



# Производство недорогого протеина из метана в России

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

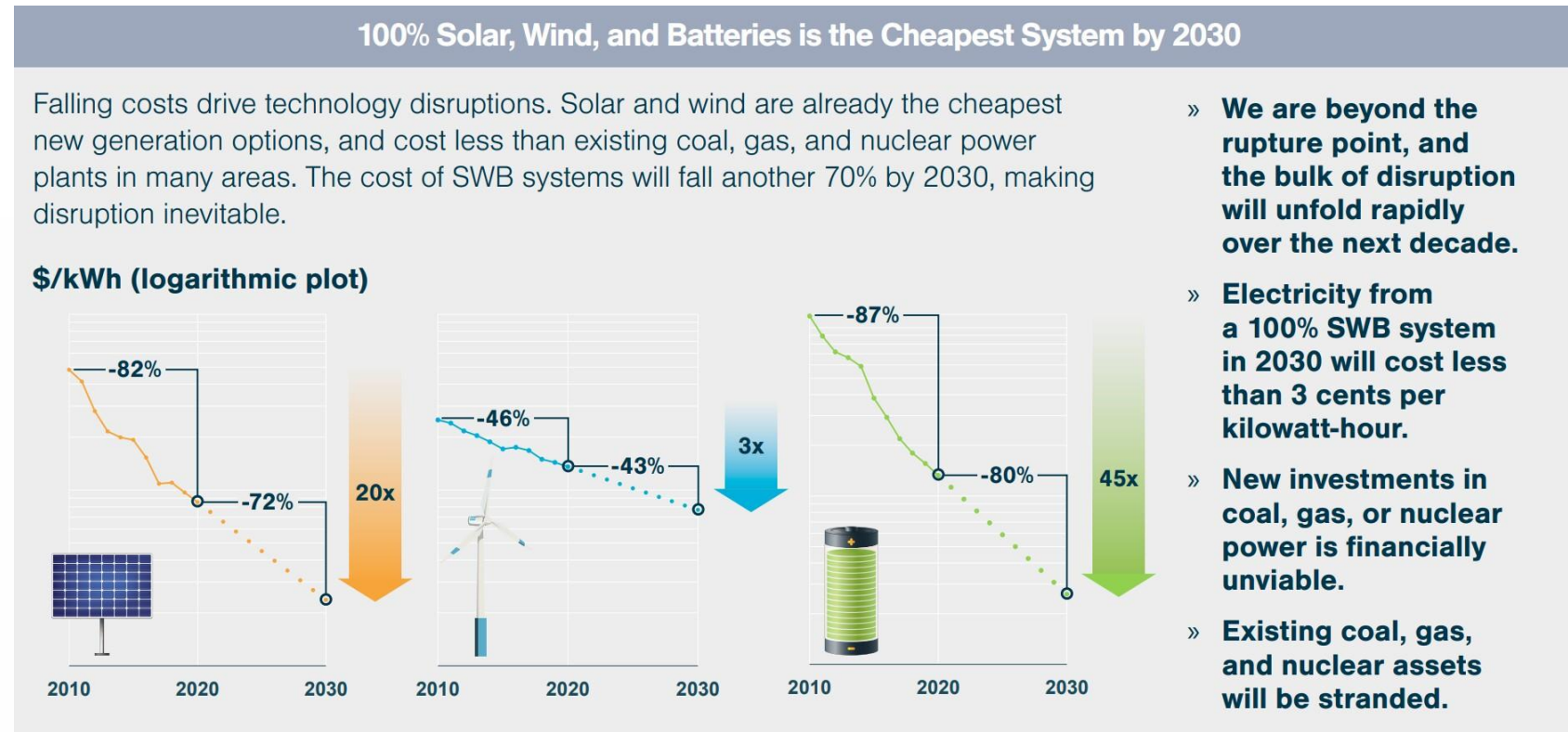
Эдвард Хэмрик  
Hamrick Engineering  
Майами, США  
[info@cellofuel.com](mailto:info@cellofuel.com)

---

## Глобальные тренды производства электроэнергии

(Источник: Tony Seba at [rethinkx.com](http://rethinkx.com))

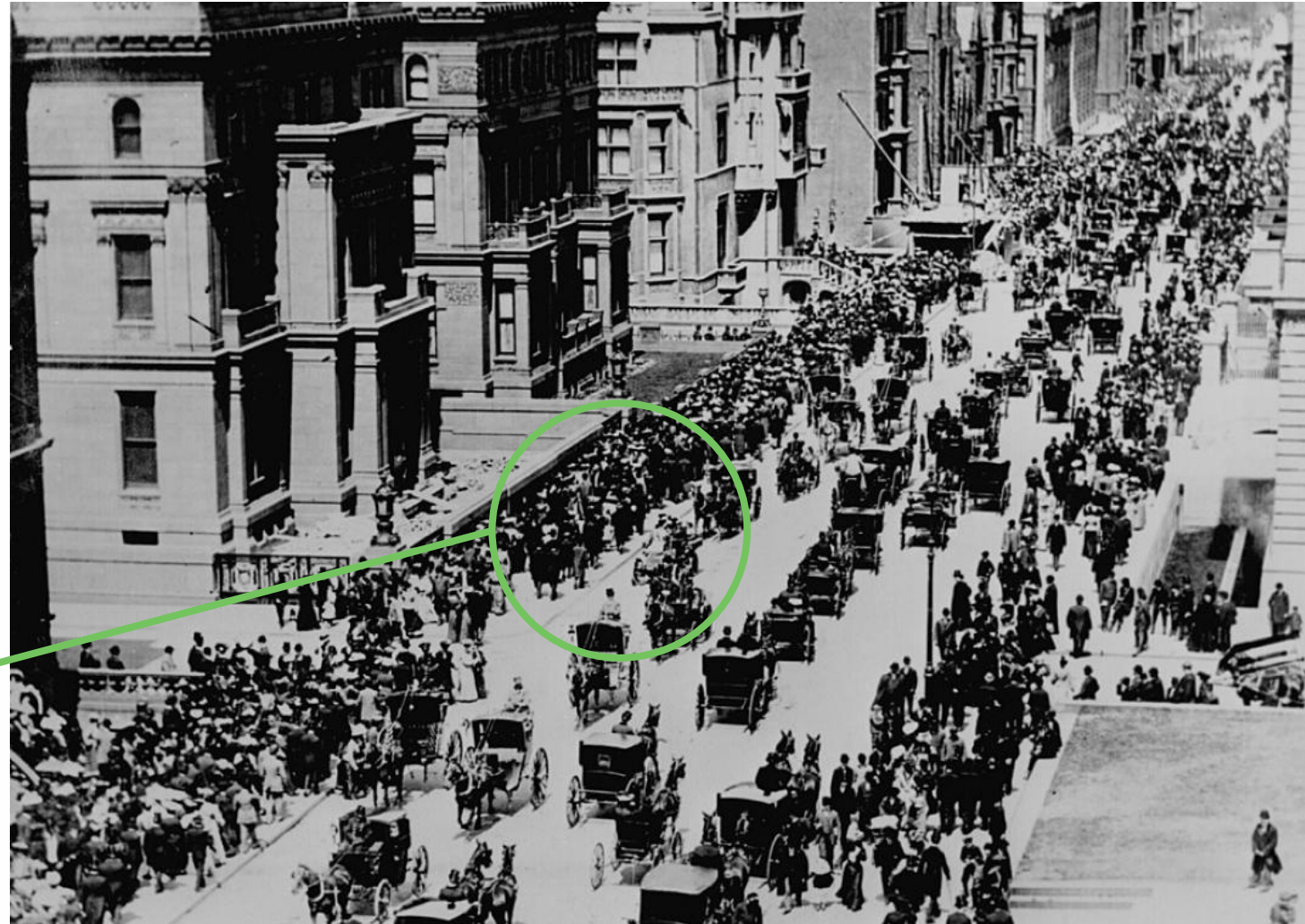
Китай лидирует в этом технологическом прорыве. Возможные ограничения ресурсов для производства солнечных панелей. Менее рентабельны в северных широтах.



## 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

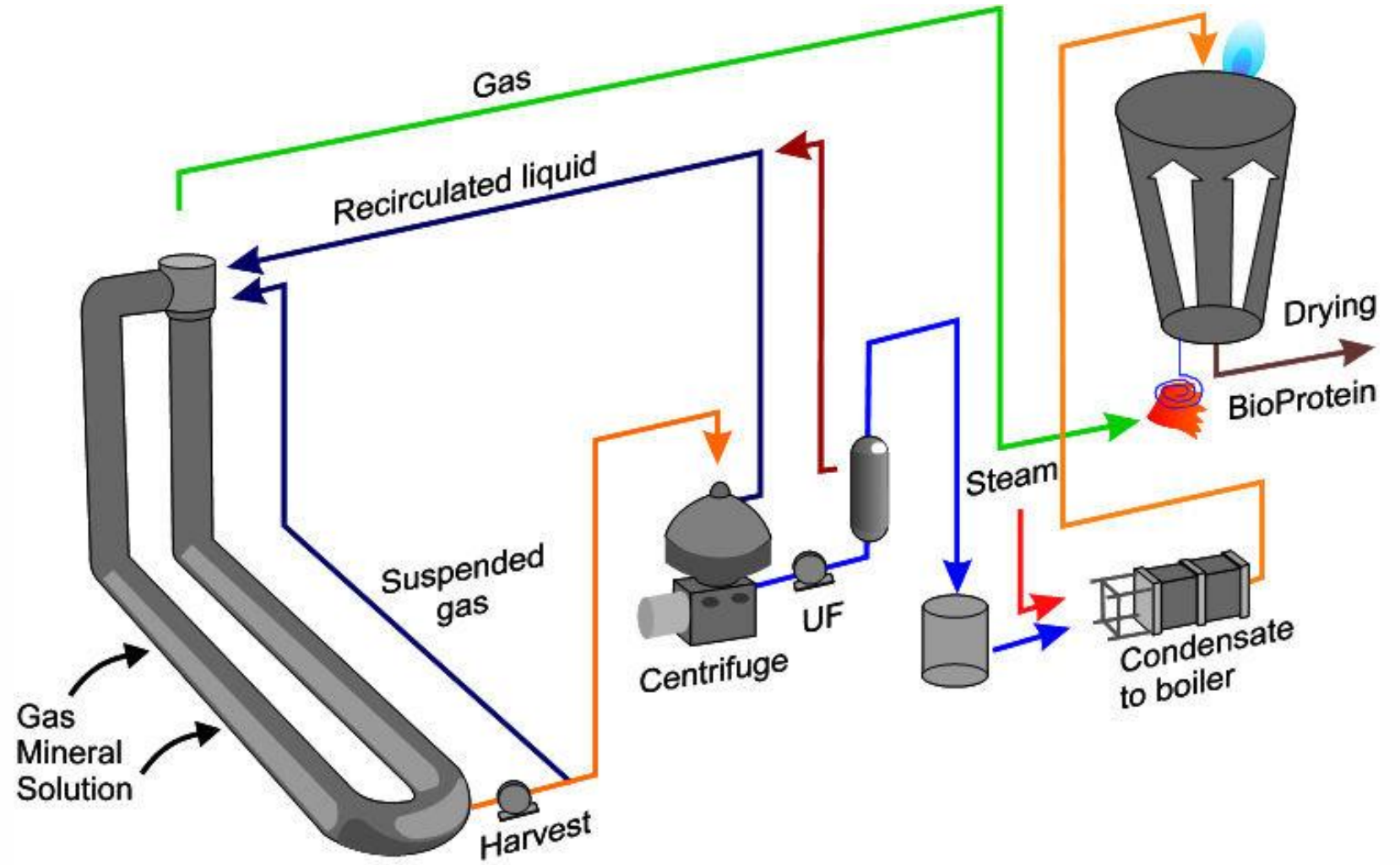
- В России большое количество избыточного природного газа и факельного газа, еще больше нерентабельного природного газа – трубопроводы дорогие.
- Катар и Бахрейн имеют большие излишки природного газа, ограниченные мощностями по сжижению.
- В США большие запасы нерентабельного природного газа – трубопроводы 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 Тьелдберггоддене, 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

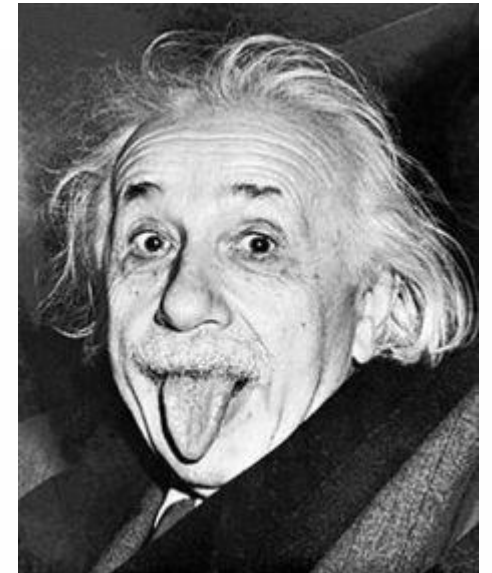
Albert Einstein

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

---

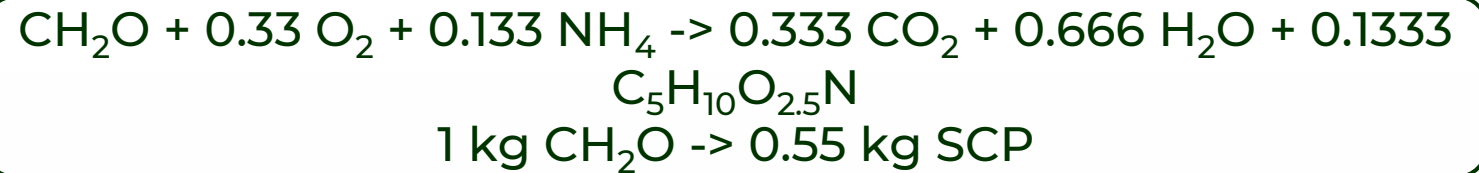
Альберт Эйнштейн

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

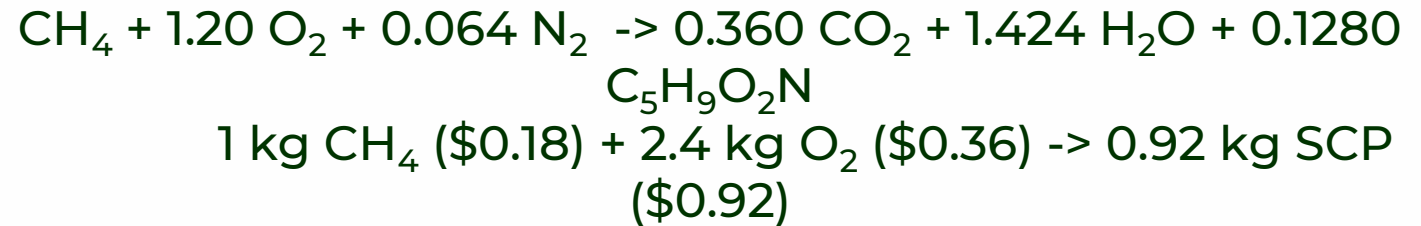


## Белок одноклеточных из углеводов и метана – стехиометрия

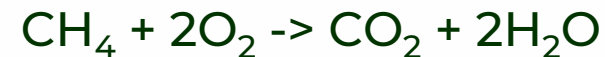
Белок одноклеточных из углеводов



Белок одноклеточных из метана



Сжигание метана



## Белок одноклеточных из углеводов и метана – стехиометрия

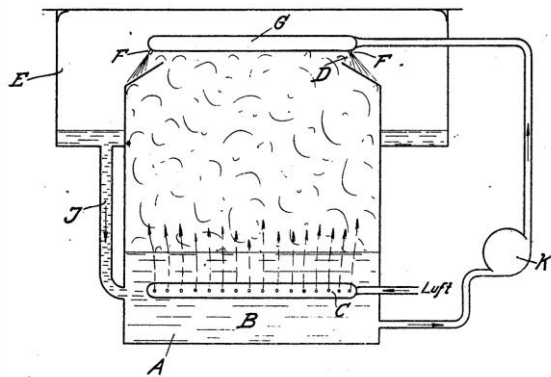
### ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ

- 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 CO<sub>2</sub> по сравнению со сжиганием метана. Хороший способ уменьшить углеродный след метана.

# Предыдущие решения – пенные ферментеры

1937 – Stob Fermenter

Zu der Patentschrift 681 847  
Kl. 6a Gr. 14



1940 – Waldhof Fermenter

Zu der Patentschrift 759 121  
Kl. 6a Gr. 15 03

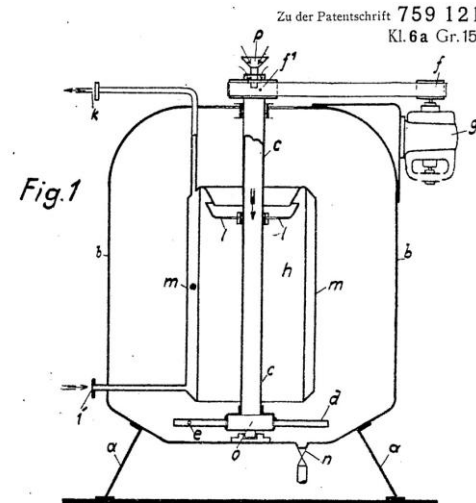


Fig. 2

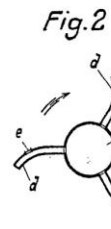


Fig. 3

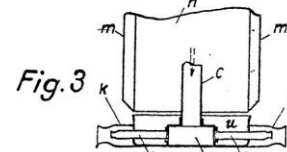
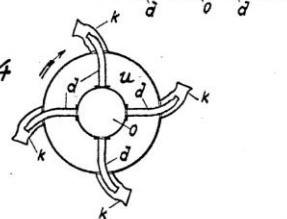


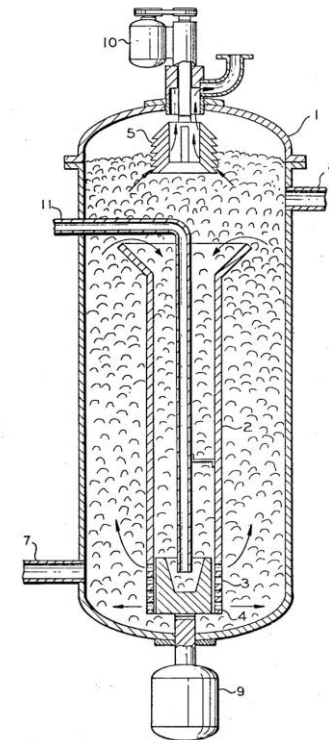
Fig. 4



1976 – Phillips Petroleum

U.S. Patent Sept. 28, 1976

3,982,998

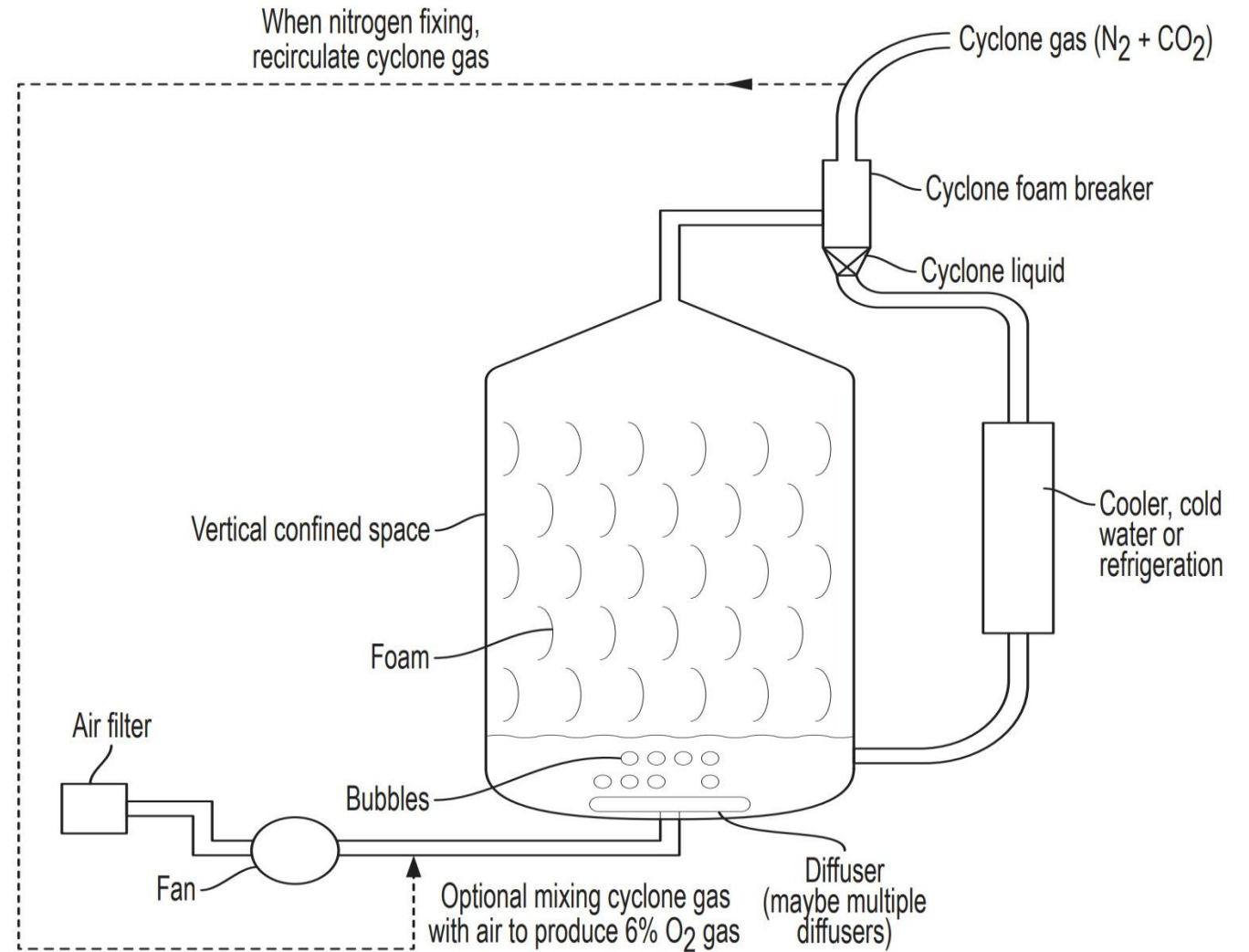




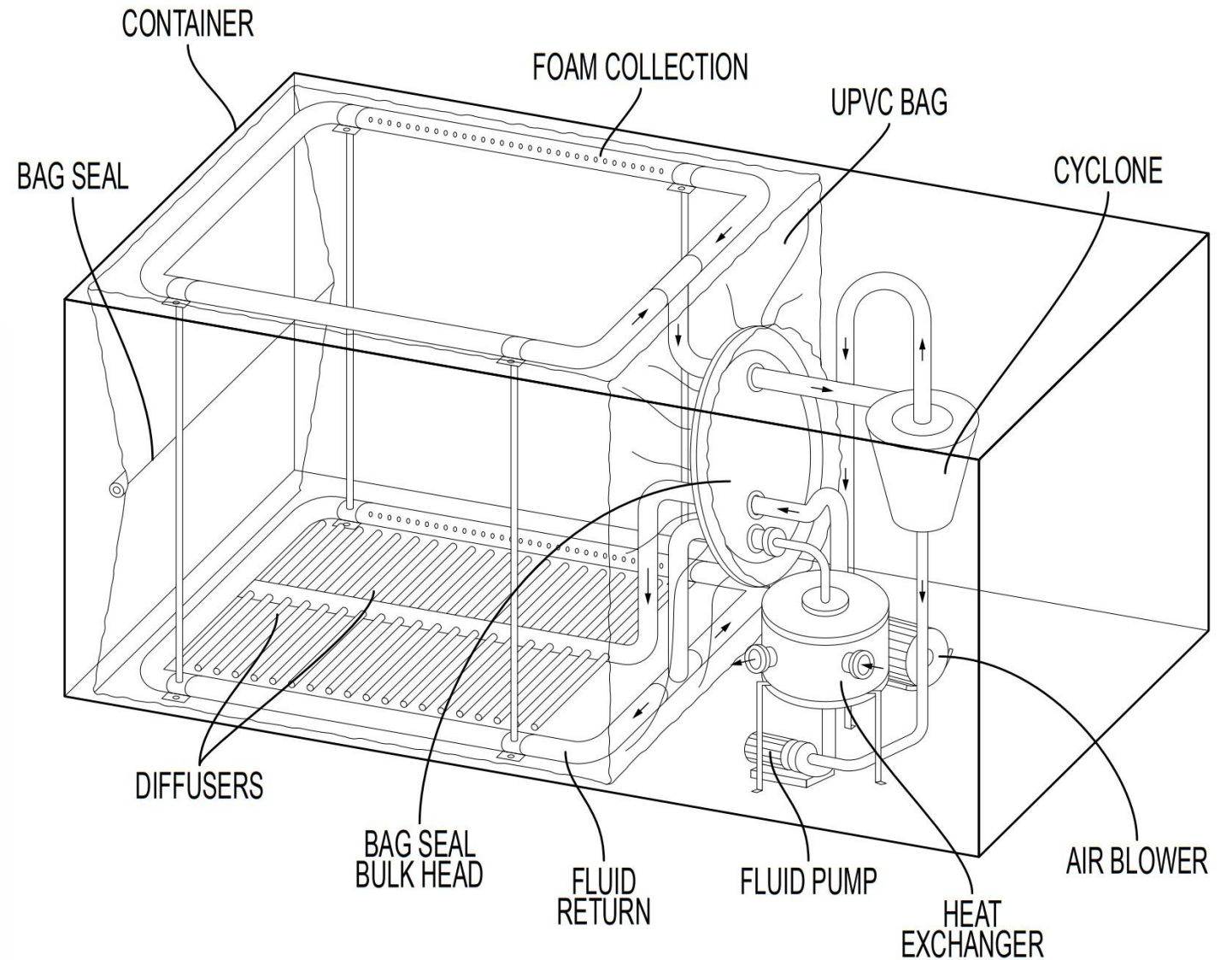
## Протеин из природного газа – как добиться успеха

- 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.

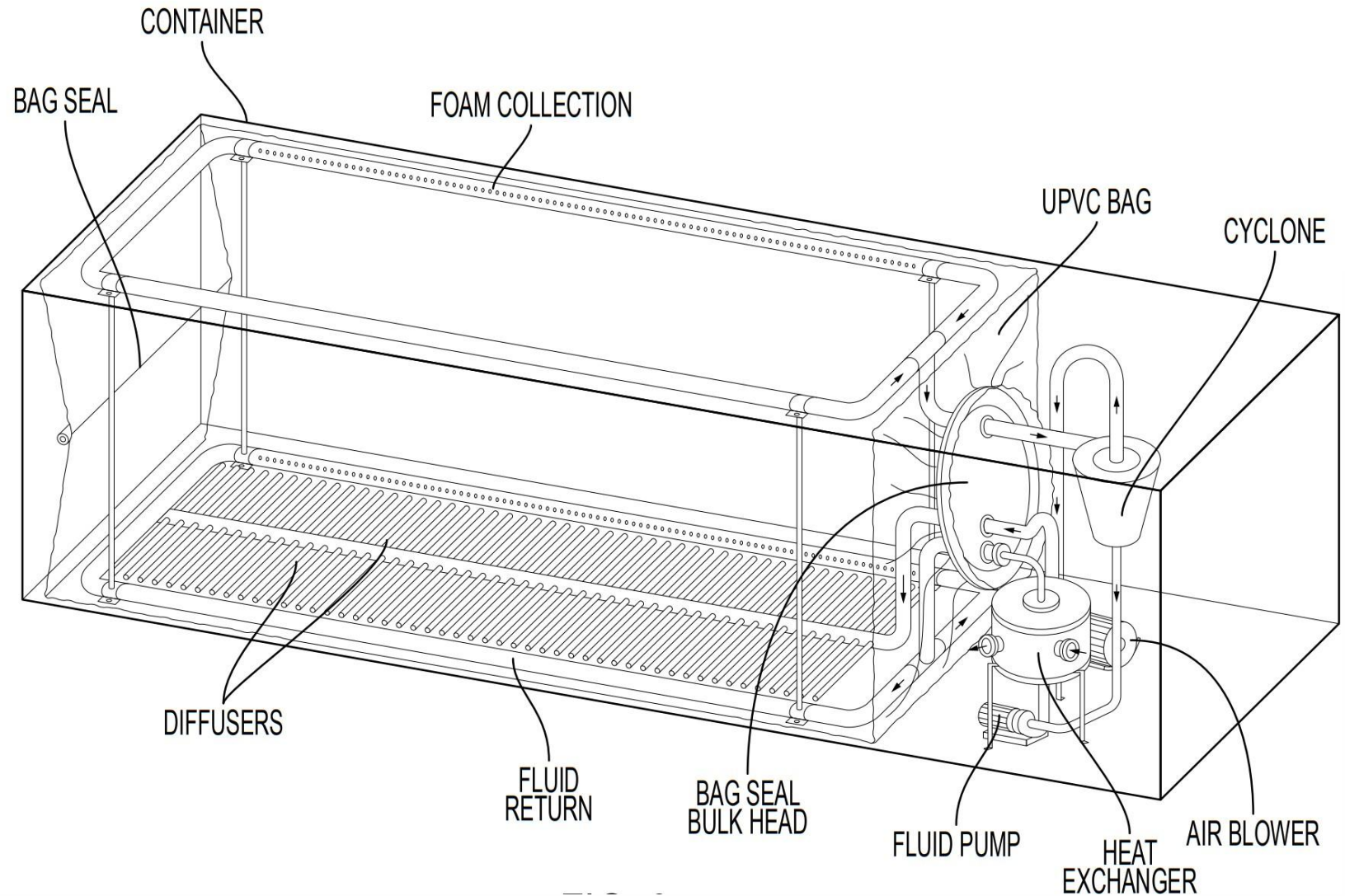
# Протеин из природного газа - CelloFuel



# Протеин из природного газа – 20' контейнер CelloFuel



# Протеин из природного газа – 40' контейнер CelloFuel



| Microorganism and nitrogen source             | Candida utilis + urea | Methylococcus capsulatus + NH3 | Methylococcus capsulatus + N2 |
|---|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Doubling time (min)                           | 105                   | 120                            | 140                           |
| Heat (MJ/mol_O2)                              | 0.40                  | 0.47                           | 0.47                          |
| Fermentation temperature (C)                  | 30                    | 45                             | 45                            |
| Substrate (sub)                               | CH2O                  | CH4                            | CH4                           |
| Molar mass of substrate (g/mol_sub)           | 30                    | 16                             | 16                            |
| Cell composition (cell)                       | C5H10O2.5N            | C5H9O2N                        | C5H9O2N                       |
| 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 O2 (mol_cell / mol_O2)        | 0.40                  | 0.11                           | 0.11                          |
| Ratio of substrate to O2 (mol_sub/mol_O2)     | 3.03                  | 0.83                           | 0.83                          |
| Cell yield from O2 (g_cell/mol_O2)            | 50.09                 | 12.27                          | 12.27                         |
| Oxygen concentration (mol_O2/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 (m3)                         | 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 O2 (mol_O2)                         | 174.60                | 166.37                         | 63.54                         |
| Cell mass grown if all O2 used (kg)           | 8.75                  | 2.04                           | 0.78                          |
| Heat generated if all O2 used (kJ)            | 69,839                | 77,693                         | 29,673                        |
| Temperature rise in water (C)                 | 7.24                  | 8.06                           | 3.08                          |
| Time to use all O2 (min)                      | 3.99                  | 1.52                           | 1.35                          |
| Fan airflow (m3/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 (m3/hr)             | 25.12                 | 29.34                          | 12.57                         |
| Cooling water heat exchanger area (m2)        | 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)