

Топливо и энергетика

УДК 576.3/7:577.115:662.75

DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.2.2019.01>

90-летнему юбилею ГП «ГИПРОКОКС» посвящается

Оршанский Ю.Р.¹, докт. техн. наук, **Abdul Aziz H. Al-Delaimi²**,
Бондаренко Б.И.³, акад. НАН Украины, докт. техн. наук, проф.,
Рудыка В.И.⁴, докт. эконом. наук, **Соловьев М.А.⁴**, канд. техн. наук

¹ ЧП «Энергия природы – водород», Харьков

просп. Независимости, 7/76, 61058 Харьков, Украина, e-mail: hydrogen01@i.ua

² Galf Petroleum Limited, Катар

³ Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: bbikiev@gmail.com

⁴ ГП «Государственный институт по проектированию предприятий
коксохимической промышленности» (ГП «ГИПРОКОКС»), Харьков

ул. Сумская, 60, 61002 Харьков, Украина, e-mail: qiprokoks@ic.kharkov.ua

Комплекс по выращиванию и переработке водорослей в составе проекта создания в Украине высокотехнологического комплекса производства синтетического моторного топлива

Международным инвестиционным проектом «Создание в Украине высокотехнологического комплекса по переработке угля в моторные топлива» предусмотрено применение технологической линии по выращиванию водорослей за счет утилизации значительных технологических отходов из основных технологических линий Проекта (низкопотенциальное тепло; газ метан из дегазации сырьевой шахты; азот как остаток распределения воздуха для получения технологического кислорода; диоксид углерода, полученный при газификации угля, и др.). Эти водоросли при применении специальных технологий выращивания становятся новым, экономически привлекательным, сырьевым источником для получения неполярных липидов, которые, в свою очередь, являются прямой сырьевой базой для получения высококачественного моторного топлива — биодизеля. Предложенные научные и инженерные решения относительно утилизационного использования многотонных технологических отходов по основной технологии Проекта позволяют повысить суммарный выпуск моторных топлив почти на 20 %. Библ. 11, рис. 6.

Ключевые слова: водоросли, моторные топлива, технологические отходы, неполярные липиды, биотопливо, энергетическая безопасность Украины.

В г. Львове 9 августа 2018 г. был подписан Меморандум, направленный на реализацию в Украине (в Сокальском районе Львовской области) Международного инвестиционного проекта по переработке углей в жидкие моторные топлива (далее — Проект). Подписантами этого Меморандума являются: Львовская областная государственная администрация; Львовский областной совет; ЧП «Энергия природы — водород» (заказчик Проекта); Катарская компания Gulf Petroleum Limited Co (ответственная за обеспечение инвестиционного финансирования Проекта). Соподписанты Меморандума: ГП «ГИПРОКОКС» (генеральный проектант Проекта); Институт газа Национальной академии наук Украины (головное учреждение научного сопровождения Проекта). Подписание этого Меморандума стало стартовым отсчетом времени реализации Проекта.

Структурно Проект включает следующие технологические модули:

1) сырьевой модуль, состоящий из проектируемых шахт по добыче каменного угля: шахта Заречная-бис проектной мощностью до 1,2 млн т угля в год и шахта Тягловская проектной мощностью до 4,8–5 млн т/год;

2) перерабатывающий модуль, структурно состоящий из углеподготовки, блока парокислородной газификации угля, блока разделения воздуха для получения технологического кислорода, комплексного индивидуального энергоблока, технологических элементов очистки и производства сопутствующих товарных продуктов, а также блоков получения метанола, синтеза диметилового эфира и конечного блока синтеза бензина.

Материальными отходами в основной технологии являются:

а) высокоминерализованная шахтная вода (проектируемая шахта Тягловская) — до 280 м³/ч;

б) газ метан (за счет дегазации шахтного поля — загазованное Тягловское месторождение каменного угля) — до 50 м³/мин, дополнительная электрогенерация установленной мощностью 11–14 МВт на газотурбинном комплексе в парогазовом цикле, КПД 61 % (компания Сименс);

в) азот газообразный — более 10 млн т/год;

г) диоксид углерода — до 6 млн т/год (до 750 т/ч);

д) низкопотенциальное тепло (носитель — водяной пар, T₀ — до 120 °С) — более 50 Гкал/ч.

Высокоэффективная утилизация материальных отходов

Появление активного интереса к культивированию микроводорослей в качестве потенци-

ального сырьевого энергоносителя относится к первой половине прошлого века (1942 г.). В настоящее время работы по созданию экономически конкурентных технологий получения биотоплива из неполярных липидов клеточного масла микроводорослей активно осуществляются в США, Германии, Японии, Англии, Израиле, Канаде и др. [1–5].

Получение масла из растительных культур (рапс, пальмовое масло, подсолнечник и др.) в сотни раз менее эффективно по отношению к маслу, получаемому из неполярных клеточных липидов микроводорослей [4]. Однако в мировой практике экономическая целесообразность (конкурентоспособность) получения биотоплива (биодизель) из микроводорослей по отношению к получению нефтяного топлива еще далека от желаемой.

Биологи считают, что существование любого организма, в том числе и водорослей, зависит от наличия в среде необходимых соединений, значительных физических факторов, а также от диапазона толерантности (устойчивости) организма к изменениям отдельных факторов среды.

Учитывая изложенное, авторами предлагается постулат о том, что в настоящее время для реальной экономически целесообразной эксплуатации культивирования топлива, получаемого из водорослей, необходимо базироваться на эксплуатации разнообразия технологических отходов крупных энерготехнологических комплексов.

Источники основных компонентов товарно выросшей клетки водорослей (зеленые и сине-зеленые) состава C₁₀₆H₂₆₃O₁₁₀N₁₆P₁ следующие: C_n — CO₂; H_m — H₂O; O_k — H₂O; N_b — N₂ (газ); P — соединения фосфора. Все компоненты дозированно поступают в питательную среду из вышеприведенного ресурса, построенного на технологических отходах. Только фосфор нуждается в дополнительном введении, что частично компенсируется его содержанием в высокоминерализованных шахтных водах.

Питательная гидросреда для выращивания водорослей будет базироваться на шахтных водах проектируемой шахты Тягловская. На 1 т продуцированного масла связывается 225 кг N₂ и 15 кг P.

Из приведенного следует, что для промышленного культивирования необходимо выбирать только такие типы водорослей, которые обеспечивают связывание молекулярного (атмосферного) азота, то есть не требуют введения в питательный раствор азотных удобрений [6] (50 % затрат электроэнергии в сельском хозяйстве расходуется на производство дорогостоящих азотных удобрений).



Рис.1. Типовая схема карбонизации биомассы [7].

В известной практике приоритет по выбору культивируемых водорослей отдан зеленым и сине-зеленым микроводорослям (хотя в нашей задаче это может быть не окончательным решением). К первой группе относится Хлорелла (*Chlorella vulgaris*), ко второй — Спирулина (*Spirulina vulgaris*).

По нашему мнению, для многотоннажного промышленного выращивания водорослей с целью экстракции масла как сырья для получения моторного топлива допустимо базовое использование только устойчивых, то есть первичных (полученных естественным путем) культур, и следует избегать культур, полученных путем генной инженерии (штаммов), которые при воспроизводстве вероятнее всего будут мутировать и в итоге либо погибнут, либо будут стремиться восстановить первичную структуру.

Установлено, что самая эффективная температура питательной среды выращивания этих видов водорослей близка к естественной температуре тела человека. В наших широтах средняя эффективная инсоляция резко изменяется от летней до осенне-весенней и зимней. Указанное сводит к состоянию неэффективности использование естественной солнечной инсоляции

по сравнению с искусственным стробированным освещением при наличии дешевой электрической энергии, полученной в результате использования метана, полученного при дегазации шахтного поля.

Все это поясняется тем, что использование естественной инсоляции возможно только при плоскозном однослойном расположении прозрачной проточной линии выращивания. Объемная прозрачная теплоизоляция тракта выращивания приводит к значительным тепловым потерям в осенне-весенний и особенно в зимний период, а также к значительному повышению неэффективного использования площадей земельных сельскохозяйственных ресурсов, либо к значительным капитальным затратам на строительство прозрачной изоляции и дополнительным эксплуатационным расходам, направленным на оптическую очистку поверхности указанной прозрачной изоляции.

Реальное состояние мирового производства высокоэффективных источников света уже сегодня позволяет эффективно решить указанную технологическую задачу при многослойном расположении проточных камер выращивания (рис.1).

Световой КПД различных электрических источников: лампы накаливания — 5 %

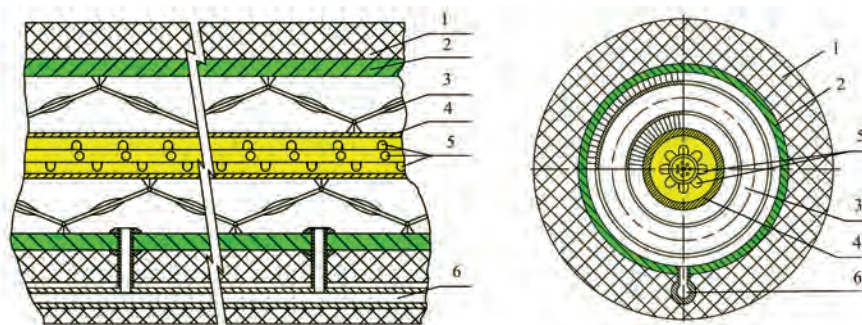


Рис.2. Аппаратно-технологическая схема выращивания водорослей [8]: 1 — термоизоляция; 2 — стальная труба; 3 — полупрозрачный шнек; 4 — трубчатый прозрачный корпус; 5 — светодиодные сборки; 6 — тракт оперативного обновления питательной среды.

(максимум 15 %); люминесцентные лампы — 15 % (максимум 20 %); светодиоды — до 90 %.

Опубликованными количественными оценками во многих научных изданиях однозначно определено, что наиболее эффективное инсоляционное воздействие на рост микроводорослей оказывают красная (630–650 нм) и синяя (450–480 нм) части видимого светового спектра, а зеленая часть спектра (510–550 нм) практически не приносит технологической пользы, что объясняется отражательными свойствами клетки. Это фиксирует плановые (до 30–35 %) энергетические потери при инсоляции «белым» светом, что исключается при использовании красных и синих светодиодных сборок.

Кроме того, в этих информационных источниках экспериментально показано, что при организации двухуровневого стробирования (включения-выключения) можно достичь уменьшения расхода электрической энергии (при искусственном источнике света) в 40–50 раз с сохранением биологической производительности и качества выращенного биологического продукта.

Авторами предложена эффективная аппаратно-технологическая схема выращивания водорослей, которая исключает использование солнечной инсоляции во все времена года при многослойном расположении камер выращивания с заменой на искусственный стробированный свет (рис.2, 3).

Тракт выращивания базируется на типовых теплоизолированных стальных трубах Венури, в которых будет размещен прозрачный трубчатый тракт со светодиодными сборками (рис.4).

Автоматическое двухуровневое стробирование осуществляется на первом уровне: зона света — диапазон 10 мксек, темная зона — диапазон 10 мс; на втором уровне: зона света — единицы секунд, темная зона — десятки (до нескольких сотен) секунд.

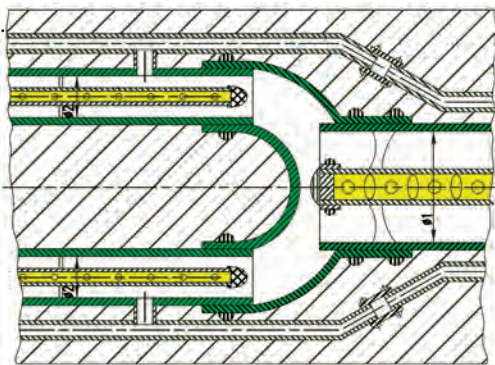


Рис.3. Схема увеличения инсоляции за счет разделения тракта движения [9]



Рис.4. Типовые термоизолированные стальные трубы.

В системе технологического регулирования среды выращивания предусмотрено увеличение гидравлического давления с соответствующим увеличением парциального давления азота и диоксида углерода, что на определенной стадии культивирования позволяет увеличить скорость роста культуры.

Для последующего создания стрессовых условий (закрытие поставки азота в составе питательной среды) для интенсификации роста неполярных липидов (масел) процесс проводится в соответствии с триадой Селье (рис.5) в отношении дефицита азота [10, 11].

Высокоскоростное эффективное коммутирование электрического источника света для искусственной инсоляции стало возможным только с появлением светодиодных технологий и современных высокоскоростных силовых электронных коммутаторов.

Более ранние исследования влияния стробирования источника инсоляции осуществлялось за счет использования обтюлятора (вращающийся непрозрачный диск с отверстием переменной величины), который располагался между электрическим неуправляемым источником света и выращиваемой культурой. Такая первичная обеспеченность эксперимента позволяла изучать влияние различных режимов инсоляции на развитие культуры, но не могла обеспечить непосредственную экономию электрической энергии.

Технологически после стадии наращивания неполярных липидов осуществляется обезвоживание выращенной биомассы (до технологически заданной влажности). По нашим данным, наиболее эффективно (минимизация энергоемкости и потерь биомассы) процесс обезвоживания будет осуществляться на серийно выпускаемых дисковых вакуум-фильтрах с керамическими ситами с рабочим сечением сита 1–2 мкм (рис.6).

4) організувати в стерильних умовах підготовку для базової технологічної закладки періодических порцій маточного матеріала;

5) безпечну з мінімізацією втрат доставку закладочної групи від місць зберігання та підготовки до технологічного комплексу промислового вирощування та переробки.

К виконанню упомянутых работ привлечены сотрудники Института криобиологии и криомедицины НАН Украины, предусматривается привлечение других научных учреждений.

Выводы

Получение биотоплив из водорослей является глобальным направлением производства новых энергоносителей во всех развитых странах мира. Особенность предлагаемого подхода состоит в утилизации отходов крупного энерготехнологического комплекса. По нашему мнению, Украина остро нуждается в практической разработке нового топливного направления. Данная статья является первым инженерным и научно-технологическим шагом на этом пути.

Список литературы

1. Haag A.L. Algae bloom again. *Nature*. 2007. Vol. 447. P. 520–521.
2. Schenk P.M., Thomas-Hall S.R., Stephens E. et al. Second generation biofuels: high-efficiency micro-

algae for biodiesel production. *BioEnergy Research*. 2008. Vol. 1. P 20–43.

3. Chisti Y. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*. 2008. Vol. 26. P. 126–131.

4. Джонатан Трент. Получение энергии из микроводорослей. — https://www.ted.com/talks/jonathan_trent_energy_from_floating_algae-pods?language=ru (27/10/17).

5. Zhiyou Wen. Algae for Biofuel Production. — <https://articles.extension.org/pages/26600/algae-for-biofuel-production> (27/10/17).

6. Водоросли. — <http://sbio.info/dic/10733> (25/09/17).

7. Пат 112266 С2 Укр., МПК С 10 G 1/06 (2016.01), С 10 J 3/00 (2006.01), С 10 J 3/46 (2006.01), С 10 K 3/00. Спосіб комплексної переробки вугілля. Ю.Р.Оршанський, В.І.Рудика, С.П.Федак і др. Опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.

8. Пат 112952 С2 Укр., МПК С 10 G 1/06 (2006.01), С 10 G 1/08 (2006.01). Трубочастий гідрогенізатор. Ю.Р.Оршанський, В.І.Рудика, С.П.Федак та ін. Опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.

9. Пат 113377 С2 Укр., МПК С 10 G 1/06 (2006.01), С 10 G 1/08 (2006.01). Трубочастий гідрогенізатор. Ю.Р.Оршанський, В.І.Рудика, С.П.Федак і др. Опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.

10. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. 244 с.

11. Медведев С.С. Физиология растений : Учеб. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 336 с.

Поступила в редакцию 24.05.19

**Оршанський Ю.Р.¹, докт. техн. наук, Abdul Aziz H. Al-Delaimi²,
Бондаренко Б.І.³, акад. НАН України, докт. техн. наук, проф.,
Рудика В.І.⁴, докт. економ. наук, Соловйов М.А.⁴, канд. техн. наук**

¹ ПП «Енергія природи – водень», Харків
просп. Незалежності, 7/76, 61058 Харків, Україна, e-mail: hydrogen01@i.ua

² **Gulf Petroleum Limited, Катар**

³ **Інститут газу НАН України, Київ**

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: bbikiev@gmail.com

⁴ **ДП «ГІПРОКОКС, Харків**

вул. Сумська, 60, 61002 Харків, Україна, e-mail: qiprokoks@ic.kharkov.ua

Комплекс з вирощування й переробки водоростей у складі проекту створення в Україні високотехнологічного комплексу з виробництва синтетичного моторного палива

Міжнародним інвестиційним проектом «Створення в Україні високотехнологічного комплексу по переробці вугілля в моторні палива» передбачено застосування технологічної лінії з вирощування водоростей за рахунок утилізації значних технологічних відходів з основних технологічних ліній Проекту (низькопотенційне тепло; газ метан з дегазації

сировинної шахти; азот як залишок розподілу повітря для отримання технологічного кисню; діоксид вуглецю, отриманий при газифікації вугілля, та ін.). Ці водорості при застосуванні спеціальних технологій вирощування стають новим, економічно привабленим, сировинним джерелом для отримання неполярних ліпідів, які, у свою чергу, є прямою сировинною базою для отримання високоякісного моторного палива — біодизеля. Запропановане наукове та інженерне рішення щодо утилізаційного використання багатотонних технологічних відходів за основною технологією Проекту дасть можливість підвищити сумарний випуск моторних палив майже на 20 %.

Бібл. 11, рис. 6.
Ключові слова: водорості, моторні палива, технологічні відходи, неполярні ліпіди, біопаливо, енергетична безпека України.

Orshansky Yu.R.¹, Doctor of Technical Sciences,
Abdul Aziz H. Al-Delaimi², Bondarenko B.I.³, Academician of NASU,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Rudyka V.I.⁴, Doctor of Economical
Sciences, Soloviev M.A.⁴, Candidate of Technical Sciences

1 PE «Energy of Nature – Hydrogen», Kharkov

7/76, Nezalezhnosti Ave., 61058 Kharkov, Ukraine, e-mail: hydrogen01@i.ua

2 Galf Petroleum Limited, Qatar

3 The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: bbikiev@gmail.com

4 SE «GIPROKOKS», Kharkov

60, Sumska Str., 61002 Kharkov, Ukraine, e-mail: qiprokoks@ic.kharkov.ua

Complex for Cultivation and Processing of Algae as Part of the Project to Create in Ukraine a High-Tech Complex for the Production of Synthetic Motor Fuel

The International Investment Project «Creation in Ukraine of a High-Tech Complex for Processing Coal into Motor Fuels» provides for the use of a technological line for growing algae, by utilizing significant technological waste from the main technological lines of the Project (low potential heat; methane gas from degassing of a raw mine; the remainder of the air distribution for the production of process oxygen; carbon dioxide obtained from coal gasification, etc.). Hydrothermal carbonization is currently the most advanced biomass processing technology. It completely prevents pollution and has a number of significant advantages over other methods of biomass treatment. These advantages make it possible to consider hydrothermal carbonization to be the best available technology for the production of biochar, liquid biofuel and other products from non-food biomass. *Bibl. 16, Fig. 2, Tab. 1.*

Keywords: biomass, biocoal, liquid biofuel, torrefaction, hydrothermal carbonization, best available technology.

References

1. Haag A.L. Algae bloom again. *Nature*. 2007. Vol. 447. pp. 520–521.
2. Schenk P.M., Thomas-Hall S.R., Stephens E., Marx U., Mussgnug J.H., Posten C., Kruse O., Hankamer B. Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *BioEnergy Research*. 2008. Vol. 1. pp. 20–43.
3. Chisti Y. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*. 2008. Vol. 26. pp. 126–131.
4. Jonatan Trent. Polychenie energii iz mikrovdorosley [Energy Production out Algae]. — https://www.ted.com/talks/jonathan_trent_energy_from_floating_algae_pods?language=ru (27/10/17).
5. Zhiyou Wen, Algae for Biofuel Production. — <https://articles.extension.org/pages/26600/algae-for-biofuel-production> (27/10/17).
6. Vodorosli [Algae]. — <http://sbio.info/dic/10733> (25/09/17).
7. Pat.113377 C2 UA. MPK C 10 G 1/06 (2006.01) C 10 G 1/08 (2006.01). Tubular hydrogenator. Yu.R..Orshansky, V.I.Rudyka, S.P.Fedak, S.Yu. Abdullin, D.O.Derkach, L.O.Kazak, V.A.Kofanova. — Publ. 10.01.2017, Bull. № 1.(Ukr.)
8. Pat. 112952 C2 UA. MPK C 10 G 1/06 (2006.01) C 10 G 1/08 (2006.01). Tubular hydrogenator. Yu.R..Orshansky, V.I.Rudyka, S.P.Fedak, S.Yu. Abdullin, D.O.Derkach, L.O.Kazak, V.A.Kofanova. — Publ. 10.11.2016, Бюл. № 21 .(Ukr.).
9. Pat.112266 C2 UA MPK (2016.01) C10G 1/06 (2006.01) C10J 3/00 C10J 3/46 (2006.01) C10K 3/00. The method of integrated coal processing. Yu.R..Orshansky, V.I.Rudyka, S.P.Fedak, S.Yu. Abdullin, D.O.Derkach, L.O.Kazak, V.A.Kofanova. — Publ. 10.08.2016, Бюл. № 15 .(Ukr.).
10. Chirkova T.V. Fiziologicheskie osnovi ustoichivosti rasteniy [Physiological basis of plant resistance] S.-Pb. : Izdanielstvo S.-Peterb. universiteta, 2002. 244 p.
11. Medvedev S.S. Fiziologiya rasteniy [Plant physiology], Uchebnick, S.-Pb. Izdanielstvo S.-Peterb. universiteta, 2004. 336 p. (Rus.)

Received 24 May, 2019

Публикуемая статья «Комплекс по выращиванию и переработке водорослей в составе проекта создания в Украине высокотехнологического комплекса производства синтетического моторного топлива» с соавторами директором ГП «Гипрококкс» доктором экономических наук В.И.Рудыкой и зам. главного инженера М.А.Соловьевым посвящена 90-летию юбилею этой всемирно известной инженеринговой компании, головного предприятия металлургической отрасли Украины по разработке и обеспечению коксохимических предприятий научно-технической проектной продукцией. Предприятие внесено в перечень объектов, имеющих стратегическое значение для экономики и безопасности государства.

За последние десятилетия по проектам ГИПРОКОКСа были введены в эксплуатацию в Украине и за рубежом до 20 комплексов коксовых батарей. Для предприятий Украины за этот период разработана документация по реконструкции и модернизации объектов коксохимии на ПАО «Авдеевский коксохимический завод», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», ПАО «МК «Азовсталь», ООО «Метинвест-Инжиниринг».

Коллектив предприятия-юбилера составляют высококвалифицированные специалисты, способные предоставить инженеринг с самыми сложными, современными технологиями в области коксохимического производства. Коллектив постоянно пополняется молодыми кадрами. Сегодня численность молодежи в ГИПРОКОКСе составляет более трети основного состава, для которой действует система обучения кадров и повышения квалификации.

Редакционная коллегия журнала «Энерготехнологии и ресурсосбережение» искренне поздравляет всех сотрудников и ветеранов ГП «ГИПРОКОКС с 90-летием со дня основания предприятия и желает им дальнейших творческих успехов и здоровья!