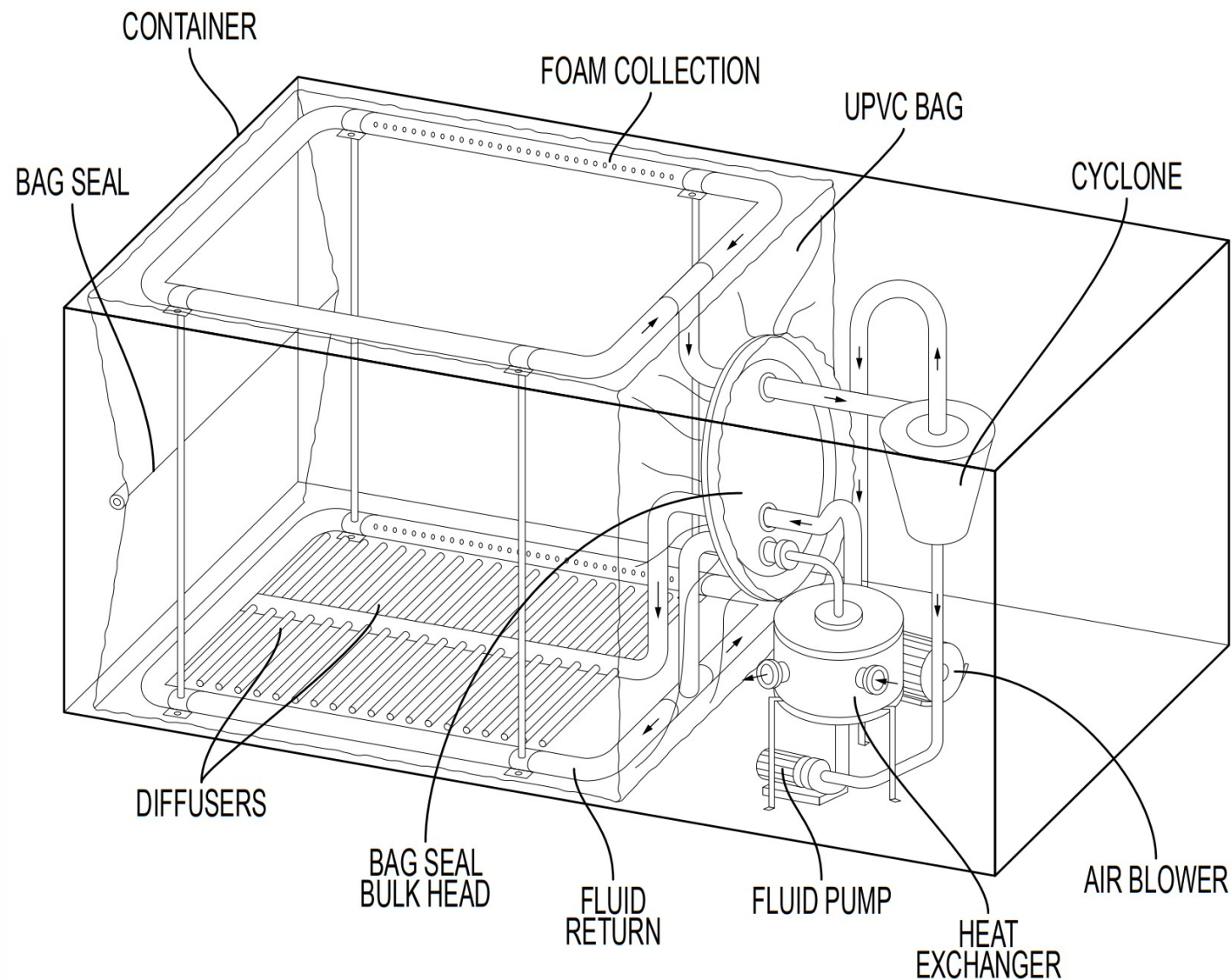
- Использование разбавленного атмосферного (6%) кислорода вместо чистого кислорода (100%).  
Результат: фиксация азота (не нужен аммиак) и снижению затрат на кислород.
- Ферментация внутри пены вместо погружной ферментации приводит к жидкости с 10% протеина вместо 1-2% с U-образной петлей  
Результат: гораздо меньшие затраты на выделение продукта
- Использование пластиковой оболочки внутри транспортного контейнера как ферментер.  
Результат: ферментер стоит менее 1 000 долл. США/м<sup>3</sup> по сравнению с 200 000 долл. США/м<sup>3</sup> для U-образного ферментера.
- Масштабирование до промышленного масштаба с использованием модульного решения (контейнеров), если один контейнер экономичен, 10 000 контейнеров также экономичны, можно транспортировать застрявший природный газ.
- Использование водяного охлаждения для ферментера, оптимально охлаждающая морская вода, холодная вода в России бесплатна 😊.
- Цель – производство белка менее чем за 1 доллар США за кг.

# Протеин из природного газа - CelloFuel

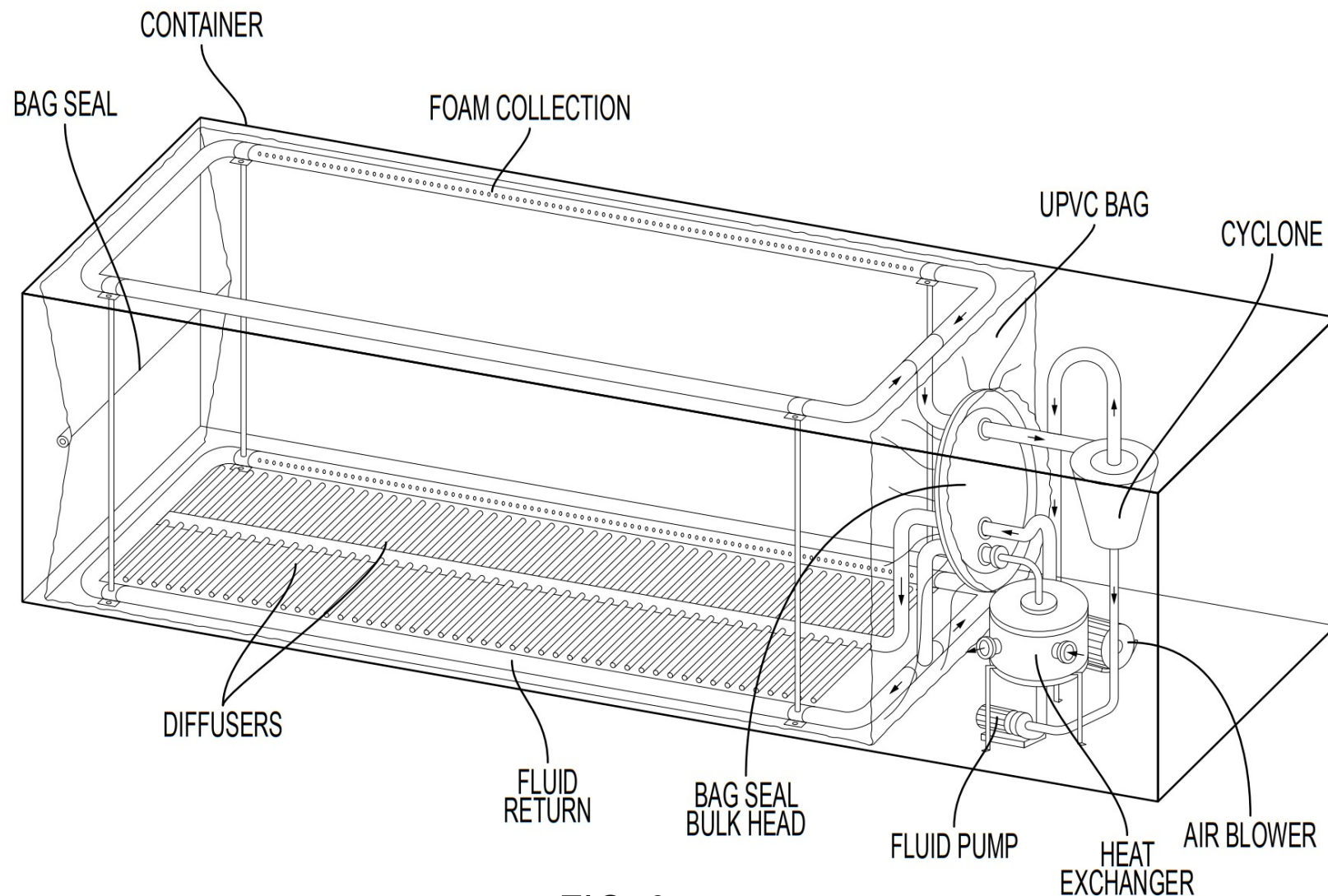




# Протеин из природного газа – 20' контейнер CelloFuel



# Протейн из природного газа – 40' контейнер CelloFuel



Microorganism and nitrogen source	Candida utilis + urea	Methylococcus capsulatus + NH <sub>3</sub>	Methylococcus capsulatus + N <sub>2</sub>
Doubling time (min)	105	120	140
Heat (MJ/mol_O <sub>2</sub> )	0.40	0.47	0.47
Fermentation temperature (C)	30	45	45
Substrate (sub)	CH <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>
Molar mass of substrate (g/mol_sub)	30	16	16
Cell composition (cell)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2.5</sub> N	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> O <sub>2</sub> N	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> O <sub>2</sub> N
Molar mass of cells (g/mol_cell)	124	115	115
Molar yield from substrate (mol_cell/mol_sub)	0.13	0.13	0.13
Mass yield from substrate (g_cell/g_sub)	0.55	0.92	0.92
Cell yield from O <sub>2</sub> (mol_cell / mol_O <sub>2</sub> )	0.40	0.11	0.11
Ratio of substrate to O <sub>2</sub> (mol_sub/mol_O <sub>2</sub> )	3.03	0.83	0.83
Cell yield from O <sub>2</sub> (g_cell/mol_O <sub>2</sub> )	50.09	12.27	12.27
Oxygen concentration (mol_O <sub>2</sub> /mol_gas)	0.21	0.21	0.08
Fermenter width (m)	2.40	2.40	2.40
Fermenter height (m)	2.40	2.40	2.40
Fermenter length (m)	4.00	4.00	4.00
Fermenter volume (m <sup>3</sup> )	23.04	23.04	23.04
Cell density in liquid (g_cell/g_liquid)	0.10	0.07	0.04
Liquid fraction (fraction)	0.10	0.10	0.10
Fermenter liquid (kg)	2,304.00	2,304.00	2,304.00
Fermenter gas (L)	20,736.00	20,736.00	20,736.00
Fermenter cells (kg_cell)	230.40	161.28	80.64
Fermenter gas (mol_gas)	833.56	794.26	794.26
Fermenter O <sub>2</sub> (mol_O <sub>2</sub> )	174.60	166.37	63.54
Cell mass grown if all O <sub>2</sub> used (kg)	8.75	2.04	0.78
Heat generated if all O <sub>2</sub> used (kJ)	69,839	77,693	29,673
Temperature rise in water (C)	7.24	8.06	3.08
Time to use all O <sub>2</sub> (min)	3.99	1.52	1.35
Fan airflow (m <sup>3</sup> /h)	312.17	819.38	919.43
Fan power needed (kW)	2.60	6.83	7.66
Cooling needed (kW)	292.05	852.78	365.48
Cooling water temperature (C)	20.00	20.00	20.00
Cooling water mass flow (kg/s)	6.98	8.15	3.49
Cooling water volume flow (m <sup>3</sup> /hr)	25.12	29.34	12.57
Cooling water heat exchanger area (m <sup>2</sup> )	10.82	12.63	5.41
Yearly substrate (ton_sub/year)	2,093.23	767.83	329.07
Yearly productivity (ton_cell/year)	1,153.32	706.41	302.75
Hourly productivity (kg/hr)	131.66	80.64	34.56
Cost of substrate (\$/ton_sub)	500.00	110.00	110.00
Cost of nitrogen (\$/ton_cell)	46.28	28.02	-
Cost of electricity (\$/ton_cell)	7.67	17.77	43.87
Sale of cells (\$/ton_cell)	1,500.00	1,500.00	1,500.00
Profit/year (\$)	621,000.00	943,000.00	405,000.00
CAPEX (\$)	50,000.00	50,000.00	50,000.00

## Патентный статус

Патент подан в U.S. Patent Office,

“AEROBIC FERMENTATION USING PNEUMATIC FOAM”

application number 63/530,954, приоритет от 5 августа 2023

“CONTAMINATION CONTROL WHEN GROWING YEASTS”

Application number 63/534,123, priority data of 23 August 2023

Запланированная подача РСТ в России, США, Китае,  
Индии, Бразилии, ЕС, Катаре









# Спасибо за внимание!

Задавайте вопросы

Алексей Аблаев  
ООО «НаноТайга»  
Москва, Россия  
[info@nanotaiga.ru](mailto:info@nanotaiga.ru)

Edward B. Hamrick  
Hamrick Engineering  
Miami, FL USA  
[info@cellofuel.com](mailto:info@cellofuel.com)

---